



RUE Piano Arenile

Elaborato gestionale
Regolamento Urbanistico Edilizio
Piano dell'Arenile

Relazione Geologica Geotecnica

ADOTTATO	il 16/07/2015 con Delibera di CC. n. 99757/76
PUBBLICATO	il 29/07/2015 sul B.U.R. n. 185
APPROVATO	il 17/03/2016 con Delibera di CC. n. 40441/52
PUBBLICATO	il 06/04/2016 sul B.U.R. n. 92

Febbraio 2016





Gruppo di lavoro:

responsabile Prof. G. Gabbianelli

collaboratori: Dott. L. Cantelli

B. Giambastiani

N. Greggio

S. Fabbri

F. Sistilli

F. Scarelli



U.O. Geologico E Protezione Civile

responsabile Dott. S. Nannini

SOMMARIO

INTRODUZIONE	5
1. INQUADRAMENTO GEOGRAFICO- AMBIENTALE	7
1.1. PRINCIPALI LINEAMENTI TERRITORIALI	13
1.2. VALENZE NATURALISTICO- AMBIENTALI DELL'AREA COSTIERA	22
1.3. LINEAMENTI CLIMATICO – METEOMARINI.....	25
1.4. ATTUALI LINEAMENTI METEOMARINI REGISTRABILI PER LA COSTA RAVENNATE	33
2. INQUADRAMENTO GEOLOGICO - GEOMORFOLOGICO	45
2.1. EVOLUZIONE GEOMORFOLOGICA DELL'AREA COSTIERA IN TEMPI STORICI	56
2.2. SUBSIDENZA NATURALE ED ANTROPICA	65
2.3. ASSETTO E DINAMICA DELL'ATTUALE "SISTEMA SPIAGGIA" RAVENNATE	70
2.3.1. ZONAZIONE MORFOLOGICA ADOTTATA PER LA ZONA RAVENNATE	78
2.3.2. VULNERABILITÀ COSTIERA E RISCHI D'INONDAZIONE	80
2.3.3. LINEAMENTI IDROLOGICI E LITOLOGICI DELL'IMMEDIATO SOTTOFONDO DELL'INSIEME DUNE- SPIAGGIA EMERSA	89

INTRODUZIONE

Il settore costiero del Comune di Ravenna, all'incirca compreso tra le Foci del Fiume Reno e del Savio per una lunghezza complessiva di circa 47 km (Fig. 1), presenta l'avvicinarsi di ampie zone di interesse "naturalistico" che separano sei principali insediamenti urbani (Classe, Savio, Dante, Adriano, Punta Marina, Marina di Ravenna Marina Romea e Casal Borsetti), sviluppatasi durante gli anni 1960- '70 e di diretta connessione e valenza prevalentemente turistico- balneare.



Figura 1 - Schematico assetto geografico dell'area

L'area è caratterizzata da spiagge sabbiose e a debole acclività verso mare, il cui arenile o, meglio, la "spiaggia emersa", mantiene ancor oggi, seppur in parte coinvolta in significativi processi erosivi, ampi settori funzionali al turismo balneare.

Un territorio la cui più recente evoluzione ha comportato, nel suo insieme ed in estrema sintesi, forti e differenziate modificazioni delle caratteristiche geologico- geomorfologico ed idrogeologiche superficiali e sub- superficiali per la progressiva azione e conseguente generazione di impatti legati al continuo incremento delle attività antropiche. Modificazioni che già ora e, tanto più, in un futuro molto prossimo, subiranno significativi trasformazioni in funzione delle previste e già in atto variazioni climatiche. Deve essere infatti chiaro e condiviso che l'interfaccia transizionale terra-mare non può mai essere considerata un elemento fisso, immobile e inamovibile nel tempo; per contro è estremamente variabile a diversa scala temporale, oltre che spaziale, sia di breve che di medio e lungo periodo.

L'insieme di queste considerazioni ha trovato negli ultimi anni particolare attenzione in ricerche e studi applicativi di vario grado e livello condotti, oltre che sotto il profilo strettamente scientifico e di ricerca, dai Servizi Tecnici regionali e locali. Tra questi ultimi si segnalano i sistematici e molteplici aggiornamenti effettuati dalla Regione Emilia Romagna dal 1979 al 2013 in tema di "Difesa della Costa" e comprensivi della partecipazione a diversi progetti Europei quali Sicell; Coastance, Micore, ecc (<http://ambiente.regione.emilia-romagna.it/suolo-bacino/argomenti/difesa-della-costa>).

Numerosi sono poi lavori pubblicati in tema di evoluzione, erosione e vulnerabilità della zona costiera ravennate e, in particolare, sul residuo sistema dunoso che ancora lo contraddistingue. Non ultimi infine gli importanti e recenti lavori di inquadramento geologico- geomorfologico e tettonico-stratigrafico di area vasta derivabile da:

- a) “Foglio 233- Ravenna” della Carta Geologica d'Italia alla scala 1:50.000 (<http://www.isprambiente.gov.it/Media/carg/emilia.html>);
- b) Carta Geologica dei Mari Italiani in scala 1:250.000, Foglio NL 33-10 Ravenna (2001) - Servizio Geologico d'Italia - Istituto di Geologia Marina CNR (www.isprambiente.gov.it)
- c) Cartografia del mare e della costa (<http://ambiente.regione.emilia-romagna.it/geologia/cartografia/webgis-banchedati/sistema-informativo-mare-costa>)

Documenti ormai disponibili via WEB- GIS regionale (<http://ambiente.regione.emilia-romagna.it/geologia/cartografia/webgis-banchedati/webgis> e <http://geoportale.regione.emilia-romagna.it/it/mappe/cartografia-di-base>)

Nelle pagine che seguono verranno delineati i principali caratteri fisico- naturali della zona costiera ravennate e, più specificatamente, della cosiddetta “spiaggia o arenile”; caratteri indispensabili per inquadrare anche sotto il profilo “spazio- temporale” i basilari assetti geologico- geomorfologici e le interazioni fisico- dinamiche che hanno controllato nel recente passato e controllano oggi il locale sistema territoriale .

L'equilibrio, il disequilibrio e l'evoluzione di un sistema costiero non può infatti mai disgiungere tra loro i singoli elementi costitutivi ed evolutivi e non è quindi pensabile e/o agire solo verso uno degli elementi non considerando, per quanto possibile, che anche gli altri interagiscono diacronicamente al fine di determinare un nuovo assetto da raggiungere. Un equilibrio a cui tutto il sistema, compreso quello socio- economico, tende e, soprattutto, dovrà nel caso adeguarsi se verrà superato, irreversibilmente, il cosiddetto limite di “adattamento possibile”. In questa accezione per le zone costiere l’ “adattamento” viene generalmente inteso come “... *un processo di “aggiustamento di un sistema, ambientale o socio-economico, per minimizzare le conseguenze negative e sfruttare le opportunità positive di una perturbazione”*. Esso, così come sottolineato da Ferrara (2007), nel caso dei cambiamenti climatici implica e comprende sia il processo di adeguamento del sistema ad una nuova situazione, sia le condizioni stesse che consentono al sistema stesso di adattarsi. In questo contesto risulta quindi necessario distinguere tra “adattamento autonomo” del sistema naturale (condizionato dalla resilienza del sistema stesso quale, a solo titolo di esempio, presenza o meno di dune) e “adattamento pianificato”, che consiste in misure messe in atto esplicitamente per mitigare o annullare gli impatti negativi del cambiamento (climatico). Ovviamente le strategie di adattamento pianificato partono dalle analisi degli impatti e dei futuri scenari degli impatti stessi.

Le strategie di adattamento ai cambiamenti climatici sono numerose e diversificate; esse possono comprendere azioni puramente tecniche (es. difese rigide costiere), misure “comportamentali” (modificare alcune scelte, per esempio ricreative), interventi gestionali (es. modificare le pratiche agricole in zone a rischio d inondazione) e decisioni politiche (es. regolamentazione per la pianificazione).

Un presupposto nell'applicazione di queste logiche in tal può essere considerato, seppur ancora definito solo nei suoi principi ed orientamenti di carattere generale , il recente “Piano GIZC-RER” (Delib. C.R. n. 645- 20/01/ 2005). Piano con cui la Regione E/R ha iniziato a fornire le prime risposte attraverso indirizzi specifici il cui significato “...è quello di conferire continuità, organicità e prospettiva all'insieme di politiche necessarie per governare con un approccio sistemico questi territori.... Essa (GIZC) viene considerata come un processo dinamico, continuo e interattivo inteso a promuovere

l'assetto sostenibile delle zone costiere, che cerca, nel lungo periodo ed entro i limiti imposti dalle dinamiche naturali e dalla capacità ricettiva delle zone in questione, di trovare un equilibrio tra i benefici connessi alle seguenti attività: sviluppo economico e usi antropici delle zone costiere; tutela, preservazione e ripristino dell'ambiente; riduzione al minimo della perdita di vite umane e dei danni alle cose; accesso del pubblico alle coste e fruizione delle stesse”.

Tutto ciò, ovviamente, nella convinzione e condivisione segnalata dalla UE (2001) in molte occasioni ed oggi ancor più valida poiché “... con l'aggravarsi del rischio di mutamenti climatici, le zone costiere saranno probabilmente costrette ad affrontare nuovi problemi e nuove difficoltà nei prossimi decenni. Dobbiamo allora fare in modo che i nostri sistemi di pianificazione e gestione siano sufficientemente flessibili da permetterci di affrontare i nuovi problemi mano a mano che si presenteranno... la grande sfida dei prossimi anni per i responsabili sarà mettere a punto soluzioni che si rivelino efficaci nel lungo periodo e comportino il minor numero possibile di conseguenze impreviste”.

Quindi, in estrema sintesi, prendere atto e condividere che l'ambiente marino- costiero rappresenta ed esprime, già a partire dal solo profilo geomorfologico, un sistema estremamente dinamico e complesso alla cui definizione quali- quantitativa concorre una ampia serie di forzanti che governano ogni componente, sia naturale che antropica. L'insieme di tali forzanti è oggi in genere singolarmente identificata ma numerosi problemi limitano ancora le possibilità di una loro valutazione quantitativa e, soprattutto, diacronica ed integrata.

1. INQUADRAMENTO GEOGRAFICO- AMBIENTALE

Come chiaramente indicato nella documentazione esistente a livello di RER in tema di zone costiera e di cui di seguito si riportano testuali considerazioni e valutazioni (http://territorio.regione.emilia-romagna.it/paesaggio/pubblicazioni/nuovi_pae_costieri_2007_QP_03NPC.pdf/at_download/file/nuovi_pae_costieri_2007_QP_03%20NPC.pdf) la costa ha una valenza strategica per la Regione Emilia-Romagna da diversi punti di vista:

- economico, per via degli importanti flussi dovuti al turismo balneare;
- demografico e sociale, per la costante domanda di residenza che si concentra soprattutto a sud, nella provincia riminese;
- storico-culturale per la presenza di importanti città e di numerosi insediamenti di età antica;
- naturalistico, grazie agli habitat del Po riconosciuti a livello comunitario, nella costa nord ferrarese-ravennate , e di alcuni estuari fluviali residuali, ancora con ambiti di naturalità poco conosciuti, nella costa centrale e nella costa sud.

La costa e il turismo balneare rappresentano uno dei sistemi territoriali e una delle economie più importanti della Regione Emilia- Romagna; con quasi 9 milioni di turisti che arrivano ogni anno, la costa emiliano-romagnola attrae il 67% dei flussi turistici regionali. Proprio per la presenza massiccia delle attività economiche legate al turismo – sempre più diversificate lungo il litorale e nell'arco delle stagioni – la costa è anche un territorio ad elevata vulnerabilità ambientale, che richiede ogni anno risorse ed investimenti ingenti per contenere gli effetti dell'erosione costiera delle spiagge, per la promozione turistica in Italia e all'estero, per riqualificare aree urbane degradate e in cui è necessario l'ammodernamento delle la costa dell'Emilia-Romagna infrastrutture.

I paesaggi del litorale emiliano-romagnolo di oggi sono ovviamente il risultato della stretta interazione tra uomo e natura; la conformazione attuale della costa regionale è essenzialmente il frutto di tre aspetti che interagiscono tra loro e che sono prioritariamente ricollegabili a:

- trasporto naturale di sabbia da parte dei fiumi;
- azione del moto ondoso e delle correnti marine che, da sud verso nord, ridistribuiscono i sedimenti sabbiosi lungo il litorale;
- intervento dell'uomo che, urbanizzando molti tratti della costa – con porti, moli, darsene, scogliere, manufatti edilizi, strutture balneari, insediamenti urbani e turistici – ha irrigidito ampi settori litoranei.

A seconda del grado di interazione tra habitat naturali ed attività umane, sul litorale regionale emergono tre paesaggi dominanti (Fig. 2), corrispondenti ai tratti della costa nord (nella provincia ferrarese), di quella centrale (nella provincia ravennate) e della costa sud (dal ravennate sino al riminese, al confine con la Regione Marche; http://territorio.regione.emilia-romagna.it/paesaggio/pubblicazioni/nuovi_pae_costieri_2007_QP_03NPC.pdf/at_download/file/nuovi_pae_costieri_2007_QP_03%20NPC.pdf

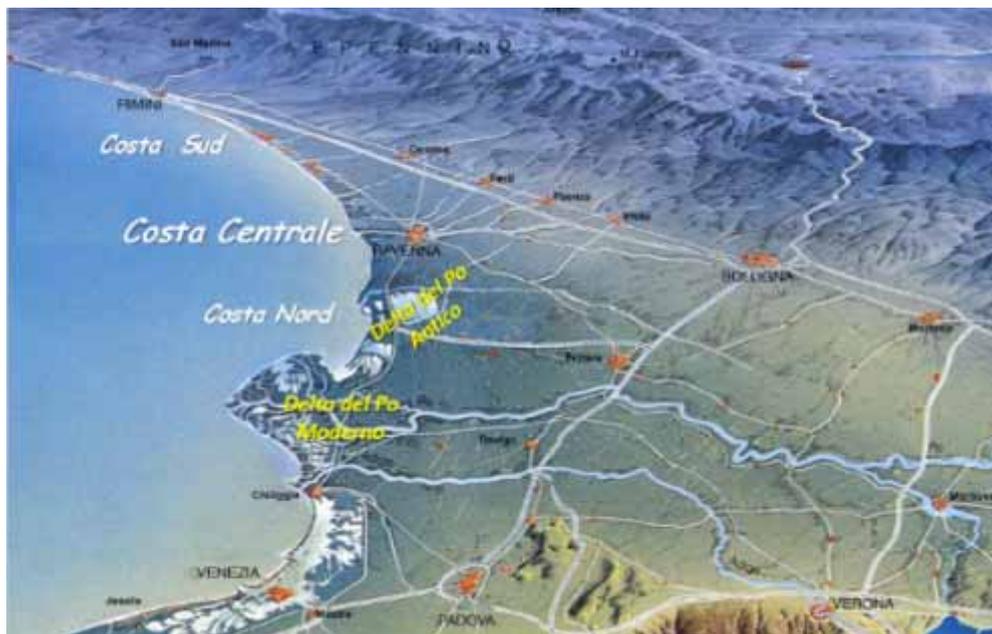


Figura 2 – Schematica suddivisione geografica dei diversi paesaggi in cui si articola la costa regionale anche in rapporto al territorio circostante.

Nel tratto a nord permane una forte presenza di elementi naturali costituiti dal paesaggio del delta del fiume Po, dove, tra gli insediamenti turistici e alle spalle di essi, si trovano vasti territori bonificati – per lo più sotto al livello del mare – parzialmente occupati da aree umide, boschi, pinete litoranee, oasi e saline. Un territorio formato quindi da paesaggi d'acqua, ove mare, bacini lacustri, fiume e canali artificiali si integrano alle terre emerse.

Il tratto centrale costituisce un paesaggio intermedio tra la costa nord e la costa sud; esso corrisponde essenzialmente al tratto della provincia ravennate, ove permangono alcuni elementi naturali storici, come le pinete, e dove comincia la conurbazione di insediamenti turistici che vanno via via consolidandosi in direzione sud. In questo tratto si trova il porto industriale di Ravenna, vera

ed unica eccezione industriale nel paesaggio costiero regionale. In questo tratto di costa, nonostante siano presenti insediamenti urbani e turistici, sono preponderanti i paesaggi generati dall'alternanza tra pinete e aree agricole che potremmo quindi definire paesaggi di terra.

Infine, il tratto a sud si contraddistingue per la sua forte antropizzazione; la città turistica affacciata a mare è il risultato di un'urbanizzazione avvenuta per epoche e fasi successive che ha indotto lo sviluppo dei nuclei costieri verso un'unica città lineare; la presenza della ferrovia, della strada statale e dell'autostrada ha favorito lo sviluppo urbano e turistico dei lidi tra Cervia e Cattolica, consolidando in 150 anni una città costiera con rare soluzioni di continuità. Quest'ultimo tratto è formato da una sequenza di paesaggi prettamente urbani.

Nel quadro delle problematiche che in genere debbono essere affrontate per queste zone, sia sotto il profilo ambientale che, più in generale, territoriale e socio-economico, non possono essere trascurate quelle connesse a quel numeroso insieme di processi (elevata vulnerabilità, rischio, minacce ed impatti) legati all'erosione ed arretramento della costa, a fenomeni di inondazione marina, perdita di habitat, cambiamento negli usi del suolo, perdita di biodiversità, ecc. Tutti problemi che, da tempo, si ripetono ormai sistematicamente e con sempre minori periodi di ritorno a causa della costante e progressiva azione di forze e/o forzanti "naturali" (soprattutto in termini di variazioni climatiche in corso e previste) e "antropici". Forzanti in grado di produrre profonde trasformazioni a livello territoriale ed ambientale, se non veri e propri irreversibili disequilibri, secondo un cosiddetto "effetto domino". Le ragioni di questo effetto sono molteplici ma abbastanza conosciute; legate cioè sia ad aspetti fisico-naturali (dinamiche climatiche e meteomarine di scala da decadale a secolare, eustatismo, subsidenza, ecc) che antropiche (riduzioni significative del trasporto solido dei fiumi, costruzione opere di difesa, urbanizzazione, subsidenza accelerata, demolizione cordoni di dune, espansione turistico-balneare incontrollata, ecc). E' per altro opinione ormai consolidata e sempre più condivisa che tali problemi tenderanno ad assumere valenza sempre maggior in conseguenza, così come indicato dai più recenti scenari previsionali elaborati in proposito, delle previste e potenziali variazioni climatiche in atto (IPCC, 2014; www.ipcc.ch/).

Del resto, come ben sintetizzato a livello di pianificazione regionale (PTPR- RER) *"...gli effetti delle rapidissime, tumultuose trasformazioni degli ultimi decenni sono sotto gli occhi di tutti. Appare comunque evidente che il vero e proprio consumo del territorio operato dal dopoguerra in avanti ha raggiunto livelli tali da non poter più essere sostenibili per lungo tempo. È altresì chiaro che stiamo vivendo un'epoca di transizione in cui si vanno delineando le nuove modalità di un rapporto diverso e più consapevole con il territorio ed il paesaggio e molti indizi lasciano presagire il rafforzamento di un'inversione di tendenza ormai evidente. Come in tutti i paesi approdati ad un'economia di tipo post-industriale - dove la maggior parte del reddito è prodotto dal settore terziario - l'opinione pubblica è ormai sensibilizzata e favorevole alla protezione dell'ambiente, che viene sempre più inteso come risorsa e come bene irrinunciabile. I primi risultati concreti di una maggiore attenzione all'uso del territorio non si sono fatti attendere: fra i tanti si possono citare la creazione di un articolato sistema di zone protette, che attualmente coprono circa il 7% dell'intero territorio regionale; oppure l'aumento dell'estensione dei boschi, il loro minore sfruttamento e il miglioramento qualitativo con la riconversione verso forme d'alto fusto; o ancora, il drastico cambiamento di mentalità nei confronti delle zone umide che, dopo secoli di tenaci lotte per "redimere" le aree più depresse della pianura, sono oggi riconosciute come inestimabili testimonianze e importanti risorse naturali. Il dilatarsi delle aree edificate, la necessità di nuove infrastrutture, l'aumento dei consumi di risorse preziose come quelle idriche porranno di continuo problematiche nuove e di non facile soluzione, cui però tutto lascia presagire che si farà fronte secondo principi di sostenibilità e di rispetto per il comune patrimonio paesistico, ambientale e naturale. Sicuramente non si potrà tornare indietro, agli anni in cui l'abbaglio del benessere facile e generalizzato ha portato la nostra Regione, come gran parte di*

Italia, ad attuare scelte di trasformazione che costituiranno una pesante eredità per le generazioni future” (<http://territorio.regione.emilia-romagna.it/paesaggio/la-nascita-del-territorio/fra-12019oggi-e-il-domani>).

A seguito delle previste variazioni climatiche in atto, ormai ampiamente ed internazionalmente riconosciute come una seria minaccia, il riscaldamento globale e le conseguenti variazioni sul clima (principalmente temperatura e precipitazioni ed innalzamento del livello del mare) non saranno uniformi sull'intero pianeta, ma assumeranno caratteristiche diverse a seconda delle specifiche caratteristiche locali o regionali.

L'intensità e la distribuzione degli impatti di tali cambiamenti climatici varierà quindi da zona a zona ed anche quando gli effetti dei cambiamenti sembreranno simili tra loro, l'intensità degli impatti generati potrebbe essere differente a causa delle diverse caratteristiche e vulnerabilità delle aree coinvolte. In particolare, i sistemi costieri del Mediterraneo quali i delta, le zone umide, le spiagge, le città costiere, saranno particolarmente vulnerabili ai cambiamenti climatici (Ferrara, 2002).

Come nel caso di gran parte del territorio ravennate tali variazioni, oltre a causare allagamenti di estese zone che si trovano ad una quota relativamente bassa se non addirittura al di sotto del livello del mare; Fig. 3) è ragionevole ipotizzare che le future variazioni climatiche non causeranno nuovi impatti sul sistema costiero ma, piuttosto, si intensificheranno le problematiche esistenti (intrusione salina, la scarsità d'acqua, rischi di inondazioni, l'erosione costiera, la desertificazione e la frequenza degli incendi).

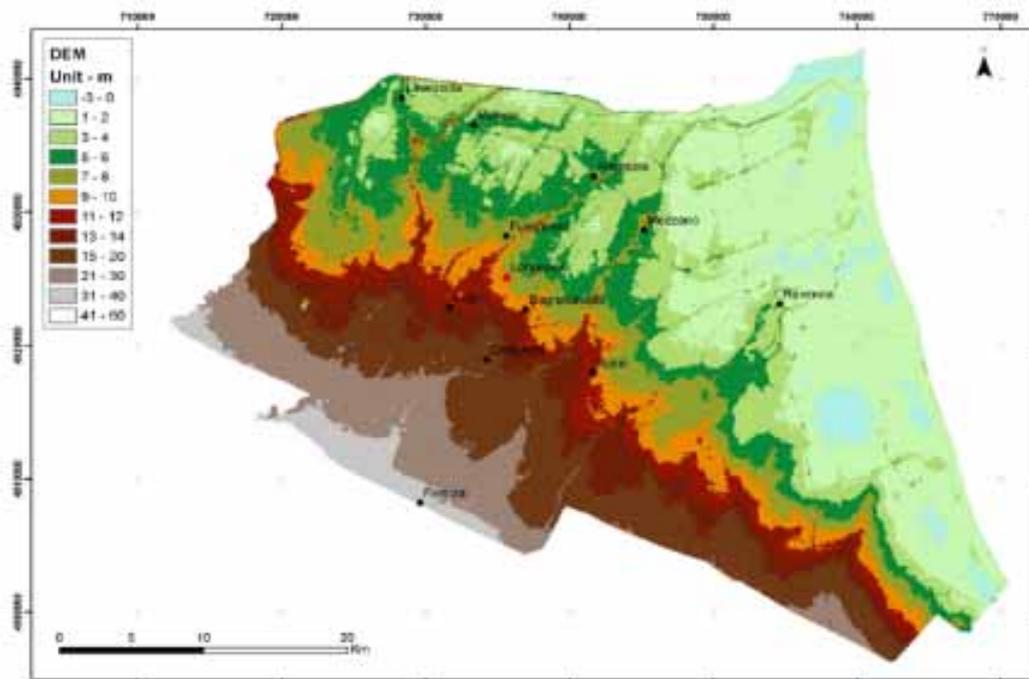


Figura 3 – Schematica rappresentazione DEM (Modello Digitale del Terreno) che evidenzia l'assetto altimetrico complessivo dell'area ravennate

In quest'ottica, la programmazione e la gestione legata agli usi delle risorse costiere viene affrontata secondo metodi olistici ormai consolidati nel quadro dello sviluppo sostenibile. Si è infatti fermamente convinti che gli interventi sul territorio e sull'ambiente possono essere concretamente individuati e gestiti sulla base di alcuni principi e considerazioni al fine di poter favorire l'attività socio-economica in un rapporto bilanciato e cioè con:

- la conservazione della diversità dei paesaggi naturali e derivati dall'azione antropica tradizionale;
- la garanzia della funzionalità dei sistemi ecologici, cioè l'integrità nel numero dei componenti e la salute fisica di ognuno di loro (qualità dei popolamenti e dell'ambiente abiotico);
- l'uso razionale e durevole nel lungo periodo delle risorse rinnovabili.

In un contesto di GIZC vale per altro ricordare come: a) in termini di GIZC si intende l'intero ciclo che comprende la raccolta di informazioni, la formulazione delle politiche, l'assetto, l'attuazione e la sorveglianza (UE, 1999; 2001); b) le "coste" non sono risorse rinnovabili (Agenda 21, 1993; CE, 1999) e quindi un'eccessiva o incontrollata crescita da parte dell'uomo aumenta la pressione nel sub-sistema naturale e causa gravi problemi che si riflettono in un degrado dell'ambiente più o meno accentuato in uno o più dei suoi elementi "ambientali" (sistemi deltizi, foci fluviali, spiagge, dune, lagune, ecc.) che, alla fine, può portare al collasso parziale se non addirittura totale; c) le zone deltizie (e costiere in generale) debbono perciò essere sempre intese come un vero e proprio "sistema integrato", rappresentato da diversi sottosistemi (terrestre, transizionale e marino) mai disaggregabile. In quest'ottica, in particolare, l'interfaccia transizionale terra-mare (ad esempio, le spiagge, le lagune, le dune, ecc.) non può mai essere considerata un elemento fisso, immobile ed inamovibile, ma variabile anche a diversa scala temporale, oltre che spaziale, sia di breve che di medio e lungo periodo; d) tali ambienti occupano una delle interfacce ambientali-territoriali più dinamiche e delicate ed in grado di sostenere habitat e risorse tra i più vari, produttivi e tipici. Ecosistemi che in genere comprendono, in un'area relativamente ristretta, una vasta gamma di condizioni legate a diversificati fattori di salinità (da acque dolci a ipersaline) e di energia (dalle lagune alle coste agli antistanti fondali).

Di conseguenza è implicito che una gestione integrata delle zone costiere richieda dunque *"...un'attenzione simultanea nei confronti di tutti i numerosi sistemi che agiscono significativamente sulle sue dinamiche..."* (inoltre) *dal momento che le componenti marina e terrestre delle zone costiere sono strettamente correlate (dai processi umani e fisici) qualunque iniziativa per la gestione di una zona costiera che desideri avere successo deve includerle entrambe..."*. Non a caso poi viene poi anche precisato e ribadito che *"...per far sì che i problemi siano affrontati tenendo conto delle necessità locali è necessario che la pianificazione e la gestione territoriale siano condotte sulla scorta di informazioni precise, sufficientemente dettagliate, interdisciplinari ed integrate....informazioni corrette, verificate e obiettive sono la premessa per decisioni avvedute e per un gestione sostenibile. Esse costituiscono una base neutrale e oggettiva su cui formarsi opinioni e adottare decisioni"* (EU, 2001)

Nell'insieme di queste considerazioni ed ai fini di un "Piano dell'Arenile" quale quello in discussione, tende allora ad assumere piena coerenza procedere nell'adottare i concetti propri della cosiddetta "Geodiversità"; un'idea innovativa introdotta agli inizi degli anni novanta (Sharples, 1993; Dixon, 1996; Eberhard, 1997) ed in seguito ampiamente accettato da una molteplicità di geologi e geomorfologici ambientali per descrivere e parametrizzare *"la diversità degli elementi e dei sistemi della terra"*, ovvero la variabilità "abiotica" della natura. Un termine ed un concetto ancora non particolarmente diffusi ed adottato ma che, indubbiamente, rappresenta un utile riferimento operativo- applicativo nel campo delle analisi territoriali ed ambientali integrate e ad elevata presenza, come nel caso in esame, di forzanti diverse (Stanley, 2001; Gray, 2004; Higgins et al., 2005, Apat, 2005).

In particolare, come indicato da Higgins et al. (2006) è vero che i processi geologici possono avvenire rapidamente, nello stesso periodo di tempo come processi biologici, e sono facilmente osservati durante il periodo di una vita umana. Più specificamente, la geologia va dunque vista come una parte dinamica della scienza fisica dell'ecosistema e di pari importanza delle componenti biologiche e umane. La geologia e le altre scienze fisiche, insieme alle informazioni dalle scienze socio-economiche e bio-ecologiche, contribuiscono a fornire le informazioni importanti per una migliore comprensione della funzione dell'ecosistema.

L' applicazione del concetto di "Geodiversità" trova per altro basilare fondamento e si manifesta prioritariamente nelle significative "diversità geomorfologiche" del sistema naturale; in tal senso la geodiversità fornisce le trame e le strutture di base per lo sviluppo degli ecosistemi in una determinata area. Anche nel caso in discussione, ad esempio, le qualità formali della "geodiversità" non sono quindi da considerare puri e semplici caratteri "fisici", cui può venire più o meno riconosciuto un valore estetico o paesaggistico. Viceversa, esse rappresentano l'insieme degli elementi dinamici cui sono legati, in modo irreversibile, funzioni e gradi ecologici complessi che vanno perduti se la forma va perduta o se ne vengono alterati, in modo sensibile, le qualità, gli equilibri e le dinamiche fisico-geometriche e evolutive.

1.1. Principali lineamenti territoriali

Come evidenziato dai relativi PTCP e PSC (di cui di seguito si riportano alcuni stralci), l'insieme del territorio del Comune di Ravenna è costituito da una pianura alluvionale, pressoché del tutto pianeggiante, generata dai depositi di numerosi fiumi e torrenti provenienti dall'Appennino emiliano-romagnolo. Le litologie sub-superficiali presenti, costituite da depositi alluvionali quaternari, vanno dalle sabbie medie, talora grossolane nell'intorno dei corsi d'acqua, alle argille limose laminate nelle zone interfluviali e di palude. Esiste un'estesa fascia costiera, larga fino a 7-8 km circa, costituita da alternanze di depositi sabbiosi di cordone litorale e dune eoliche parallele alla linea di costa con intervallati limi e sabbie fini derivanti dalla deposizione in ambiente paludoso-salmastro tra un cordone e l'altro (Fig. 4).

Lo spessore complessivo dei depositi alluvionali, estrapolato dai dati di sondaggi profondi eseguiti a scopo di estrazione di idrocarburi, varia tra circa 1,5 e 3 km e presentano una età compresa tra il Pliocene superiore all'attuale. Le formazioni rocciose presenti al di sotto di questi depositi, riscontrabili anche nei rilievi appenninici romagnoli nella zona ad occidente del comune, sono di origine pelagica a composizione calcarea le più profonde ed antiche, mentre le più recenti sono di genesi continentale a composizione terrigena.

A scala regionale, la morfologia del territorio è quella tipica di una pianura alluvionale intensamente antropizzata, con alvei fluviali pensili ed argini rialzati, rinforzati dall'uomo nel corso dei secoli scorsi per consentire il deflusso incanalato e proteggere le aree abitate e coltivate dalle frequenti esondazioni dovute alle improvvise piene dei fiumi, che trovavano facile e rapida espansione nelle zone tra un corso d'acqua e l'altro, talora particolarmente depresse.

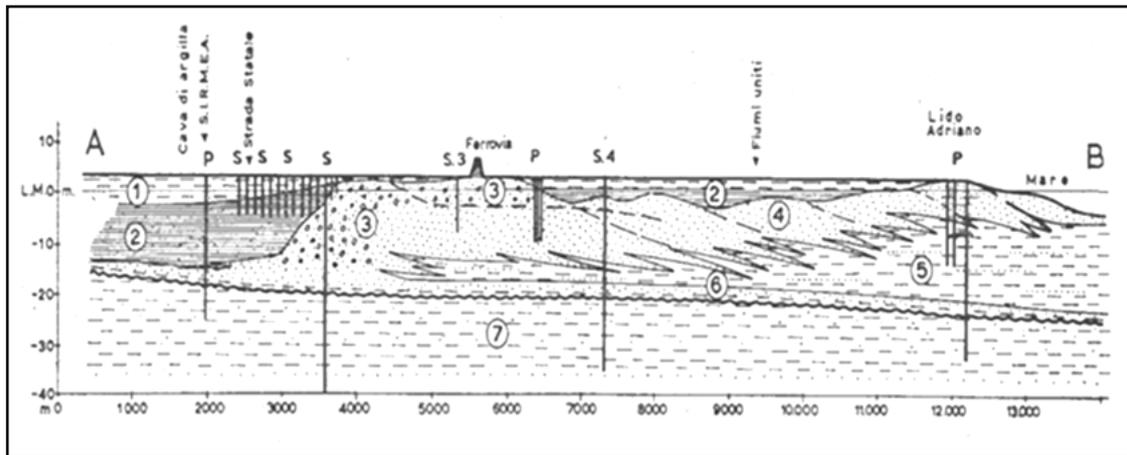


Figura 4 - Sezione dimostrativa dei terreni sub- superficiali presenti nel sottosuolo ravennate: (1) argille giallastre della bonifica recente; (2) argille con torba, limi sabbiosi ed argillosi di ambiente vallivo e lagunare; (3) Sabbie e ghiaie di spiaggia; (4) Sabbie di spiaggia e di ambiente marino costiero; (5) Limi con livelletti sabbiosi di ambiente marino costiero; (6) Sabbie e limi della trasgressione olocenica; (7) Argille, limi e sabbie di ambiente continentale (da Angeli et al., 1970; modif.).

Gli argini fluviali ed i rilevati stradali sono gli unici rilievi della parte interna del territorio comunale, mentre nella zona costiera si hanno in alcune ristrette fasce modesti rilievi, che raggiungono al massimo alcuni metri, determinati dalla presenza dei cordoni litorali dunosi. Fatta eccezione per tali localizzati rilievi il territorio è interamente pianeggiante, con altimetria che varia tra il livello del mare ed i 15-20 m.s.l.m. massimo nelle zone della pianura interna, verso il confine con i comuni limitrofi verso ovest.

In questo contesto va segnalato sin d'ora come l'attuale territorio ravennate più strettamente costiero sia sostanzialmente ricollegabile ad uno sviluppo molto recente. All'inizio del '600 l'area ravennate risultava ancora dominata dalla presenza di una cuspid sedimentaria in corrispondenza dell'allora foce del Po di Primaro (oggi Reno) mentre poco più a sud era presenta quella del tratto terminale dei fiumi Ronco- Montone (che all'epoca circondavano Ravenna e che sfociavano a mare in un unico alveo denominato F.mi Uniti), la cui foce sfociava all'incirca in corrispondenza dell'attuale P.ta Marina. Tra le due foci si apriva un'ampia insenatura da cui, dopo pochi decenni, avrebbe preso origine il sistema lagunare delle "Piallasse Baiona- Piomboni".

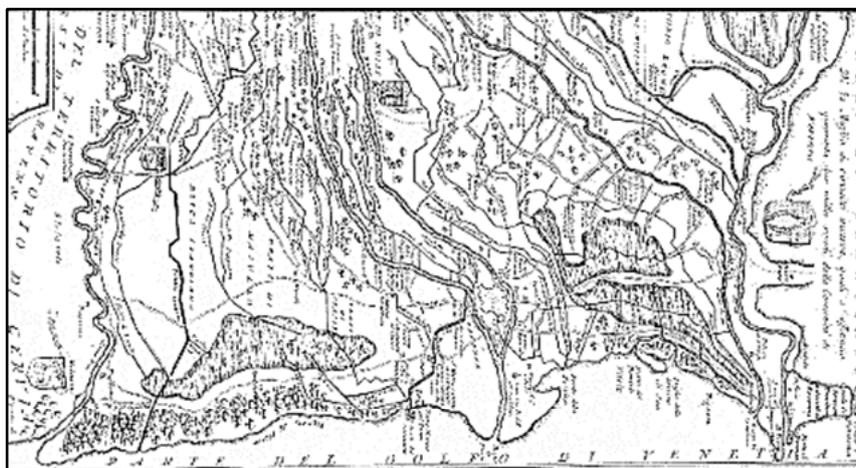


Fig. 5 Cartografia storica che rappresenta l'assetto della costa ravennate intorno alla fine del XVII sec.. Evidente l'ampia insenatura che sarà separata dal mare dai cordoni che si formeranno a seguito dello smantellamento delle cuspidi fluviali (da Ascani et al., 2002)

Sempre in base alla cartografia storica è anche possibile osservare come al retro di tale insenatura fosse ancora ben sviluppato un precedente sistema lagunare (antica Laguna o Valle di Savarna) sul cui cordone a mare risultava già del tutto impostata, per impianto artificiale, la Pineta di S. Vitale (Fabbri & Missiroli, 1998). In questo periodo si tentò per altro di dare un nuovo porto canale alla città, il "Canale Panphilio", che però, scavato a sud in prossimità di un'altra zona valliva, quella della "Standiana" o "Candiana" e retrostante la Pineta di Classe, in breve tempo dimostrò tutta la sua inefficienza idraulica e fu abbandonato già nel secolo successivo. La diversione dei F.mi Ronco e Montone che circondavano Ravenna, fu completata nella prima metà del '700 (in risposta delle numerose alluvioni che colpirono la città in conseguenza del peggioramento climatico legato alla Piccola Età del Ghiaccio, valutabile tra il 1500 ed il 1850 circa). A seguito di tale intervento entrò rapidamente in erosione la cuspide sedimentaria della vecchia foce contribuendo così alla formazione, soprattutto sul suo lato settentrionale, di estesi cordoni sabbiosi e/o frecce litorali. Strutture ben sviluppate già nella cartografia di metà '700 e che, unitamente a quella più settentrionale del Primaro (la cui foce risultava ormai totalmente erosa a seguito del completo scollegamento di questo fiume dal reticolo del Po) delineavano ormai il sistema Baiona - Piomboni.

Piallasse che già nella seconda metà del settecento permisero la realizzazione del nuovo cavo portuale "Corsini" in corrispondenza della foce principale tra i canali di comunicazione con il mare ed l'ormai consolidato sistema lagunare (canale della Fossina). Come risulta dagli atti dello studio che corredò all'epoca la sua progettazione, la scelta fu determinata anche dal fatto che *"... pel solo concorso delle copiose acque chiare affluenti alla foce (del Fossina) ... grande laguna fa buon porto"* poiché, come noto, nelle lagune e piallasse, estese ma poco profonde, una minima differenza di quota del pelo libero dell'acqua, quale quella indotta dalla marea montante/ ritraente, provoca un significativo aumento/diminuzione di volume invasato. Ne consegue che in fase di marea uscente la portata d'acqua che defluisce verso il mare ne aumenti la velocità lungo i canali ed alla foce, favorendo così il trasferimento verso mare dei sedimenti depositati e limitando quindi l'interrimento. Considerazione questa che, in tutta la sua corretta "logica idraulica", guiderà poi, almeno fino al secondo dopoguerra, la maggior parte degli interventi antropici che, pur condizionando fortemente l'evoluzione naturale dell'area, hanno guidato lo sviluppo portuale di Ravenna e, in un certo senso, garantito il permanere nel tempo dell'area lagunare.

Verso la fine dell'800 (Fig. 6), cioè grosso modo al termine della Piccola Età del Ghiaccio, l'assetto complessivo dell'area aveva ormai raggiunto una configurazione del tutto prossima all'attuale. Questa situazione, favorita in parte anche dal ristabilirsi di condizioni climatiche, perdura all'incirca per tutta la prima metà del '900, periodo in cui la costa continua a progredire, seppur con tassi di avanzamento decisamente inferiori ai precedenti

Variazioni significative a questa condizione iniziano poi a registrarsi a partire dal secondo dopoguerra. Il F.me Lamone fu portato a sfociare a mare (la moderna foce è del 1962) e non più in un bacino interno (Valle di Savarna e/o Cassa di Colmata del Lamone) posto immediatamente al retro della Pineta di S. Vitale. Quest'ultima rappresenta ancor oggi il confine occidentale della piallasse mentre quello ad est e verso mare, costituito dall'ormai consolidato cordone litorale che separa le piallasse dal mare, iniziava a presentare insediamenti urbani, seppur ancora ridotti al modesto agglomerato storico di P.to Corsini ed a quello poco più esteso di Marina di Ravenna.

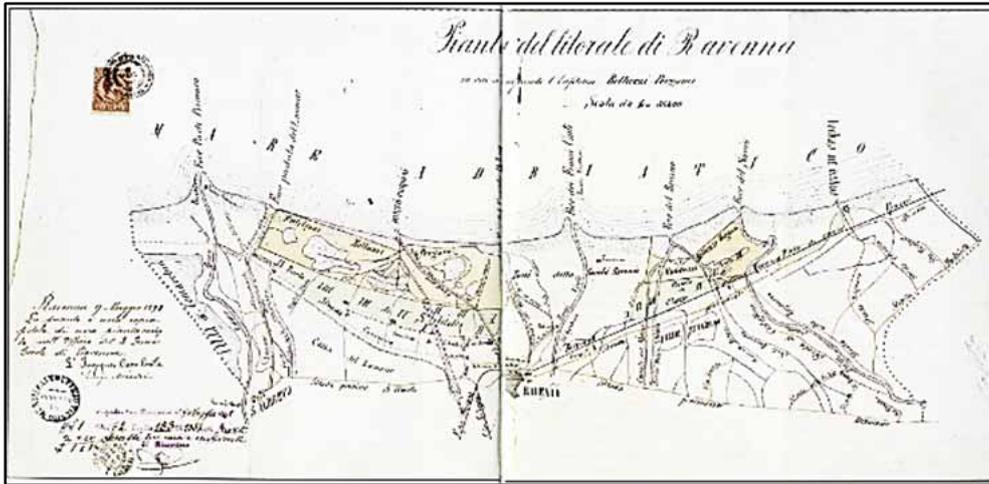


Fig.: 6 – La costa ravennate nel 1898.

Nel 1958 fu posta la prima pietra del nuovo Porto Canale di Ravenna e nel decennio successivo il canale fu scavato per portare i fondali dai precedenti – 4/5 m circa, a circa – 9,5 m; iniziarono i lavori di costruzione delle dighe a protezione dell'imboccatura (completate alla fine degli anni '60) ed in parte causa delle riduzioni delle funzioni di ripulsa delle piassasse. Con i materiali di risulta furono colmati i terreni destinati agli insediamenti industriali, bonificando così un'area di circa 390 ha e riducendo sensibilmente l'estensione della Piassassa dei Piomboni e parzialmente quella della Baiona. Nel frattempo si assisteva al progressivo e notevole incremento dell'urbanizzazione costiera a fini turistico- balneari che, oltre ad una espansione di Marina di Ravenna e Punta Marina, portò ai nuovi insediamenti di Marina Romea e dei più meridionali Lidi Adriano, Dante, Classe e Savio, con i conseguenti livelli di urbanizzazione raggiunti ai giorni nostri.

Negli anni '60 si completò infine sull'area, per fini agricoli, la moderna bonifica iniziata intorno al primo novecento circa (Fig.: 7). La bonifica implicò la realizzazione di una fitta rete scolante che ai giorni nostri raggiunge migliaia di chilometri, sia attraverso lo scolo forzato via idrovora sia naturale.

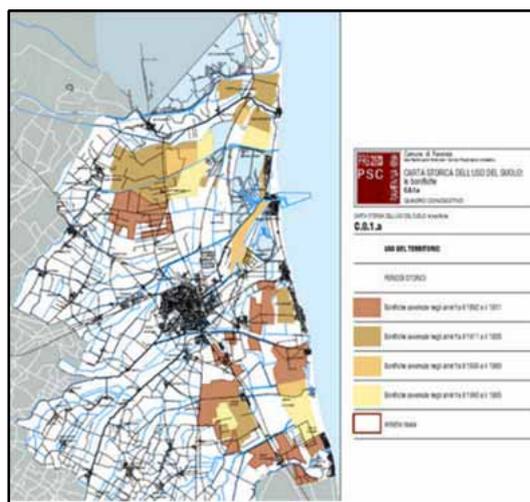


Fig.: 7 Carta storica dell'uso del suolo. PSC Ravenna

La sua gestione è organizzata secondo un sistema di differenziati bacini (Fig.:) affidati all'Autorità dei Bacini Romagnoli (<http://baciniromagnoli.dapt.unibo.it/index.htm>) ed ai Consorzi di Bonifica della Romagna (<http://www.bonificaromagna.it/>), per quanto concerne la parte meridionale del territorio, e della Romagna Occidentale per quanto compete l'area più settentrionale (zona del Reno) ed occidentale (Lugo, Russi, Alfonsine, ecc; <http://www.bonificaromagna.it/>)

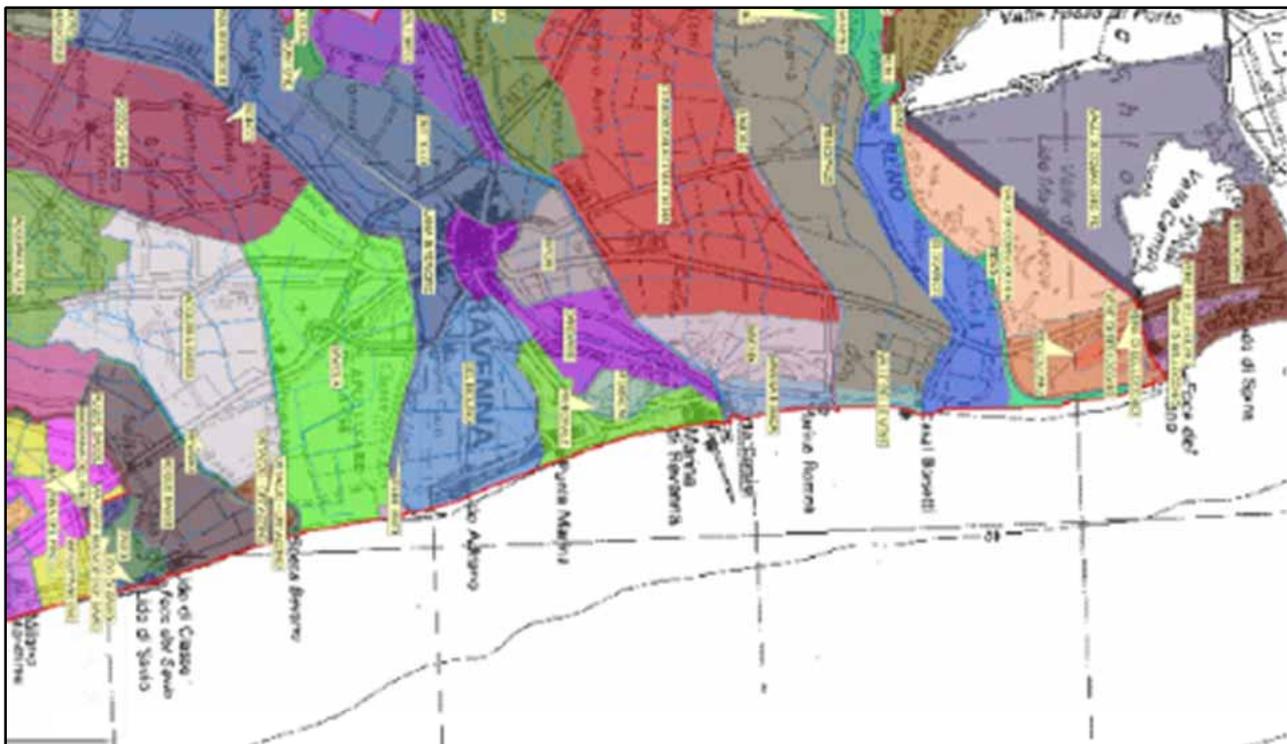


Fig.:8 Articolazione sottobacini idrici zona costiera (da Provincia di Ravenna <http://www.provincia.ra.it/Argomenti/Ambiente/Risorse-idriche>)

Numerosi corsi d'acqua appenninici, che prendono tutti origine fuori comune o fuori provincia, sfociano in mare dopo aver transitato nel territorio comunale di Ravenna. Si tratta del Reno, del Lamone, del Montone e del Ronco (che a sud del capoluogo sono stati fatti confluire a formare i Fiumi Uniti), del Bevano e del Savio. Complessivamente i bacini idrografici sottesi da tali corsi d'acqua hanno una superficie notevolmente maggiore (circa 7100 kmq) sia rispetto a quella del comune che a quella dell'intera provincia di Ravenna; durante gli episodi di piena improvvisa infatti le limitate sezioni degli alvei di pianura contengono a fatica le elevate portate fluenti.

Trattandosi di un territorio interamente pianeggiante tali corsi d'acqua nei secoli scorsi sono stati contenuti entro alte e consistenti arginature, fino a 12 m da piano campagna, per impedire che venissero allagate le zone circostanti. In molti casi si hanno tratti ad alveo pensile, in cui si hanno sensibili dislivelli tra il livello medio del pelo libero dell'acqua ed il piano campagna nei territori limitrofi.

Le direzioni prevalenti di scorrimento sono da sudovest, così come determinato dalla esposizione predominante del versante appenninico romagnolo, mentre nel tratto terminale verso il mare l'orientazione degli alvei tende a disporsi da ovest verso est.

Il regime caratteristico dei corsi d'acqua di questa zona si manifesta con piene rapide e consistenti nei giorni particolarmente piovosi dei periodi autunnali e primaverili, e magre notevoli negli inverni particolarmente aridi ed'estate.

Oltre ai corsi d'acqua naturali esiste una fittissima rete di canali artificiali, costruiti e tenuti in efficienza dai consorzi di bonifica, nei quali confluiscono tutte le acque di scolo dei territori tra un fiume e l'altro, e dove i livelli idrici sono costantemente regolati da numerosi impianti idrovori. La quasi totalità del territorio comunale, tranne una ristretta fascia a nord nei pressi delle Valli di Comacchio e a sud tra il Fiume Savio e lo Scolo Cupa, rientra nelle competenze del Consorzio di Bonifica della Romagna, che gestisce l'attività di bonifica e di irrigazione oltre a provvedere alla vigilanza e alla manutenzione delle opere connesse.

Nel territorio comunale insistono anche numerosi specchi d'acqua e zone umide, tra cui le Valli di Comacchio, di Punte Alberete, la Valle delle Canne, alcune grosse cave e le zone delle Piassasse. Complessivamente queste zone umide coprono una notevole superficie del territorio ed in alcuni casi rientrano in zone di parco naturale (cfr. § 1.2). Infine va menzionato il Canale Candiano, scavato nel 18° secolo al fine di migliorare e potenziare i collegamenti per il trasporto marittimo della città, che costituisce una fondamentale via d'acqua tra il mare ed il Porto interno di Ravenna.

Una menzione particolare merita il fenomeno della subsidenza (cfr. § 2.2), che nella zona della pianura ravennate è particolarmente intenso sia per l'emungimento di acqua dal sottosuolo e, in misura più localizzata, per la coltivazione dei giacimenti di gas. Negli ultimi 30-40 anni il territorio Ravenna ha subito, nel suo insieme, significativi abbassamenti, specialmente nell'area della zona industriale, dove è più alta la concentrazione di pozzi. Specialmente nei primi anni '70 le velocità di abbassamento sono state anche molto elevate, fino ad alcuni cm/anno, mentre attualmente tali valori si sono molto ridotti, per l'applicazione di una serie di misure e di provvedimenti volti ad un più razionale sfruttamento delle risorse sotterranee, non arrivando tuttavia ad annullarsi completamente, anche per la presenza, oltre ad alcuni giacimenti ancora attivi, di un inevitabile seppur limitato fenomeno naturale di abbassamento del terreno.

Complessivamente il fenomeno della subsidenza ha provocato variazioni negative di quota che vedono oggi numerose aree poste al di sotto del livello medio mare.

Per quanto concerne, più nello specifico, la zona più strettamente costiera, questa compresa nel suo insieme tra la foce del fiume Reno e quella del Savio, presenta una netta orientazione in senso NO-SE (330° a Tagliata e 0° a Porto Corsini) ad andamento leggermente concavo. Decisamente più articolata si presentava agli inizi del '900 (Fig. 9), e mantentasi poi sino all'incirca al secondo dopoguerra, quando le foci dei corsi d'acqua appenninici che ne interrompono la continuità (Reno, Lamone, F.mi Uniti, Bevano e Savio) presentavano ancora evidenti testimonianze di cuspidi sedimentarie che si protendevano a mare. Cuspidi oggi pressoché totalmente smantellate ed interessate da marcati processi erosivi nelle aree circostanti

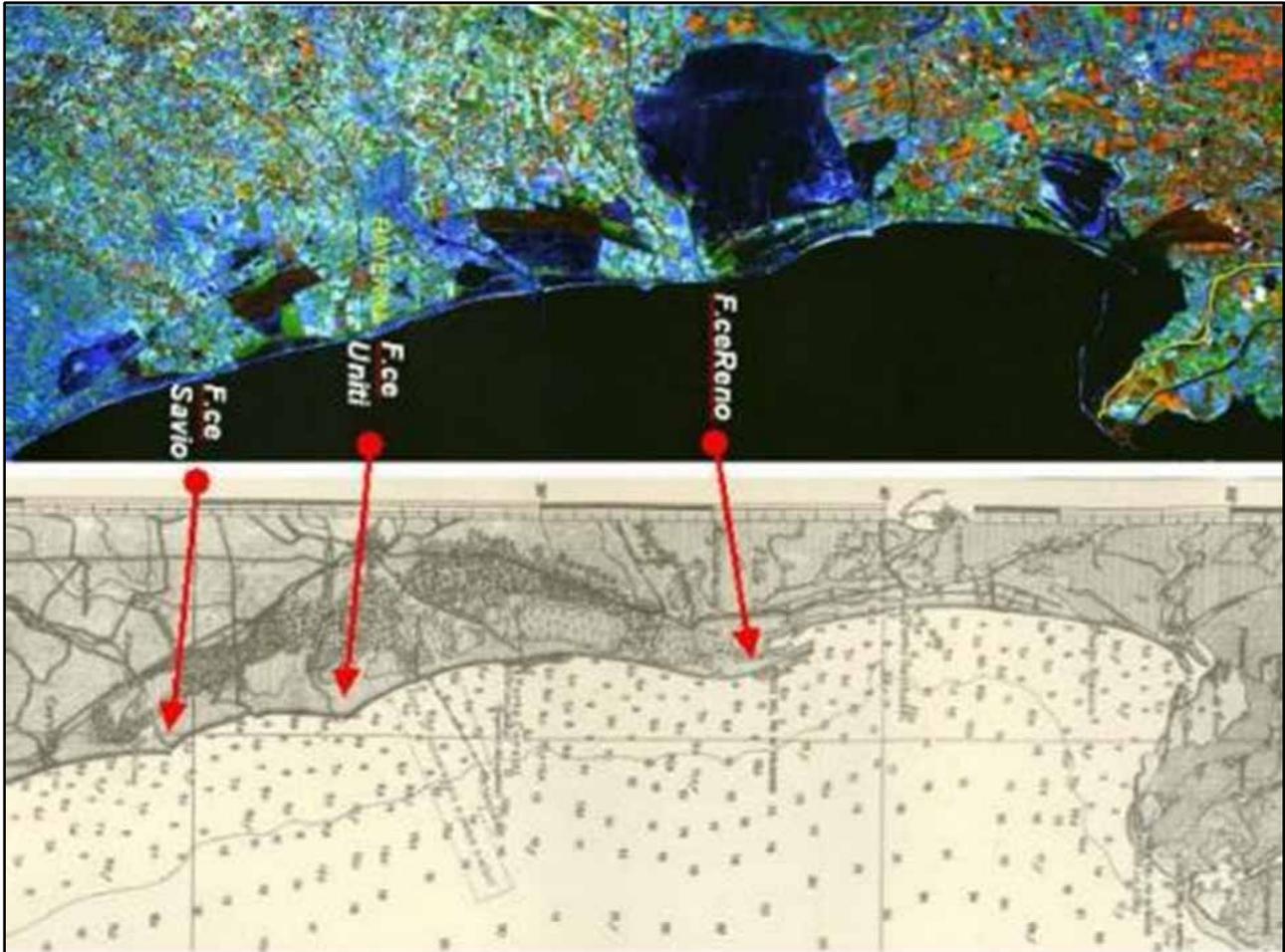


Fig.9 – Profilo della costa ravennate nel 1911 con evidente sviluppo delle cuspidi sedimentarie che caratterizzavano l'apparato focale dei principali fiumi della locale rete idrografica. Cuspidi che testimoniano l'ancora significativo apporto a mare di sedimenti utili alla progradazione del territorio verso mare .

La costa non presenta particolari articolazioni morfologiche naturali (baie, insenature, ecc.) e la sua morfologia, ovunque bassa, piatta ed a debole acclività verso mare, è caratterizzata dalla presenza, pressoché continua per gli oltre 40 Km del suo sviluppo, da spiagge sabbiose che ricoprono materiali limoso-argillosi corrispondenti a più antichi depositi palustri e alluvionali. In prossimità della spiaggia lo spessore delle sabbie attuali non supera in genere una decina di metri ed esse, con classica geometria cuneiforme, tendono ad annullarsi sui fondali posti ad una profondità inferiore ai 10 m

Sempre la zona più strettamente costiera evidenzia ancora tracce di una recente evoluzione del tipo "sistema barriera- laguna" (Fig. 10), con particolare valenza del sottosistema "spiaggia-duna"; un articolato sistema dove agiscono diacronicamente dinamiche talora molto diverse tra loro in cui la sempre maggiore azione antropica ha indotto marcati disequilibri.

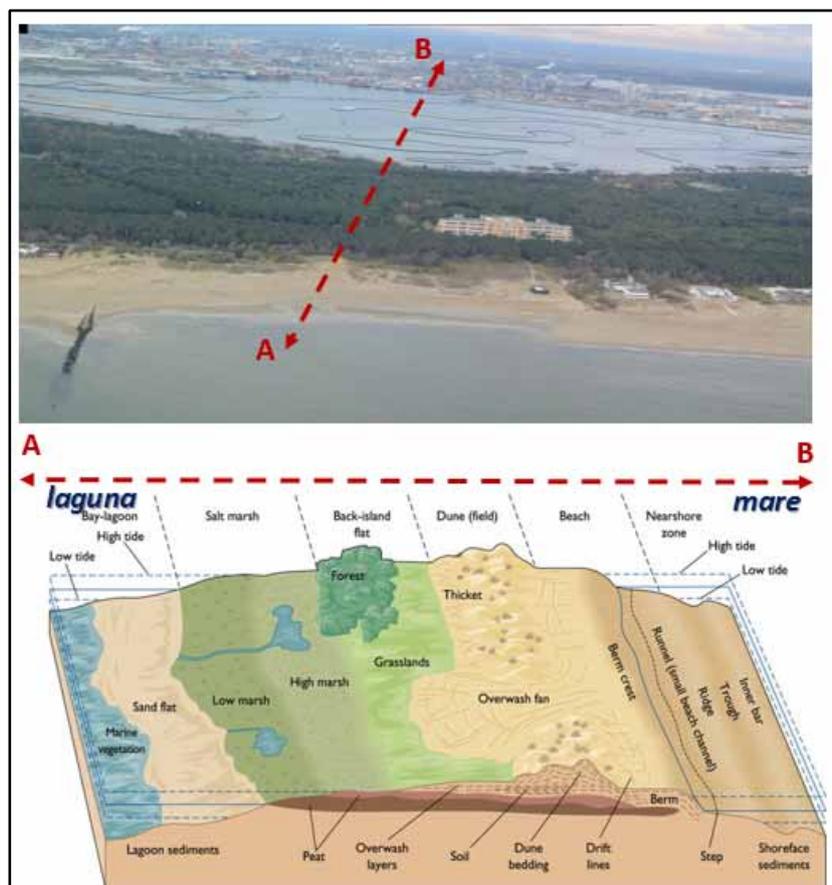


Figura 10 – Schematica rappresentazione di un tipico sistema barriera- laguna rapportato alla zona circostante la Piailassa dei Piomboni

In base alla classica suddivisione adottata da Wright e Short (1983) per caratterizzare dinamicamente sistemi simili, che si basa su un continuo di "states" morfologici associati ad un determinato livello energetico dell'ambiente litorale, la costa ravennate può considerarsi di tipo "dissipativo": un litorale caratterizzato cioè da un modesto gradiente topografico e da una vasta zona di "surf" delimitata inferiormente dalla linea più esterna dei frangenti e superiormente dal limite di "uprush" delle onde sulla battigia.

In questo contesto diverse funzioni positive sono rivestite dal residuo apparato dunoso che la borda le spiagge verso l'interno. Dune con la duplice funzione di proteggere l'entroterra da mareggiate, o comunque da eventi di acqua alta, e di fungere da serbatoio naturale di materiale nella stagione invernale quando il regime del moto ondoso determina una situazione erosiva ovvero di "perdita di sabbie". Oggi, in particolare, questi allineamenti dunari sono stati però in larga parte distrutti (Fig. 11) per lasciare spazio ad attività turistico-ricreative, abitative e/o commerciali e, come ovvio, questa politica di "valorizzazione economica" dell'area costiera, iniziata negli anni '60, ha portato ad una profonda alterazione del patrimonio paesaggistico ed ambientale con riduzione e degrado degli arenili così come a gravi problemi di esondazione costiera.

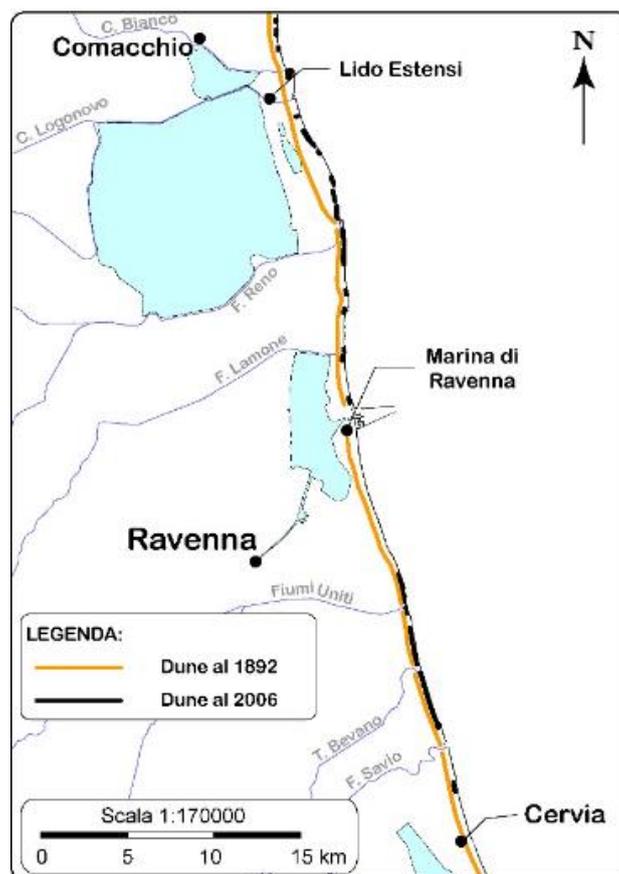


Figura 11 – Schematica sintesi della negativa evoluzione subita dal cordone dunoso ravennate tra il 1892 ed il 2006.

Le uniche formazioni dunose di una certa rilevanza per dimensioni e forma si rilevano in corrispondenza di tratti di spiaggia libera. Negli altri casi, edifici costruiti a ridosso della spiaggia, costruzioni abusive, stabilimenti, spianamenti dell'arenile e un alto grado di disturbo antropico hanno portato ad una fortissima alterazione del sistema spiaggia-duna. Il rapporto stabilimenti balneari-duna è dappertutto molto precario ed ogni anno vengono aggiunti passerelle, campi da gioco, gazebo con costruzioni rigide in legno, ecc, che assieme tendono sempre più a trasformare le dune residue in insula completamente a se stanti e prive ormai di qualsiasi funzione di difesa e di "serbatoi" di sedimenti.

Le distruzioni più pesanti e pericolose sono naturalmente avvenute a spese delle dune vive che in quasi tutti i casi, ad esclusione di quelle del Bevano, risultano assottigliate, abbassate ed intaccate da frequenti e grandi varchi o un inconcepibile intreccio di sentieri di calpestio anche nelle zone teoricamente salvaguardate (RNS, SIC/ ZPS, ecc).

Ovviamente, queste distruzioni si ripercuotono a catena anche sulle aree retrodunali dove si registrano significativi fenomeni di deperimento della vegetazione. Naturalmente è diffusamente compromessa anche la capacità di difesa dalle esondazioni in occasione di mareggiate e in molti tratti il litorale è potenzialmente esposto a possibili ingressioni di acqua o, nella peggiore delle ipotesi, gli stabilimenti si ritrovano ormai pressoché in mare e sottoposti a pressoché irrimediabile erosione. In estrema sintesi, le principali cause della degradazione delle dune litoranee presenti nell'area possono essere quindi così riassunte :

- Massiccia pressione antropica e turistica;
- Costruzione di strade e sentieri di accesso a ridosso dell'arenile e nel retroduna, spesso utilizzati anche come parcheggio;
- Estrazione di acqua dal sottosuolo con abbassamento della falda freatica;
- Rilascio di immondizia e una cattiva pulizia della spiaggia;
- Confinamento dei cordoni dunosi tra infrastrutture rigide.
- Calpestio indiscriminato spesso solo per raggiungere la spiaggia.

1.2. Valenze naturalistico- ambientali dell'area costiera

Oltre ad un consistente patrimonio di variegata valenza naturalistica (boschi, aree umide, corridoi ecologici e molteplici ambiti di tutela e valorizzazione naturalistica (AVN) corredate da specifiche Linee Guida (http://www.poc.ra.it/nl/poc_link_3235.mn; http://www.poc.ra.it/nl/poc_link_3288.mn) il territorio del Comune di Ravenna fa registrare la presenza di numerose aree protette a vario titolo (Parco Regionale, Riserve Statali, SIC/ ZPS, ecc) variamente distribuite lungo la zona costiera (Fig. 12). Tra queste spiccano le porzioni prossime alle spiagge del **Delta del Po emiliano-romagnolo** e le Riserve Statali della **Duna costiera di Porto Corsini** e della **Foce del Fiume Reno**.

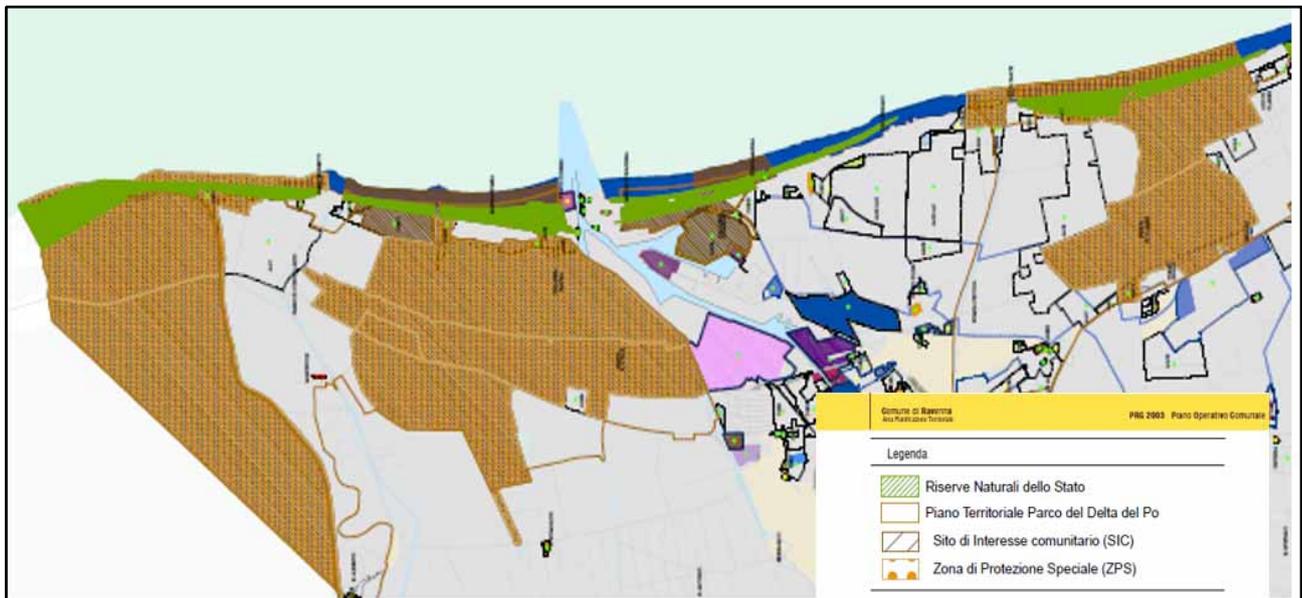


Figura 12- Schematica distribuzione delle aree protette di primaria valenza presenti lungo l'area costiera ravennate-

Gran parte di queste aree protette coincidono (o hanno estensione addirittura maggiore) con i siti SIC/ ZPS della Rete Natura 2000 (<http://ambiente.regione.emilia-romagna.it/parchi-natura2000/rete-natura-2000/siti/siti-per-provincia/ravenna>) il cui sviluppo, vale ricordarlo ai fini dell'esame in corso, si estendono per tutto l'arenile e proseguono in parte anche negli antistanti fondali della spiaggia sottomarina superiore e di cui la Fig. 13 è un esempio.

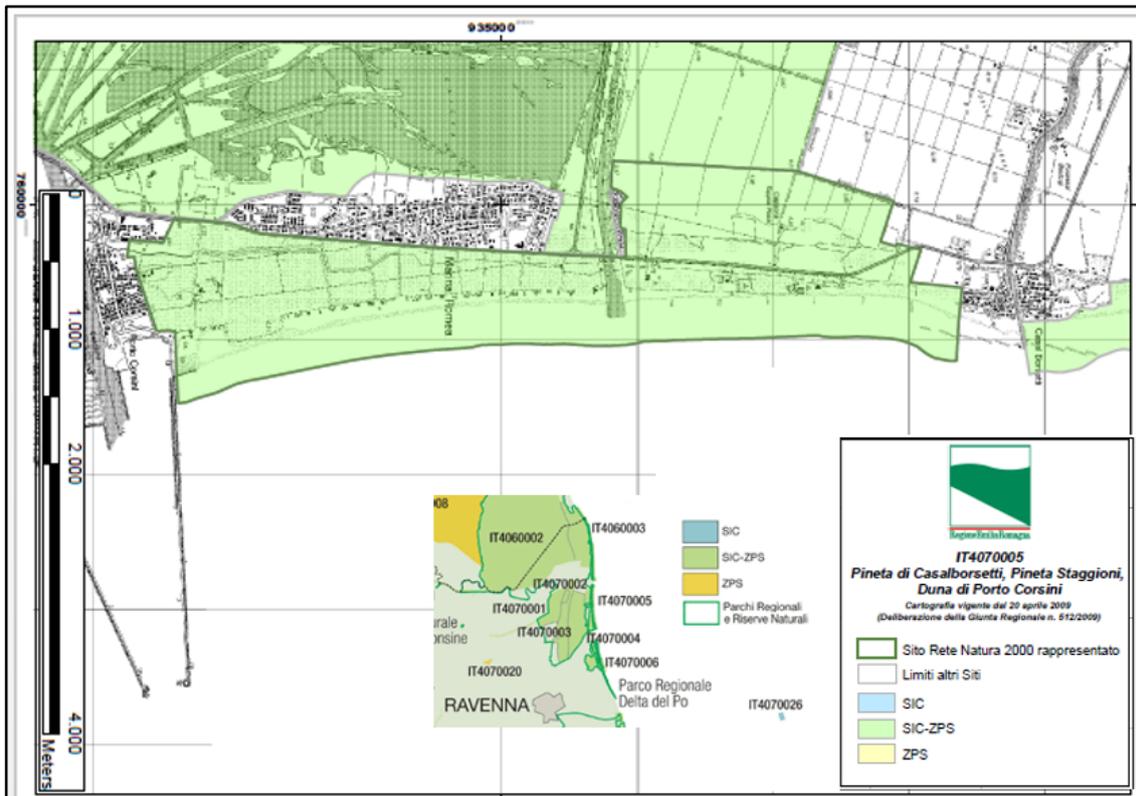


Figura 13 –Da notare nell'esempio l'estensione a mare prevista per i siti costieri Natura 2000-

Si segnala poi come, immediatamente al retro del sistema dunoso attuale presente nell'area, si assiste ancor oggi alla significativa presenza e sviluppo del recente ed artificiale impianto pinetale, da non confondere con le più interne "Pinete Storiche ravennati" di San Vitale e Classe, che borda lunghi tratti del sistema dune- spiaggia (Fig14).

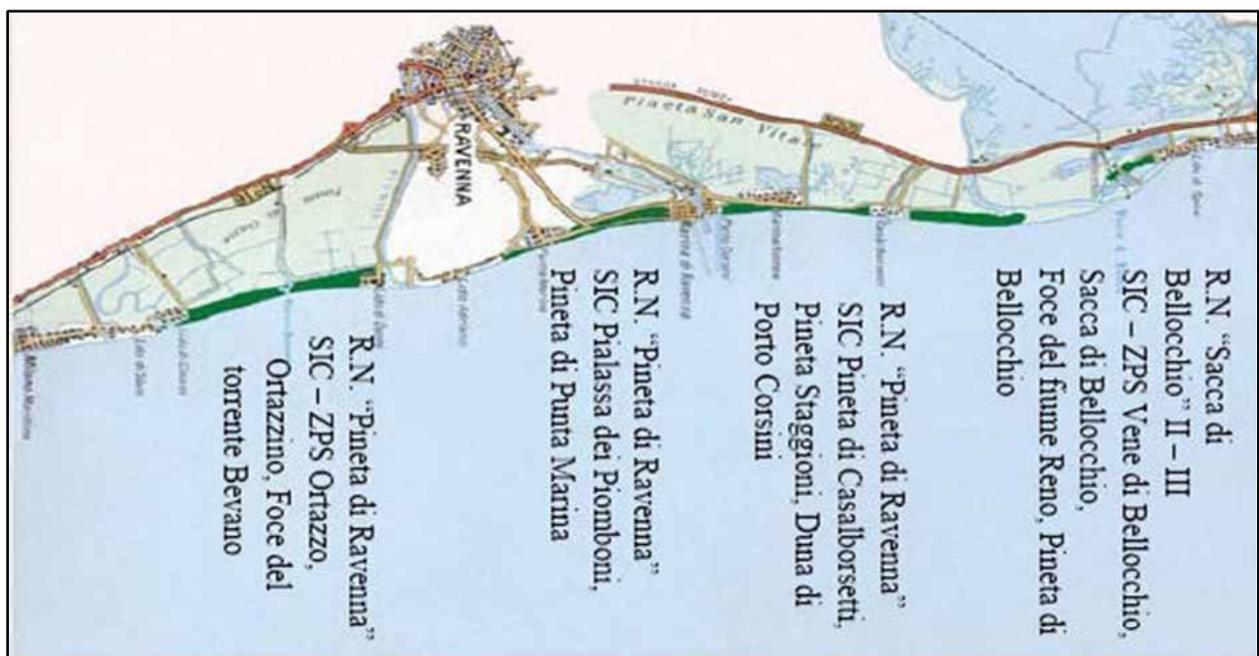


Figura 14- Schematica ubicazione ed identificativo delle Pinete Costiere ravennati

Come ben descritto nella pubblicazione edita sull'argomento, a seguito di un progetto EU- Life del 2004, da parte del Corpo Forestale dello Stato (http://www.google.it/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&ved=0CCIQFjAA&url=http%3A%2F%2Fwww.corpoforestale.it%2Fflex%2Fcm%2Fpages%2FServeAttachment.php%2FL%2FIT%2FD%2FD.31a9dac724ae702f78d6%2FP%2FBLOB%253AID%253D1144&ei=itWLVZ_zDYuwUf38sKgF&usq=AFQjCNFcjAnVlo3FkL6WlihpXO0wqVsMJA&bvm=bv.96782255.d.d24&cad=rja), a cui si rimanda per più dettagliate e precise informazioni: " ... *Le origini dei popolamenti forestali del litorale emiliano-romagnolo si possono considerare relativamente recenti; all'inizio del secolo scorso, infatti, molti terreni demaniali litoranei ubicati nelle province di Forlì (oggi Forlì-Cesena), Ravenna e Ferrara furono soggetti ad interventi di rimboschimento attraverso i quali iniziò una massiccia opera di impianto di essenze forestali (pini mediterranei) nei terreni demaniali con finalità protettive e produttive... La pineta demaniale di Ravenna è costituita da una fascia costiera, della superficie complessiva di circa 700 ettari, che si estende per quasi tutto il litorale ravennate con una lunghezza prossima ai 30 chilometri ed è suddivisa, secondo l'aggregazione di porzioni di bosco, in sette sezioni (da Nord verso Sud, sezioni Casal borsetti, Staggioni, Piomboni, Raspona, Ramazzotti, Savio, Pinarella)... L'origine della pineta demaniale di Ravenna risale alla seconda metà del XIX secolo; il nucleo più antico risale infatti all'anno 1882, quando fu rimboschita una superficie di circa 37 ettari, su un territorio di terreni demaniali di 117 ettari circa denominati "Lo staggione", in comune di Ravenna... La pineta demaniale iniziò però ad acquisire cospicue porzioni di terreno a partire dall'inizio del 1900... per protrarsi poi sino al secondo dopoguerra... All'inizio degli anni '60, molti terreni vennero ceduti in permuta a società e privati (ciò anche sotto la spinta dell'edificazione nelle zone litoranee), cosicché la superficie si ridusse a poco più di 1050 ettari, di cui 850 boscati (Jedlowski, 1964). Con il passaggio alle regioni di gran parte del demanio forestale dello Stato, avvenuto in applicazione del D.P.R. 616/77, non si è avuta una significativa variazione della superficie amministrata, in quanto sono state trasferite alla regione Emilia-Romagna solo piccole porzioni di terreno. L'intera zona boscata, unitamente a poche zone umide e terreni dunosi inclusi, è stata posta sotto tutela nell'anno 1977 con l'istituzione della Riserva Naturale "Pineta di Ravenna" (Decreto Ministeriale del 13 luglio 1977) ed è attualmente gestita dal Corpo Forestale dello Stato – Ufficio Territoriale per la Biodiversità con sede in Punta Marina Terme, Ravenna.*

Tale sistema boschivo viene ovviamente considerato di notevole valenza "naturalistico-paesaggistica" oltre che, almeno in parte, funzionale poiché, sempre come definito sulla citata pubblicazione "... Le indagini conoscitive dei diversi settori disciplinari (vegetazione, fauna, selvicoltura, patologia) concordano sull'opportunità di proporre una gestione delle pinete orientata alla conservazione degli habitat di particolare valore per la fauna e per la flora, nell'ottica di un progressivo aumento della biodiversità e della stabilità dell'ecosistema forestale attraverso la rinnovazione naturale. La gestione tradizionale delle superfici rimboschite tramite interventi volti al mantenimento della copertura arborea per massimizzare la funzione protettiva del bosco, sia pure assecondando l'evoluzione in senso mesofilo del soprassuolo con l'introduzione di nuove specie, va integrata, alla luce delle nuove priorità in relazione alla biodiversità, con interventi mirati finalizzati ad incrementare la funzione naturalistica delle pinete. Gli indirizzi di intervento sui soprassuoli forestali, partendo dalle differenti condizioni ecologiche e strutturali delle pinete e considerando il contesto geografico in cui si collocano, cercheranno di considerare in maniera integrata i diversi aspetti che condizionano l'obiettivo di lungo periodo (aumento biodiversità e stabilità dell'ecosistema).

In merito al problema vale segnalato che nel luglio 2012 un diffuso incendio ha devastato oltre 60 ettari di vegetazione all'interno della pineta costiera "Ramazzotti" (Foce Bevano), lasciando scoperta una vasta area di paleodune. A seguito di tale distruzione il "Gruppo di Ricerca in Geoscienze/ IGRG" in Scienze Ambientali dell'Università, Campus di Ravenna, è intervenuto impostando, sempre nell'ambito del "Progetto Rigid-Ra", un campo sperimentale attrezzato per lo studio delle trasformazioni idrogeologiche presentate dalla successiva evoluzione dell'area. La scomparsa di una porzione così rilevante di vegetazione pinetale ha distrutto habitat rari e rilevanti; d'altro canto, però, diviene ora possibile studiare e monitorare sistematicamente l'evoluzione di un sistema

costiero naturale mediante una avanzata strumentazione idrogeologica. Il campo sperimentale ha compreso l'installazione, su una serie di piezometri opportunamente effettuati e distribuiti nell'area, di Multilevel samples; Sonde multiparametriche per il monitoraggio del livello e della qualità delle acque sotterranee, sensori a forchetta per il monitoraggio dell'umidità, temperatura e conducibilità elettrica del suolo. I primi risultati a due anni ormai dell'installazione permettono al momento di verificare come, rispetto alle zone circostanti, nella zona di pineta bruciata la salinità non scenda mai al di sotto dei 3 g/l se non per modestissimi spessori e che vengono rapidamente eliminati dall'effetto del drenaggio. Al contrario, nella zona di pineta bruciata, si è formata ed è presente una lente di acqua estremamente dolce (anche < di 1 g/l) che tende ad aumentare il proprio spessore tra un monitoraggio ed il successivo. Questa lente è più spessa nella porzione centrale del transetto, mentre si assottiglia avvicinandosi a mare o in prossimità dei canali di drenaggio. Le informazioni meteo disponibili evidenziano per altro come sia l'estate 2014 che il gennaio 2015 siano stati due periodi con precipitazioni al di sotto delle medie; viceversa nei restanti mesi e, in particolare, nella primavera 2015, abbia apportato un quantitativo di acqua molto elevato e probabilmente tale da giustificare il repentino aumento di volume registrato per la lente di acqua dolce in pineta bruciata. Occorre però notare come, a parità di condizioni pluviometriche e di drenaggio, non vi sia presenza di acqua dolce all'interno della pineta verde (non bruciata); tale osservazione induce ad attribuire alla vegetazione un grande effetto di "consumo" della risorsa dolce che automaticamente richiama acqua salata dalle parti più profonde dell'acquifero.

1.3. Lineamenti climatico – meteomarinari

Da un punto di vista generale l'area costiera regionale viene normalmente suddivisa in tre principali settori comunemente indicati come "climatici" e cioè: 1) **La pianura interna**: caratterizzata da un clima piuttosto continentale, con inverni rigidi ed estati calde e con mesi primaverili globalmente più caldi rispetto ai corrispettivi mesi autunnali. Frequenti, in inverno, le nebbie e le gelate notturne; 2) **La costa centro-settentrionale**: che va all'incirca dal confine nord al territorio di Bellaria-Igea Marina, si caratterizza per un clima anch'esso continentale ma caratterizzato da estati più fresche, anche se molto umide. L'umidità elevata è una costante durante tutte le stagioni dell'anno, di conseguenza le temperature minime sono spesso basse: fa eccezione per la costa ravennate dove la presenza di pinete riduce l'effetto albedo con conseguente riduzione dell'escursione termica. Nelle rilevazioni invernali e delle mezze stagioni, la Stazione meteorologica di Cervia registra sovente temperature minime fra le più basse del paese. Frequenti le nebbie da ottobre a marzo, fanno sporadiche comparse anche durante la stagione calda soprattutto nel ravennate. si ha una frequente e talvolta accentuata ventilazione, precipitazioni piuttosto ridotte specie nelle zone più a nord e un'accentuata mitigazione termica. E' il particolare regime termico a caratterizzare questa zona di pianura costiera: sebbene le temperature medie siano poco diverse da quelle della zona interna, tuttavia viene sensibilmente ridotta l'escursione termica diurna giornaliera, soprattutto nei mesi invernali. La maggiore lontananza dalle catene montuose comporta una quasi completa esposizione ai venti, fatta eccezione per una debole protezione alle correnti libecciali da sud-ovest dovuta all'Appennino. Caratteristici dei mesi invernali ed in parte delle stagioni intermedie sono lo scirocco, un vento caldo ed umido proveniente da sud-est e la bora, un vento freddo e asciutto che spira da nord-est ed è responsabile dei rari periodi di gelo. Nel periodo estivo prevale il regime delle brezze che permette la mitigazione del caldo afoso. I movimenti più frequenti delle masse d'aria e la maggiore circolazione di venti anche a bassa quota sono responsabili inoltre di una minore persistenza delle nebbie; 3) **La costa meridionale**, che va da Rimini al confine sud, si differenzia climaticamente per la chiusura della pianura padana all'incirca in corrispondenza del

territorio di Rimini; fattore che diminuisce i caratteri di continentalità e accentua la ventilazione. Da ciò deriva in parte che in ogni stagione dell'anno si ha un innalzamento delle temperature minime poiché viene a mancare l'azione di raffreddamento esercitata dalla pianura. Il carattere sub-continentale rimane comunque presente e comporta nebbie invernali e afa estiva. Da segnalare il frequente arrivo di venti meridionali che allo sbocco degli inserti vallivi, non incontrando l'ostacolo freddo della pianura, provocano fenomeni di marcata valenza microclimatica.

Per quanto riguarda, più in particolare, la zona più strettamente ravennate i dati Arpa-SM regionale (http://www.arpa.emr.it/dettaglio_documento.asp?id=1109&idlivello=64) relativi alle stazioni di Cervia e P.ta Marina ed al loro confronto su Ferrara, evidenziano come precipitazioni cumulative e le temperature medie mensili rilevate permettono di delineare un generale quadro meteo-climatico stagionale così sostanzialmente caratterizzabile:

- la caratteristica piovosità della stagione invernale è correlabile con la frequente presenza di aree depressionarie che si ricostituiscono sul versante adriatico, provenendo dal golfo Ligure;
- la maggiore piovosità in primavera rispetto all'inverno è dovuta anche alla formazione di depressioni di sottovento che innescano correnti di bora e condizioni favorevoli ad attività temporalesca;
- la stagione estiva è caratterizzata da deboli gradienti barici, temperature elevate, correnti a regione di brezza e scarsa piovosità, legata essenzialmente ad attività temporalesca;
- la piovosità autunnale è da attribuire alle depressioni che si succedono in questa zona. Questa stagione è caratterizzata da precipitazioni la cui intensità viene mitigata dall'azione protettrice degli Appennini.

Per più precise e specifiche valutazioni, anche numeriche, si rimanda ai dedicati siti meteorologici regionali quali: http://www.arpa.emr.it/sim/?osservazioni_e_dati/climatologia; <http://www.arpa.emr.it/sim/?clima>; http://www.arpa.emr.it/sim/?osservazioni_e_dati/climatologia; http://www.arpa.emr.it/dettaglio_documento.asp?id=3026&idlivello=32

Soprattutto per quanto concerne il contesto in esame diviene però indispensabile precisare e conoscere, rispetto a quanto sopra, l'importanza ormai assunta, anche a livello pianificatorio-gestionale, da una chiara suddivisione della terminologia da adottare correttamente circa le sostanziali differenze che intercorrono tra "clima" e "meteorologia". Ciò soprattutto al fine di meglio comprendere come gran parte delle indicazioni e valutazioni legate ai "regimi climatici o meteomarini" che vengono qui espressi ed utilizzati nel contesto di una analisi dell'evoluzione costiera (sostanzialmente di medio- lungo termine) vanno inquadrati in un insieme di indicazioni derivanti da "serie storiche significative (temperatura, piovosità, ecc) "che possano rappresentare, anche a livello di scenari futuri, una possibile media delle caratteristiche ambientali e tipiche della zona in esame.

In quest'ottica va allora sempre considerato come le due discipline (clima e meteorologia), la cui nascita e sviluppo hanno avuto spesso punti di contatto, si occupano di fenomeni che avvengono su scale temporali e spaziali assai diverse tra loro e, di conseguenza, i due termini non vanno mai letti ed interpretati come sinonimi.

Per METEOROLOGIA si intende infatti il risultato della rapida evoluzione (nascita, sviluppo e decadimento) di sistemi atmosferici (ad esempio, le alte e le basse pressioni, i fronti associati, le piogge e i cicloni, ecc). La possibilità di previsione delle "condizioni meteo" è limitata (da pochi giorni a qualche settimana al massimo).

Per contro, per CLIMA si intende lo "stato medio del sistema accoppiato oceano-atmosfera, mediato su diversi anni". Il sistema è irregolare e possiede una variabilità intrinseca naturale che è funzione

del tempo. Cambia a livello da decadale a secolare e millenario, sino a variazioni su periodi molto più lunghi (sino a quelli "geologici", come nel caso, ad esempio, quanto evidenziato dalle "Glaciazioni"). Il Clima determina molte caratteristiche ambientali a cui, in ciascuna e specifica fascia climatica, si associano ambienti simili (biomi; es. foreste pluviali, deserti, foreste temperate, steppe, taiga, tundra e banchisa polare, ecc). Il clima influenza fortemente anche le attività economiche, le abitudini e la cultura delle popolazioni che abitano il territorio. La caratteristica principale del clima rispetto al comune "tempo meteorologico" è, oltre all'intervallo temporale di osservazione, l'aver un andamento che tende a mantenersi stabile nel corso degli anni pur con una variabilità climatica inter-annuale dovuta alle stagioni e di medio-lungo periodo che vi si sovrappone.

L'attenzione scientifica negli ultimi decenni si è spostata sempre più sulla comprensione o ricerca approfondita dei meccanismi che regolano il clima terrestre, specie in rapporto ai temuti cambiamenti climatici osservati negli ultimi decenni. La disciplina scientifica che studia tutti questi aspetti è la CLIMATOLOGIA.

In quest'ottica, l'Organizzazione Meteorologica Mondiale (WMO) ha stabilito che la durata minima delle serie storico-temporali di dati continui ed utili per poter delineare e definire le caratteristiche climatiche di una data località sono da valutare a partire da minimo 30 anni. Risulta infatti evidente come il clima di una regione, sebbene mostri una certa regolarità nel tempo, possa essere soggetto a cambiamenti temporali, anche con periodi relativamente "corti" e comparabili con la durata media della vita umana; succede quindi abbastanza di frequente che una persona, nella sua vita, si trovi a sperimentare dei cambiamenti climatici di basso grado (da decadali a secolari; <https://it.wikipedia.org/wiki/Clima>).

In questo contesto vengono dunque ad assumere particolare importanza gli studi di 'analisi climatica' delle "serie storiche" che evidenziano i trend e le ciclicità statistiche delle grandezze meteorologiche osservate, ovvero le anomalie e le regolarità dei parametri rispetto alla media del periodo di riferimento (hanno scarso senso climatico invece le analisi di breve periodo riferite a singoli eventi meteorologici in quanto rientranti invece nella comune variabilità meteorologica). Seguono poi in genere gli studi di attribuzione delle cause dei cambiamenti climatici stessi. Un esempio delle possibile variazione di scala del clima secondo livelli temporali più vicine all'uomo o, meglio, alla "memoria" che ne viene/ dovrebbe essere mantenuta, è sintetizzato in Fig.15. I dati disponibili a livello mondiale e regionale evidenziano infatti come:

a) Il riscaldamento medio globale misurato dal 1860 è pari a circa 1 °C, mentre dall'inizio del '900 risulta di 0,6 °C, con un'incertezza di $\pm 0,2$ °C. Si tratta di valori che non hanno uguali nell'ultimo millennio. Gli anni '90 sono stati i più caldi del millennio, con il 1998 e il 1997 piazzati rispettivamente al primo e al secondo posto di questa classifica. Il tasso attuale di riscaldamento alla superficie è pari a 0,15 gradi per decennio. Questo riscaldamento viene confermato su tutto lo spessore dei primi ottomila metri di atmosfera ed è riscontrabile a tutte le scale, dalla scala mondiale, a quella europea, fino alla scala regionale (Fig. 15).

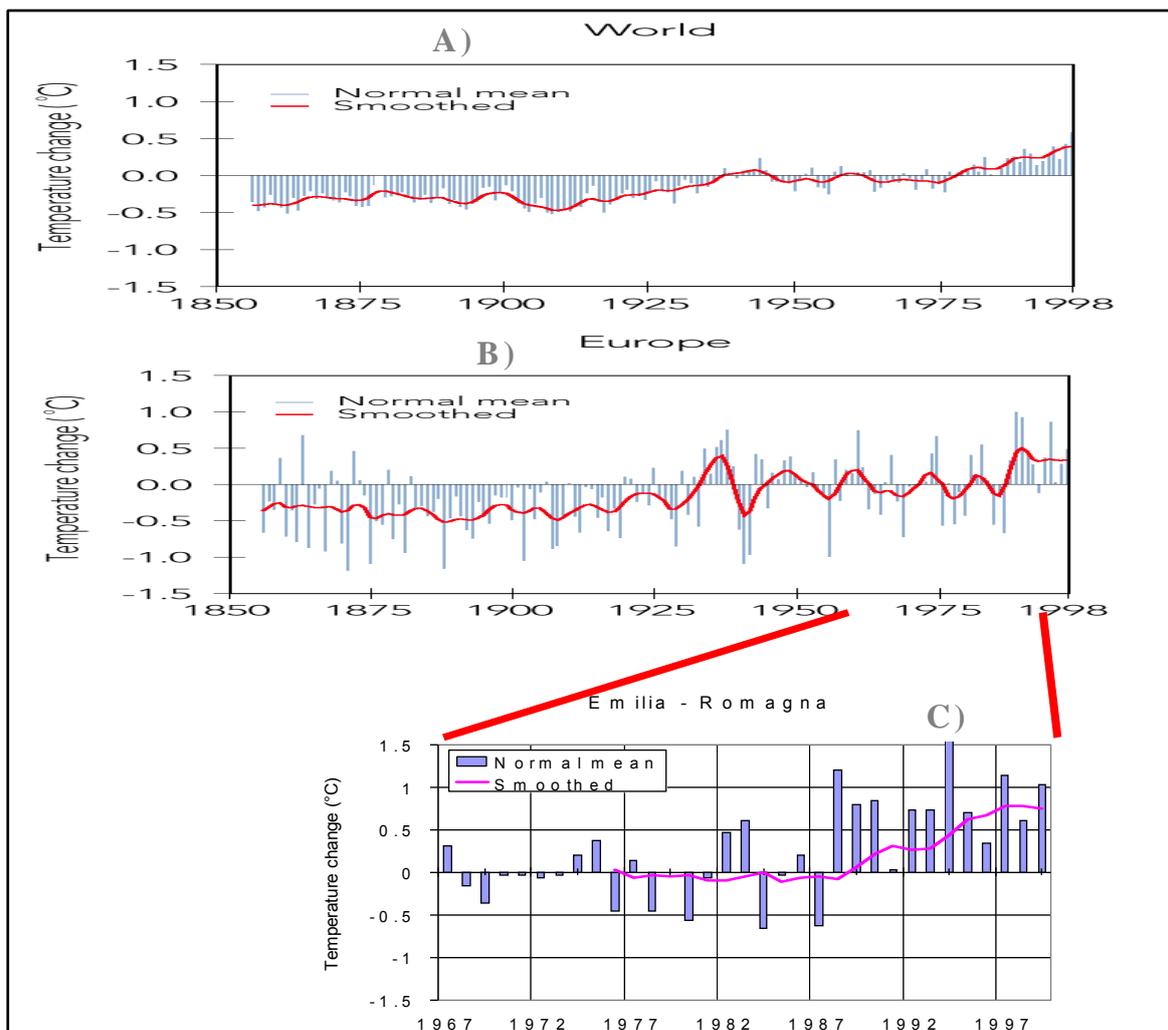


Fig. 15. Variazione della temperatura media annuale misurata nelle stazioni di rilevamento al suolo e mediata alla scala globale (a) europea (b) e dell'Emilia Romagna (c). *Fonti: A, B) EEA, 1998; C) Regione Emilia - Romagna, 2000.*

Un simile aumento delle temperature si è osservato anche sul territorio italiano. Ad esempio, come emerge da uno studio realizzato presso il Servizio Meteorologico dell'Arpa Emilia-Romagna limitato al Nord Italia (Cacciamani e al., 2001), durante gli ultimi quarant'anni si è rilevata una tendenza molto significativa all'aumento delle temperature, con un tasso di circa $+0,03^{\circ}\text{C}/\text{anno}$, che risulta superiore a quello medio sia a scala globale che europea. In particolare, alla scala continentale europea, pur con delle differenze anche talvolta elevate, la maggior parte delle aree hanno mostrato degli aumenti di temperatura sino a $0,8^{\circ}\text{C}$ in media in questo secolo (Schoenwiese e al., 1994). L'aumento non sembra essere continuo su tutto il secolo ma appare invece un aumento sino al 1940, poi una flessione sino al 1970 e successivamente un drastico nuovo aumento dagli anni '70 ad oggi. Queste caratteristiche sono evidenti maggiormente alle medie ed alte latitudini. Durante gli anni '90 il riscaldamento è stato molto elevato, con aumenti variabili tra $0,25$ e $0,5^{\circ}\text{C}$ in soli dieci anni. Oltre a fare più caldo di giorno fa anche sempre meno freddo di notte: infatti nell'ultimo secolo l'aumento delle temperature minime è risultato pari al doppio di quello delle temperature massime. Così nel nostro emisfero è in atto un accorciamento della stagione fredda, con la conseguente riduzione dell'innevamento e un forte regresso della superficie dei ghiacciai sia sulle montagne sia nell'Artide, dove lo spessore della calotta polare risulta diminuito del 40%;

b) **Precipitazioni:** nel corso degli anni '90 si è osservato mediamente un aumento delle precipitazioni alle latitudini elevate (tra lo 0,5 e l'1 % per decennio), e una riduzione alle medie e basse latitudini (-0,3 / -0,5 % per decennio). In Europa centrosettentrionale, buona parte dell'aumento delle precipitazioni annuali sembra derivare da un aumento delle stesse durante la stagione invernale e primaverile. Sembrano essere invece diminuite le precipitazioni durante la stagione estiva (Bradley, 1987). Sul Bacino del Mediterraneo, in particolare, sembra assai evidente e significativa la diminuzione delle precipitazioni durante tutte le stagioni a partire dalla fine degli anni 50 ad oggi (Piervitali e al., 1998). La barriera orografica costituita dalle Alpi sembra in grado di differenziare la tendenza delle precipitazioni che risulta in aumento nell'Europa continentale (a nord delle Alpi) e in diminuzione nell'Europa mediterranea. Oltre che come quantità totale, le piogge sembrano aver cambiato anche le modalità con cui si verificano: nelle regioni tropicali e subtropicali si denota un aumento dei giorni con pioggia intensa ed una riduzione del numero di giorni piovosi. Alle medie ed elevate latitudini la frequenza delle piogge intense è aumentata dal 2 al 4%. Per quanto riguarda l'Italia, è stato osservato un aumento significativo del numero di giorni fortemente piovosi (più di 25 mm al giorno) e la diminuzione di quelli con pioggia debole (meno di 25 mm).

Le conseguenze dirette di questo andamento sono: da una parte la maggiore incidenza delle situazioni di alluvione causate da forti piogge (ad esempio i cosiddetti "flash flood" che in questi ultimi anno hanno colpito ripetutamente anche la RER oltre che il territorio nazionale e su questo naturalmente incide non solo il carattere della pioggia ma anche la gestione del territorio); dall'altra, una progressiva tendenza alla desertificazione, causata da periodi asciutti sempre più prolungati a fronte di un maggior consumo di acqua da parte della vegetazione, conseguente all'aumento delle temperature;

c) **Eventi estremi:** si assiste ad un incremento significativo nei cosiddetti "eventi estremi" (onde di calore, trombe d'aria, rovesci e temporali, ecc)

Da un punto di vista generale si prevede che le precipitazioni complessive non diminuiranno sensibilmente rispetto all'attuale ma probabilmente si avrà un diversa distribuzione nell'arco dell'anno con un aumento della frequenza di intensi e brevi eventi stagionali. Le tendenze evidenziano anche un aumento della frequenza e dell'intensità di fenomeni estremi (quali siccità, onde di calore, ecc) ed altri fenomeni meteorologici particolarmente violenti (tipo trombe d'aria, burrasche, ecc).

Per quanto riguarda infine il previsto innalzamento relativo del livello del mare i dati disponibili per l'Adriatico elaborati da APAT (2007) e "Centro Maree di Venezia (<http://www.comune.venezia.it/flex/cm/pages/ServeBLOB.php/L/IT/IDPagina/1748>)", stimano che attualmente il "livello medio mare/LMM" risulta di quasi 30 cm più alto di quello di oltre un secolo fa circa (Figura 2.17). Valori che, unitamente a quelli registrati dal mareografo di Trieste (il più antico attivato in Italia), sembrano indicare per il futuro lo sviluppo di uno scenario probabilistico che, entro il secolo, potrebbe portare il LMM a valori compresi tra un minimo di +20 ed un massimo di + 48 cm circa rispetto all'attuale (Fig. 16).

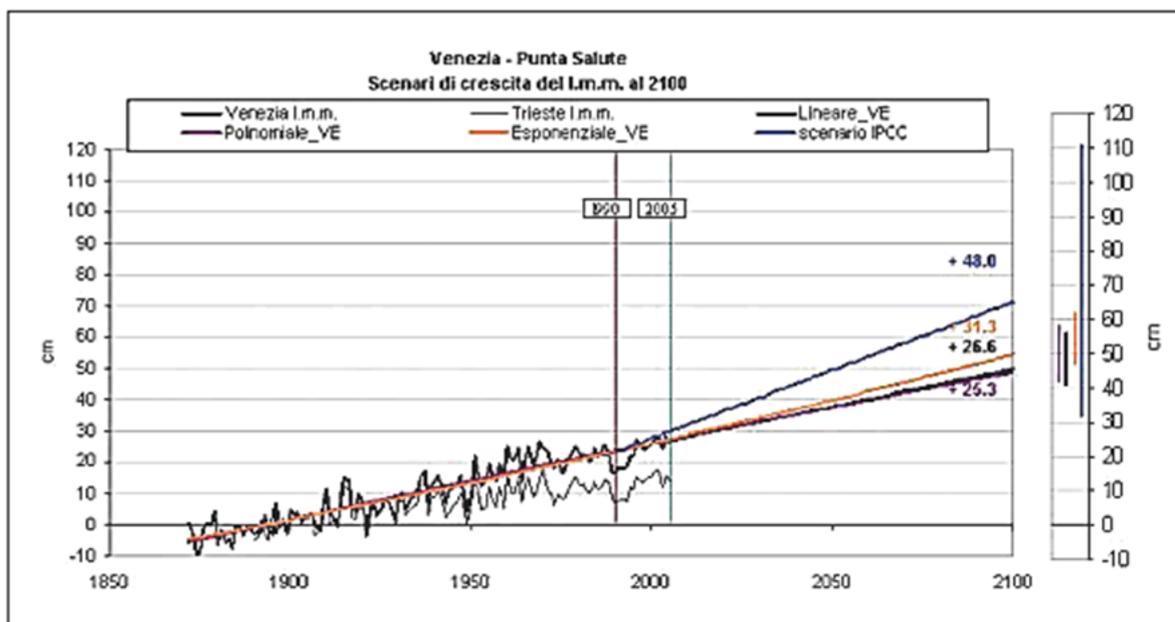


Figura 16 - Trend di innalzamento del livello marino al momento ipotizzabile per il Nord Adriatico, così come deducibile dalle registrazioni mareografiche disponibili per i porti di Venezia e Trieste (1872-2005) proiettate al 2100 (APAT, 2007).

In particolare, negli ultimi due secoli, da quando cioè sono disponibili serie storiche di dati mareografici continui e affidabili, si stima che il livello medio mare dell'Adriatico abbia subito un incremento compreso tra 1 e 1.5 mm/anno (nell'alto Adriatico; ad esempio, i mareografi di Trieste e Venezia hanno registrato circa 1.5 mm/anno negli ultimi 100 anni). Il trend sembra tuttavia notevolmente aumentato nell'ultimo periodo, tanto che i mareografi di Trieste e Venezia hanno segnalato un significativo incremento nel periodo 2008 – 2010. La stessa tendenza è stata riscontrata in tutto il mar Adriatico; un'analisi dei dati mareografici estesa a tutte le stazioni presenti nel basso e medio Adriatico, sia della RMN (Ortona, Vieste, Bari, Otranto) sia della rete della Regione Puglia (Ischitella, Manfredonia, Brindisi), ha fatto registrare un generalizzato aumento del livello medio mare a partire dal 2009, con una probabile variazione tra il 2008 e il 2010 dell'ordine della decina di centimetri.

Attualmente i dati sembrano indicare una nuova tendenza all'aumento e le analisi più recenti portano ad ipotizzare come nell'ultimo ventennio circa nell'Adriatico settentrionale il livello medio del mare abbia subito un innalzamento compreso tra i 2 ed i 5 mm/ anno (<http://www.venicethefuture.com/schede/it/341?aliusid=341>)

Come meglio indicato da Raicich, l'andamento del livello sul periodo 1875- 2006 risulta caratterizzato da una generale tendenza all'aumento che però non si presenta uniforme. I trend medi su periodi mobili di 30 anni, a parte una possibile anomalia all'inizio della serie forse legata alla qualità dei dati, variano tra 0 e 2 mm/a, con il massimo attorno al 1900. L'analisi su periodi di 50 anni dà pressoché lo stesso risultato. Secondo l'autore non sarebbe quindi opportuno stimare il trend medio su intervalli di tempo inferiori ai 30 anni circa poiché dominano le fluttuazioni ad alta frequenza, in gran parte legate alla variabilità della pressione atmosferica, che agisce per effetto barometrico inverso anche sulla scala temporale decadale (Raicich e Crisciani 1999; Beretta et al., 2005).

Agli innalzamenti di livello degli ultimi decenni per il nord Adriatico sembra infine collegarsi, a partire dagli anni '60 circa, anche ad un aumento del numero di alte maree $\geq +110$ cm ed un incremento dei fenomeni di acqua alta (Fig. 17). Si osserva per altro come all'inizio del secolo scorso si verificava mediamente un'alta marea all'anno mentre negli ultimi anni la media annuale si è innalzata a 5-6. In corrispondenza all'aumento degli eventi di alta marea ed a partire dallo stesso periodo sembra essersi verificata una diminuzione delle basse maree < -50 cm (<http://www.comune.venezia.it/flex/cm/pages/ServeBLOB.php/L/IT/IDPagina/2968>)

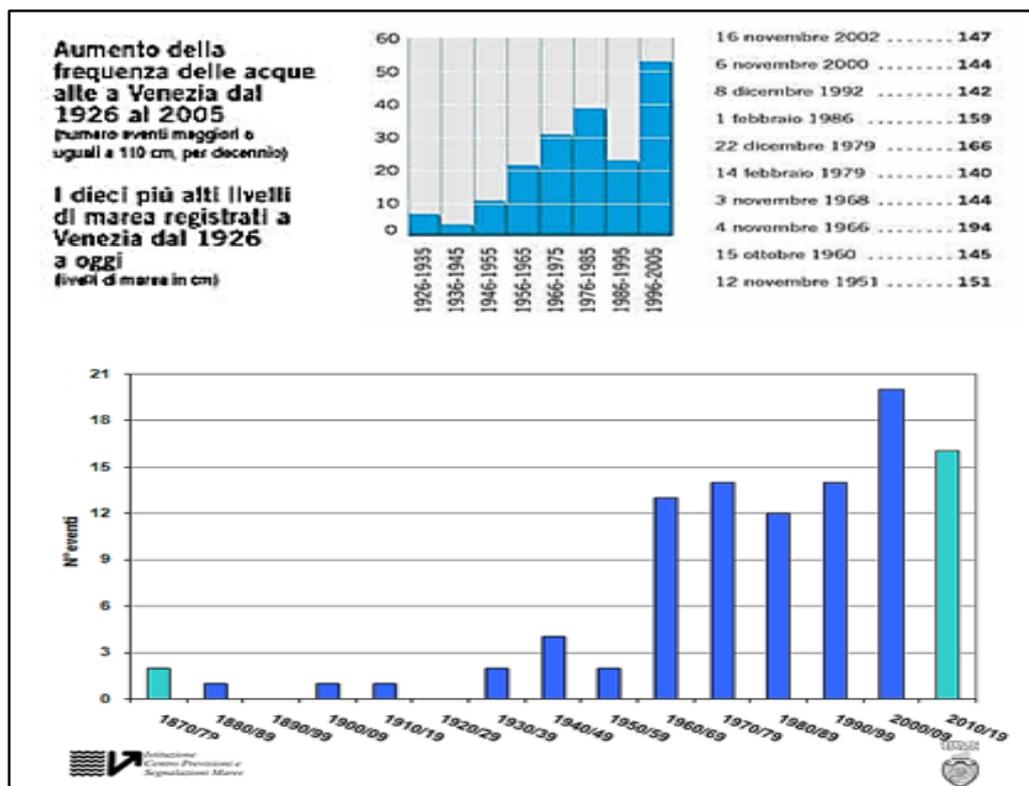


Figura 17 - Frequenza delle acque alte registratesi a Venezia negli ultimi 80 anni circa (<http://www.venicethefuture.com/schede/it/358?aliusid=358>).

Il fenomeno dell'acqua alta è generato dalla combinazione di due fattori principali: un contributo astronomico (che crea l'alternarsi regolare delle maree) ed una causa meteorologica. Quest'ultima produce i cosiddetti fenomeni di "storm surge", comunemente detti anche "ondata di bufera", composta dalla combinazione di vento e pressione atmosferica sulla massa marina. L'alta marea da sola non genera infatti l'acqua alta, è l'ondata di bufera che combinandosi con gli eventi di alta marea porta il livello dell'acqua ad alzarsi oltre i livelli normali ed in modo molto meno prevedibile. Possibile aumento di frequenza degli eventi e nella magnitudo di "acqua alta". A Venezia la media annuale degli eventi uguali o superiori a + 110 / +120 cm si è significativamente incrementata anche a seguito dei fenomeni subsidenza intercorsi nel tempo.

I previsti cambiamenti climatici influenzeranno certamente sempre più le esistenti problematiche più che crearne di nuove (Fig.18); di conseguenza dovranno quindi essere innanzi tutto individuate le possibili sinergie nel considerare l'adattamento ai cambiamenti climatici nel contesto dei problemi esistenti. Anche se non bisogna drammatizzare gli effetti attesi per questo secolo, gli elementari

principi di precauzione implicano di non ignorarli e di prendere, d'ora in avanti, misure capaci di attenuare le conseguenze sulla società.

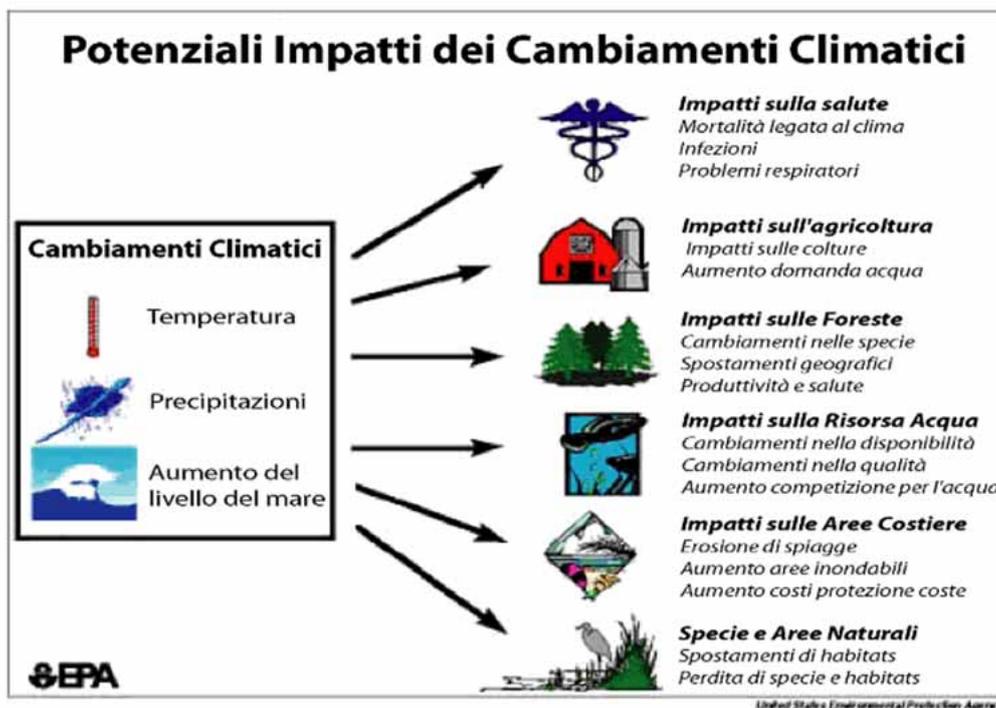


Figura 18 – Stia di sintesi dei principali e potenziali impatti causati dai cambiamenti climatici in atto a livello territoriale e socio- economico

In quest'ottica ed in estrema sintesi, secondo l'IPCC (2014; www.ipcc.ch/) le principali conseguenze da attendersi per quanto riguarda i principali impatti che saranno legati ai previsti *cambiamenti climatici ed aumento del livello del mare* riguarderanno soprattutto :

1- Impatti biofisici:

- Aumento dell'erosione ed arretramento della zona costiera;
- Più intensi fenomeni di *storm surge* e più estese inondazioni della costa;
- Aumento dei fenomeni di alluvionamento per precipitazioni (anche estreme);
- Intrusioni d'acqua marina verso terra, nelle foci fluviali e nelle falde acquifere;
- Cambiamenti nella qualità delle acque superficiali e di falda;
- Cambiamenti significativi nell'assetto fisico e nelle caratteristiche bio-ecologiche delle lagune e delle aree umide;
- Trasformazione nei processi di produzione primaria che, complessivamente, tenderà a crescere (maggiore presenza di biomassa);

2 - Impatti socioeconomici:

- Maggior rischio di allagamento con probabile perdita di beni;
- Danni alle opere di protezione della costa, alle infrastrutture, ecc;
- Danni economici alle attività turistico-ricreative;
- Perdita di beni culturali e valori non economici;
- Degrado degli habitat costieri con perdita di risorse rinnovabili
- Danni all'agricoltura e all'acquacoltura per ridotta qualità del suolo e delle acque

1.4. Attuali lineamenti meteomarini registrabili per la costa ravennate

Al fine di stimare, per quanto possibile, un plausibile “clima meteomarino” per l’area costiera ravennate, sono state preliminarmente valutate, in via speditiva, le seguenti variabili

- esposizione della costa - settore di traversia – fetch
- regime eolico
- pluviometria
- livello medio marino (liv) e fenomeni di “acqua alta”
- clima ondoso e mareggiate
- caratteristiche dell’onda incidente

La Rete Mareografica Nazionale (RMN), gestita da ISPRA, è presente in Regione con la stazione di Ravenna - Porto Corsini, situata presso uno dei moli del porto (44° 29' 31" N; 12° 16' 57" E). La stazione è dotata di caposaldi altimetrici riferiti al valore medio mare di Genova nel 1942 ed è attiva dal 1897, pur subendo nel tempo diversi spostamenti e modiche strumentali. L’attuale posizione è mantenuta dal 1957 mentre la strumentazione ha subito ammodernamenti e calibrazioni nel 1986 e poi nel 2010. Attualmente il mareografo (a sensore radar, precisione di 4 mm) registra una misura del livello marino ogni 10 minuti e la disponibilità delle misure sui siti web di riferimento inizia dal 1986 (www.idromare.it – www.mareografico.it). Dal 1998 sono poi disponibili le misure di: Temperatura dell’acqua e dell’aria, ogni 1 ora; Umidità relativa ogni 1 ora; Pressione atmosferica ogni 1 ora; Direzione e velocità del vento ogni 10 minuti.

La Rete Ondametrica Nazionale (RON) non ancor oggi comprende boe attive nel territorio regionale ed in passato ha visto solo la breve esperienza della boa CNR di Punta della Maestra, dal gennaio al novembre del 2004.

Dal 2007, nell’ambito del progetto Beachmed-E, è stata però attivata la boa ondametrica regionale “Nausicaa”, ubicata 8 km al largo di Cesenatico su un fondale di 10 m di profondità (44.2155°N; 12.4766°E); la boa è gestita dall’ARPA regionale ed acquisisce ogni 30 minuti altezza significativa, direzione di provenienza, periodo medio e periodo di picco delle onde; temperatura media del mare. Questi dati sono pubblici e di semplice accesso sul sito dell’Arpa: http://www.arpa.emr.it/sim/?osservazioni_e_dati/dexter.

Settore di traversia, Fetch geografico e Fetch efficace

Il *settore di traversia* comprende tutte le direzioni di generazione di moto ondoso da parte del vento. E’ un angolo con origine nel luogo d’interesse e delimitato dalle rette tangenti alle due punte maggiormente protese in mare, costituenti un ostacolo alla propagazione del moto ondoso. Al suo interno si può ulteriormente distinguere il *settore di traversia principale* che raggruppa le direzioni di provenienza dei venti dominanti (> 20 m/s o comunque caratterizzati dalle più alte velocità rilevabili) e quindi delle maggiori agitazioni ondose. La costa dell’Emilia Romagna si estende con forma arcuata secondo le direzioni N/NW – S/SE; i venti che spirano alle velocità maggiori provengono dal I quadrante (Bora, Grecale) ed in misura minore dal II Quadrante (Scirocco) che risulta comunque di particolare rilevanza per l’elevata estensione del fetch di generazione di moto ondoso.

Anche se lo studio ha come zona d’interesse tutta la costa ravennate per maggiore semplicità è stata utilizzata la località di Porto Corsini come riferimento per l’individuazione dei Settori sopra menzionati. Il Settore di Traversia generale è delimitato a Nord dall’area del Delta del Po ed a S-E dal promontorio del Conero, compreso tra 20°N e 134°N Figura 19. Il Settore di Traversia Principale è compreso tra 45°N e 75°N ed è stato così individuato considerando che da queste direzioni

provengono i venti con le maggiori velocità (>10 m/s) e la quasi totalità delle mareggiate ($H_s > 1,5$ m)..



Figura 19 - Settore di Traversia (linee gialle) e Settore di traversia Principale (linee rosse).

Per *fetch* si intende la lunghezza della porzione di mare sulla quale può avvenire la generazione del moto ondoso da parte del vento e si calcola utilizzando il concetto di *Fetch Geografico*, ossia la distanza tra il paraggio d'interesse e la più vicina terra ferma secondo una certa direzione. In questo caso il punto d'interesse è la località di Porto Corsini ed il fetch geografico è stato calcolato per intervalli di 5° all'interno del settore di traversia, 20°N - 134°N (Fig. 20). Il maggior fetch geografico è risultato quello di 940 Km secondo la direzione dei 130° .

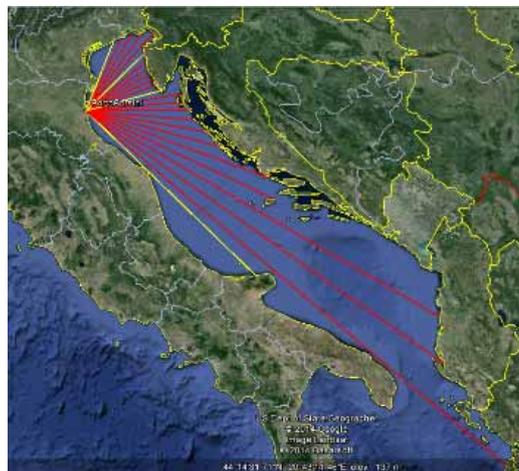


Figura 20 - Fetch geografici (linee rosse) e Settori di Traversia (linee gialle).

Il *Fetch Efficace* considera che il vento genera moto ondoso anche nei settori adiacenti la direzione media di provenienza andando ad influenzare la propagazione del moto ondoso proveniente dalle altre direzioni, per cui se il fetch geografico considera l'effetto dalla lunghezza della zona di generazione del moto ondoso, il fetch efficace ne integra l'effetto della larghezza. Secondo la formula indicata dal metodo SBM (Sverdrup and Munk, 1947) e successivi aggiornamenti, il fetch non è più una misura singola riferita ad una direzione specifica ma è la media ponderata dei fetch geografici di un settore di 180° (Seymour, 1977) centrato nella direzione d'interesse. Nel caso dei mari italiani le lunghezze del fetch geografico, che contribuiscono al calcolo

del fetch efficace, possono essere limitate a 500 Km in ragione delle dimensioni delle perturbazioni meteorologiche che influenzano il bacino del Mediterraneo (APAT, 2004).

Di seguito i valori calcolati di fetch geografico ed efficace nel settore di traversia considerato (20°N-134°N) in formato grafico (Fig. 21):

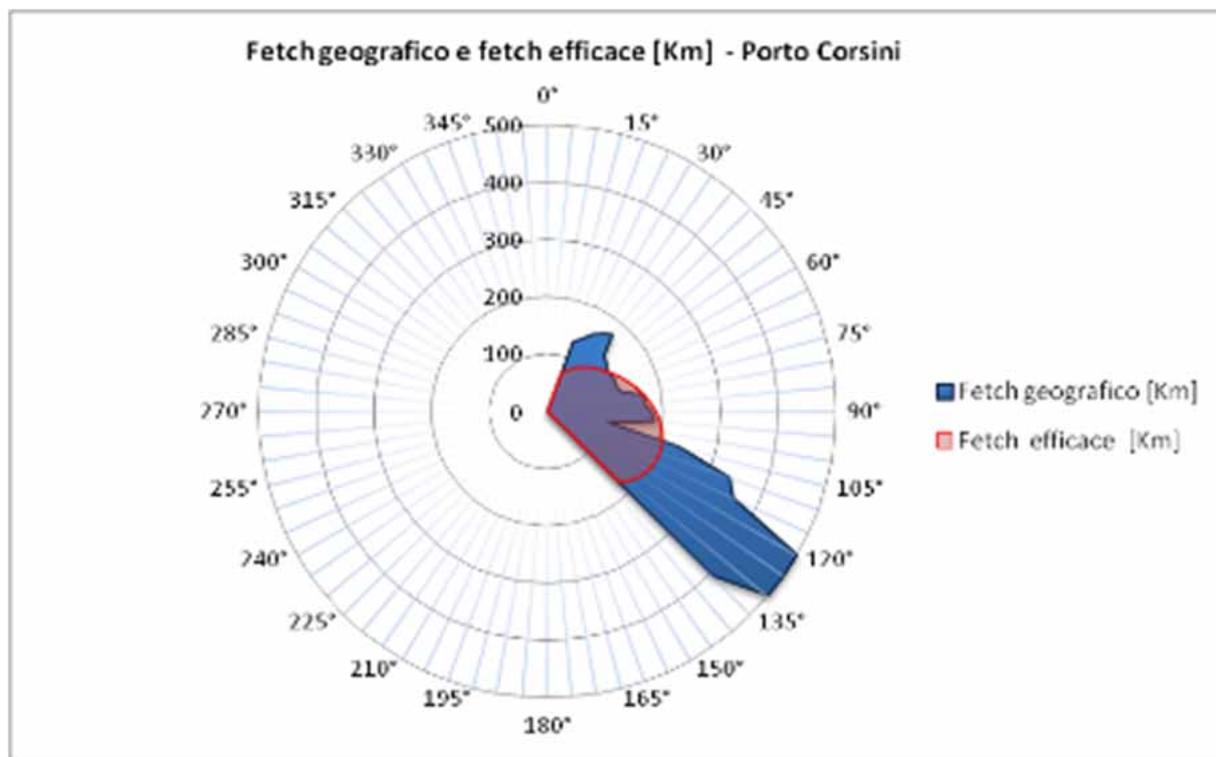


Figura 21- Fetch geografici e Fetch efficaci per il Settore di traversia (20°N-134°N).

Regime eolico

I dati utilizzati derivano dall'anemometro di Ravenna-Porto Corsini, posto a 2 m l.m.m, che registra velocità (m/s) e direzione del vento (N°) con una misura all'ora fino al 2010 e successivamente ogni 10'. In questo caso i dati elaborati vanno dal 1998 al 2015 (aggiornamento al 01/03/2015), per un totale di 91429 misure (7% di misure mancanti rispetto alle attese). Sono state calcolate le frequenze assolute e cumulate per classi di velocità del vento e per direzioni di provenienza in settori di ampiezza di 30° (in modo che ad esempio il settore "60°" comprendesse le direzioni tra 45°N e 75°N). Una volta calcolate le frequenze è stato elaborato il tipico grafico a rosa dei venti, Fig. 22, il quale mostra che i venti più frequenti (*venti regnanti*) provengono da W-NW mentre quelli con le velocità maggiori (*venti dominanti*) provengono dal I Quadrante e secondariamente dal II Quadrante. Nel grafico di dettaglio sottostante, Figura 5, sono state messe in evidenza le classi di velocità >7 m/s e >10 m/s; le due classi a maggiore velocità si concentrano nel settore 15°-165°, con le maggiori frequenze concentrate tra 45°- 75°, che quindi può essere considerato il *settore di traversia principale*.

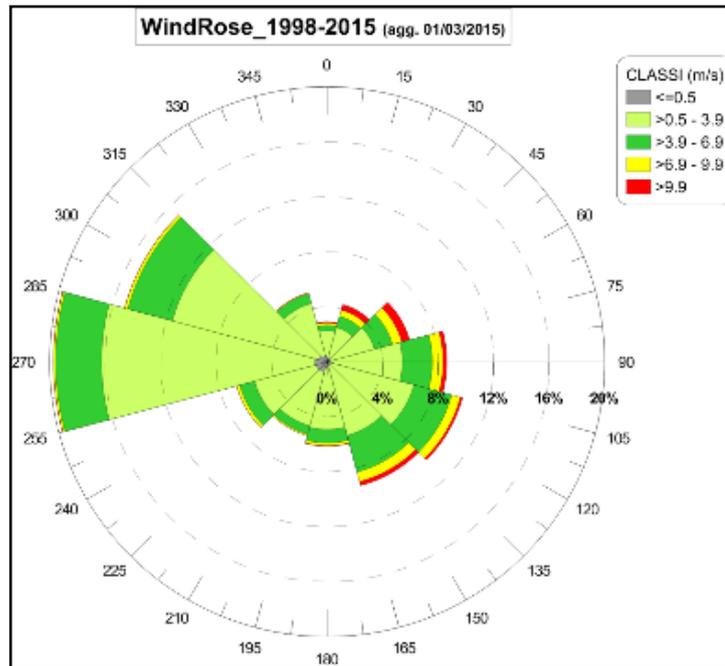


Figura 22 - Rosa del vento - Porto Corsini (1998/2015)

Infine, le rose del vento stagionali espresse in in Fig. 23 evidenziano che il vento da Ponente è frequente in tutte la stagioni, il Maestrale da N-W prevale nel regime eolico invernale ed autunnale, mentre in primavera e in estate diventano prevalenti i venti da E e S-E. In tutte le stagioni la classe di velocità più frequente è quella tra i 2 e 4 m/s. Le classi di velocità maggiori 6-10 m/s e >10 m/s sono minime in estate e massime in inverno, la direzione preferenziale di provenienza è sempre quella del settore 45°-75° ma in primavera ed in autunno si può osservare un secondo picco nel II Quadrante, che come già evidenziato assume importanza per l'estesione notevole del fetch (>500 Km).

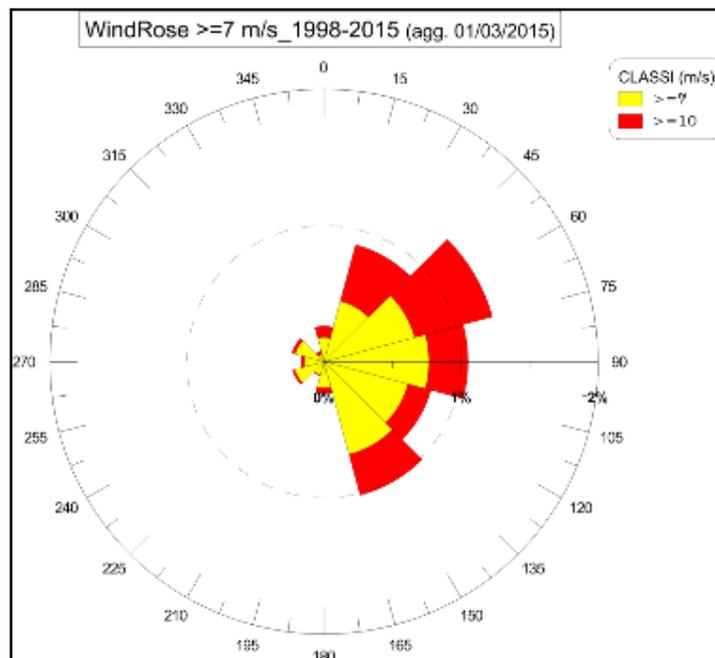


Figura 23 - Rosa del vento - Porto Corsini (1998/2015) - Dettaglio per le classi a maggiore velocità.

Pluviometria

Per quanto riguarda il parametro piovosità sono stati utilizzati i dati storici presenti nell'archivio di Arpa ed accessibili tramite Sistema Dexter. Quattro sono le stazioni pluviometriche storiche che hanno un record di dati molto lungo a partire dal 1945 o dal 1947: Marina di Ravenna – Ravenna Urbana – Ravenna Classe – Idrovora Fosso Ghiaia. Per semplicità è stato analizzato un solo dataset e tra questi ed è stato scelto quello di Marina di Ravenna, la stazione più vicina al mare e posta a 3 m l.m.m. La piovosità, registrata dallo strumento come quantità giornaliera [mm/giorno], è stata analizzata come quantitativo totale negli anni e come media mensile (Fig. 24 e 25) :

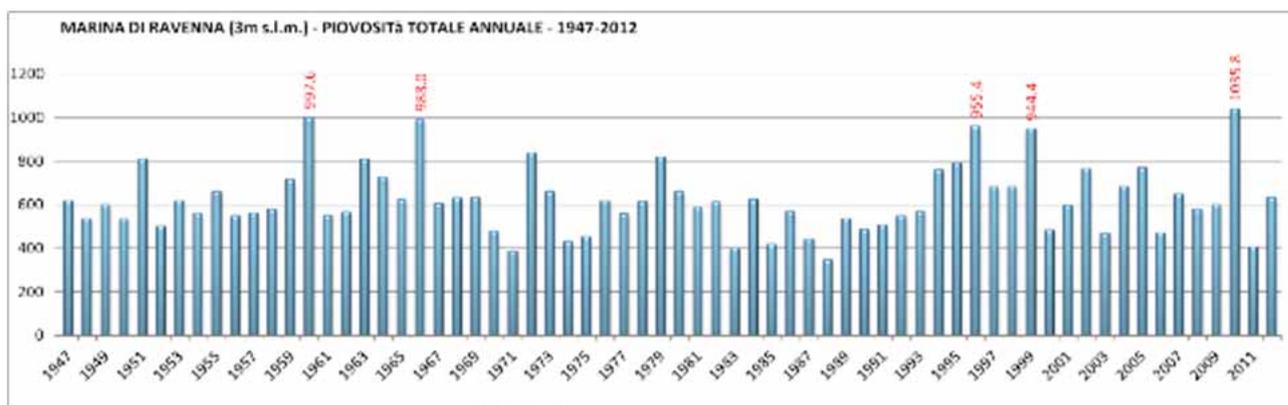


Figura 24 - Piovosità totale annuale - 1947-2012

In media la piovosità annuale è risultata di 619 mm, variabile tra i 342 m del 1988 ed i 1035 del 2010.

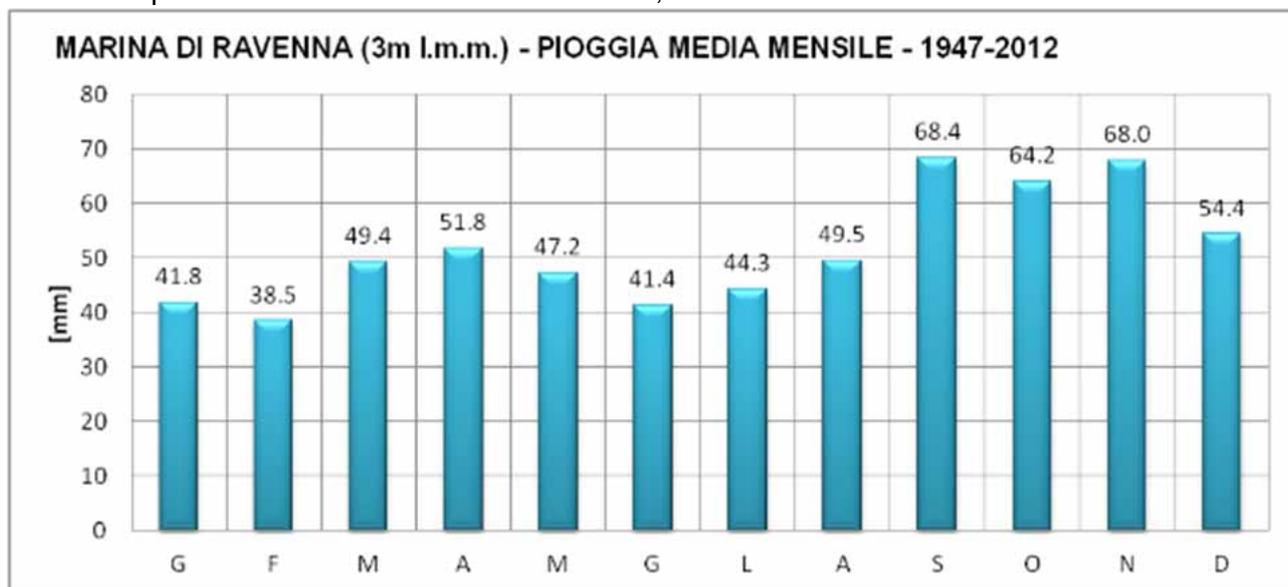


Figura 25 - Piovosità media mensile

L'andamento medio mensile evidenzia due picchi di precipitazioni, il primo di maggior intensità in autunno ed il secondo inferiore in primavera, e due periodi secchi in estate ed inverno. Questo tipo di regime pluviometrico è tipico del Clima temperato umido ad estate calda (Cfa) (Classificazione di Koppen, 1936) indicato per le zone costiere dell'Alto Adriatico.

Livello medio marino (Liv) e fenomeni di “acqua alta”

Nell'area il livello del mare è misurato dal mareografo sito a Porto Corsini-Ravenna e i dati utilizzati per questo studio coprono un periodo abbastanza ampio, dal 1986 al 2015. Bisogna premettere però che i dati in questione non sono molto omogenei, cosa che si ripercuote sui risultati: I dati 1986-1999 sono estremamente frammentari con elevate percentuali di dati mancanti, mentre dal 2000 la registrazione è quasi del tutto costante; in secondo luogo i dati 1986-1998 sono stati registrati ogni ora mentre dal 1999 in poi la frequenza del campionamento è aumentata a 10'.

Il livello del mare in un dato momento è determinato dall'influenza di più fattori che si sommano. C'è la componente astronomica delle maree, moto periodico di ampie masse d'acqua ampiamente prevedibili sia nel tempo che come altezza del livello marino. C'è la componente meteorologica (*storm surge*) determinata dalla bassa pressione atmosferica che localmente produce il rialzo del livello marino (effetto barometrico inverso) e dalla persistenza di venti da S-E (Scirocco) che spirando lungo l'asse longitudinale dell'Adriatico producono un effetto di trascinamento ed impilamento di acqua sotto costa nella porzione chiusa settentrionale del bacino. Gli eventi di *surge* possono essere oltretutto accompagnati dalle sesse, onde armoniche che si sviluppano in bacini stretti e chiusi come l'Adriatico e che possono perdurare per giorni in seguito all'evento che le ha generate; l'oscillazione longitudinale in Adriatico ha un periodo di circa 21-22h, molto simile all'onda di marea con la quale può di conseguenza entrare in fase.

Altre considerazioni riguardano il progressivo innalzamento del livello medio marino sia in senso assoluto che in senso relativo a causa della locale subsidenza, che rende sempre più vulnerabile la costa anche rispetto a fenomeni meno intensi.

Allo scopo di indagare sull'incidenza dei fenomeni di *surge* si è proceduto all'isolamento degli eventi in cui il Liv ha superato la soglia dei +0,45 m sul l.m.m., massimo livello raggiunto dalla marea astronomica in fase di sigizie (ARPA, 2011) e dei +0,70 m sul l.m.m, soglia di allerta per i fenomeni di acqua alta in Emilia Romagna (Fig. 26).

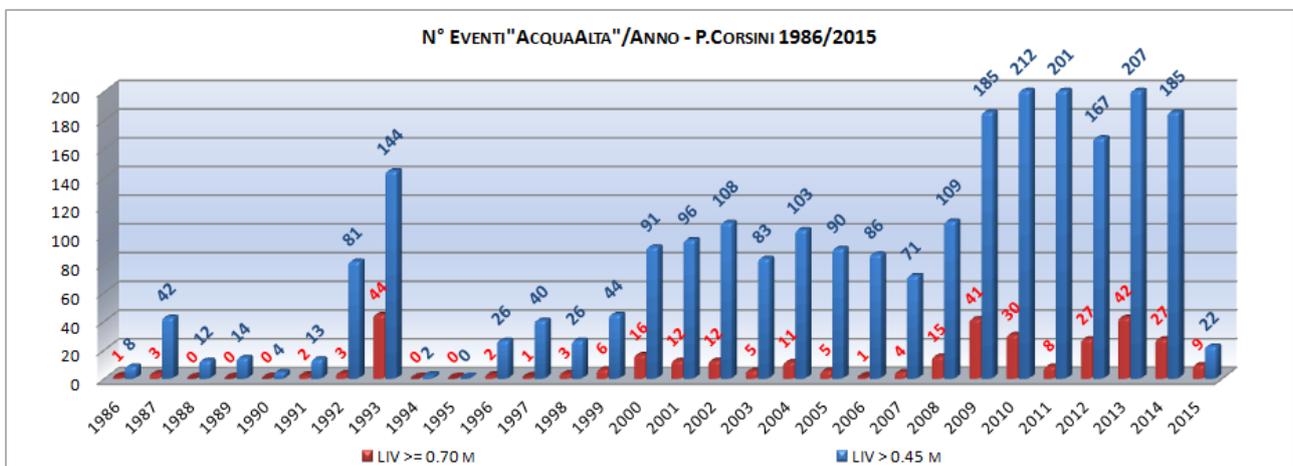


Figura 26 - N° eventi di superamento soglie del livello marino (>0,45 m - >=0,7 m)

Il grafico mette in evidenza un trend di aumento del numero degli eventi negli anni. Questo trend è stato confermato dalle analisi per il "trend detection" effettuata sulla serie AM (Annual Maximum) mediante l'applicazione di tre test statistici differenti, ognuno dei quali conferma la presenza di un trend lineare significativo.

Non altrettanto chiare sono certamente le cause di questo trend, infatti, come già accennato in precedenza, il dataset disponibile si presenta fortemente disomogeneo a causa della diversa % di misure mancanti, della diversa frequenza di campionamento e della subsidenza. Potendo escludere

queste cause si potrebbe quindi affermare che il trend sia dovuto all'effetto dei cambiamenti climatici. Per un confronto, le stesse analisi sono state effettuate sui dati di Venezia per lo stesso periodo circa, 1983-2014 (

<http://www.comune.venezia.it/flex/cm/pages/ServeBLOB.php/L/IT/IDPagina/25419>; Fig. 27).

In questo caso il dataset, che non riporta le problematiche prima evidenziate, non mostrerebbe trend significativi (almeno per due test su tre), gli stessi dati però su scala temporale maggiore sembrerebbero riconfermare la presenza del trend di aumento degli eventi di acqua alta, (ulteriori considerazioni sui dati non sono qui possibili poiché il grafico è un'elaborazione del centro maree non si dispone dei dati grezzi). La questione sarà oggetto di ulteriori approfondimenti.

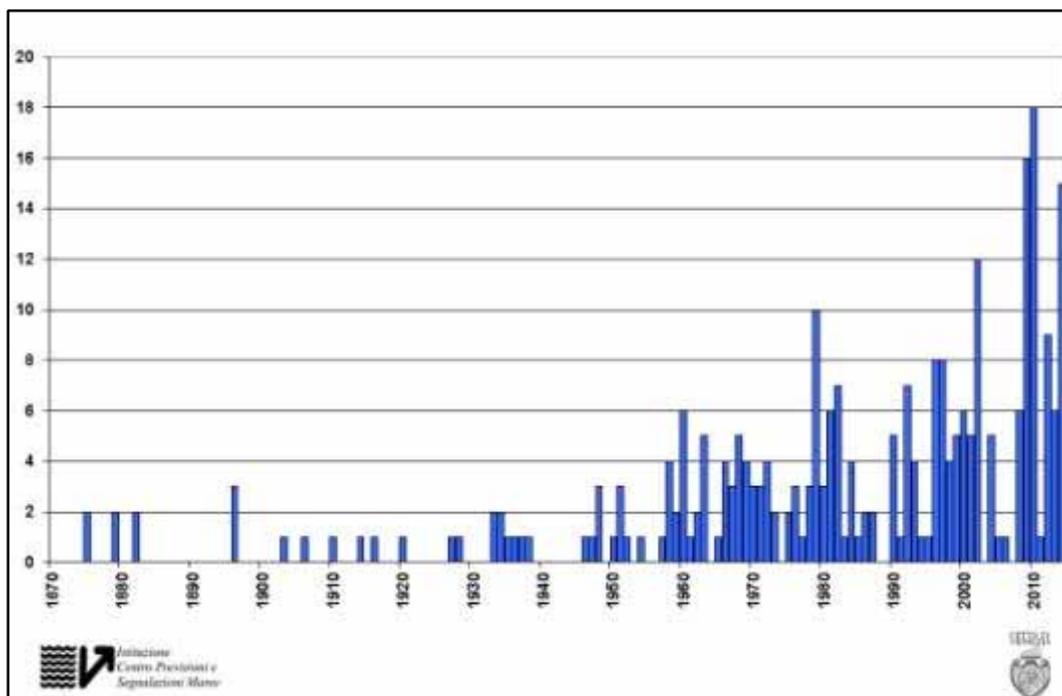


Figura 27 - Distribuzione annuale delle alte maree >= +110 cm (<http://www.comune.venezia.it/flex/cm/pages/ServeBLOB.php/L/IT/IDPagina/2968>)

Infine, l'incidenza mensile degli eventi di "Acqua alta" a Porto Corsini è risultata massima in Novembre e Dicembre (Fig. 28) fenomeno che trova corrispondenza nelle analisi del centro maree di Venezia.

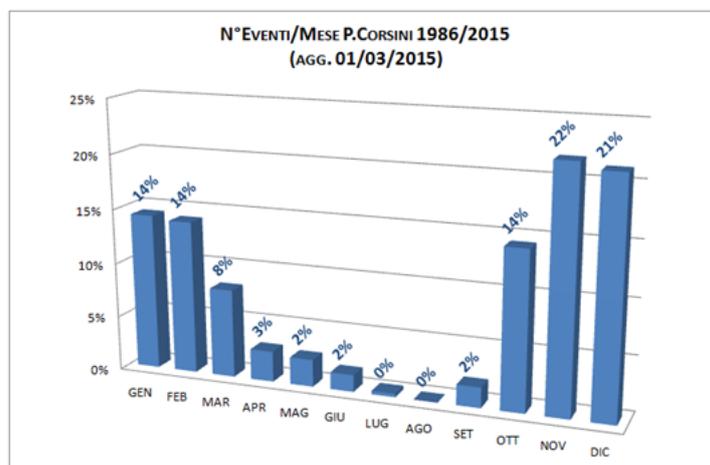


Figura 28 - N° eventi/mese di superamento del livello marino di 0,7m

Moto ondoso e mareggiate

I dati di Hs (Altezza significativa dell'onda) utilizzati sono stati registrati dalla boa Nausicaa nel periodo maggio 2007-2015. Nonostante un campionamento tutto sommato costante con dati mancanti in modo sparso, durante il 2014 ed il 2015, la boa ha avuto dei periodi continui di non funzionamento molto lunghi: dal 23-02-2014 al 23-06-2014 e dal 24-01-2015 al 01-03-2015.

Per non incorrere quindi nelle solite problematiche dovute alla disomogeneità dei dati si è proceduto al recupero da altre fonti, nello specifico: a) dati da rete Ron (Rete Ondametrica Nazionale) per la boa di Venezia (per gentile concessione di Ispra) per il 2014; b) dati dalla piattaforma "Angelina" (per gentile concessione di eni) per il 2014-2015.

Per quanto riguarda il 2014 si è ritenuto opportuno sostituire solo i dati del periodo mancante, attraverso la trasposizione del dato di Hs di Venezia secondo il *criterio della similitudine dei fetch efficaci* (Gardelli et al., 2007), lasciando invariata la direzione di provenienza:

$$H_{Nausicaa} = [F_{eff:Nausicaa} / F_{eff:Venezia}]^{1/2} * H_{Venezia}$$

I dati del 2015, invece, sono stati utilizzati per l'individuazione delle mareggiate ma non per il clima ondoso. In ogni caso la media sugli anni di dati mancanti o non registrati è del 19%; a questo riguardo c'è da sottolineare che sfortunatamente i dati mancanti si concentrano nei mesi invernali, quando si verificano le mareggiate più intense.

Sono state calcolate le frequenze assolute e cumulate per le classi d'altezza d'onda raggruppate ogni 0,5 m e per le direzioni di provenienza in settori di ampiezza di 30° (in modo che ad esempio il settore "60°" comprendesse le direzioni tra 45°N e 75°N).

Dal sottostante grafico a rosa (Fig. 29) è evidente come tutto il moto ondoso incidente provenga dal I e II Quadrante e sia concentrato in primis nelle Hs fino a 0,5 m e secondariamente tra 0,5 e 1m. L'isolamento delle Hs superiori a 1,5 m, soglia di attenzione per le mareggiate, evidenzia come queste ultime si concentrino tra i 45° e 75° (Fig. 30).

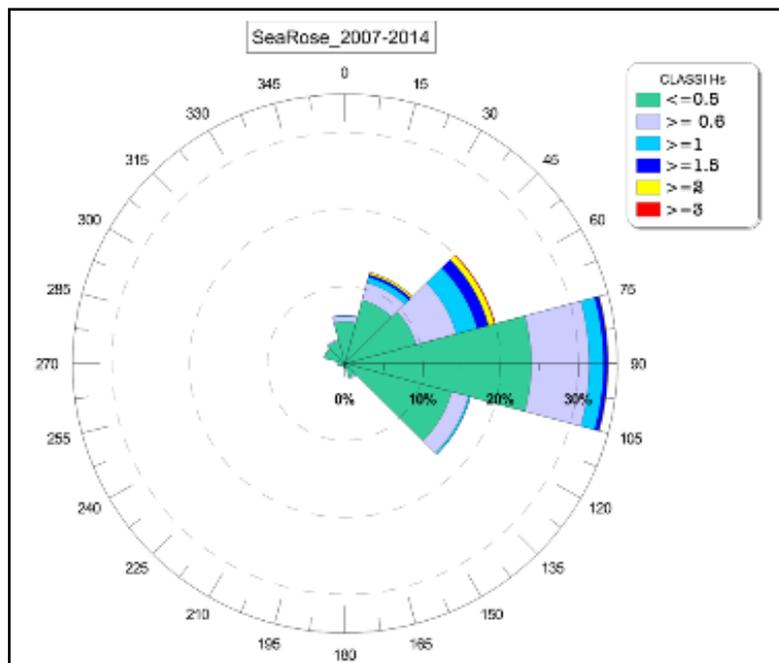


Figura 29 - Rosa del Clima ondoso – Nausicaa 2007/2014

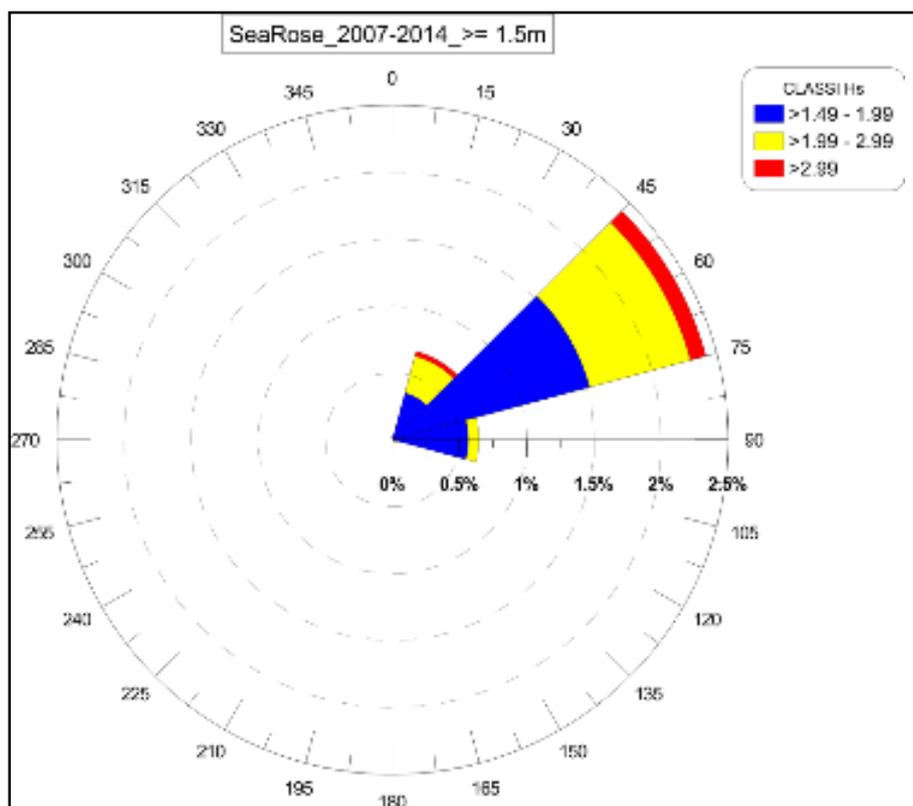


Figura 30- Rosa del Clima ondoso Nausicaa Hs >=1,5 m slm

Un utile confronto viene fornito dai dati elaborati per il Piano Costa 1996, per il quale venne definito il clima ondoso a largo in riferimento ai dati rilevati due volte al giorno nel periodo 1971/1983 sulla piattaforma PCB, a 20 km dalla costa ravennate. Da questo è stato possibile constatare che al largo diventa consistente anche il moto ondoso proveniente dal IV Quadrante; ciò non cambia il fatto che le classi d'Hs maggiori e quindi le mareggiate si concentrano comunque nel I Quadrante.

Il valore di 1,5 m di altezza sul livello del mare è stato identificato nell'ambito del progetto CADSEALAND/MICORE sugli impatti delle mareggiate sulla costa.

Nello specifico si considera *mareggiata* un evento durante il quale:

- 1- $H_s \geq 1,5$ m per 6 ore consecutive;
- 2- $H_s < 1,5$ m per 3 ore consecutive, evento concluso o eventi distinti.

L'utilizzo dei sopracitati parametri ha portato all'identificazione di 101 eventi distinti nell'arco del periodo considerato, da maggio 2007 al 01 marzo 2015.

I grafici successivi (Fig. 31) mettono in evidenza come il numero di mareggiate all'anno sia piuttosto costante e come la loro incidenza si concentri nei mesi invernali e secondariamente in Maggio. A tal riguardo è importante sottolineare che il numero complessivo di mareggiate è sicuramente sottostimato a causa dell'elevata percentuale di misure mancanti proprio nei mesi di maggior interesse (gennaio, febbraio, novembre e dicembre).

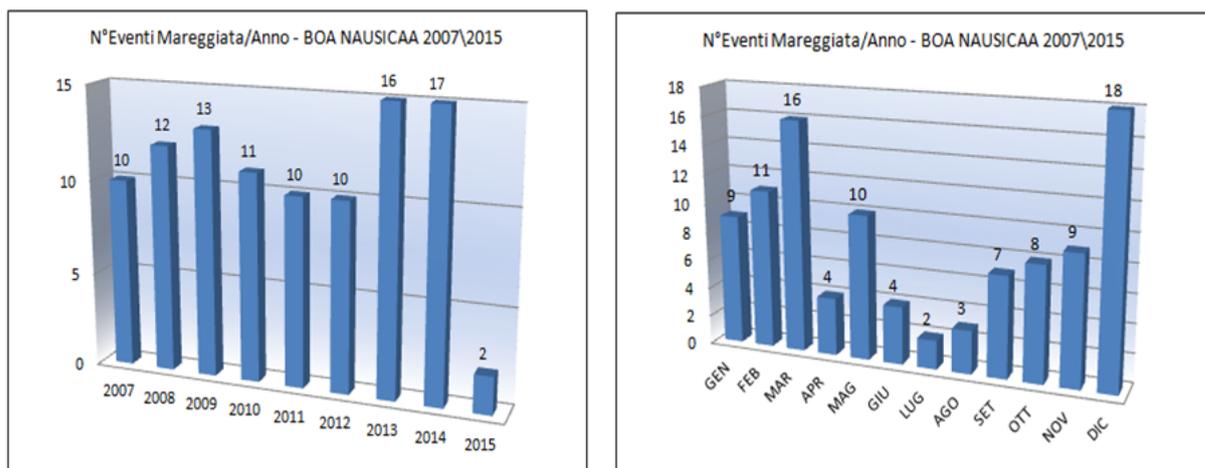


Figura 1 - N° eventi mareggiata per anno (Sx) e per mese (Dx).

Le mareggiate identificate hanno una durata media di 18 ore e l'evento più lungo è stato di 71 ore (20-23 gennaio 2011). La maggior parte di questi eventi si caratterizza per Hs massime tra 2 e 2,5 m. La direzione preferenziale di provenienza delle mareggiate è sicuramente N-E, in particolare dalle direzioni comprese tra i 45°-75° N ; pochissime sono le mareggiate dal II quadrante e in generale tutto il moto ondoso che proviene da qui (>90°N) si caratterizza per Hs modeste (Figura 22°-destra)

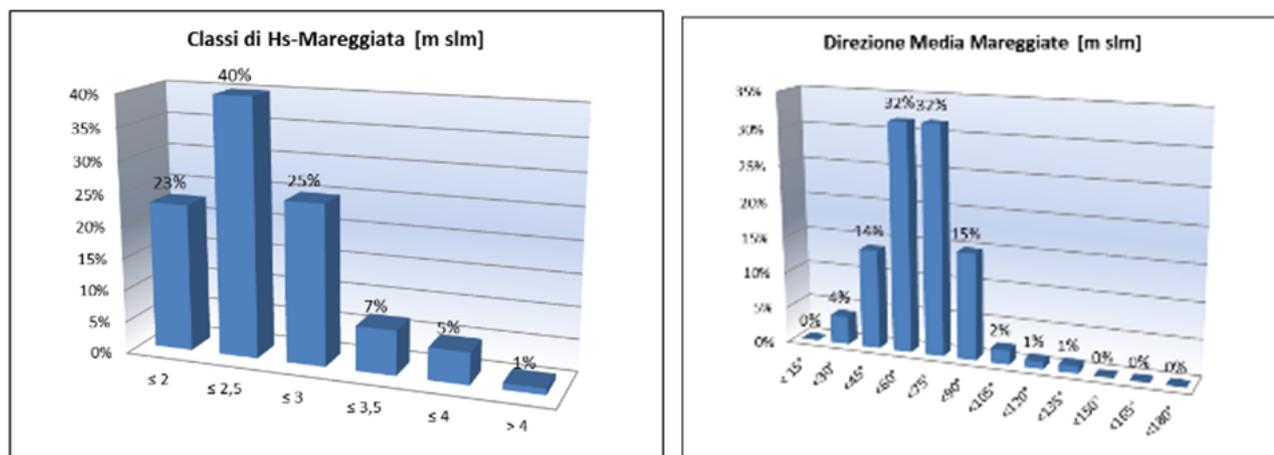


Figura 2 - a SX:Classi di altezza d'onda per gli eventi di mareggiata. A Dx: Direzione media di provenienza degli eventi di mareggiata e di tutte le onde con Hs >=1.5 m

Dal grafico in Fig. 33, si può notare come il livello del mare medio (durante gli eventi di mareggiata) è molto variabile e nella maggior parte dei casi non raggiunge livelli di allerta, ma questo è da mettere in relazione al fatto che le mareggiate possono durare da diverse ore a diversi giorni durante i quali si succedono alte e basse maree; se invece andiamo a guardare i livelli massimi, registrati durante ogni singolo evento, notiamo invece che quasi sempre raggiungono la soglia di superamento della massima marea sigiziale (> 0.45m) ed in alcuni casi superano anche la soglia di allerta per le "acque alte" (≥ 0.7m). Per la precisione su 101 eventi di mareggiata individuati tra il 05/2007 e il 01/03/2015, 61 volte il Liv ha superato +0.45 m (60%) di cui 23 volte ha superato +0.70 m (23%).

In conclusione, nonostante l'indipendenza delle due tipologie di eventi estremi (mareggiata e acqua alta) circa 1 volta su 4 c'è la possibilità che questi si verifichino contemporaneamente.

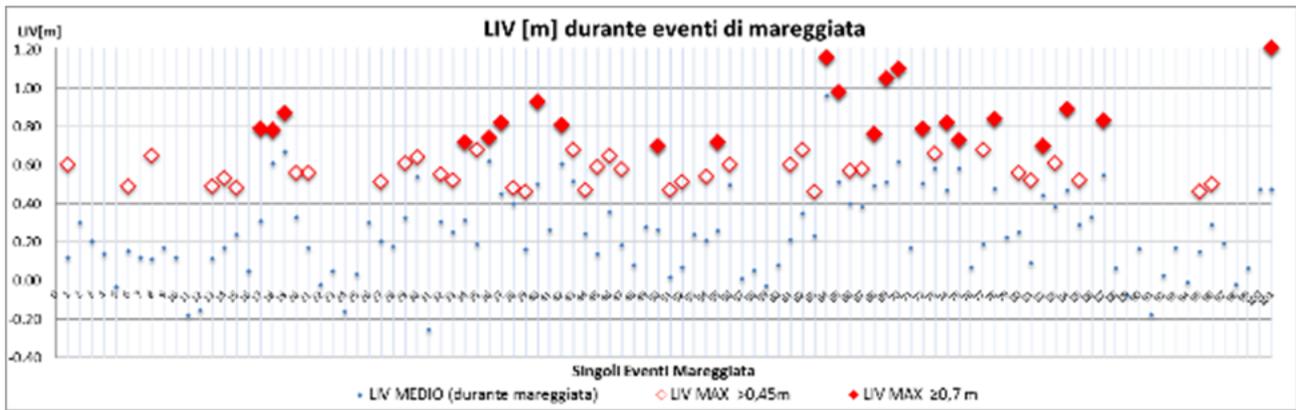


Figura 33 - Livello marino durante gli eventi di mareggiata.

Stima della propagazione del moto ondoso dal largo alla costa e della profondità di chiusura (D_c), lungo la costa ravennate nel breve e lungo termine.

Il comportamento fisico del moto ondoso varia secondo la profondità del fondale su cui si propaga, per questo si distinguono generalmente le *onde di acque profonde* e le *onde di acque basse*. Sebbene il comportamento di acqua profonda avvenga realmente a una profondità (d) infinita, per convenzione il limite stabilito è: $d > L/2$ ossia quando la profondità del fondale è maggiore della metà della lunghezza d'onda (L); di conseguenza quando $d < L/2$ avremo un comportamento di acque basse caratterizzato da una serie di trasformazioni che interessano l'onda che a queste minori profondità risente dell'attrito con il fondale. Le principali caratteristiche di un'onda sono L = lunghezza d'onda [m], T = periodo [s], C = celerità [m/s].

Nel passaggio da acque profonde e acque basse ($d=L/2$) l'onda che avanza verso la spiaggia risente dell'attrito con il fondale, che ne fa diminuire la velocità: T rimane costante mentre L diminuisce proporzionalmente a C , per cui la massa d'acqua che compone l'onda si distribuisce sull'altezza che aumenta. L'altezza dell'onda H non può crescere all'infinito poiché insieme ad essa aumenta la ripidità (H/L), fino ad un limite tale per cui l'onda è instabile e frange, dissipando la maggior parte della sua energia. Al frangimento (indicato dal pedice b) l'onda avrà una particolare altezza, H_b , che può essere calcolata in relazione secondo le formule di *KOMAR and GAUGHAN (1972)*

Utilizzando l'insieme di questi dati e poi possibile calcolare altri parametri che caratterizzano il moto ondoso. Tra questi: a) il *wave set-up* (la sopraelevazione del livello medio marino dovuta proprio al frangere delle onde, evento che avviene immediatamente dopo un leggero abbassamento del livello marino in corrispondenza circa del punto di frangenza, *wave set-down*) e b) il *wave run-up* che rappresenta la massima quota raggiungibile dalle acque sulla spiaggia ed è determinato dalla somma di due componenti : *set-up* + *swash* o *uprush*. Il primo è l'innalzamento del livello medio marino sulla costa dovuto al frangere delle onde mentre il secondo è la fluttuazione verticale dell'onda sulla riva. Questo flusso che risale la battigia viene controbilanciato da una corrente di ritorno verso mare, *undertow flow*.

In questo contesto, la Profondità di Chiusura (D_c), può essere definita come la profondità oltre la quale non avvengono cambiamenti significativi di quota del fondale negli anni considerati oppure il limite oltre il quale il flusso di sedimenti indotto dalle onde non è efficace nella movimentazione del sedimento.

È un'osservazione di tipo statistico poiché allargando il periodo d'osservazione aumentano le probabilità di osservare un evento capace di movimentare sedimenti a profondità più elevate. Seguendo la metodologia adottata in Pranzini et al. (2008) e *BEACHMED-e / OpTIMAL Project* (2008), per questa relazione sono stati calcolati i valori di Dc "ordinari" ed "estremi".

La Dc è stata calcolata per ogni elemento del dataset disponibile, caratterizzato da Hs (Altezza d'onda significativa), DIR (Direzione di provenienza), T picco (Periodo di picco), ottenendo una distribuzione completa del valore. Sono stati quindi estrapolati i valori della Dc media, al 95% di frequenza e massima. Dc MEDIA e Dc MAX sono rispettivamente il valore medio e massimo dell'intera distribuzione della Dc. Dc95% è stata calcolata individuando il valore corrispondente al 95% nella curva delle frequenze cumulate della distribuzione totale della Dc. I risultati ottenuti evidenziano la seguente condizione

	DC [m]	Hs [m]	DIRmedia [°N]	Tp_medio [s]
DC MEDIA	0.9	0.4	101.9	4.3
DC 95%	2.7	1.3	64.4	6.6
DC MAX	7.6	3.9	59.1	9.1
Dc H_{0.137%}	4.4	2.2	55.2	7.2

E' stata poi effettuata una probabile stima dei valori "estremi" della Dc che ha portato ai seguenti risultati anche in termini di "Tempi di ritorno" possibili

	Dc [m]	Hs [m]	Tp
Dc 5anni	8.2	4.1	10.2
Dc 10anni	8.7	4.3	10.6
Dc 20anni	9.1	4.5	10.9
Dc 50anni	9.7	4.8	11.3
Dc 100anni	10.0	5.0	11.6

2. INQUADRAMENTO GEOLOGICO – GEOMORFOLOGICO

Considerate le specifiche finalità di un "Piano dell'Arenile", quale quello in discussione, è stata privilegiata una focalizzazione, rispetto ad una più generale ma meno dettagliata ricostruzione geodinamica e tettonico-stratigrafica convenzionale, sull'assetto ed evoluzione più recente del corpo sedimentologico-geomorfologico più strettamente costiero.

Si rimanda quindi alla ben organizzata e articolata documentazione geologica esistente per un miglior inquadramento geologico di livello regionale. Inquadramento di cui le "Note Illustrative e Carta Geologica d'Italia a scala 1/50.000- Foglio 223 Ravenna", realizzate dal Servizio Geologico Sismico e dei Suoli della Regione Emilia Romagna (2005), costituiscono e rappresentano la più completa ed aggiornata attestazione formale (integralmente scaricabile da internet; <http://www.isprambiente.gov.it/Media/carg/emilia.html>).

Si segnala comunque che da un punto di vista del tutto generale i depositi che formano l'ossatura della Pianura Padana costituiscono il riempimento del bacino di avana fossa di età plio-quadernaria, compreso tra la catena appenninica a sud e quella alpina a nord. Il contesto geologico-strutturale in cui al pianura va inserita è infatti quello dell'avana fossa appenninica che si è originata in seguito alla

collisione eocenica della microplacca padano-adriatica sul lato orientale di quella Europea. Durante il Terziario e il Quaternario nell'area si sono depositati grandi spessori di sedimenti. Verso la fine del Pliocene (1,6-1,8 milioni di anni fa), l'area oggi occupata dal Delta faceva parte di un golfo del Mare Adriatico situato tra le Alpi e gli Appennini la cui estensione può risultare schematicamente valutabile accedendo al sito RER: <http://ambiente.regione.emilia-romagna.it/geologia/temi/geositi-paesaggio-geologico/itinerari/sentiero-geo-paleontologico-201cle-conchiglie201d>)

L'evoluzione sedimentaria Plio-quaternaria del bacino padano registra una generale tendenza "trasgressiva", identificata al margine appenninico da depositi marini di ambiente via via meno profondo fino a depositi continentali. Il riconoscimento di una superficie di discordanza di significato regionale ha consentito il primo inquadramento stratigrafico di tipo sequenziale della successione quaternaria affiorante del margine appenninico (Fig. 34), portando alla identificazione di due cicli sedimentari principali, uno marino (Qm) ed uno continentale (Qc; Regione Emilia-Romagna & ENI-AGIP, 1998; Nuova Carta Geologica d'Italia 1:50000 F.218 - F. 254).

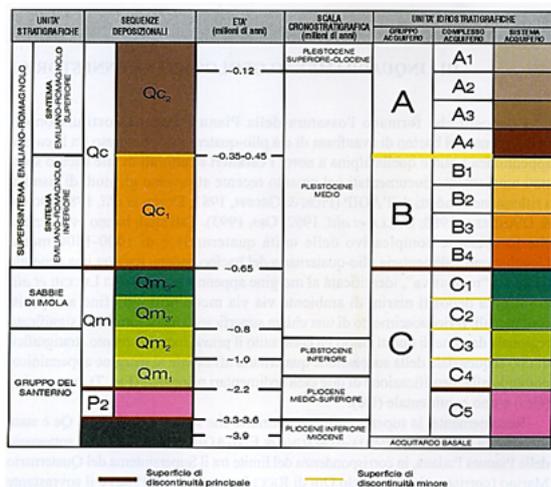


Figura. 34 - Schema stratigrafico e suddivisione stratigrafico-sequenziale dei depositi plio-quaternari del bacino padano, con indicazione delle unità idrostratigrafiche (modificato da *regione Emilia-Romagna & eni-agip*, 1998 e *amorosi et alii*, 1999a).

Recentemente, la superficie di discontinuità che separa i cicli Qm e Qc è stata identificata anche nel sottosuolo della Pianura Padana, in corrispondenza del limite tra il Supersistema del Quaternario Marino (corrispondente al ciclo Qm di Ricci lucchi et alii, 1982) e il sovrastante Supersistema Emiliano-Romagnolo (equivalente al ciclo Qc). Discontinuità minori all'interno di queste due unità sono state segnalate da Marabini et alii (1987, 1995), Farabegoli & Onorevoli (1991), Di Dio et alii (1997), Farabegoli et alii (1997) e Amorosi et alii (1998a,b) al margine appenninico emiliano-romagnolo e da amorosi & farina (1995) e regione Emilia-Romagna & ENI-AGIP (1998) nel sottosuolo della Pianura Padana, portando alla distinzione di sequenze deposizionali di rango inferiore all'interno dei due cicli sedimentari Qm e Qc (Fig. 34).

Più in generale, si segnala come il sottosuolo della piana costiera romagnola è caratterizzato dall'organizzazione ciclica di depositi marini e continentali in successioni di vario ordine gerarchico, per uno spessore di alcune centinaia di metri. Lo studio RER & Eni-agip (1998), basato sull'interpretazione di profili sismici integrati da dati profondi di pozzo, fornisce un quadro stratigrafico generale dei depositi quaternari nell'area ravennate (Fig 34), mostrando come il cosiddetto "Supersistema emiliano-romagnolo" presenti in questo settore di pianura uno spessore complessivo di circa 6-700 m e possa essere suddiviso in due sistemi (Emiliano-Romagnolo Inferiore e Emiliano-Romagnolo Superiore), il cui spessore si aggira in entrambi i casi intorno ai 300 m.

Sotto il profilo più strettamente strutturale l'area presenta una configurazione tettonica profonda con movimenti orogenetici pre-pleiocenici e medio pleiocenici, caratterizzata da allineamenti tettonico-strutturali ad andamento appenninico da NO-SE, con varie culminazioni e depressioni assiali (Fig. 35).

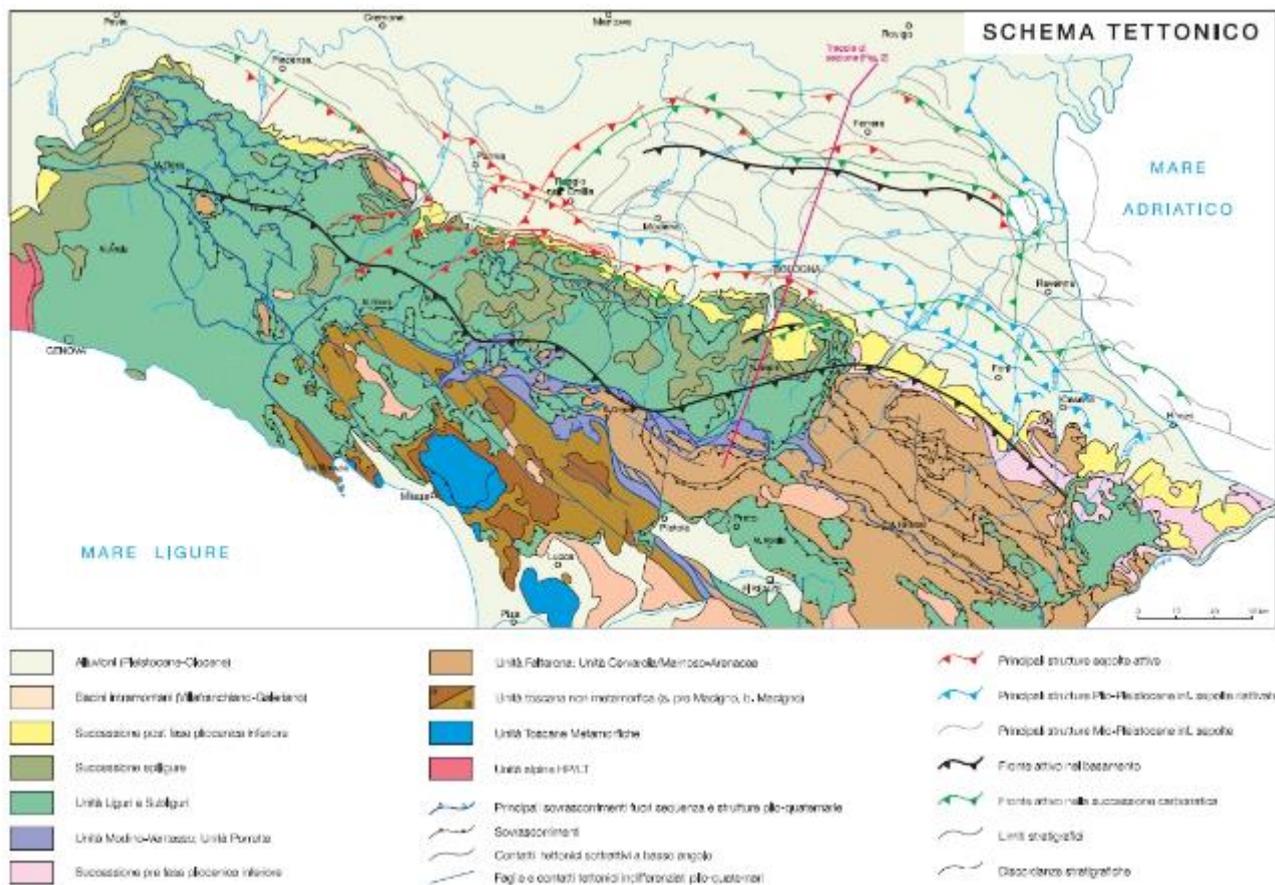


Figura 35 : Schema tettonico dell'Appennino settentrionale (da Boccaletti et alii, 2004, modificata).

Le informazioni prodotte dalle ricerche Eni- Agip nel sottosuolo padano hanno dettagliatamente accertato come la struttura tettonica dell'Appennino prosegua, sepolta nella pianura, per alcune decine di chilometri verso nord entro la vasta fascia d'avanfossa (Dondi *et al.*, 1982; Castellarin e Vai, 1986). Tale struttura appare costituita da un sistema di grandi faglie inverse (accavallamenti), con superfici di sovrascorrimento a basso angolo (circa 30°) immerse verso SSO e con trasporto verso NNE, che hanno determinato superiormente strette pieghe anticlinaliche intercalate da larghe pieghe sinclinaliche. E' in corrispondenza di queste ultime, soggette a considerevole subsidenza tettonica, che è stata ovviamente più consistente la sedimentazione dei terreni plio-pleistocenici.

Queste strutture tettoniche sono le maggiori responsabili della sismicità naturale dell'area che, facendo anche riferimento al recente "terremoto dell'Emilia" (https://it.wikipedia.org/wiki/Terremoto_dell%27Emilia_del_2012), decresce in maniera significativa procedendo verso l'area costiera.

L'area circolare di 50 chilometri di raggio centrata a Ravenna contiene 369 eventi (nel periodo compreso tra 464 d.C. e il 1990; <http://ambiente.regione.emilia->

romagna.it/geologia/temi/sismica/lemilia-romagna) Tralasciando i più antichi, d'importanza esclusivamente storica, l'analisi della sismicità evidenzia come la totalità degli eventi distruttivi (aventi intensità maggiore o uguale a 7.0 della scala Mercalli) abbia epicentro verso il crinale dell'Appennino Forlivese. La zona attorno a Ravenna presenta invece solo eventi con magnitudo sempre inferiore a 3.0, che non possono produrre alcun effetto sul territorio (Fig. 36). I sismologi indicano quindi come sia possibile escludere, in sostanza, che effetti sismotettonici possano in qualche maniera aver contribuito alla instabilità geologica nell'area Ravennate, sia in epoca storica sia recente, così come sia ragionevole ipotizzare che tale contributo rimarrà marginale anche in futuro (Mulargia, 1996).

Per maggiori e più puntali informazioni sulla sismicità ravennate si può fare riferimento ai seguenti siti web dedicati:

- <http://ambiente.regione.emilia-romagna.it/geologia/temi/sismica/lemilia-romagna> ;
- <http://ambiente.regione.emilia-romagna.it/primo-piano/2013/terremoti-emiliani-2012-tra-certezze-storiche-e-indagini-scientifiche> ;
- <http://www.tuttitalia.it/emilia-romagna/63-ravenna/classificazione-sismica-climatica/>

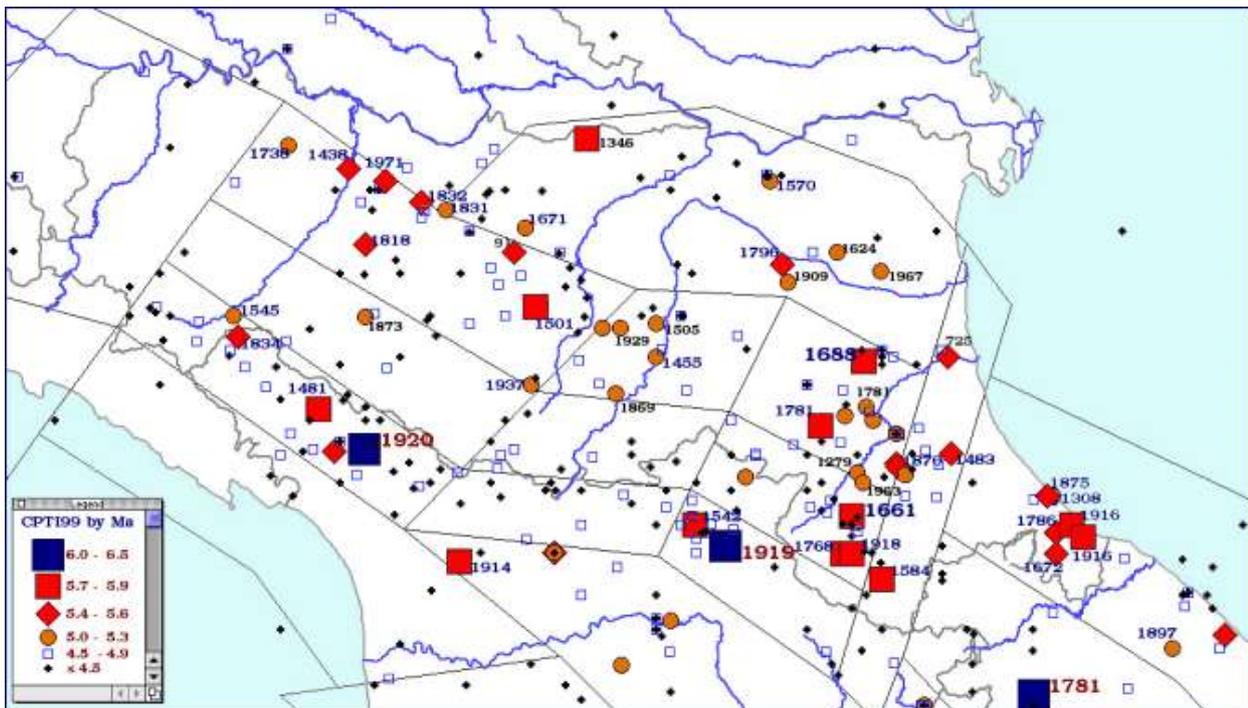


Figura 36 - Carta degli epicentri dei terremoti della Regione Emilia-Romagna per classi di magnitudo (CPTI, 1999).

Per quanto riguarda infine il Quaternario, va sottolineato come le sue fasi finali siano particolarmente complicate dal succedersi di movimenti glacio-eustatici del livello marino, di cui l'ultimo, quello wurmiano o "tirreniano" o "versiliano" a seconda delle terminologie geocronologiche adottate, assume la principale responsabilità dell'assetto geomorfologico e deposizionale dell' area in esame. Le oscillazioni del livello del mare hanno infatti prodotto differenziati corpi sedimentari, oggi in genere sub-superficiali, le cui caratteristiche e distribuzione condizionano anche la più recente evoluzione dell'area. In particolare, per quanto riguarda i depositi sedimentari geologicamente più recenti rilevabili nell'area ravennate, indicati dagli addetti ai lavori con il termine formazionale di "Sintema

Emiliano-Romagnolo” del Pleistocene Medio- Olocene e ben dettagliati a livello del Foglio Geologico 223 (di cui di seguito si riportano testualmente alcuni stralci) , comprende depositi continentali, deltizi, litorali e marini organizzati in successioni cicliche di alcune decine di metri di spessore. In affioramento, al margine appenninico padano, il Sintema Emiliano-Romagnolo Superiore (sequenza Qc2 di AMOROSI *et alii*, 1999a) è costituito prevalentemente da depositi grossolani di conoide alluvionale e terrazzo fluviale, in lieve discordanza angolare su sedimenti fini di piana alluvionale (Sintema Emiliano-Romagnolo Inferiore o sequenza Qc1) o fortemente discordanti su unità più antiche.

Nel sottosuolo della pianura emiliano-romagnola, il Sintema Emiliano-Romagnolo Superiore appoggia localmente in discontinuità stratigrafica (Regione emilia- romagna & Eni-Agip, 1998) sul Sintema Emiliano-Romagnolo Inferiore ed è suddivisibile in quattro cicli deposizionali (Amorosi & Farina 1995), correlabili alla scala del bacino padano. Il limite superiore dell'unità coincide col piano topografico. Nell'area del Foglio Ravenna, il Sintema Emiliano-Romagnolo Superiore ha spessore compreso tra 250 e 290 m. L'età del sintema è attribuibile al Pleistocene medio - Olocene (~ 400.000 anni B.P. - Attuale). Viceversa, le caratteristiche stratigrafiche e sedimentologiche della porzione inferiore del Sintema Emiliano-Romagnolo Superiore sono poco conosciute, per via della scarsità di *pozzi* e sondaggi in grado di attraversare l'intera unità.

La ricostruzione schematica della stratigrafia dei 120 m sommitali del Sintema è resa possibile dall'integrazione dei dati stratigrafici derivati dall'esecuzione di pozzi per acqua con l'analisi di due sondaggi a carotaggio continuo (S12 e S17) eseguiti nell'ambito del Progetto CARO.

La sezione di Fig. 37 mostra come, al di sotto dei sedimenti litorali localmente affioranti di età olocenica e legati all'ultimo episodio trasgressivo quaternario (Subsintema di Ravenna,), i primi depositi litorali e marini che si incontrano verso il basso corrispondono a un corpo sedimentario tabulare situato a una profondità di circa -100 m s.l.m.. Costituito prevalentemente da sabbie litorali e, in misura subordinata, da argille di prodelta e transizione alla piattaforma. Al di sopra di questi sedimenti marino-marginali sono presenti alcune decine di metri di depositi prevalentemente argillosi di piana deltizia, caratterizzati dalla presenza di orizzonti torbosi correlabili su grandi distanze. La comparsa, generalmente in corrispondenza di un livello stratigrafico ben definito (intorno a -50/-70 m s.l.m.), di corpi sabbiosi nastriformi di notevole spessore (fino a 20 m), interpretati come depositi fluviali di valle incisa, segna il passaggio abrupto ai sedimenti alluvionali che costituiscono la porzione del Sintema Emiliano-Romagnolo Superiore immediatamente sottostante il Subsintema di Ravenna. Questo intervallo stratigrafico è dominato da argille e limi di piana inondabile, caratterizzati dalla cosiddetta “ biofacies M “ e localmente pedogenizzati, con subordinate sabbie di canale.

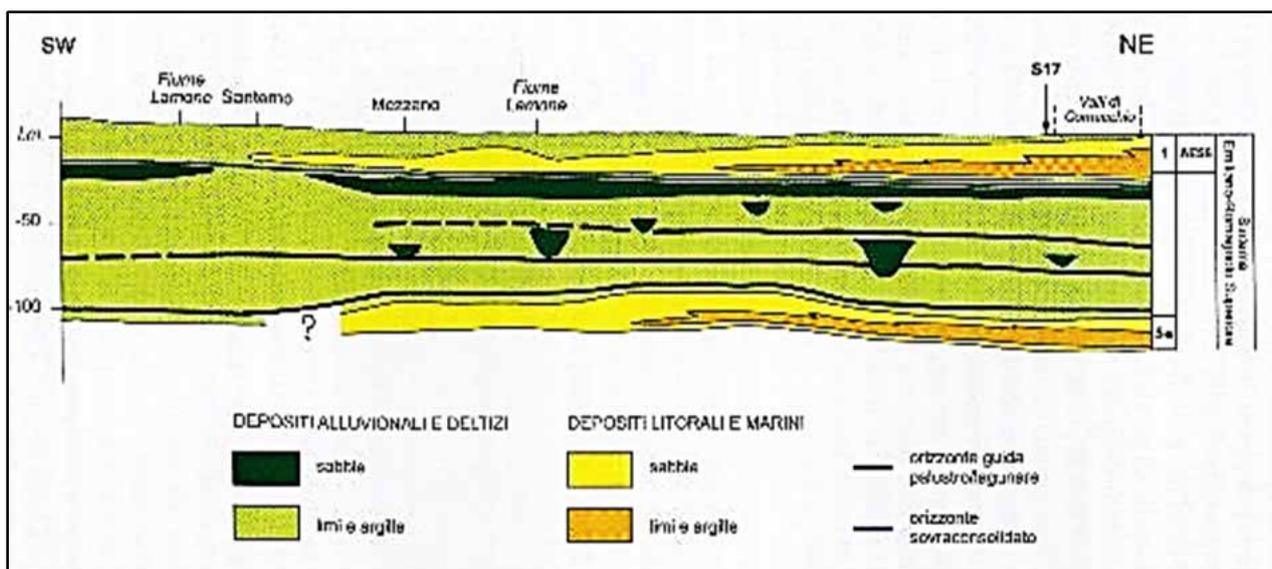


Figura 36 - Architettura della parte sommitale del Sintema Emiliano-Romagnolo Superiore nell'area del Foglio Ravenna sulla base della correlazione tra sondaggi e stratigrafie di pozzi per acqua.

Lo studio sedimentologico e micropaleontologico (foraminiferi, ostracodi e pollini) di dettaglio condotto sui 173 m di carota del sondaggio S17 (Amorosi et alii, 1999c) ha consentito di definire un quadro cronologico per la porzione superiore del Sistema Emiliano-Romagnolo Superiore e di delineare l'evoluzione sedimentaria dell'area ravennate negli ultimi 125 ka (sequenza deposizionale tardo-quadernaria di quart'ordine). Tre pulsazioni trasgressive principali, caratterizzate dalla messa in posto di depositi marino-marginali, sono identificabili nell'area (Fig. 37) in corrispondenza degli intervalli stratigrafici 4,60 - 26,60 m, 105,35 -124,20 m e al di sotto di 169,00 dal piano campagna. Queste migrazioni verso terra delle facies contrastano con i bruschi spostamenti verso mare degli ambienti deposizionali, indicati dal passaggio netto a depositi alluvionali alle quote -75,00 m e -137,20 m dal p.c.

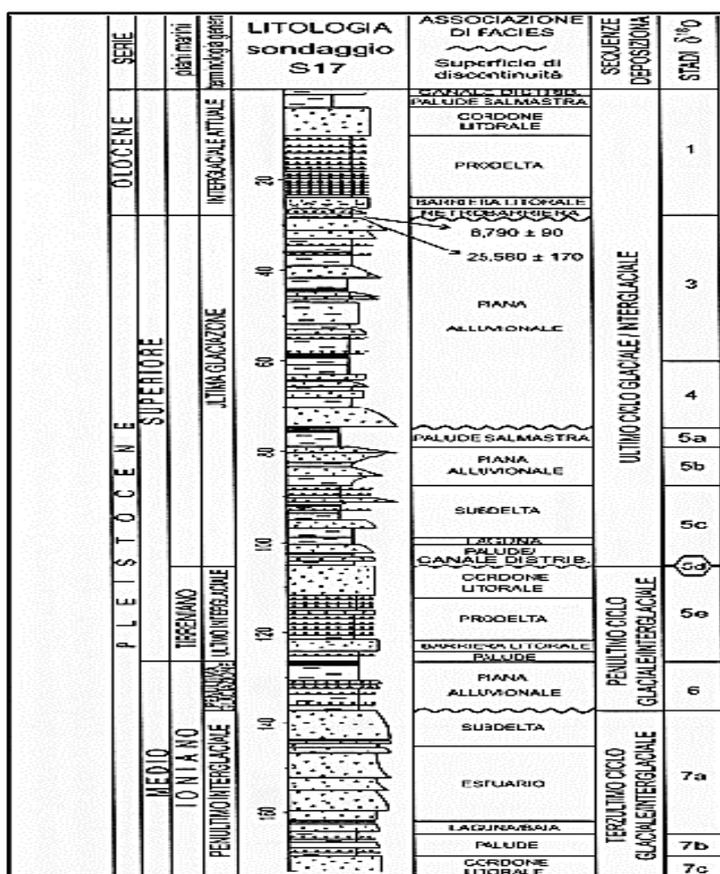


Figura 37 – Ricostruzione sedimentologico- stratigrafica di dettaglio delle variazioni deposizionali registrabili nel sottofondo più prossimo alla superficie del territorio ravennate rilevate nel Sondaggio S17

La stretta relazione tra l'impilamento ciclico delle facies e la distribuzione delle associazioni polliniche all'interno del sondaggio S17 suggerisce che l'evoluzione sedimentaria dell'area in esame sia stata fortemente controllata da fluttuazioni glacio-eustatiche. Gli intervalli "trasgressivi" registrano infatti valori relativamente medio-alti della concentrazione pollinica e sono caratterizzati da spettri pollinici in cui gli elementi arborei (AP) sono dominanti, con Pinus ed elementi non arborei (NAP) a valori molto bassi. Queste associazioni indicano condizioni climatiche di tipo interglaciale. In particolare, all'inizio dei periodi interglaciali si sviluppa una vegetazione a latifoglie decidue relativamente termofile, dominata da API (di cui Quercus rappresenta l'elemento principale), seguita dall'aumento progressivo della vegetazione montana (AP2), legata a climi temperato-freschi ed umidi. Al contrario, gli intervalli "regressivi" registrano concentrazioni polliniche molto basse (ad indicare una

significativa riduzione della copertura vegetale) e spettri pollinici caratteristici di condizioni glaciali, con dominanza di *Pinus* e *NAP* e scarsità o assenza di *AP*.

Utilizzando i depositi tirreniani e quelli olocenici come vincoli cronostratigrafici è possibile correlare gli altri intervalli della carota S17 con i picchi della curva degli isotopi dell'ossigeno di Martinson et alii (1987; Fig. 37). In particolare, le fasi trasgressive minori registrate nel sondaggio S17 da depositi di palude salmastra (75,00 - 79,25 m) o estuarino-lagunari (97,90 - 100,10 m e 145,00 -164,50 m) sono probabilmente correlabili a picchi minori di $\delta^{18}O$ e per questo attribuibili rispettivamente ai sottostadi 5a, 5c, e 7a. Analogamente, gli intervalli "regressivi" compresi tra 27,90 e 75,00 m e tra 126,70 e 137,20 m e marcati dalla messa in posto di sedimenti di piana alluvionale sono attribuiti rispettivamente agli stadi 3-4 e 6.

Seppur in presenza di un assetto prossimo alla superficie ormai molto trasformato per l'azione antropica, è possibile infine rilevare come lo sviluppo recente- attuale di questo territorio sia stato sostanzialmente condizionato e controllato dal progressivo consolidamento di processi e fenomeni naturali tipici di sistemi barriera - laguna, fluviali e deltizi. Dinamiche ben testimoniate dai depositi che costituiscono l'immediato sottosuolo costiero, recentemente ricostruito con ottimo dettaglio da Amorosi et al. (1999, 2000, 2003, 2004; ai cui lavori si rimanda per più precise considerazioni e valutazioni in merito) nelle loro caratteristiche, facies, evoluzione ed assetto. Negli schemi di seguito presentati tali condizioni sono chiaramente riassunte per l'area ravennate. I terreni più antichi presenti a partire da una "superficie di trasgressione" con profondità variabile tra i 15 e 30 m circa (a seconda delle zone) sono rappresentati da limi e argille sovraconsolidate di color grigio - giallognolo. Questi sono classificabili, per l'assenza completa di fauna marina o lagunare e la presenza di molluschi d'acqua dolce o terrestre, come depositi di origine fluvio-lacustre sedimentati durante l'ultima fase glaciale del Quaternario, cioè la "glaciazione" che iniziò all'incirca nel Pleistocene superiore 75- 90000 anni fa e durò, sia pure intervallata da alcuni periodi interglaciali, fino a 15.000-20.000 anni. Glaciazione che ha determinato un abbassamento del livello marino di circa 100-120 m al di sotto di quello attuale, portando la linea di costa all'altezza di Ancona e trasformando l'attuale territorio ferrarese- ravennate e gran parte di quello adriatico oggi sommerso in una vasta piana alluvionale (con fiumi, laghi e paludi) a sedimentazione prevalentemente continentale e costituita da terreni argillosi e sabbiosi, con intercalazioni di sabbie, argille e torbe. Tali depositi, di cosiddetto "stazionamento basso del livello marino o Low Stand/ LST", presentano spesso orizzonti di torba e corpi sabbiosi, di granulometria da fine a grossolana, e sono delimitati al tetto da una superficie di esposizione subaerea.

Questi depositi di origine continentale sono a loro volta ricoperti da sedimenti " trasgressivi o TST" a cui si sovrappongono, a loro volta, sedimenti di "stazionamento alto del livello marino o High Stand/ HST, (Fig. 38), entrambi in genere di ambiente marino e paralico e di età "Olocenica", cioè gli ultimi 10.000 anni circa della cronostratigrafia geologica e non.

I depositi sedimentari più antichi o TST (trasgressive system tract) si sono formati durante il veloce innalzamento del livello marino (che, a partire da circa 15 ka fa e sino a circa 6 ka hanno velocemente portato l'iniziale stazionamento basso del livello marino a quello all'incirca attuale). Citando per altro quanto riportato dall'Atlante delle Spiagge Italiane (Foglio NL 33-10 Ravenna; 1992): "...l'unità trasgressiva di ambiente paralico nel suo complesso rappresenta un ambiente di piana deltizia all'interno del quale si riconoscono canali distributori, baie interdistributarie e complessi barriera-laguna. Il tetto di tale unità deposizionale è costituito dalla superficie corrispondente alla fase di massima ingressione marina".

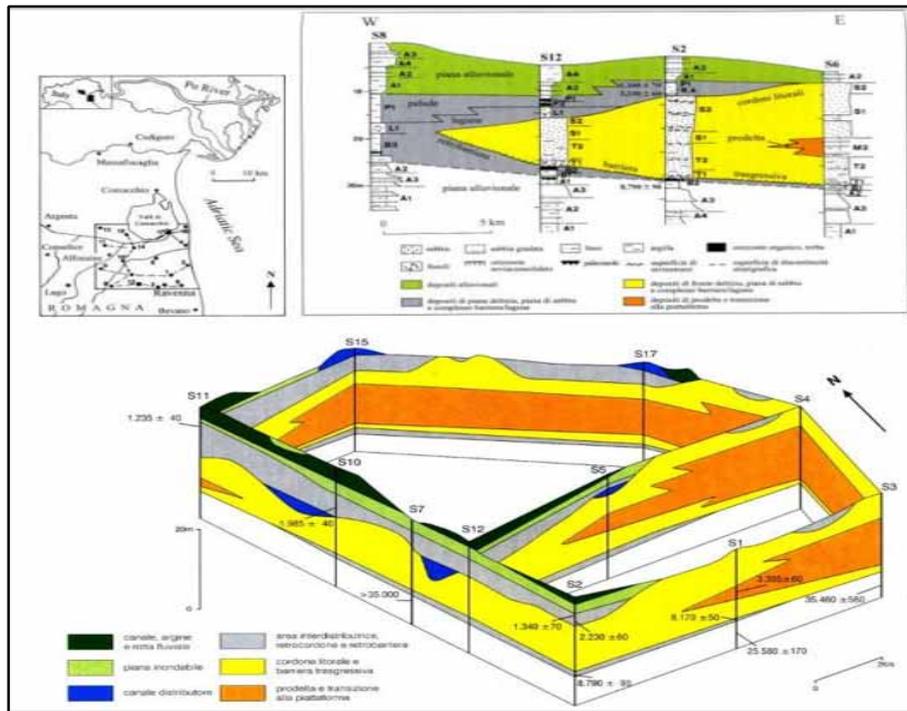


Figura 38 -Schemi geologico dell'assetto del sottosuolo nell'area ravennate (da RER, 1996 e Amorosi et al., 1999).

Al di sopra di questi si sviluppano e infine chiudono i depositi dell'ormai raggiunto livello alto del mare (ultimi 10 k anni circa). Ambienti che, nel loro insieme ed in estrema sintesi, hanno portato negli ultimi millenni il progressivo avanzamento (progradazione) di questo territorio soprattutto attraverso la continua e costante formazione di una serie di cordoni litorali sabbiosi e retrostanti spazi lagunari, via via disattivati, colmati ed in parte sepolti (Fig. 39; Ciabatti, 1968, Bondesan et al, 1978; CENAS 1997). Tali cordoni, costituiti da sabbie di spiaggia e di duna, rappresentano la "traccia" sedimentaria e paleomorfologica delle numerose linee di costa formatesi in questo processo di avanzamento.

I paleocordoni occidentali, più antichi, risultano oggi sepolti a qualche metro di profondità a causa della subsidenza che in queste zone presenta tassi elevati anche sotto il solo profilo naturale (2- 4 mm/ a) ed oggi antropicamente accelerati. Procedendo dall'interno verso mare i cordoni più recenti si trovano ovviamente a profondità via via sempre minori fino a raggiungere la superficie (attuali "dossi" che caratterizzano il territorio costiero e le zone pinetali in particolare) in funzione dei tempi di azione della subsidenza. Subsidenza che fa oggi registrare la sua principale azione proprio nella zona più prossima alla costa. Nelle zone più depresse tra un cordone e l'altro si instauravano ambienti vallivi e lagunari con deposizioni di argille e limi torbosi che portavano al loro colmamento in tempi relativamente brevi

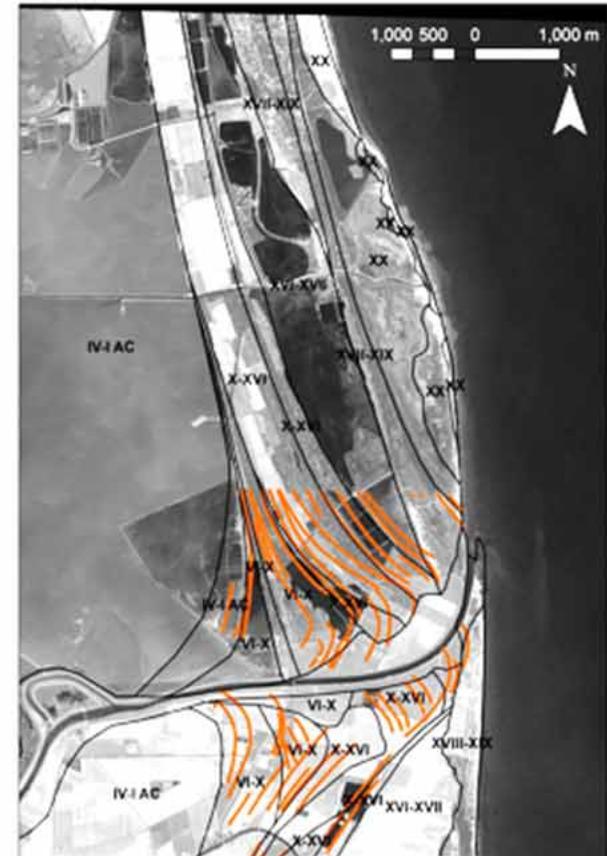


Fig39 - Evoluzione della costa e dei cordoni dunosi ravennate negli ultimi 15 secoli circa (da Fogli 240 Forlì e 223 Ravenna della Carta Geologica RER; modif.).

La distribuzione generale dei sedimenti superficiali che caratterizzano l'area, da tempo cartografati con buon dettaglio nelle relative distribuzioni areali, sono sintetizzati in Fig. 41.

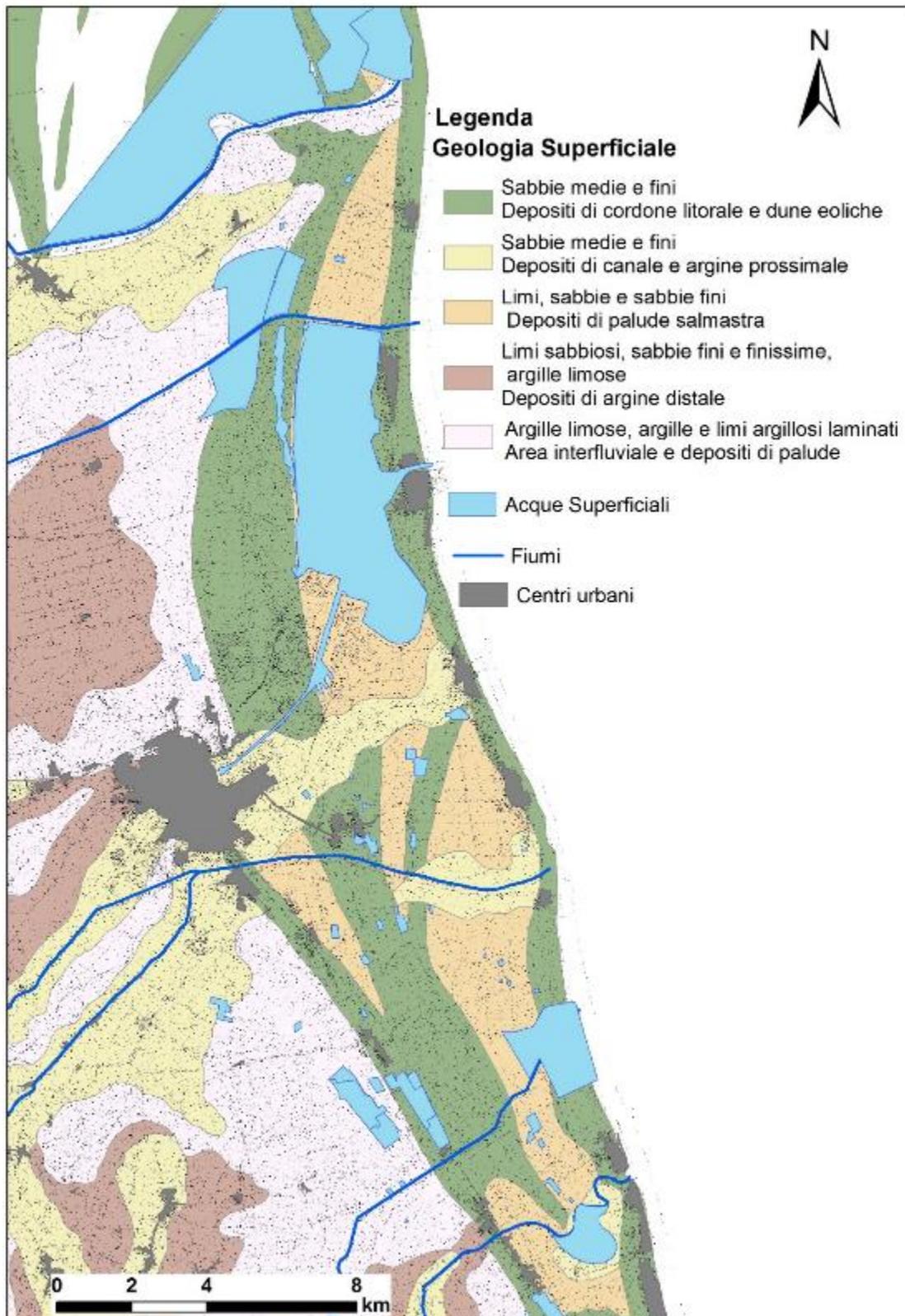


Figura 41 – Distribuzione delle litologia superficiale nell'area costiera ravennate

L'estensione e lo spessore delle sabbie di spiaggia attuale risulta molto modesta, raggiungendo spessori complessivi dell'ordine dei 15-25 metri al massimo ed estendendosi, così come evidenziato dai sondaggi di terraferma ed alcuni rilievi effettuati nella spiaggia sottomarina, all'incirca sino alla batimetrica nell'intorno dei 6- 8 metri con spessori dell'ordine dei 5- 8 m (Fig. 42).

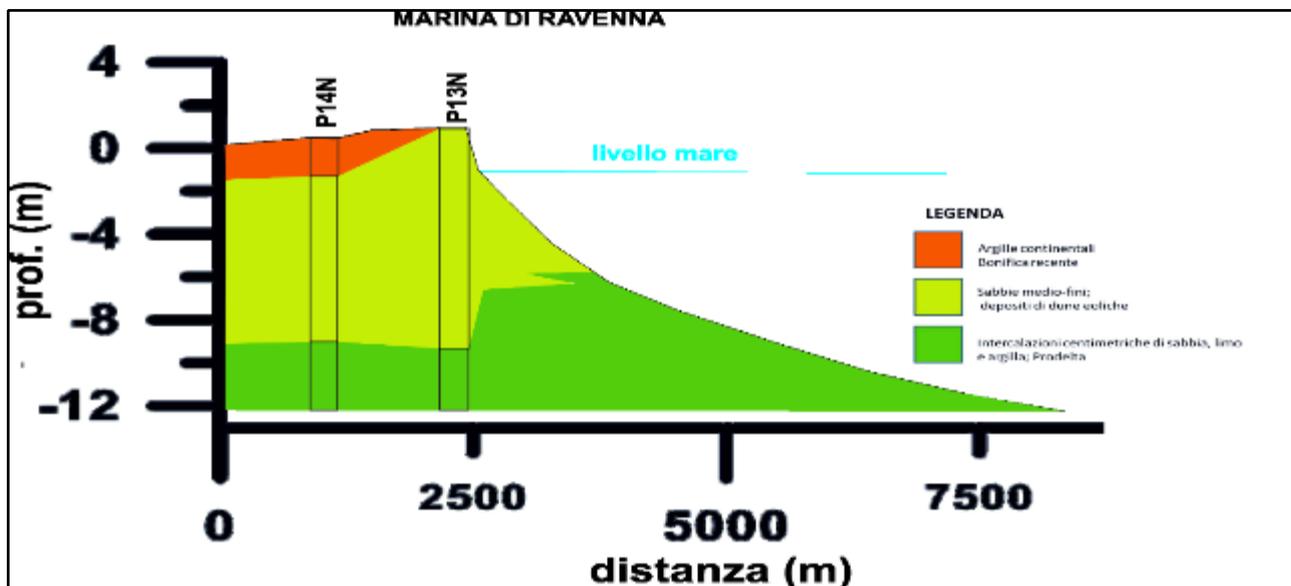


Fig. 42 – Schematico profilo spiaggia emersa- sommersa rilevabile lungo la costa ravennate

2.1 - Evoluzione geomorfologica dell'area costiera in tempi storici

Il sistema costiero in esame costituisce un tipico esempio territoriali ad elevata dinamicità naturale sia sotto il profilo spaziale sia temporale e, quindi, tendenzialmente instabile anche nel breve- medio periodo. Nella zona in esame negli ultimi cinquecento secoli circa la dinamicità naturale del sistema è andata progressivamente riducendosi per il controllo ed il condizionamento operato dall'uomo che ha sempre cercato di contrastare e governare quelle forze, sia marine che terrestri, che ne mettevano in pericolo l'insediamento e l'economia. Significative in tal senso risultano le molteplici testimonianze storiche disponibili (grazie al ruolo che, almeno sin dall'epoca etrusca, hanno avuto gli insediamenti umani in queste aree).

In particolare, questo settore della costa nord adriatica presenta tipiche caratteristiche di un ambiente di transizione tra mare e terra in cui si sono a lungo sviluppate fenomenologie tipiche anche di un sistema deltizio. Come ben noto, grazie alle ricerche condotte sull'argomento da parte di numerosi Autori (tra cui, tra i tanti, Ciabatti, 1967; Nelson, 1970; Veggiani, 1976, 1985; Bondesan, 1985; Roncuzzi, 1994; Amorosi *et al.*, 1999; Regione Emilia-Romagna, 1999, Stefani, & Vincenzi 2005). negli ultimi millenni il Po ha permesso alla costa ferrarese- ravennate- di progredire (sino a raggiungere le attuali posizioni a partire da una linea di costa notevolmente più interna, circa 20 km, intorno ai 5000 anni fa; Figura) attraverso la successiva divagazione e riorganizzazione della rete idrografica. La crescita del delta è stata accompagnata dalla progredizione di un sistema costiero, attraverso la giustapposizione di cordoni litorali di età via via più recente .

Un sistema la cui gran parte dei caratteri morfologici osservabili anche nella zona settentrionale del ravennate è intimamente legata alle dinamiche evolutive del canale distributore più meridionale del Po, il Primario (all'incirca coincidente con la parte terminale del Fiume Reno attuale). Distributore responsabile dello sviluppo nell'area ravennate settentrionale, di un lobo deltizio sufficientemente esteso in età tardo-olocenica (Fig. 43). A sud dell'allora Primario la sedimentazione avveniva invece in ambiente di piana alluvionale. L'intervento umano ha sensibilmente condizionato la sedimentazione, soprattutto nel corso degli ultimi secoli. Per questo motivo, il contributo della ricerca storica è di fondamentale importanza per ricostruire la storia deposizionale tardo-olocenica dell'area in esame. La Carta Geologica del Foglio 223-Ravenna, a cui si rimanda per una maggiore e più articolata ricostruzione, meglio dettaglia la registrazione di gran parte degli eventi e dell'evoluzione subita dal sistema sino al XII sec circa. Di seguito viene invece focalizzata l'evoluzione del settore costiero ravennate nei secoli più prossimi all'attuale.

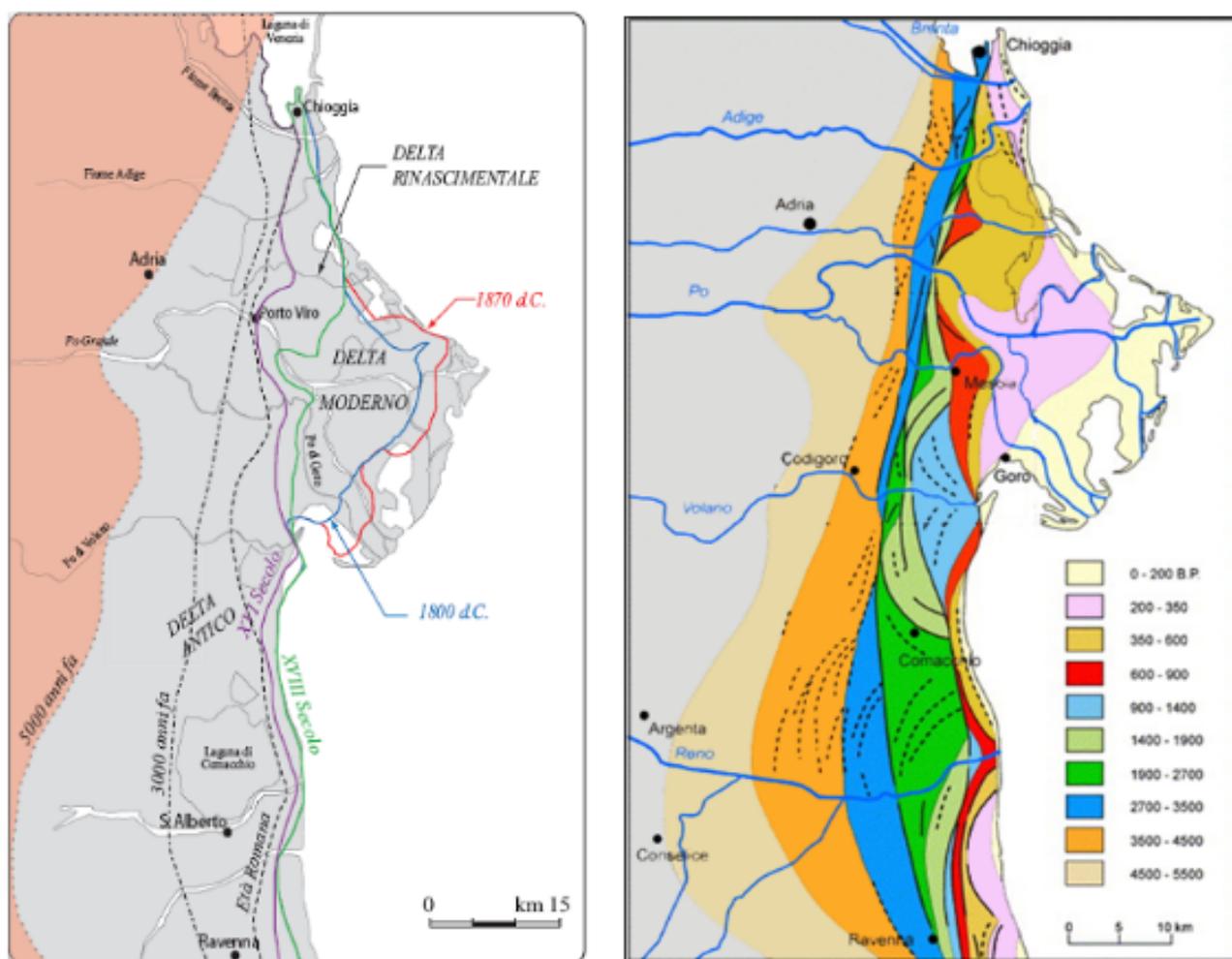


Figura 43: Sintetica ricostruzione della successione delle linee di costa a partire da 5000 anni fa ad oggi per l'area del Delta del Po (a sinistra: da Gabbianelli et al., 2007) ed età dei territori progressivamente formatisi (a destra; da Stefani & Vincenzi, 2005)

Per altro, la notevole quantità di informazioni storico-archeologiche e cartografiche pre-geodetiche disponibili per il territorio ravennate forniscono utili informazioni, talora uniche, nel tentare di ricostruire fenomenologie e processi evolutivi di un'area così dinamica sotto il profilo naturale e su cui l'antropizzazione ha avuto un elevato controllo nel corso del tempo. Per altro, un simile approccio metodologico, non comune nel campo delle ricostruzioni fisico-naturali, rappresenta una idonea e valida integrazione (e, molto spesso, una migliore chiave di lettura) nell'interpretazione di processi, fenomenologie e ricostruzioni geomorfologico-evolutive, quali quelle relative all'area in esame per gli ultimi 5 secoli circa e di cui un esempio è sintetizzato in Fig. 44.



Figura 44 - Rigenerazione di cartografia storica pre-geodetica su topografia CTR (in rosso) che ben evidenzia le profonde trasformazioni territoriali registratesi nella zona costiera a seguito della diversione del Ronco-Montone e conseguente loro immissione nella nuova foce di F.mi Uniti. Evidente l'evoluzione subita dalle Piallasse e, nella parte più bassa della ricostruzione, del nuovo corso terminale di F.mi Uniti e degli insediamenti di Marina-Punta-Dante.

Le informazioni storico- archeologiche presentano, per altro, l'importante funzione di evidenziare l'azione di eventuali variazioni climatiche, seppur di bassa intensità, intervenute e/o alternatesi in tempi storici. Variazioni che anche nell'area ravennate durante la "Piccola Età del Ghiaccio" o PEG hanno marcatamente controllato e condizionato stili e processi deposizionali/ erosivi, sia fluviali che costieri. In particolare, il significativo peggioramento climatico registratosi durante la PEG, generalmente riferita all'intervallo temporale 1500- 1850 circa, ha contribuito, come testimoniano le numerose evidenze geomorfologiche rilevabili nell'area, a modificare significativamente il regime

degli apporti solidi e, di conseguenza, il relativo assetto geomorfologico di questo territorio. Assetto che, in concomitanza della successiva relativa stabilità climatica, ha poi dovuto ritrovare un nuovo equilibrio di tipo regressivo che continua tutt'oggi.

Particolarmente evidenti risultano, già a livello di speditiva analisi macroscopica di prodotti cartografici sei- settecenteschi rigenerati via GIS, le profonde trasformazioni registratesi per la costa ravennate negli ultimi secoli circa.

Nel caso della diversione del Ronco e Montone, portati alla nuova foce affinché la città non soffrisse più delle sistematiche alluvioni connesse al peggioramento climatico registratisi con la Piccola Età del Ghiaccio, in questo secolo la dinamica costiera iniziò ad essere dominata dagli apporti fluviali rispetto all'azione di distribuzione dei sedimenti lungo la costa ad opera delle forze meteomarine.

Del resto proprio in questi anni si registrano i principali picchi negativi della PEG che, accompagnati da piene disastrose e violente mareggiate, fanno registrare apporti solidi a mare così elevati che pressoché tutti i porti nord adriatici presentavano problemi di interrimento. In proposito vale ricordare che proprio per tali ragioni nel 1600- 1604 i veneziani procedettero al famoso " Taglio di Viro", che scollegò l'allora ramo principale del Po ,che sfociava nella laguna veneta (rendendola quindi passibile di pericolosi interrimenti), e facendo così assumere al moderno Delta del Po la sua attuale geometria; geometria nettamente diversa se il sistema fosse stato lasciato in grado di operare naturalmente.

Intorno a metà '700 il territorio ravennate si presentava ancora molto diverso dall'attuale: in questo periodo, come si evince dall'analisi della cartografia di Fig. 44, attraverso la deposizione dei cordoni sabbiosi da parte delle correnti marine erano in via di formazione le Piialasse. Inoltre si può notare come i fiumi Ronco e Montone realizzassero, a valle della città, una marcata cuspidè deltizia, con una spiccata tendenza progradazionale; viceversa la precedente cuspidè veniva velocemente erosa dal moto ondoso ed i suoi materiali portati a chiudere definitivamente le Piialasse. Nella successiva mappa del 1850 (Fig. 45) risultano chiare le notevoli e significative variazioni subite dal territorio nell'arco di soli 80 anni circa: la cuspidè deltizia del vecchio alveo dei Fiumi Uniti è completamente scomparsa e, in generale, si registra un significativo avanzamento di tutta la linea di costa. Da evidenziare è anche la notevole riduzione dell'area pinetata e il marcato sviluppo di una nuova attività produttiva legata allo sfruttamento delle numerose zone umide: la coltivazione del riso (Altieri et al., 1987).

Mappe di fine '800 mostrano un ulteriore sviluppo della attività di risicoltura, un sostanziale incremento di urbanizzazione del capoluogo ravennate, ma soprattutto il notevole accrescimento della nuova cuspidè deltizia dei Fiumi Uniti a cui si accompagna un notevole avanzamento della linea di costa (Altieri et al., 1987).



Fig. 45 - "Carta topografica" dello Stato Pontificio e del granducato di Toscana del 1851 costruita sopra misure astronomiche trigonometriche ed incisa sopra pietra a Vienna nell'I.R. Geografico Militare (Faini e Majoli, 1992)

Dal confronto tra tale cartografia emerge poi la drastica riduzione dell'estensione delle aree pinetate più interne, verificatasi nell'arco di 200 anni (dal 1750 circa al 1934); aree che attualmente sono sporadicamente presenti lungo il litorale. In particolare, dei 7417 ha di pineta stimati dal Conte Francesco Ginanni alla fine del 1700, ne restano oggi meno di 2300 (Altieri et al., 1987).

Successivamente, nei primi decenni del 900, con la bonifica di ampie aree umide furono impiantate, sulle dune immediatamente a ridosso della costa, pinete costiere demaniali poiché costituivano, per il retroterra coltivato e strappato da poco all'acqua, un ottimo riparo naturale dai venti marini carichi di salsedine e sabbia abrasiva.

Nel "Piano Progettuale per la difesa della costa Emiliano Romagnola" (Idroser, 1982), si commenta l'esistenza dei cordoni dunosi nell'area compresa tra foce Fiumi Uniti e foce fiume Bevano in questi termini: *"...le dune, presenti alla fine del secolo scorso presso la foce dei Fiumi Uniti, erano disposte in due o tre fasce parallele che caratterizzavano il tratto terminale del fiume, allora ancora molto pronunciato. L'erosione che coinvolge la cuspide deltizia, nella prima metà di questo secolo, induce la conseguente distruzione degli apparati dunosi posti ai suoi lati; si ha, invece, ripascimento dell'arenile alla sinistra della foce del Bevano con formazione di due nuovi cordoni e negli anni '40 si ha un progressivo consolidamento delle dune più interne ad opera dell'impianto della pineta demaniale."*

A conclusione di questa breve e del tutto preliminare disamina delle principali trasformazioni storiche della costa ravennate, vale sottolineare come in questa fase del lavoro si sia proceduto solo ad una parziale disamina dell'evoluzione dell'area ravennate più settentrionale, all'incirca corrispondente alle foci dei fiumi Lamone e Reno. Ciò è in parte dovuto, oltre che ai tempi in gioco, alla complessità

che la sua ricostruzione comporta, pur in presenza (e forse anche per questo) di una notevolissima disponibilità di materiale cartografico pre-geodetico e storico. Risulta comunque ormai abbastanza chiaro come, in prima approssimazione, l'evoluzione del settore costiero in esame, così come per ora delineabile integrando dati geomorfologici e storico - archeologici, sembra presentare sino all'incirca a fine '800 un notevole e rapido avanzamento della linea di costa.

Tale avanzamento è in gran parte da attribuire agli ingenti apporti solidi fluviali e torrentizi concomitanti con la "Piccola Età del Ghiaccio" che dal 1550 al 1850 circa ha caratterizzato il clima di quest'area (in proposito si rimanda ai numerosi siti WEB disponibili sull'argomento per maggiori e più precise informazioni; tra questi si segnala: https://it.wikipedia.org/wiki/Piccola_era_glaciale; http://www.eh-resources.org/timeline/timeline_lia.html).

I maggiori avanzamenti registrabili in base alla cartografia pre- geodetica disponibile sembrano preliminarmente ascrivibili e a due periodi principali: il primo relativo a fine '500- prima metà del 1600 ed il secondo intorno al 1750. Punte secondarie si sono avute poi nell'intorno del 1900 e del 1930. Tali periodi coincidono con buon'approssimazione con quelli che, sia a livello globale (Denton e Karlen, 1973; Bradley e Jones, 1992) sia locale (Visentini, 1940; Maestri, 1981; Veggiani 1982, 1986; Cazzola, 1995; Ceccarelli, 1998), registrano un marcato peggioramento climatico nell'area nord adriatica e ravennate in particolare.

Un generale e complessivo miglioramento delle condizioni climatiche si registrerebbe però già a partire dal 1860, ma gli stessi Autori riconoscono il verificarsi di condizioni negative simili alle precedenti per gli anni 1880-92 e 1912-25. Un dato ancor più significativo in tal senso è ricavabile dall'analisi degli eventi di piena del Po condotto da Camuffo ed Enzi (1994) che, proprio per questi periodi, individuano un marcato aumento nella frequenza delle inondazioni legate al Po.

Già a partire dagli anni '20 circa in prossimità delle foci dei fiumi che interessano l'area, la costa ha però mostrato una naturale tendenza all'arretramento. Questa tendenza è certamente imputabile alla marcata caduta nel trasporto solido verificatasi con la fine degli effetti legati alla "Piccola Età del Ghiaccio" ed al nuovo equilibrio raggiunto dalla costa nelle sue dinamiche. Riequilibrio aggravato poi, se non interrotto, dai successivi e progressivi livelli di antropizzazione .

Ad ulteriore testimonianza delle variate condizioni sedimentarie indotte dalla conclusione della "Piccola Età del Ghiaccio", va registrato come con la fine dell'800 – primi del '900 pressoché tutte le foci fluviali della zona variano il loro assetto iniziando ad assumere, in accordo con le prevalenti direzioni del trasporto solido litoraneo, quel marcato allungamento verso nord del loro lato sovracorrente; allungamento che gli conferisce quella tipica "falciatura" ancor oggi in parte riconoscibile e che in alcuni casi ha portato alla formazione di vere e proprie frecce o spits litorali (Fig. 46)

Sempre da un punto di vista generale, evidenti e rapidi processi erosivi iniziano a presentarsi nell'area all'incirca a partire dagli anni '60 e in particolare con l'inizio della costruzione dell'insediamento turistico di Lido Adriano. Qui la costa arretrò di circa 260 m rispetto al 1917 e di ulteriori 50 m tra il 1963 ed il 1967 tanto che l'insediamento turistico non fu completato secondo l'originario progetto. Furono quindi installate le prime opere di difesa, costituite da una serie di barriere filtranti trasversali, che però non diedero risultati apprezzabili. Tra il 1978 ed il 1980, furono quindi costruite, a copertura di un tratto di costa di circa 1700 m, un serie di scogliere parallele, pennelli trasversali seguite da importanti ripascimenti succedutesi abbastanza continuativamente negli anni.



Fig. 46 – Evidente su questa carta topografica IGM del 1911 lo sviluppo della falciatura sabbiosa (freccia litoranea o spit) diretta verso nord che all'epoca si registrava anche alla foce di F.mi Uniti, oltre che in corrispondenza di altre foci della zona. Struttura smantellatasi poi abbastanza rapidamente e negli ultimi decenni presente solo alla foce del T. Bevano per il costante, seppur modesto, apporto di sabbia erosa a sud.

Queste opere tra il 1983 ed il 1991 hanno portato ad un avanzamento complessivo della linea di costa di circa 30 m (circa 4 m/anno) ma nell'ultimo decennio si è assistito ad un successivo arretramento di circa una decina di metri. Esse hanno però innescato e/o accelerato il processo erosivo delle spiagge sottocorrente di P.ta Marina. Per questa zona si può infatti osservare come la linea di costa sia rimasta stabile all'incirca sino al 1977, subendo poi una forte erosione fino agli anni '80 con tassi massimi registratesi fra il 1977 ed il 1983. Il persistere della situazione di disequilibrio nell'area di P.ta Marina ha portato alla costruzione, alla fine degli anni '90, di una barriera semisommersa.

La foce di F.mi Uniti risulta sin dall'inizio la zona più colpita dall'erosione (anche a causa della progressiva e costante diminuzione degli apporti solidi a mare indotta a monte dall'escavo di sabbie e ghiaie lungo l'alveo, regimentazioni idrauliche di vario tipo, sinergia con la subsidenza generata dal campo Angela- Angelina, ecc, condizione incrementatasi ulteriormente negli ultimi due decenni. In particolare l'erosione ha colpito pesantemente il settore nord della foce dove tra il 1968 ed il 1972 si sono registrati arretramenti dell'ordine dei 6 m/anno e di 14 m/ anno tra il 1970 ed il 1980. Questo trend è stato sostanzialmente interrotto a partire dal 1988 con la costruzione di una difesa radente a protezione della zona di retrospiaggia. Per quanto riguarda la zona a sud della foce gli arretramenti sono stati decisamente minori ma solo parzialmente risolti con la costruzione, a metà degli anni '80, di una barriera in sacchi soffici antistante Lido di Dante. Per contrastare infine seri fenomeni di ingressione marina, che hanno interessato tale abitato nei primi anni '90, dal 1995 quest'area è stata protetta da una barriera semisommersa, che ha sostituito del tutto le precedenti strutture sommerse, della lunghezza di circa 750 m. Struttura che ha però portato a marcati fenomeni erosivi nella sua parte settentrionale e sottocorrente della foce.

Per quanto riguarda l'evoluzione geomorfologica dell'area in esame ed ai fini propri dello studio in discussione può risultare utile, se non altro in termini di sintesi cronologica, sintetizzare l'evoluzione dell'area all'incirca nell'ultimo secolo::

1) Già nella seconda metà dell'800 le cartografie disponibili (ormai abbastanza affidabili sotto il profilo "geodetico-numerico") iniziavano ad evidenziare come, per il sempre minor apporto solido a mare legato al concludersi della PEG (Piccola Età del Ghiaccio) un arretramento di tutte le foci fluviali regionali;

2) Secondo Bondesan et al (1978), dal 1835 al 1917 circa lungo tutto il litorale ravennate (e ferrarese) si sarebbe però registrato un generalizzato avanzamento della spiaggia, proseguita all'incirca sino ai primi anni del '930; data in cui iniziò la vera e propria inversione di tendenza a cui ha fatto seguito, oltre allo smantellamento degli apparati di foce, un forte abbassamento per erosione dei fondali ed un marcato processo di rettificazione della linea di riva;

3) Dal 1917 al 1957 si riscontra una serie di inversioni di tendenza, con una riduzione della velocità di avanzamento nelle zone delle foci del Reno, Savio e Fiumi Uniti, mentre continua il protendimento della foce del Bevano. Il fenomeno di arretramento delle foci del Reno e dei Fiumi Uniti risulta particolarmente evidente nei tratti da Foce Reno a Casal Borsetti e nel tratto di Punta Marina- Fiumi Uniti (Idroser, 1982);

4) Dagli anni '50 su tutta l'area si registrano nette tendenze regressive (arretramenti dell'ordine di diversi m/anno) in gran parte connessi alla significativa diminuzione degli apporti solidi a mare legata alle regimentazioni artificiali montane e all'estrazione d'inerti dagli alvei; estrazione che raggiunse il suo culmine tra il 1960 ed il 1980 (Dal Cin e Simeoni, 1984; Simeoni e Bondesan, 1997; Simeoni et al., 1999);

5) Dal 1957 al 1968 la tendenza evolutiva è analoga alla precedente. L'arretramento della linea di riva si estende anche nei tratti Casal Borsetti - Foce Lamone (nel 1965 s'interviene per la difesa dell'abitato di Casal Borsetti con difese a gabbioni rivelatisi inefficaci) e Fiumi Uniti - Bevano. Prosegue l'accrescimento della zona Lamone - Punta Marina; vengono realizzati i moli foranei di Porto Corsini (oltre 2,8 km di aggetto a mare) e ad entrambi i lati del porto si manifesta un immediato avanzamento della spiaggia. Pressoché negli stessi anni si realizzò lo sbocco a mare e l'aggetto della nuova foce del fiume Lamone (che in precedenza spariava le acque in una valle interna). Aumenta significativamente la velocità di arretramento nel tratto Punta Marina - Fiumi Uniti;

6) Dal 1968 al 1978 vengono realizzate scogliere a Casal Borsetti e alla foce del Savio (Lido di Savio e Lido di Classe) e pennelli a Lido Adriano. La linea di costa del 1978 mostra già evidenze degli effetti locali generati dalle opere artificiali. Situazione analoga si ha alla foce del Savio con avanzamento nella zona delle opere e di arretramento nella zona a Nord di queste. I pennelli a Lido Adriano non forniscono i risultati sperati e già dal 1978 si inizia la costruzione di scogliere parallele: nel periodo 1979-1980 si acquiscono i segni di erosione a Punta Marina Sud e a Lido Adriano Nord (Idroser, 1982);

7) In questo contesto va considerato, come sottolineato da più parti: *"...Soprattutto l'edificazione e il prolungamento dei moli portuali, di opere di difesa come le scogliere frangiflutto e i pennelli hanno determinato l'arresto della deposizione della sabbia in alcuni tratti del litorale. Le opere a mare, modificando le correnti lungo riva, alterano profondamente la spiaggia causando un accumulo sopracorrente e una erosione sottocorrente. Anche quando si opera per la difesa di una spiaggia attraverso difese rigide si finisce per alterare la forma della spiaggia e ovviamente la dinamica costiera: in taluni casi le opere innescano correnti di risucchio che finiscono per disperdere la sabbia al largo..."* (RER, 2010). Inoltre, *"...La sostanziale distruzione dei cordoni dunali e della sua vegetazione spontanea, sostituite da strutture balneari (cabine comprese) e edifici, costruiti*

spesso a ridosso della battigia, unitamente per alcune zone ad incrementi localizzati della subsidenza per depletazione di gas dai fondali, ha provocato l'alterazione dell'equilibrio della costa. La spiaggia sabbiosa, in passato, era accompagnata nell'area costiera, da una, più o meno ampia, fascia di dune, allungate nel senso del litorale e perpendicolari ai venti dominanti... “.

1) Sempre per quanto riguarda l'area ravennate e le problematiche intrinseche legate a questo rapporto, risultano infine di specifico interesse le ricerche e le valutazioni effettuate verso la fine degli anni '70 da Bondesan et al. (1978) circa la ricostruzione dell' assetto ed evoluzione della spiaggia sommersa per gli intervalli temporali 1858- 1901, 1901- 1954, 1954- 1968 e 1968- 1971 (Figura 2.21-2.22). Dai confronti allora effettuati risulta di particolare interesse l'esistenza, in prossimità delle foci fluviali, di marcati abbassamenti/ erosione dei fondali. In particolare, le variazioni intercorse confermano le forti perdite di quota tra cui spiccano quelle che si registrano in corrispondenza dell'intorno di foci del Reno e Fiumi Uniti. Confronti che indicano variazioni negative che, nell'arco di un secolo circa (1858- 1968) hanno portato ad un approfondimento dei fondali dell'ordine di alcuni metri. Condizioni queste ultime che, come a tutt'oggi riscontrabile, continuano a caratterizzare per gran parte della costa regionale a a registrarsi a tutt'oggi (ARPA-er 2013; http://www.arpa.emr.it/dettaglio_generale.asp?id=3294&idlivello=1884) ;

2) Come schematizzato in Figura 47 l'evoluzione dell'area ravennate nell'ultimo mezzo secolo circa è proseguita ininterrottamente sino ad oggi con la persistenza di fenomeni erosivi soprattutto in corrispondenza delle foci fluviali.

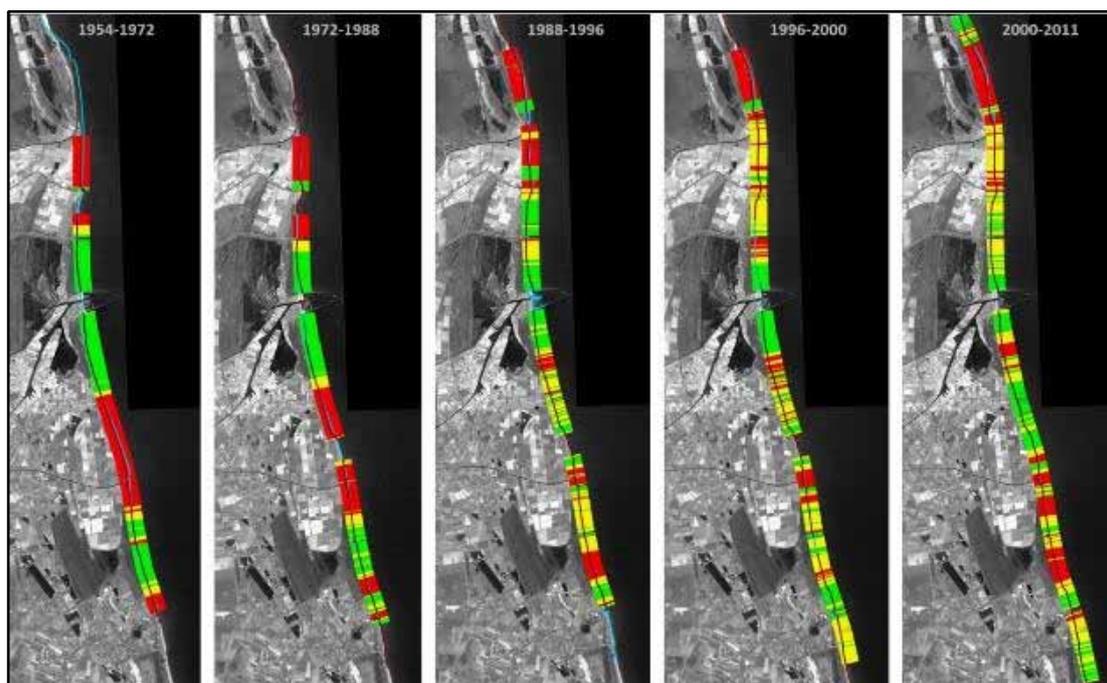


Figura 47 - Confronto in termini erosivi tra linee di riva analizzate per l'intervallo 1945- 2011

All'incirca negli stessi periodi si assiste ad una significativa perdita dei cordoni dunosi con contemporaneo incremento nella presenza e sviluppo degli insediamenti balneari (Fig. 48).

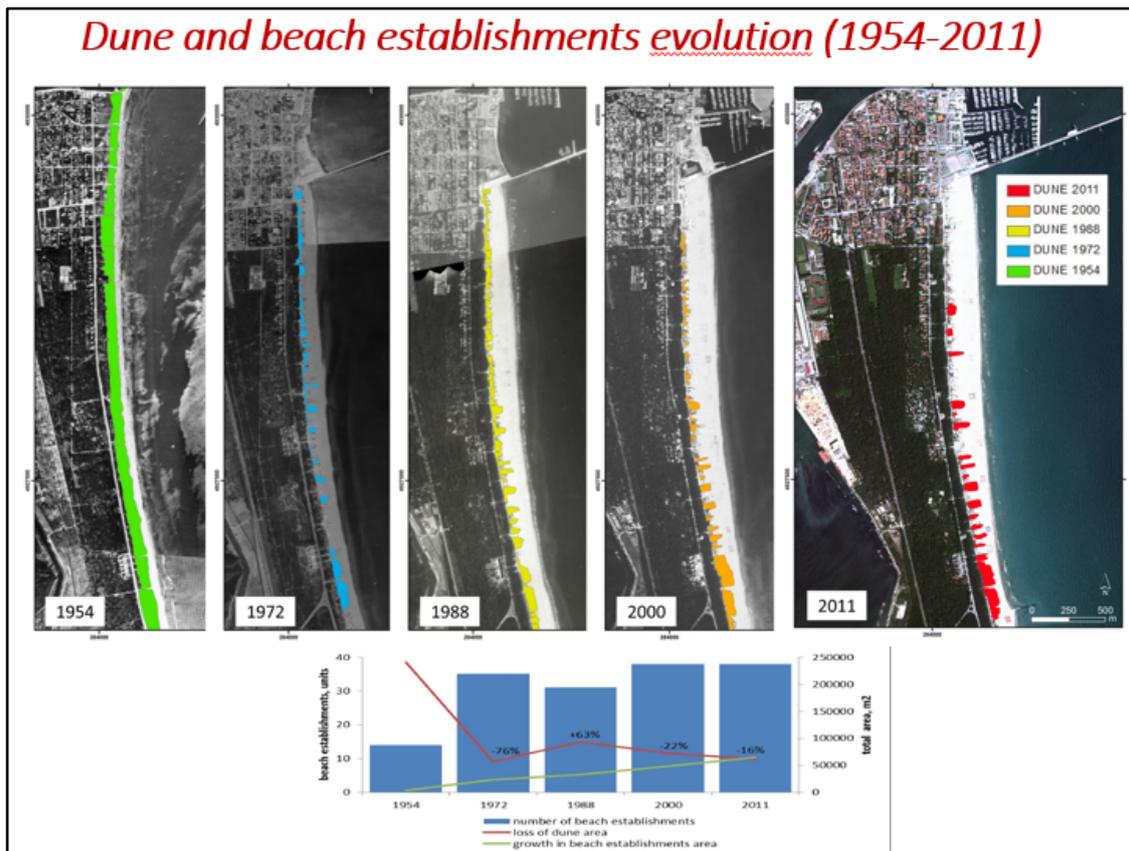


Figura 48_ Evoluzione del sistema dunoso nell'area ravennate registrabile per l'intervallo 1954- 2011

2.2 Subsidenza naturale ed antropica

Il territorio ravennate è da sempre interessato dal fenomeno della subsidenza tanto che i resti archeologici individuati nel sottosuolo della città mostrano che Ravenna fu più volte interessata da cosiddette “crisi subsidenziali”, con periodica ricorrenza durante tutti i suoi tre millenni di vita. Come infatti messo in luce da Roncuzzi (1986), numerose furono le riedificazioni della città (ogni 500 anni circa) rese necessarie per elevare la quota dell'abitato in modo tale da assicurarne la capacità di scolo, ridotta a causa della costante perdita di elevazione del piano di appoggio della città per compattazione naturale del sottosuolo (Fig. 49).

Nell'area, in particolare, compattazione naturale dei depositi sedimentari e cause tettoniche concorrono a produrre tassi di abbassamento valutabili nell'ordine dei 3- 5 mm/anno circa

produzione di gas metano, di entità ed ampiezza generalmente inferiore a quelle provocate dai pompaggi di acque artesiane, ma comunque tali da poter avere un impatto anche rilevante sull'ambiente costiero. Durante questi anni fu anche potenziato un precedente sistema di monitoraggio basato su livellazioni di alta precisione per fornire ogni alcuni anni idonei aggiornamenti circa l'evoluzione territoriale del fenomeno.

A partire dal 1993 l'Amministrazione Comunale di Ravenna ed ENI - Divisione AGIP misero in atto una specifica collaborazione finalizzata alla "Previsione e Controllo della Subsidenza". Gli studi condotti attraverso tale collaborazione, con protocolli di intesa di durata triennale e tuttora in atto, sono stati indirizzati soprattutto al controllo e previsione del fenomeno lungo la fascia costiera attraverso l'esecuzione di campagne annuali e/o biennali di livellazione geometrica, l'istituzione di una rete di rilevamento satellitare (GPS), la misurazione delle compattazioni superficiale e profonda (Assestimetri) e, più recentemente, misure per via interferometrica tipo "InSar"; tutte misure atte alla predisposizione di modelli di calcolo previsionali per la subsidenza indotta dalla coltivazione di giacimenti prossimi a costa con il miglior grado di affidabilità possibile.

Nel contempo, a partire dal 1996, l'allora "Agenzia regionale Idroser" iniziò ad elaborare il progetto per l'istituzione di una rete regionale di controllo della subsidenza con l'obiettivo di poter disporre di una rete altimetrica che costituisse una sicura base di riferimento sia in previsione di successivi interventi di approfondimento dell'indagine, sia al fine di collegare ed omogeneizzare le reti e i rilievi già presenti sul territorio regionale. Il progetto prevedeva la realizzazione di due reti distinte interagenti: una rete di livellazione e una rete GPS integrata. Più recentemente entrambe sono state integrate in una rete interferometrica InSar. La rete, nel suo complesso, è stata misurata per la prima volta nel **1999**. Il rilievo della rete di livellazione ha permesso di attribuire ad ogni caposaldo una quota assoluta sul livello medio del mare riferita, in particolare, al caposaldo 5/162" (verticale), ritenuto stabile, sito nei pressi di Sasso Marconi (Appennino bolognese) e appartenente alla rete di livellazione di alta precisione dell'Istituto geografico militare italiano (Igmi). Per tale caposaldo è stata adottata la quota determinata nel 1949 dall'Istituto stesso pari a 225.9222 m s.l.m.

Maggiori e più precise informazioni sul tema e sui risultati aggiornati al 2012 anche per quanto riguarda il territorio ravennate sono reperibili sui seguenti siti regionali:

<http://ambiente.regione.emilia-romagna.it/geologia/temi/subsidenza>

http://www.arpa.emr.it/dettaglio_generale.asp?id=2051&idlivello=1423

http://www.arpa.emr.it/dettaglio_generale.asp?id=2045&idlivello=1425

Il processo subsidenziale misurato raggiunse il suo punto più critico negli anni dal 1972 al 1977 con valori medi di 40 mm/anno pressoché su tutta l'area comunale di Ravenna, e di 50-60 mm/anno nell'area della Pineta di San Vitale. Tra il 1972 ed il 1973 vennero registrati i valori massimi pari anche a 110 mm/anno in corrispondenza dell'area industriale (Teatini et al. 2005). La subsidenza è poi generalmente diminuita a partire dagli anni '80, fino ad arrivare ad oggi con tassi oltremodo modesti nell'area cittadina. Il miglioramento che si è avuto è imputabile sicuramente alla chiusura di diversi pozzi di estrazione indiscriminata di acqua e la sostituzione dell'approvvigionamento idrico, prelevando le acque superficiali dal Fiume Lamone e dalla diga di Ridracoli per usi idropotabili e dal Po per quelli agricoli (canale CER) anziché utilizzare acque sotterranee (Prete 2000). Per contro i tassi annui di subsidenza continuano ad essere marcati lungo la fascia costiera dove si registrano oggi abbassamenti medi significativi (dell'ordine dei - 5/ -8 mm/anno circa con punte dell'ordine di 15- 20 mm/a nelle zone antistanti i giacimenti a gas di Dosso degli Angeli e Angela- Angelina; http://www.arpa.emr.it/dettaglio_generale.asp?id=2969&idlivello=1423).

Per quanto concerne, più nello specifico, le problematiche erosive ed inondative che caratterizzano le zone costiere ravennati a relativo maggiori tasso subsidenziale al momento si può segnalare come:

- 1) Al di là di alcune differenze registrabili nei valori di subsidenza misurata da RER e quella della rete del Comune di Ravenna (20 mm RER vs i 14/ 16 mm/a), non sembra essere imputabile alla sola subsidenza generata dai giacimenti in essere il ruolo e causa di unica forzante a cui imputabile totalmente il disequilibrio che fa registrare il sistema costiero;
- 2) altrettanto importanti, se non talora prevalenti, sembrano infatti risultare la mancanza di input sedimentari (oggi irrilevanti), l'azione negativa delle opere di difesa (significativi contributi negativi nelle dinamiche sedimentarie), l' elevata e non sufficientemente organizzata urbanizzazione e gestione turistico- balneare, l'assenza dune;
- 3) già ad un primo esame, i numerosi dati disponibili presso Comune di Ravenna, RER ed Eni, acquisiti singolarmente secondo modalità e riferimenti plano- altimetrici anche molto diversi fra loro, tendono a evidenziare la necessità di procedere alla definizione ed uso di riferimenti plano- altimetrici comuni e standardizzati; necessari non solo a scopi applicativi ma anche per integrare e confrontare tra loro dataset ricavabili da diverse istituzioni diverse, ognuna con proprie tecniche e metodologie di indagine, caratteristiche strumentali, limiti e risoluzioni possibili. Da non sottovalutare il fatto che per il territorio in esame, altimetricamente prossimo al "livello del mare" e privo di significativi dislivelli, è richiesta una particolare attenzione e precisione nei riferimenti di base (sia planimetrici sia altimetrici) e nelle analisi e valutazioni modellistico-numerico (DEM/DTM/DSM). Se non altro in termini di potenziali variazioni subsidenziali e connessi rischi legati a fenomeni di ingressione marina e/o ad una stima della vulnerabilità e dell'erosione costiera;
- 4) in quest'ottica, risulterebbe decisamente utile poter disporre, soprattutto per le aree a maggior criticità, di più aggiornati e sistematici rilievi topografico- altimetrici ad alta risoluzione esprimibili attraverso DEM/DTM/DSM con comunanza altimetrica. Cioè modelli del terreno in grado di effettuare analisi spaziali di elevato dettaglio al fine di incrementare la comprensione e la connessione tra fenomenologie subsidenziali e quel vasto insieme di aspetti territoriali (pericoli e rischio inondazioni, erosione costiera, ecc)

Considerazioni conformi a quanto sopra complessivamente indicato furono avanzate già nel lontano 1882 dall'allora Relazione Idroser (1982), che stilò il primo "Piano progettuale per la difesa della costa adriatica Emiliano- Romagnola". Piano che, tra le tante indicazioni e valutazioni, indicava testualmente per questo settore costiero: "...Questo tratto è caratterizzato dalla presenza della cuspide dei Fiumi Uniti, in forte erosione da oltre 20 anni...Per determinare i "volumi effettivi" messi in gioco dalla evoluzione del litorale ci si è basati sugli spostamenti della linea di costa, dato che i profili batimetrici risultavano inattendibili a questo scopo per l'incertezza dei livelli di riferimento... Uno studio quantitativo dei fenomeni evolutivi ... richiederebbe la disponibilità di rilievi batimetrici ripetuti e affidabili che permettano di valutare le variazioni morfologiche della spiaggia sommersa fino a diversi chilometri dalla costa." Per quanto riguarda la "subsidenza indotta dai giacimenti", la stessa relazione oggettivamente segnalava come "...Le informazioni disponibili confermano le serie conseguenze di un aumento relativo del livello dell'acqua, ma mostrano anche come la relazione tra subsidenza ed effetti nel profilo (della spiaggia e dei fondali) **non sia lineare e dipendenti dal tempo (cfr. §2.4)**... E' da sottolineare il fatto che nello schema di bilancio è possibile mettere in relazione l'effetto della subsidenza con un solo parametro "abbassamento" caratteristico di tutta la zona di spiaggia inclusa nella cella stessa... Informazioni dirette sulla distribuzione spaziale degli abbassamenti nella zona della spiaggia emersa e sommersa non sono disponibili per l'area in studio, né è possibile valutare come si comporti una spiaggia in cui gli abbassamenti variano in senso trasversale e longitudinale... Queste considerazioni devono ovviamente essere tenute ben presenti

nell'interpretare i risultati del bilancio in relazione agli effetti della subsidenza". Un passaggio particolarmente significativo e con valenza ancora totalmente attuale si registra allorché si sottolinea che: **"...E' quindi difficile ricercare un unico "imputato" dei fenomeni erosivi e stabilire equazioni del tipo "subsidenza = erosione" o "diminuzione del trasporto solido fluviale = erosione"... In base alle stime dei fattori di disequilibrio esistenti si può concludere che i fenomeni erosivi nelle zone di foce sono dovuti, dal punto di vista generale, al fatto che l'apporto fluviale è stato insufficiente a compensare le perdite di materiale dovute al trasporto litoranee ed all'effetto della subsidenza. L'effetto della divergenza del trasporto litoranee sembra nettamente prevalente su quello della subsidenza (circa doppio)"**.

Tutte considerazioni ben chiare e oggettive ma che, tra le tante, si sono poi perse nel corso degli anni e non hanno portato ad un effettivo miglioramento, né conoscitivo né valutativo, circa i problemi a tutt' oggi esistenti in questa zona. Considerazioni che oggi debbono dunque trovare risposte coerenti e funzionali basate su indagini oggettive e complete, in rapporto all'urgenza di risposte reali da dare ai disequilibri progressivamente intervenuti nei 30 anni circa ormai trascorsi dalla citata Relazione Idroser.

2.3 Assetto e dinamica dell'attuale "sistema spiaggia" ravennate

Come già sopra citato la gestione delle zone costiere deve essere vista (in un'ottica di sostenibilità ambientale, valori estetici e paesaggistici, collegamenti tra i sistemi costieri locali e sistemi fisici e biologici di scala ampia) come costante interazione tra aspetti diversi che, in estrema sintesi, coinvolgono sistemi fisico-naturali e interessi socio-economici operanti su diverse scale spaziali e temporali. I processi costieri – e, tanto più, quelli legati alle spiagge- andrebbero quindi sempre considerati secondo le loro diversificate e caratteristiche scale in termini di forzanti e risposte proprie "del tempo dell'uomo" e, quindi, da non confondere perciò con i "classici tempi geologici" (Fig. 50)

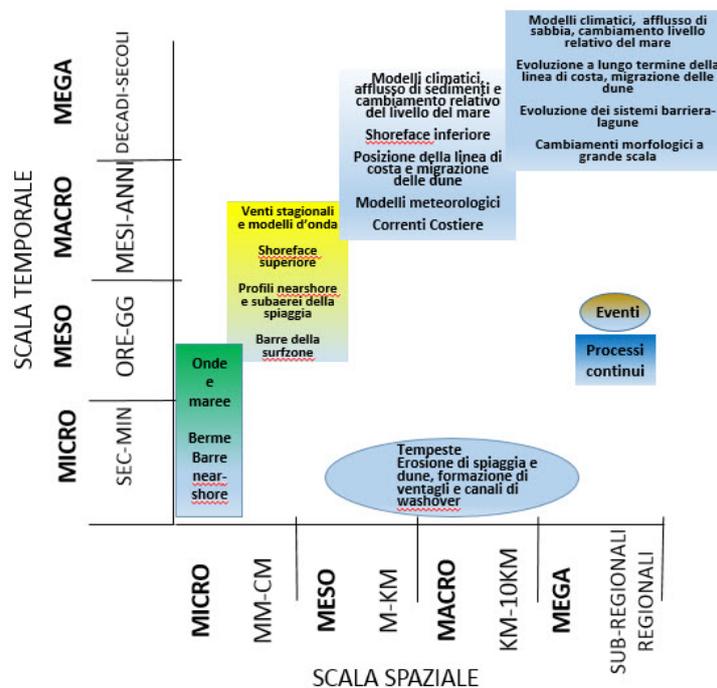


Figura 50 – Sintetico schema delle scale spaziali e temporali che si registrano nei cambiamenti costieri a livello pianificatorio- gestionale. I rettangoli evidenziano processi continuativi o modalità di trasporto dei sedimenti e dei processi più comuni che intervengono nelle modificazioni. Le ellissi rappresentano eventi episodici.

Le tipiche spiagge sabbiose ed a debole acclività verso mare che caratterizzano tutta l'area emiliano romagnola (ma diffuse un po' lungo tutte le coste italiane) rappresentano un esempio abbastanza significativo (almeno sino ad alcuni decenni fa) dello sviluppo di una "spiaggia naturale" di tipo "microtidale" (maree inferiori ai due metri), prevalentemente controllata e condizionata dal moto ondoso e di tipo "dissipativo", cioè spiagge con debole pendenza ed un'ampia zona di frangimento.

Spiagge originatesi dall' accumulo organizzato di sedimenti fluviali per il progressivo avanzamento e deposito verso mare di materiali clastici, non cementati ed a diversa granulometria (da sabbie a ghiaie sciolte), portati dai fiumi e distribuiti dall'azione del mare. Sedimenti in equilibrio con il complessivo bilancio dipendente dall'interazione dei regimi energetico- climatici che si esprimono nell'area (input sedimentari fluviali, moto ondoso, maree, correnti, variazioni del livello del mare, clima, ecc). Bilanci oggi quasi sempre negativi, con conseguente erosione della spiaggia, a causa dello stretto controllo e costante condizionamento indotto dai negativi impatti prodotti dall'azione dell'uomo (Fig. 51).

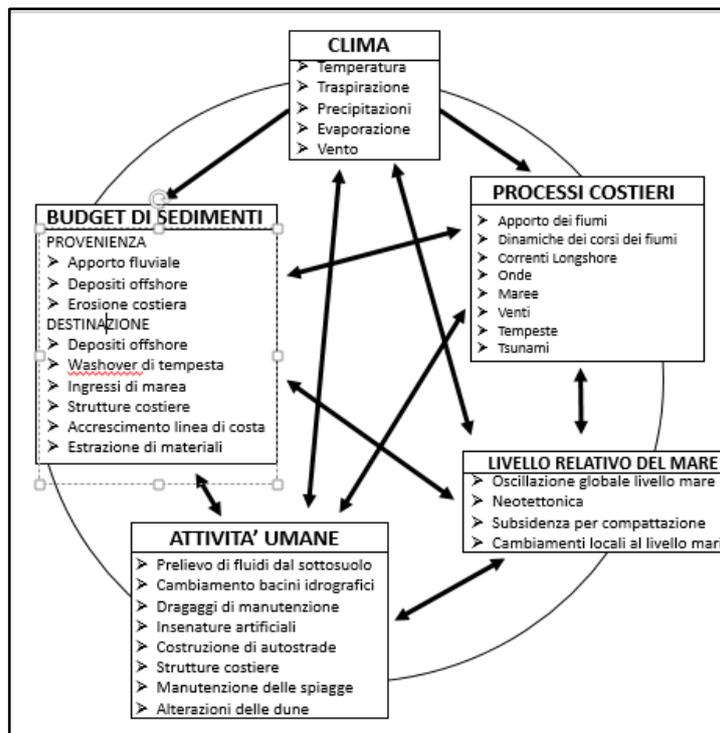


Figura 51 - Sintetico schema delle molteplici forzanti che interagiscono fra loro per raggiungere un equilibrio o meno del sistema "spiaggia"

In quest'ottica va allora ricordato anche che "le spiagge" presentano, a differenza di quanto comunemente si ritiene, una elevata variabilità ed evoluzione spazio- temporale e le sue trasformazioni e modificazione, a partire dall'assetto "geomorfologico" (cioè le forme che costituiscono il rilievo del territorio, le sue caratteristiche litologiche e gli agenti che lo modellano) avvengono e si evolvono in tempi del tutto coerenti con i tempi dell'uomo e delle sue azioni (sia pianificatoria sia gestionale) che vanno dalle poche ore, giorni e stagioni al decennio e sino ad arrivare al secolo.

Altrettanto importante è prendere atto e condividere che una "spiaggia" è costituita da porzioni diverse ed a diverso comportamento tra loro, seppur strettamente legate ed integrate in un unico ed indissolubile sistema fisico- geometrico e dinamico rappresentato dall'insieme "**dune- spiaggia**"

emersa (arenile) – spiaggia sottomarina superiore ed inferiore” . Sistema che ad una certa profondità si raccorda poi con i fondali del settore più interno della piattaforma continentale (Fig. 52). Un sistema conosciuto anche con il nome di “zona di transizione”, cioè il naturale e sfumato passaggio tra ambienti terrestri e marini veri e propri. Un sistema molto dinamico, nello spazio e nel tempo, in cui la sabbia viene costantemente scambiata e ridistribuita dalle onde e dal vento ed il cui limite verso terra è generalmente rappresentato dalle dune. Viceversa, verso mare, si considera che la spiaggia sottomarina abbia termine alla cosiddetta “profondità di chiusura o livello di base delle onde (*closure depth*)”. Profondità a cui il moto ondoso può generare una sostanziale movimentazione dei sedimenti solo procedendo verso terra e lungo costa. Viceversa verso mare oltre tale profondità inizia lo sviluppo dei fondali propri della Piattaforma Continentale o, come generalmente chiamato, l’inizio del cosiddetto “off- shore” (Fig. 52). Qui, in genere, le sabbie non sono più presenti in maniera significativa (salvo particolari processi) ed i sedimenti prevalenti risultano di tipo “pelitico”, cioè costituiti da particelle molto fini (silt, limi ed argille).

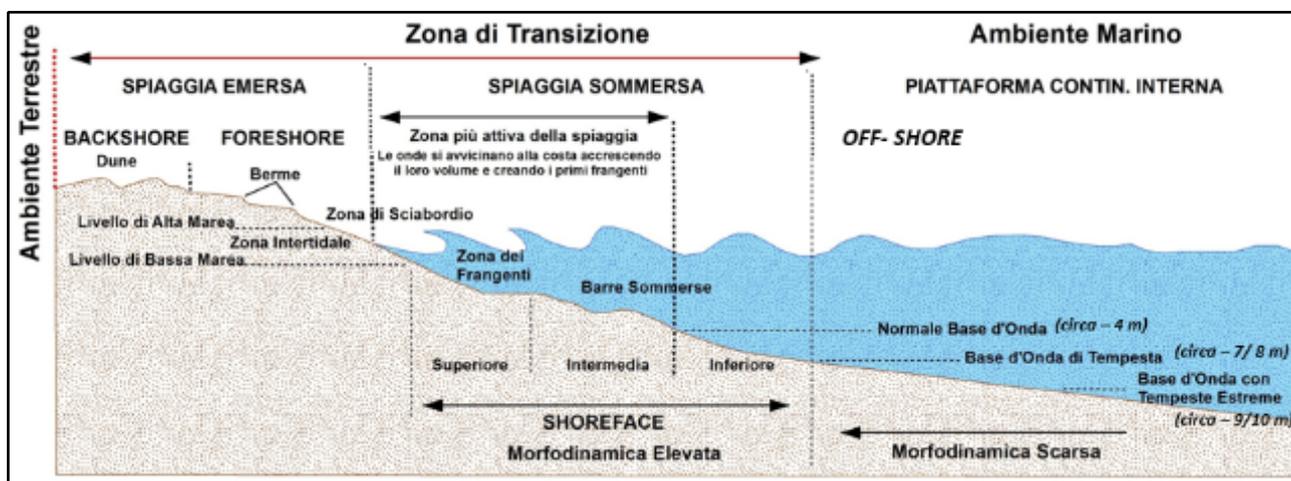


Figura 52 - Zona di transizione tra i diversi ambienti dinamico- deposizionali costieri (da Walker & Plint, 1992; modif.). I valori indicati per le singole “profondità di chiusura” (onde ordinarie, mareggiate ed estreme) sono da considerarsi abbastanza conformi con quanto si registra nei fondali ravennati

Non a caso quindi nei fondali antistanti Ravenna gli input sedimentari fluviali risultano distribuiti, secondo originari meccanismi “natural” oggi però fortemente modificati, lungo fasce parallele a costa ed a diversa granulometria e potenziale differenziata dinamicità e cioè (Fig. 53) :

- 1) sino a circa – 3/ - 4 m di profondità si registra la prevalenza di sabbie a granulometria media-medio fine, tipiche dei depositi di spiaggia sommersa superiore o zona maggiormente attiva;
- 2) di qui sino a circa – 6 m si sviluppa una ristretta fascia dove prevalgono sabbie pelitiche con scarsa frazione organogena;
- 3) sino ai – 8 m circa prevalgono peliti molto sabbiose con frazione organogena da scarsa ad abbondante;
- 4) a partire da profondità di circa -8/-10 m si sviluppano sedimenti di transizione di tipo essenzialmente pelitico.

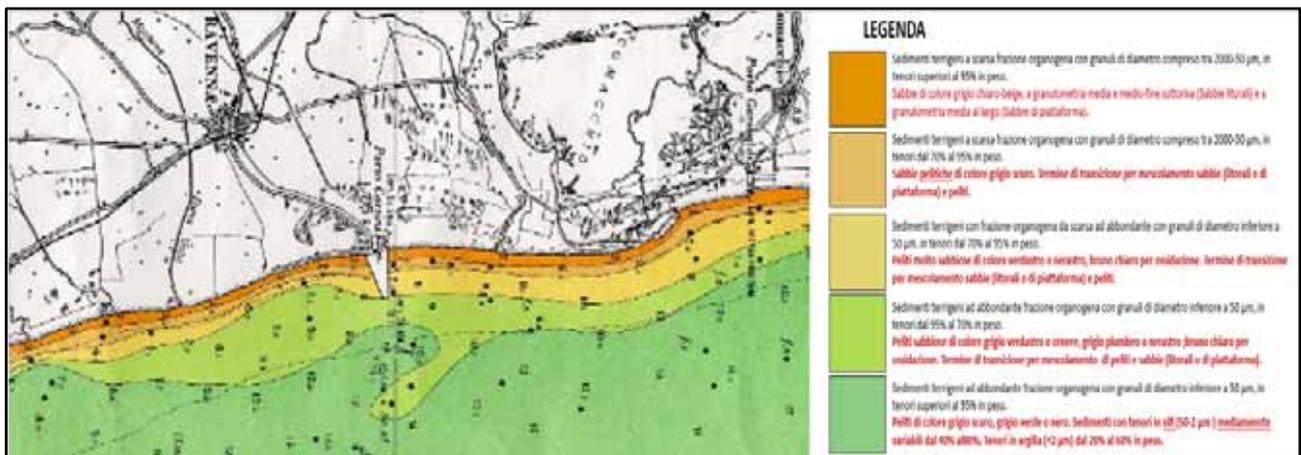


Figura 53 – Distribuzione granulometrica lungo fasce parallele che si registra nei fondali ravennati (CNR, 1988)

In quest'ottica è possibile rilevare una stretta correlazione tra i diversi livelli di base delle onde della spiaggia più attiva, determinata dalla "Base d'Onda di normale mareggiata", delle onde di tempesta e di quelle estremi ed all'incirca coincidenti con il passaggio tra sedimenti sabbiosi, tipici di spiaggia superiore, e sabbioso- pelitici nella spiaggia inferiore, sino ad arrivare infine ai veri e propri "fanghi offshore e di piattaforma". Passaggio, quest'ultimo, spesso definito come limite dell' "offshore mud line", cioè la zona dove si depositano prevalentemente silt e argille connesse ai pennacchi torbidi generati a mare dei fiumi (Fig. 54; Nicholls et al., 1996; Capobianco et al., 1997; Stive et al., 1990; Hinton and Nicholls, 1998).

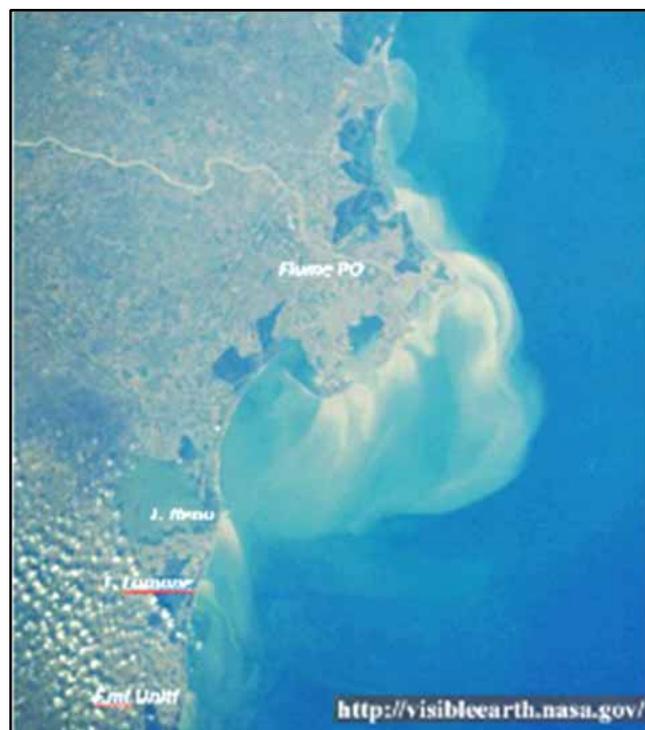


Figura 54 – Esempio di plumes fluviali registrabili nella zona in esame.

Nel merito delle problematiche in discussione e, soprattutto, in relazione ad un eventuale livello di disequilibrio e trasformazione indotto nel “sistema spiaggia” nel suo insieme da forzanti di tipo antropici (tra cui quelli subsidenziali), va preso atto che nell'affrontare e discutere simili fenomenologie non è possibile adottare un approccio, per così dire, troppo semplicistico. Semplificazioni in genere adottate per ricerche e interventi, anche di tipo pianificatorio- gestionale e/o ingegneristico- progettuali, che ancor oggi contraddistinguono gli approcci geomorfologici e fisico- dinamiche nella definizione e progettazione di simili ambienti (PIANO COSTE 2007; ARPA ER, 2009). Un approccio, in estrema sintesi, basato sulla stima delle sole geometrie e variazioni pseudo- volumetriche della spiaggia emersa e dei fondali quantificate attraverso una serie di profili o sezioni di spiaggia acquisite in tempi diversi (McLean e Shen,2006) ma, soprattutto e ferma restando la coerenza dei livelli di riferimento assunti (che, a solo titolo di esempio, nel caso del mareografo di Porto Corsini ha fatto invece registrare differenze importanti per quanto concerne gli ultimi 20 anni circa; <http://www.mareografico.it/SPECIAL/RAVENNA2013.pdf>) senza distinguere e gerarchizzare variazioni di breve-, medio e lungo termine.

Come ormai infatti oltremodo evidente, il sistema spiaggia costituisce un importantissimo elemento di controllo e condizionamento territoriale- ambientale e, di conseguenza, diviene altrettanto implicito che per valutare, discutere ed affrontare le cause delle sue variazioni, occorre conoscere al meglio:

- Le modalità attraverso cui si realizza il suo equilibrio (e conseguente accrescimento, stabilità o erosione delle linea di riva e dei fondali);
- Le combinazioni esistenti tra i molteplici e diversi fattori e forzanti operanti su differenziate scale spazio- temporali sia di breve sia, soprattutto, di medio- lungo termine (Fig. 56);
- Ricostruire e disaggregare al meglio possibile, anche sotto il solo profilo qualitativo, almeno i principali parametri e relativi pesi in un equilibrio dinamico regolato da una complessa sovrapposizione di fattori a diversa scala di origine naturale (moto ondoso e correnti litoranee, apporti sedimentari, subsidenza e variazioni del livello del mare di tipo naturale, ecc.) ed antropica (opere portuali e di difesa costiera, diminuzione apporti sedimentari a mare, subsidenza, ripascimenti avvenuti nel tempo, progressiva perdita e distruzione del sistema dunoso; sistema insediativo e turistico- balneare ecc.).

In quest'ottica, sintetizzando al massimo i problemi, andrebbero generalmente definite e differenziate le principali fenomenologie ed evoluzioni che controllano e condizionano il sistema secondo approcci che, a livello internazionale, vedono ormai una valutazione del “sistema spiaggia” in base a (Fig. 56) :

- a) Zonazione secondo processi geomorfologico- idrodinamici propri di spiagge controllate e condizionate nella loro evoluzione dal moto ondoso e relative zonazioni (zona maggiormente attiva, diverse profondità di chiusura rispetto alle zone di nearshore, upper e lower shoreface, ecc.), di cui le Fig. 53 e 57 rappresentano una schematica sintesi;
- b) Analizzare e ricostruire il sistema non solo sulla base di dinamiche e variazioni di breve termine ma, soprattutto a fini pianificatori e gestionali ingegneristici, su periodi temporali sufficientemente lunghi. Solo in tal modo sarà possibile ridurre al minimo l'influenza e l'apporto di eventi episodici (ad esempio, azione delle onde, sopraelevazione del livello marino ecc..) e, soprattutto, della locale dinamica inter-annuale (estate/inverno e pluriennale) rispetto a processi temporalmente meno rapidi ma continui per tempi lunghi, anche in magnitudo, quali le variazioni nell'apporto sedimentario, la subsidenza ed il connesso innalzamento relativo del livello marino dovuto alle variazioni climatiche in atto, (Pranzini et al.,2008).
- c) Approcci e criteri che richiedono oggi una indispensabile valutazione, se non altro rispetto alle normative ormai esistenti in tema di Vulnerabilità e Rischi costieri per mareggiata; normative che richiedono la definizione di eventi di mareggiata graduati per intensità e tempi di ritorno ed ormai all'obbligatoria attenzione dei meccanismi pianificatori regionali.

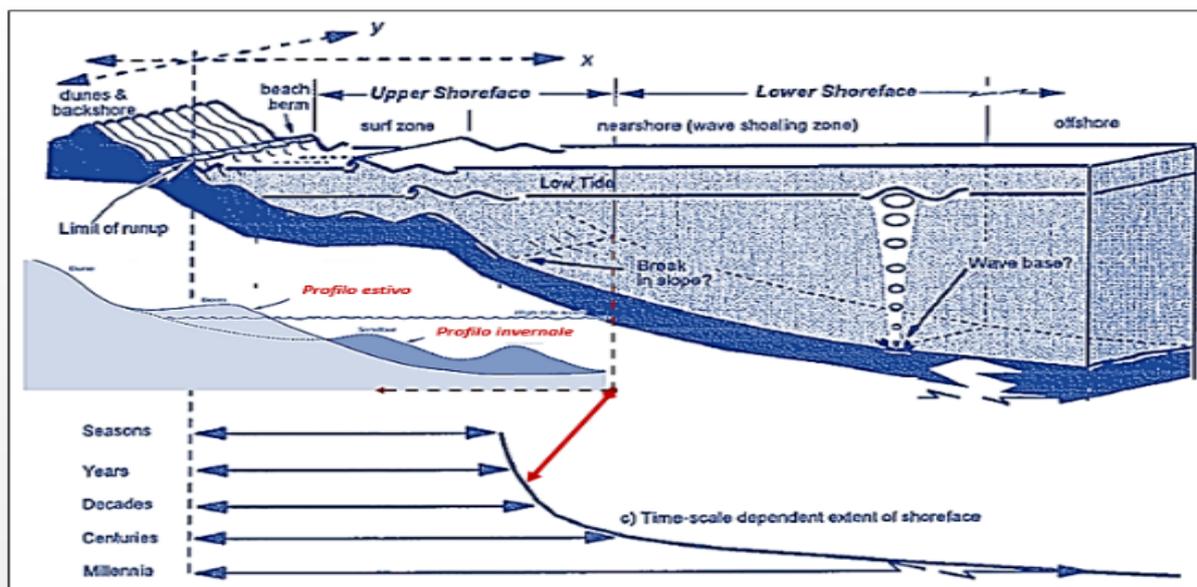


Figura 56 - La spiaggia (shoreface) come definibile in relazione a un continuum morfodinamico. La curva in basso definisce schematicamente la relazione esistente tra tempo e cambiamenti morfologici

In generale, analizzando le cause che producono il trasporto solido o trasferimento di sedimenti nelle zone di spiaggia, si può immediatamente registrare come, affinché possa realizzarsi uno spostamento, ogni singolo “granulo o clasto” di sedimento deve modificare il suo stato d’equilibrio e portato in sospensione. Questo avviene generalmente soprattutto nella zona in cui frangono le onde, detta comunemente “surf zone”, poiché è necessaria energia per alterare lo stato dei sedimenti presenti sul fondale. In base ad un simile approccio diviene allora importante definire innanzitutto l’estensione della cosiddetta “spiaggia attiva”, cioè quella porzione di spiaggia maggiormente soggetta a variazioni morfologiche legate alla movimentazione dei sedimenti. Per quanto riguarda l’estensione della spiaggia attiva (sommersa ed emersa), sia che si considerino condizioni a breve o lungo termine, si deve fare riferimento anche alla risalita dell’onda sul litorale, cioè a possibili eventi di storm surges e *run up*, che dipendono sia dalle caratteristiche dell’onda al largo, nonché dalla pendenza della spiaggia.

Altrettanto importante risulterebbe distinguere la zona di spiaggia che viene modificata durante eventi di breve periodo da quella che, per contro, è influenzata da fenomeni di medio- lungo termine. In genere, per quanto riguarda la cosiddetta “spiaggia attiva” viene solitamente fatto riferimento alla “profondità di chiusura al frangimento” derivante dall’altezza di una onda ordinaria (Dean et al., 2006) In questi casi la turbolenza provocata dalle onde ed il trascinarsi operato dalle correnti esercitano un’azione di modellamento che agisce pressoché esclusivamente sulla fascia di spiaggia rappresentata dalla “ spiaggia sottomarina superiore- spiaggia emersa” .Al di sotto di questa zona, l’andamento del fondale verso mare risente in modo decisamente minore dell’azione di modellamento indotta da onde e correnti. Il profilo di spiaggia che si genera attraverso queste azioni costituisce la somma sul lungo periodo del materiale asportato per erosione e di quello accumulato. In particolare, a seguito di questa dinamica una spiaggia naturale, in cui le due quantità si equivalgono mediamente sul lungo periodo, si crea un andamento del fondale comunemente detto “profilo di equilibrio”. Il concetto di profilo di equilibrio di una spiaggia è stato talora criticato poiché, in natura, l’entità delle forze agenti cambia continuamente al variare di altri parametri (maree, tempi di ritorno dei venti, ecc) delle condizioni marine. Tuttavia l’idea di un profilo che rappresenti l’equilibrio tra erosione e deposito è una solida base concettuale ed un valido strumento per definire non solo uno schema di valutazione del trasporto solido ma anche una successione delle zone dinamiche in cui si articola il sistema.

Per contro, la zona di modellamento della spiaggia sul lungo periodo, molto più rilevante di quella a breve termine (se non altro a fini “ingegneristico- progettuali” e pianificatori- gestionali), inizia ad una profondità maggiore di quanto sopra indicato per “la spiaggia attiva”. I numerosi studi condotti sull’argomento dimostrano ormai con sufficiente certezza che la vera e propria “profondità di chiusura del profilo” risulti legata ad intervalli temporali più lunghi (da decadali a secolari) ed identifichi con buona approssimazione la base della spiaggia sottomarina inferiore (*lower shoreface*) ed un regolare passaggio alle porzioni interne della piattaforma continentale (Stivee deVriend, 1995; Niedoroda et al., 1995; Cowell et al, 1995).

In base ai numerosi studi condotti sull’argomento (Nicholls et al., 1996; Capobianco et al., 1997; Patterson, 2013) potrebbe risultare quindi utile adottare la seguente suddivisione per quanto riguarda la scala spazio- temporale dei “sistemi spiaggia” quali quelli in discussione:

- a) Scala di breve termine= per eventi stagionali;
- b) Scala di medio termine: da annuale a decennale;
- c) Scala di lungo termine: da decadale e secolare/ millenaria

Naturalmente simili approcci e criteri richiedono, nel loro insieme, una valutazione ed una analisi numerico- modellistica decisamente superiore a quanto al momento possibile e ricostruibile nell’ambito dei dataset disponibili per questa relazione geologica. In merito resta comunque importante segnalare e sottolineare l’ormai indispensabile necessità di affrontare e sviluppare tali problematiche nel modo più oggettivo possibile, considerate le implicazioni sottese dalle possibili correlazioni tra forzanti attive tra cui, se presente in modo significativo, quella subsidenziale; forzante che, molto spesso, non rappresenta l’unica e/o la principale componente in grado di indurre disequilibri erosivi su spiagge decisamente antropizzate.

In effetti, la possibilità di distinguere tra processi di lungo e breve termine per interpretare le cause di un disequilibrio costiero in rapporto all’insieme dei processi che lo condizionano non è questione semplice. In estrema sintesi, il problema può essere sintetizzato nella riflessione a suo tempo avanzata da Bruun (1988) e non ancora pienamente soddisfatta, anche a livello scientifico- modellistico, e cioè: “*Quanto tempo è necessario per consentire di misurare la reazione del profilo di una spiaggia ad un aumento relativo del livello del mare (per subsidenza o meno) ?*”. Studi recenti sono orientati a riconoscere che tale profilo si assesti su tempi abbastanza lunghi, almeno decadali, a causa del ritardo di fase tra processi e risposte. Pranzini et al. (2008) segnalano come, in particolare, nel caso delle variazioni che riguardano la sola linea di riva “...*Minimum 10 years of monthly profiles are necessary to relatively minimize the short-term changes and delineate the true long-term trend (Eliotand Clarke, 1989). Dolan and Hayden (1983) suggest 40 years of measurements on air photos to determine long-term shoreline rates of change along the USA Atlantic coast. The available records from which long-term shoreline changes were usually determined, in most of the US and Europe, exceeds 100 years, although an accuracy of few meters is limited only to the most recent data sets...*”.

2.3.1 - Zonazione morfologica adottata per la zona ravennate

A livello internazionale è ormai abbastanza acquisito ed adottato il concetto per cui conoscere l’evoluzione nei decenni e nei secoli di un sistema costiero sul tipo di quello in discussione è fondamentale per capire e programmare i problemi posti dalla attuale gestione del territorio. Seguendo questa logica, Cowell et al. (2003) introdussero una decina di anni fa il concetto di “*Coastal Tract*”, concepito come un diacronico insieme di settori morfologici da considerare, soprattutto nel caso di disequilibri costieri, e comprendente:

- Settore interno della piattaforma continentale Inner continental shelf)
- Spiaggia inferiore (lower shoreface)
- Spiaggia superiore (upper shoreface)
- Retrobarriera (backbarrier; dove presente)
- Relative ed idonee scale spazio- temporale

Per i cambiamenti costieri sul “breve periodo” che intervengono maggiormente nella spiaggia superiore (*Upper Shoreface*) o “Zona Attiva”, questi sono prioritariamente controllati e condizionati, oltre che dal clima ondoso, dal budget sedimentario comprensivo della produzione e messa in gioco di sedimenti da parte della stessa erosione costiera, che incide le riserve di sabbia (erosione di o di spiagge sottocorrente dune) o da ripascimenti artificiali.

Viceversa, le previsioni sul lungo periodo (decadi o più) richiedono un punto di vista più ampio che includa, obbligatoriamente, anche la spiaggia inferiore e, nel loro insieme, anche le interazioni con l’ ambienti di piattaforma interna.

La spiaggia superiore ha generalmente ampiezze trasversali che tipicamente sono di 2 o 3 ordini di grandezza minori della spiaggia inferiore, generalmente molto più ampia della precedente. Già questa differenza a livello di scala spaziale implica che qui le variazioni siano associate a cambiamenti molto più ampi e lunghi di quelli della spiaggia superiore.

La spiaggia superiore è soggetta a dirette interazioni con il retrospiaggia (*backshore*), che comprende una zona morfologicamente molto ampia e variabile che può includere dune, superfici d’inondazione (*washover*), *flood-tide*, delta, lagune, piane tidali e delta fluviali (ROY et al., 1994; Cowell et al., 1995). Viceversa, verso mare, i movimenti orizzontali della spiaggia superiore trascurano in genere scambi di sabbia con quella inferiore (Hallermeier, 1981; Nicholls et al., 1998) e, nel contempo, vengono ritenuti insignificanti per il bilancio sedimentario i flussi di sedimento fine o pelitico portato al largo e distribuiti poi sulla spiaggia inferiore e sulla piattaforma continentale (anche a notevoli distanze) dai. “plume fluviali o pennacchi torbidi”.

Per contro, nelle previsioni a lungo termine, nessuno degli scambi interni può essere ignorato poiché nel tempo questi possono accumularsi e determinare cambiamenti non più insignificanti nelle morfologie.

Per quanto riguarda infine l’estensione della spiaggia maggiormente attiva (superiore + emersa) di norma viene fatto riferimento anche alla risalita dell’onda sulla spiaggia emersa o arenile, cioè rispetto al *Wave Set Up* e *Wave run up* (Fig. 57), fattori che dipendono sia dalle caratteristiche dell’onda sia dalla pendenza della spiaggia sommersa:

- *Wave set-up*: la sopraelevazione del livello medio marino dovuta al frangere delle onde, evento che avviene immediatamente dopo un abbassamento del livello marino circa in corrispondenza del punto di frangenza o *wave set-down*;
- *Wave run-up*: rappresenta la massima quota raggiungibile dalle acque sulla spiaggia emersa ed è determinato dalla somma di due componenti = *set-up* + *swash*. Il primo, come già indicato, è l’innalzamento del livello medio marino sulla costa dovuto al frangere delle onde mentre il secondo è legato alla fluttuazione verticale dell’onda sulla riva. Questo flusso che risale la battigia viene controbilanciato da una corrente di ritorno verso mare, detta *undertow flow*.

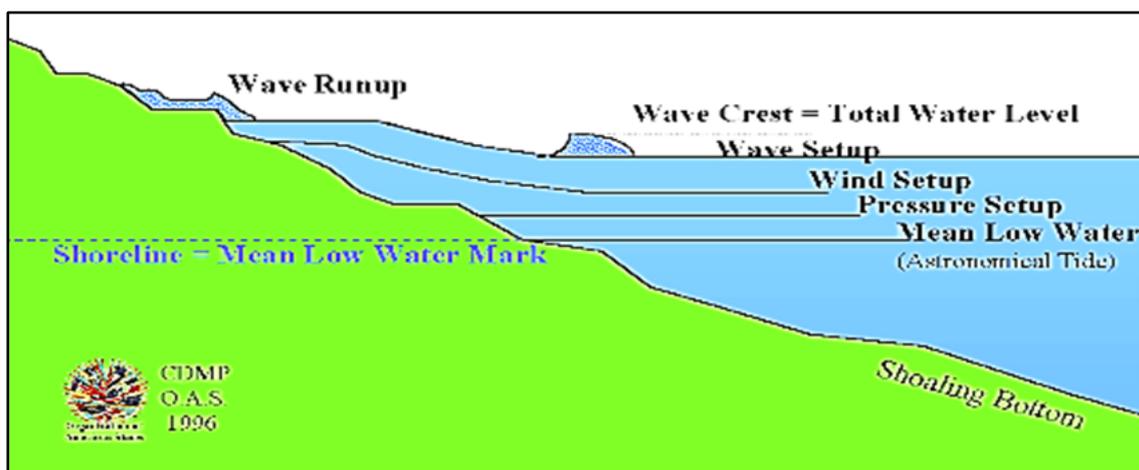


Figura 57 – Principali parametri che determinano le diverse sopraelevazioni che può raggiungere il livello medio del mare (LMM).

Rispetto a questo quadro relativamente complesso richiede particolare attenzione, oltre alla subsidenza, il problema legato agli apporti solidi a mare poiché questo parametro “... assume la più rilevante importanza ai fini della pianificazione della difesa della costa nel breve e medio periodo...” (ARPA-ER, 2009). Considerazione che da molto tempo sarebbe stato opportuno concretizzare con sufficiente approssimazione visto che già nel 2000 ARPA RER segnalava come “...gli apporti del trasporto solido da parte dei fiumi è uno degli aspetti determinanti (e sostanziali) l'evoluzione della linea di costa (e dei fondali) con la specifica puntuale del verso e della magnitudo del drift costiero”.

Questo parametro però, pur così importante, risulta ancora, di fatto, la "grande incognita" con cui ci si deve misurare ogni volta che si affronta l'analisi del trend evolutivo erosivo/ deposizionale dell'area costiera regionale e ravennate in particolare. Ancor oggi non si dispone di dati e/o stime di una certa affidabilità che permettano di quantificare i possibili apporti solidi a mare da parte della rete fluviale emiliano- romagnola né, tantomeno, disaggregarli nelle diverse quote parte utili a livello granulometrico per poter valutare i reali contributi utili per il ripascimento delle spiagge regionali. L'apporto di sabbia al mare da parte dei fiumi è quindi ormai da decenni il parametro meno noto e definito per una sufficiente valutazione dell'evoluzione erosiva del “sistema spiaggia”. Per altro, in base ai rilievi topo-batimetrici eseguiti dalla RER risulterebbe che tra il 2000 e il 2006 il contributo sedimentario dei fiumi sia stato decisamente inferiore rispetto a quello previsto dagli studi realizzati in precedenza.

Non a caso quindi il recente “Stato del Litorale Emiliano-Romagnolo all'anno 2007 e piano decennale di gestione” (ARPA ER, 2009) sottolinea, testualmente: “...nell'ultimo secolo circa tutte le cuspidi sedimentarie, caratteristiche delle foci dei fiumi che sfociano in zona, risultano sottoposte ad un progressivo smantellamento. Ciò ha portato ad una sostanziale rettificazione della geomorfologia costiera che, per quanto concerne le foci del Reno, Fiumi Uniti e Savio, continua ancora a tassi decisamente significativi. I risultanti sedimenti erosi vanno a contribuire, secondo le direzioni di trasporto litoraneo prevalenti (ma ormai ampiamente interrotte nella loro continuità dinamica da strutture artificiali di varia tipologia quali scogliere, aggetti portuali, pennelli, ecc), al riequilibrio delle singole zone ed unità fisiografiche. Oggi questi sedimenti sembrano costituire addirittura la maggior parte di materiale caratterizzato da una granulometria adatta al ripascimento delle spiagge stesse, essendo ormai venuto meno gran parte del carico solido utile (granulometrie grossolane e non peliti) portato dai fiumi”.

(http://www.ermesambiente.it/wcm/difesa-suolo/sezioni_laterali/attivita/progetti/StatoLitorale/StatoLitorale.htm#2 Clima del moto ondoso)

2.3.2 Vulnerabilità' costiera e rischi d'inondazione

Vale innanzitutto segnalare in merito come, a partire dalla geometria e caratteristiche della spiaggia sommersa ed emersa ravennate, per quanto riguarda le valutazioni inerenti i problemi di vulnerabilità da "inondazione/ alluvione per mareggiate" non vanno trascurati i fenomeni di storm surges e run-up; fenomeni che ormai si registrano sempre più spesso nelle zone costiere, regionali e non. Rispetto all'argomento si può comunque registrare, tenendo conto della diffusa sperimentazione attuata negli ultimi anni a livello europeo (Progetti EU EuroSION, Coastance, Micore, FloodSide a cui hanno partecipato anche i Servizi Tecnici della Costa della RER), una sufficiente definizione e approccio ormai acquisiti e concretizzati operativamente in tema di "Rischio costiero per Alluvione".

Rispetto a questi problemi va per altro ricordato la vigente "normativa rischio alluvioni" che prende origine dalla Direttiva 2007/60/CE ed è stata recepita nell'ordinamento italiano con il Decreto Legislativo 23 febbraio 2010 n. 49. Questa legge, in analogia a quanto predispone la Direttiva 2000/60/CE in materia di qualità delle acque, vuole creare un quadro di riferimento omogeneo a scala europea per la gestione dei fenomeni alluvionali e si pone, pertanto, l'obiettivo di ridurre i rischi di conseguenze negative derivanti dalle alluvioni soprattutto per la vita e la salute umana, l'ambiente, il patrimonio culturale, l'attività economica e le infrastrutture. In particolare, anche per quanto riguarda le zone costiere, la normativa prevede che venga sviluppata una perimetrazione delle aree che potrebbero essere interessate da alluvioni/ inondazioni per mareggiate con "Tempi di ritorno": a) fra 20 e 50 anni (alluvioni frequenti); b) fra 100 e 200 anni (alluvioni poco frequenti) e c) fino a 500 anni dall'evento (alluvioni rare).

Almeno in prima approssimazione il rischio di alluvione costiera lungo il litorale dell'Emilia-Romagna è imputabile sia alla morfologia e posizione geografica sia all'elevato grado di urbanizzazione di questo ambito territoriale, avvenuto soprattutto a partire dal dopoguerra. Il continuo processo di occupazione delle aree prospicienti la spiaggia, che non si è completamente arrestato nonostante le raccomandazioni legate al programma di Gestione Integrata della Fascia Costiera, ha avuto come principali conseguenze:

- ✓ la forte riduzione, se non l'assenza a causa dell'intensa urbanizzazione, di una fascia (spiaggia e retro-spiaggia) sufficiente ad attenuare il moto ondoso durante le mareggiate;
- ✓ l'assenza, o la presenza molto frammentaria, di un sistema di dune costiere che costituiscono la naturale barriera all'ingressione dell'acqua da mare, oltre che di un serbatoio naturale di sabbia;
- ✓ un estremo irrigidimento del territorio costiero, determinato anche dalla costruzione di opere di difesa artificiali, che hanno modificato il profilo topo-batimetrico della spiaggia e il trasporto solido litoraneo.

Queste situazioni fanno sì che, in occasione di particolari condizioni meteorologiche di storm surges e run up, si verifichino fenomeni di allagamento più o meno estesi con l'innescarsi di processi sia di tipo idraulico che sedimentologico, quali:

- l'innalzamento del livello del mare che, intercettando spiagge con quote molto basse, provocano l'inondazione della spiaggia e delle strutture turistico balneari;
- lo scavalco delle opere di difesa (rigide o temporanee) e l'allagamento delle zone depresse retrostanti, oppure la formazione di varchi negli argini o nel residuo dunoso;
- l'erosione della spiaggia e della duna con conseguente trasporto sedimentario in aree di retrospiaggia (con formazione di ventagli di washover) e/o nella spiaggia sommersa.

Per rispondere ai requisiti previsti dalla legge la Regione Emilia- Romagna ha adottato il seguente iter procedurale:

- una suddivisione in “celle” dello spazio costiero, cioè uno strumento utile per integrare al meglio informazioni derivanti da fonti diverse in un contesto “geomorfologico- dinamico” e, nel contempo, rispondere a fini gestionali secondo criteri di omogeneità del tratto costiero (SICELL 2014). La base di partenza è stata la suddivisione in Celle e in Macrocelle definita dallo studio Preti et alii 2008 e la suddivisione in Unità e Sotto-unità geomorfologiche definita dallo studio Perini e Calabrese, 2010 (Fig. 58). Mentre la suddivisione in Unità geomorfologiche, che corrisponde ad un assetto strutturale del territorio costiero e a processi a scala temporale geologica, è stata mantenuta pressoché immutata a parte alcuni aggiustamenti di dettaglio, la suddivisione spaziale della costa ai fini gestionali, che considera anche l’assetto dato dall’azione antropica e i processi naturali attuali della dinamica costiera, è stata sottoposta dal gruppo di lavoro ad un processo di approfondita revisione. Questo processo ha portato dall’iniziale assetto in 7 Macrocelle e 80 Celle (proposta nello studio Preti et al., 2008) all’attuale suddivisione in 118 Celle litoranee mantenendo invariato il numero e la posizione delle Macrocelle delimitate generalmente da strutture portuali aggettanti. L’aumento del numero di Celle, dovuto alle ulteriori suddivisioni di quelle precedentemente proposte, all’inserimento di nuove tipologie di Celle come le foci fluviali e dei canali, le bocche portuali e i fronti darsena, risponde all’esperienza diretta sul campo, alle pratiche gestionali già in essere (prelievi da zone specifiche, modalità di movimentazione, zone di conferimento abituali, ecc.) e alle esigenze di gestione dei Servizi Tecnici costieri.

In questo contesto riveste particolare importanza la residua presenza o meno delle dune costiere; una importantissima componente del sistema di transizione terra- mare in continuo adattamento e bilanciamento ai cambiamenti relativi a diverse scale temporali e spaziale. Esse costituiscono infatti un fondamentale ruolo di resilienza nell’ambito del sistema costiero poiché, oltre all’intrinseco valore naturalistico, l’accumulo di sedimento sabbioso delle dune può rappresentare una forma di difesa naturale, funzionale ed efficiente, contro l’erosione, la salinizzazione delle falde acquifere e, non ultimo, il rischio d’ingresso marina. Aspetto quest’ultimo che assume una particolare e rilevante valenza, se non altro alla luce dei cambiamenti climatici in atto e già giunto nelle fase di attenzione e concreta valutazione per quanto riguarda la costa emiliano- romagnola nel suo insieme;

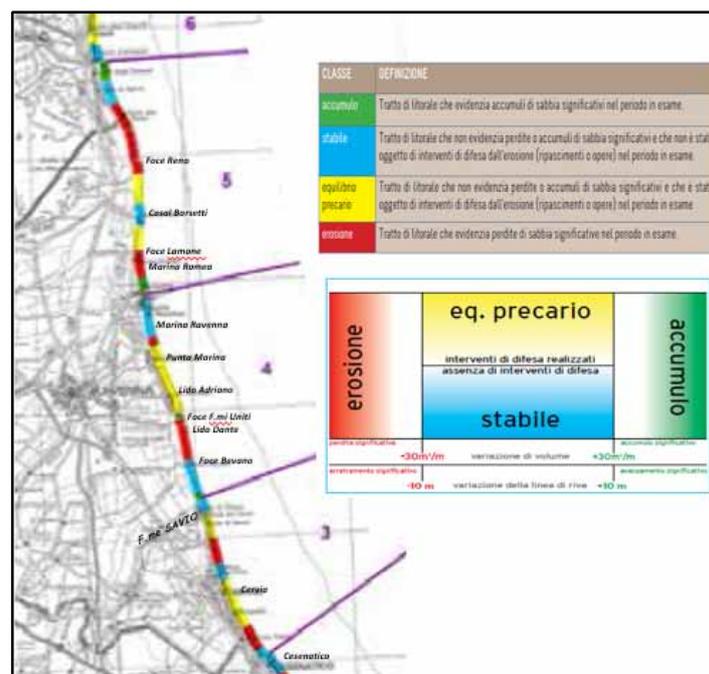


Figura 58 – Classificazione ASP 206- 2012 del litorale emiliano- romagnolo adottato da RER

- nel territorio regionale la tipologia dei fenomeni e le caratteristiche dei processi in atto sono ricorrenti e le località storicamente danneggiate coincidono quasi sempre con quelle attualmente più critiche. L'analisi storica delle mareggiate (passaggio fondamentale riveste, quindi, un ruolo molto importante per la conoscenza dei fenomeni e dei relativi impatti e può risultare uno strumento utile anche ai fini della valutazione e validazione dei risultati ottenuti dalla modellazione (più o meno raffinata) dei fenomeni di ingressione per diversi scenari di pericolosità.
- su queste basi i servizi tecnici regionali, hanno realizzato una "Mappatura della pericolosità nelle aree costiere marine della Regione Emilia Romagna ricadenti nel distretto padano" attraverso specifiche procedure e tecniche che hanno permesso di caratterizzare adeguatamente sia i fenomeni meteo-marini, che la configurazione fisica della costa e i sistemi di difesa costiera. Tutte le informazioni utili in rapporto a tali problemi sono ormai disponibili sul dedicato website RER **In-risk**, parte integrante del regionale "Sistema informativo della costa". Sito in cui è possibile visualizzare e consultare i dati di monitoraggio, le elaborazioni e le cartografie aggiornate al 2015, prodotte per lo studio delle criticità costiere, e di cui la Fig. 59 rappresenta un esempio.

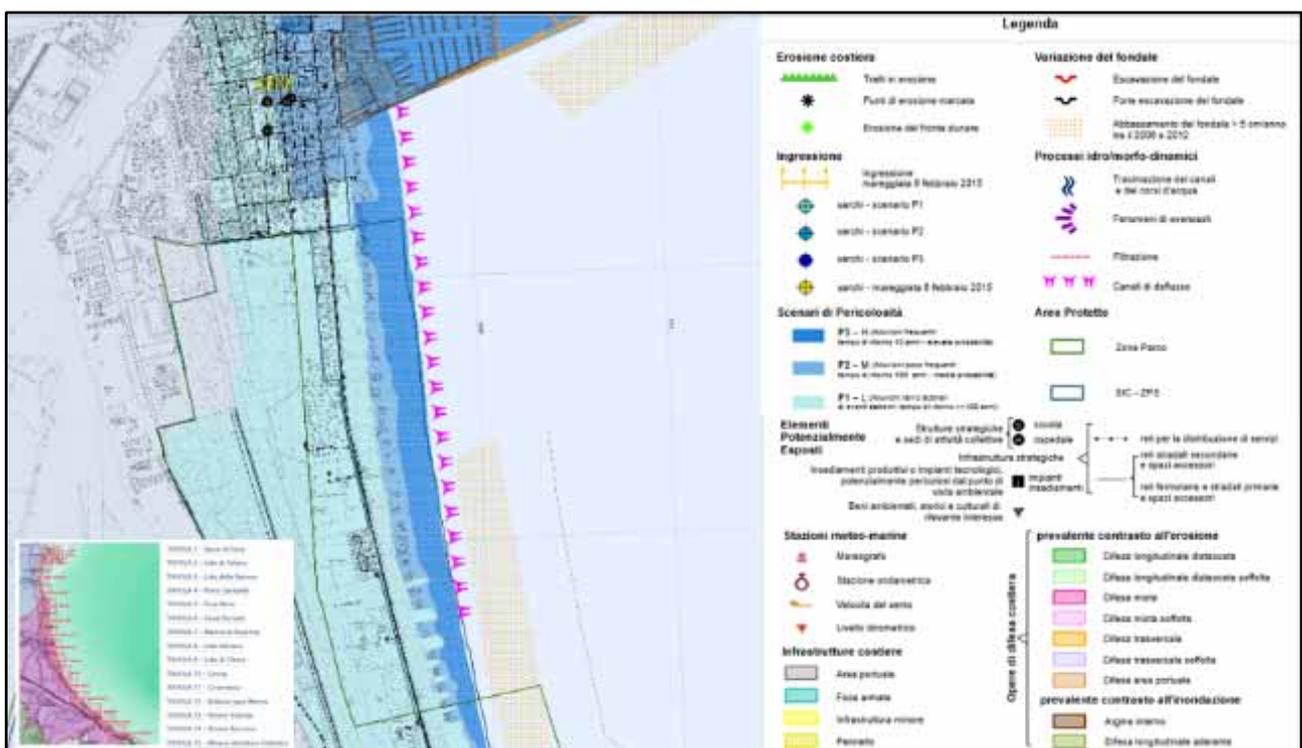


Figura 59– Esempio di Carta delle criticità costiere (parziale della TAVOLA 7 - Marina di Ravenna) derivabile da InRisk del Sistema Informativo del Mare e della Costa della Regione Emilia-Romagna (http://ambiente.regione.emilia-romagna.it/geologia/temi/costa/in_risk)

InRisk si configura come uno strumento conoscitivo importante per la programmazione territoriale e supporto alle attività di protezione civile e, più nello specifico, i dati di **in_Risk** hanno consentito la creazione di una cartografia tematica alla scala 1:10.000, la "[carta delle criticità costiere](#)", elaborata come supporto al Centro Funzionale Regionale, per l'allertamento e il monitoraggio degli impatti delle mareggiate sulla costa. La cartografia rappresenta un quadro di sintesi, aggiornato al

2015, delle zone maggiormente dinamiche e critiche per i fenomeni di arretramento della linea di riva, abbassamento dei fondali, allagamento della spiaggia e del retro spiaggia.

Gran parte delle informazioni e dei dati numerici disponibili nei database regionale può rappresentare anche un significativo contributo alla formulazione di eventuali “scenari “ di breve-medio termine (uno dei più comuni strumenti utilizzati per la costruzione e elaborazione d’ipotesi circa una potenziale futura evoluzione territoriale). In generale, gli strumenti, le teorie e i modelli di tipo stocastico sono infatti indicati a descrivere e studiare situazioni che variano in base a leggi probabilistiche (e non deterministiche), come, a esempio, i fenomeni naturali (ma, in sostanza, anche quelli socio- economici!) poiché in essi è presente, sia per la loro stessa natura sia per gli errori di osservazione, una componente casuale o accidentale. Non a caso, per quanto riguarda la “natura” e gli scenari in “campo ambientale- territoriale” si sottolinea il fatto che uno scenario differisce dalla “previsione” poiché esso vuol solo rappresentare un futuro plausibile, mentre la previsione è il futuro più probabile

Sempre in quest’ottica vale poi segnalare come la Commissione Europea mette costantemente in risalto la particolare importanza di una pianificazione territoriale che, per le aree più vulnerabili quali quelle costiere, tenga conto della componente ambientale e applichi al meglio le logiche della GIZC (<http://ec.europa.eu/ourcoast/downloa.cfm?fileID=1789>). Attuare quindi una Pianificazione che tenda a: 1) contrastare il cambiamento climatico; 2) proteggere la natura, la flora e la fauna e, ove necessario, risanare la struttura e il funzionamento dei sistemi naturali, arrestare la perdita di biodiversità e, non ultimo, proteggere il suolo dall’erosione e dall’inquinamento; 3) preservare le risorse naturali e migliorare la gestione dei rifiuti; 4) raggiungere questi obiettivi anche attraverso la salvaguardia degli habitat, con l’estensione della Rete Natura 2000 e delle sue aree SIC e ZPS anche lungo la spiaggia sommersa e aree marine.

Non ultimo infine, sempre per quanto concerne problemi e pericoli connessi a fenomeni inondativi e conseguente potenziale incremento dei livelli di vulnerabilità e rischio, l’esigenza ormai sempre più stringente di adottare strategie di adattamento pianificato rispetto alle variazioni climatiche in atto. Queste prendono in genere le mosse dalle analisi degli impatti e dei futuri scenari degli impatti stessi e quindi il livello e la tipologia di adattamento dipende dalla vulnerabilità, ovvero dal grado di suscettibilità di un sistema agli effetti negativi dei cambiamenti climatici. Questa vulnerabilità è funzione della sensibilità e della capacità di adattamento naturale di un sistema, perciò dipende fortemente dalle caratteristiche fisiche e socio-economiche locali. La vulnerabilità futura del sistema costiero dipenderà poi non solo dai cambiamenti climatici, ma anche dai processi di sviluppo socio-economico, che ne determinano la capacità di adattamento. Le fasce costiere del dell’Emilia-Romagna, così come pressoché tutte quelle Mediterranee, mostrano , per esempio, un’elevata vulnerabilità agli impatti connessi ai cambiamenti climatici poiché sono soggette ad una forte pressione antropica, ospitando numerose aree residenziali e diverse attività economiche, e sono ulteriormente “indebolite” dalla mancanza in molte regioni di un’appropriata pianificazione e gestione del territorio e dell’ambiente naturale, che avrebbe potuto garantire spazi sufficienti per l’attivazione di processi di adattamento naturale (Ferrara, 2007).

Indicazioni in tal senso sono da tempo all’attenzione internazionale già da oltre un ventennio a seguito delle indicazioni operative fornite a suo tempo dall’ IPCC (1990) che individuava tre principali tipologie di adattamento pianificato per le zone costiere rispetto all’innalzamento del livello del mare (Fig. 60) e cioè: 1) **Ritiro** (“Retreat”), non prevede alcuno sforzo di protezione dal mare. L’area costiera è abbandonata e l’ecosistema si sposta nell’entroterra. . Questa scelta può essere motivata da un eccessivo costo economico o ambientale derivante da eventuali misure di protezione. Nel

caso estremo, un'intera area può essere abbandonata. Nel caso delle aree costiere lo sviluppo agricolo è spostato su altri territori, mentre si cerca di sfruttare le potenzialità turistiche che dovessero manifestarsi per la nuova configurazione della costa dopo l'innalzamento del livello del mare e l'allagamento dell'area; 2) **Accomodamento** ("Accomodation"), si continua ad usare il territorio a rischio, senza tentare di prevenire possibili inondazioni. Questa opzione prevede la costruzione in caso di emergenza di ripari per le inondazioni, l'elevazione degli edifici su palafitte. Si cerca dunque di attuare misure di difesa "proattiva", adeguando le attività umane alle nuove condizioni ambientali per ridurre i danni; 3) **Protezione** ("Protection"), include sia la costruzione di infrastrutture rigide, come barriere o dighe, sia lo sviluppo di soluzioni protettive più flessibili, come la creazione di dune o di vegetazione, per difendere il territorio dal mare, e mantenere l'attuale tipologia di uso del suolo. Inoltre si predispongono opportuni sistemi per bloccare il cuneo salino e impedire l'intrusione di acqua salata nel sottosuolo e nelle falde idriche. In questo caso si riduce il rischio aggiuntivo derivante dai cambiamenti climatici tramite misure preventive di difesa "reattiva".

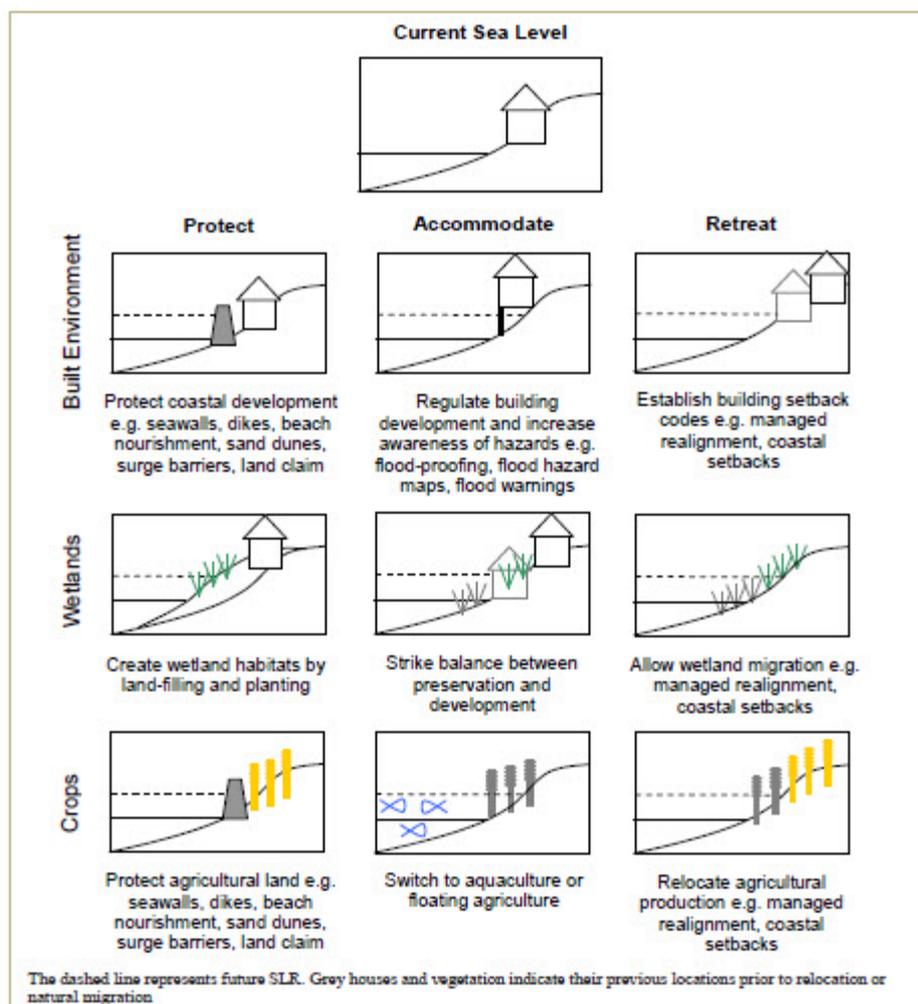


Figura 60: Sintesi delle più diffuse opzioni possibili suggerite internazionalmente per contrastare l'innalzamento del livello del mare (da <http://image.slidesharecdn.com/regionemarche-p-f-difesadellacosta-100511124313-phpapp02/95/regione-marche-pf-difesa-della-costa-78-728.jpg?cb=1273582410>).

A questa lista, Brooks et al (2006) aggiungono una serie di strategie da applicare per incrementare la "resilienza", ovvero "la possibilità che un sistema ha di resistere ad un impatto o a un danno,

determinata dalle sue capacità di elasticità e di recupero rispetto alla causa o al possibile danno”. Queste misure si basano sulla modifica delle infrastrutture e degli edifici esistenti, più esposti agli impatti, e sulla riduzione della vulnerabilità socio-economica. La realizzazione di misure di adattamento pianificate richiede l’organizzazione di processi decisionali, basati su attività di valutazione e di partecipazione di stakeholder e delle persone interessate nel senso lato. Come poi sottolineato da Fankhauser (1995), le strategie di adattamento rappresentano un problema a livello locale. Ciò significa che le scelte nel campo dell’adattamento devono essere prese basandosi principalmente su processi decisionali portati avanti a livello locale.

Questi approcci sono ormai in via di progressiva applicazione, seppur con le diverse tempistiche e/o capacità di ri-organizzazione previste dai sistemi pianificatori dei diversi paesi che l’hanno già adottato (USA, Australia, Olanda, ecc; <http://www.region2coastal.com/> ; http://www.ucsusa.org/global_warming/science_and_impacts/impacts/causes-of-sea-level-rise.html http://www.ozcoasts.gov.au/climate/sd_fqa.jsp; <http://epthinktank.eu/2013/10/25/adapting-to-a-changing-climate-in-europe-strategies-for-reducing-risk-and-building-resilience/>) e di cui la Fig. 61 rappresenta una fra le innumerevoli testimonianze presenti su internet (a partire dalla più famosa fra tutte, cioè quella attinente i pericoli di inondazione attivati per New York! https://content.femadata.com/NationalDisasters/Hurricane%20Sandy/RiskMAP/Public/Public_Documents/PreliminaryFIRM/ NYC_FIS_Factsheet_508.pdf). Tutte realtà che, per altro, vedono un importante punto di forza nel ripristino e/o ricostruzione di cordoni dunosi di resilienza o similari (sino a veri e propri argini).

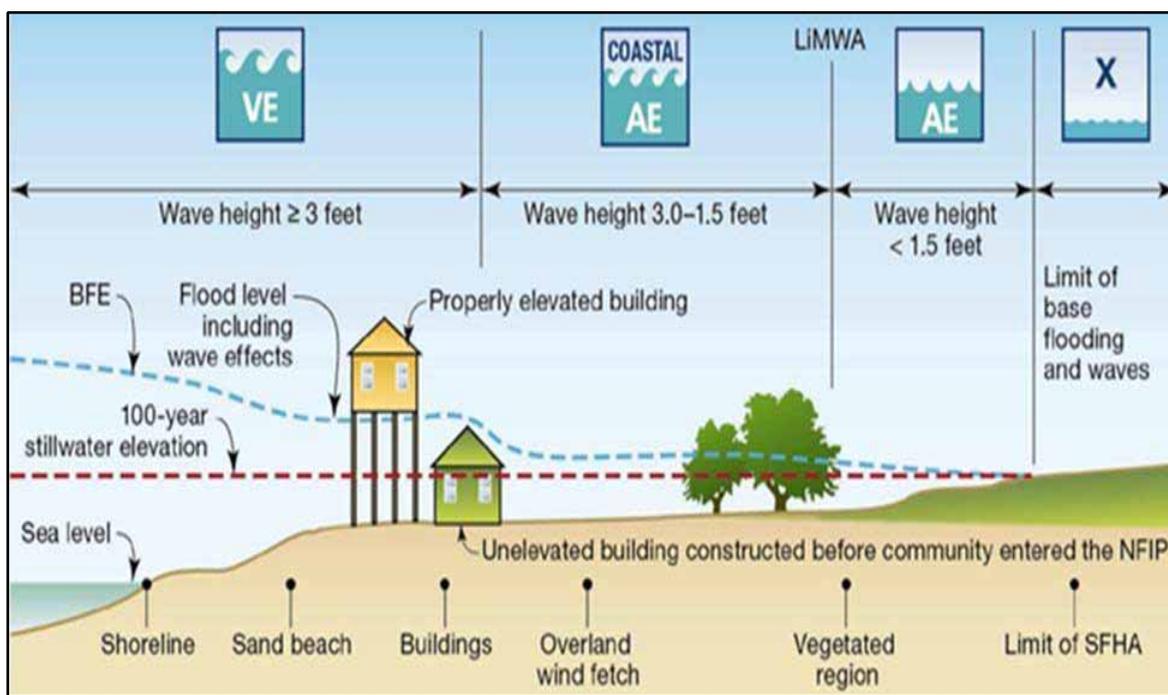


Figura 61- Schematici concetti e criteri previsti in funzione del previsto innalzamento del livello marino per cause climatiche

In questo contesto diviene oltremodo utile iniziare a meglio verificare l’assetto altimetrico-topografico presentato attualmente dalla zona più strettamente costiera area. Come evidenziato in Fig.: 62, dove viene schematizzato un aggiornamento DEM (Digital elevation Model) della zona in esame sulla base di dati 2008- 2012, si può rilevare come, in generale, la topografia indica

chiaramente una modesta elevazione altimetrica positiva del territorio, in media dell'ordine di 1-3 metri, abbinata ad una diffusa presenza di ampie zone poste al di sotto del livello medio mare al retro dei cordoni dunosi che, seppur parzialmente, bordano ancora la spiaggia. Rispetto a questa complessiva condizione gli altri elementi altimetrico-topografici principali, oltre a quelli dunosi, risultano quelli legati all'evoluzione degli argini del sistema idrografico che hanno accompagnato la progradazione costiera all'incirca sino ai nostri giorni.

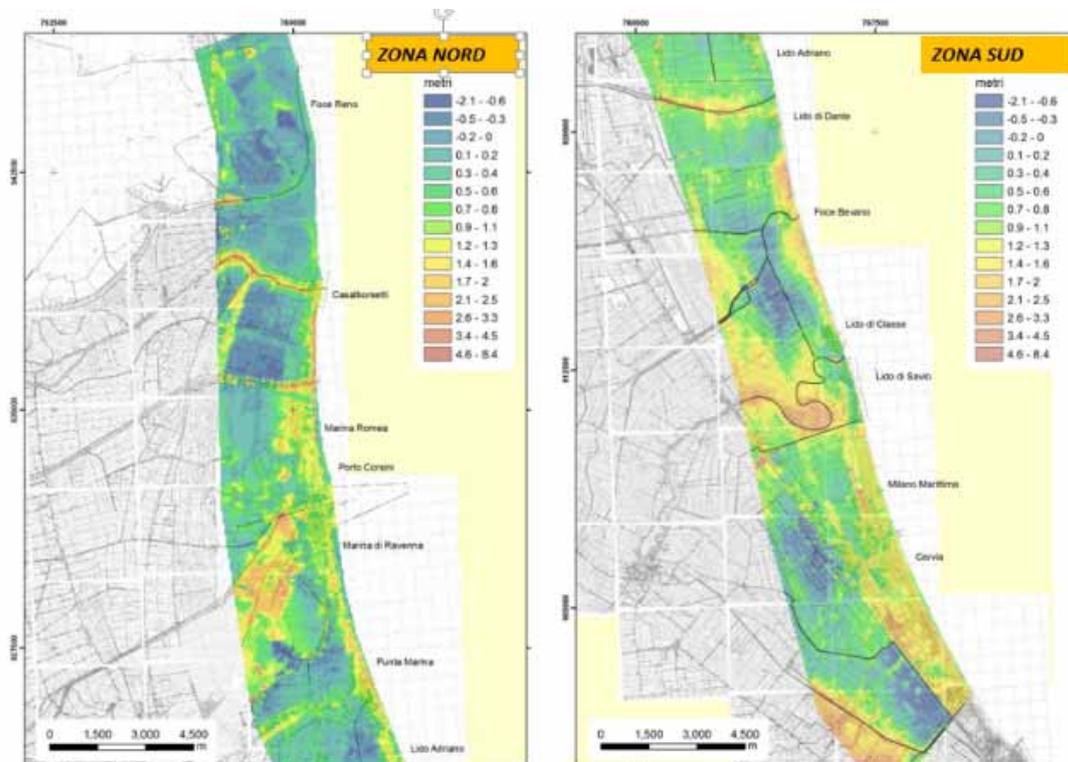
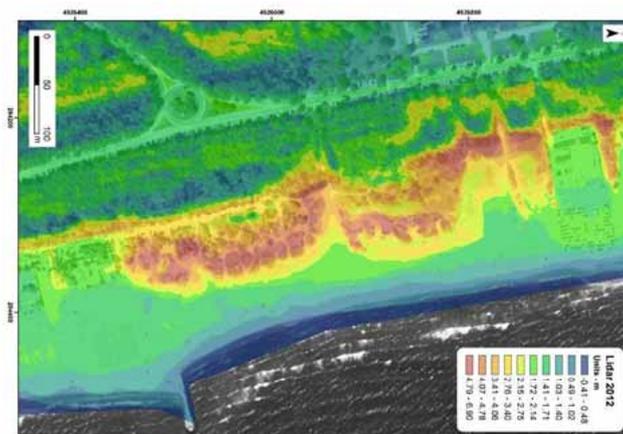


Fig.: 62- aggiornato DEM dell'insieme della zona più strettamente costiera basato su rilievi Lidar 2005- 2012

Quote medie di poco superiori al metro (tra circa 2 e 4 metri) caratterizzano quindi soprattutto la zona delle dune residue, strutture che forniscono e rappresentano l'unica e primaria zona resilienza e difesa naturale all'ingressione delle acque marine e relativi fenomeni di inondazione. Tali cordoni risultano però oggi in gran parte distrutti e/o alterati per lasciare spazio ad urbanizzazioni e/o impianti turistico-balneari a seguito di una politica di "valorizzazione economica" dell'area costiera, iniziata negli anni '60 e continuata sino ai giorni nostri. Azioni che hanno portato ad una profonda alterazione del patrimonio paesaggistico ed ambientale complessivo e, in ultima analisi, socio-economico, di cui attualmente si iniziano a pagare le conseguenze negative attraverso la riduzione e degrado degli arenili ed i problemi e costi connessi all'erosione e inondazione costiera. Queste condizioni divengono ancor meglio valutabili dettagliatamente a livello locale grazie alla disponibilità di un rilievo Lidar effettuato nel 2012 da ENI e che presenta una risoluzione al suolo dell'ordine dei 10 cm. Rilievi di cui la Fig. 63 rappresenta un esempio esemplificativo



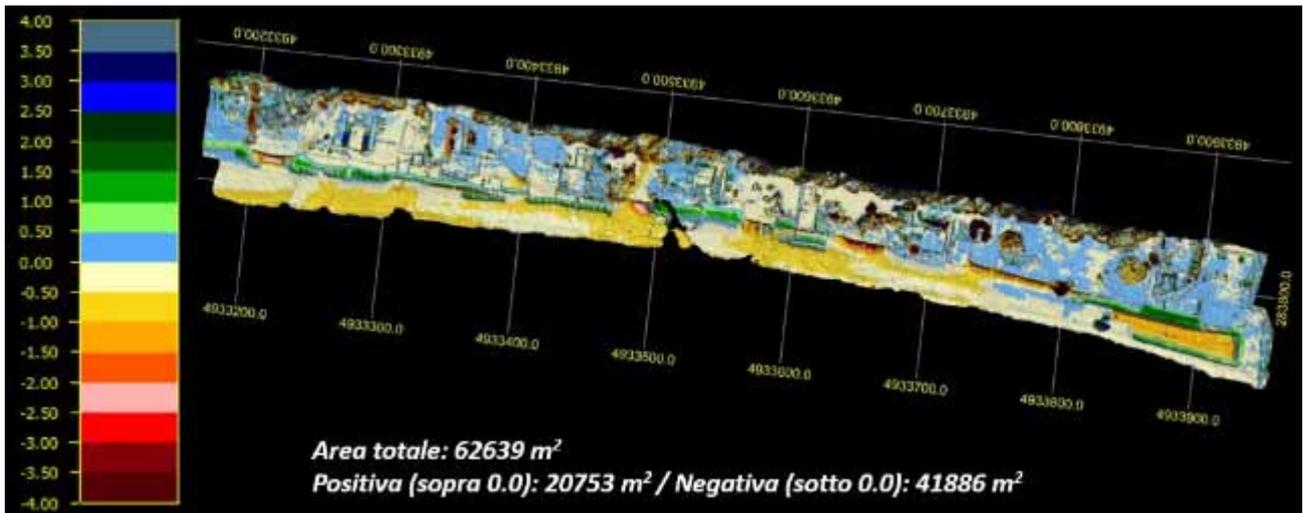


Figura 65 – Stima degli arretramenti e perdita di volumi legati alla mareggiata del 5-6 febbraio 2015

2.3.3 Lineamenti idrologici e litologici dell'immediato sottofondo dell'insieme dune-spiaggia emersa

I numerosi sondaggi geognostici e piezometrici effettuati in prossimità delle zone dunose e di arenile permettono di ricavare indicazioni che caratterizzano i depositi principali che compongono e delimitano l'acquifero freatico costiero non confinato basandosi sulle descrizioni che si trovano nella Carta Geologica D'Italia scala 1:50000 fogli 240-241 Forlì-Cervia. Dai sondaggi esistenti è stato quindi possibile ricavare ed associare le seguenti litologie presenti nell'immediato sottofondo delle aree più prossime al mare e cioè :

- Sabbie di cordone litorale
- Sabbie con ghiaie
- Depositi di pro-delta
- Argille e limi con sostanza organica di palude-laguna
- Alternanza di sabbie, limi e argille di tracimazione fluviale
- Depositi argillosi superficiali
- Depositi sabbiosi superficiali

Sono state per altro inserite anche le classi "depositi argillosi superficiali" e "depositi sabbiosi superficiali", in modo da semplificare l'elaborazione e la rappresentazione dei modelli. Tutti i dati hanno costituito gli elementi informativi utili per gestire il software gestionale RockWorks 15 ed utilizzato poi per costruire elaborati cartografici basati su un sistema di celle discretizzate che vanno a definire il numero dei nodi utilizzati durante l'interpolazione dati ; per il caso in esame discretizzate celle di dimensione di 200 m per 200 m in xy (orizzontale) per 0,2 m in z (verticale).

Dal modello di Fig. 66 è possibile vedere la distribuzione dei vari depositi superficiali, e di come si distribuiscano in profondità ,nella zona nord di Ravenna a nord del porto, i depositi di pro-delta. In superficie l'argilla è maggiormente presente nell'area a sud e sud-ovest del modello, nella porzione nord-orientale dell'area studio. Sono inoltre visibili "spot" di depositi argillosi in discontinuità con i

depositi sabbiosi circostanti. Le sabbie di cordone litorale sono presenti in superficie nella fascia retro-dunale. Si riesce anche a distinguere un'altra fascia con sabbie retro-dunali nei pressi dei piezometri all'interno della Pineta di San Vitale. Anche per le sabbie è possibile notarne una sporadica presenza all'interno delle argille, quindi in discontinuità con i depositi circostanti (Fig. 66).

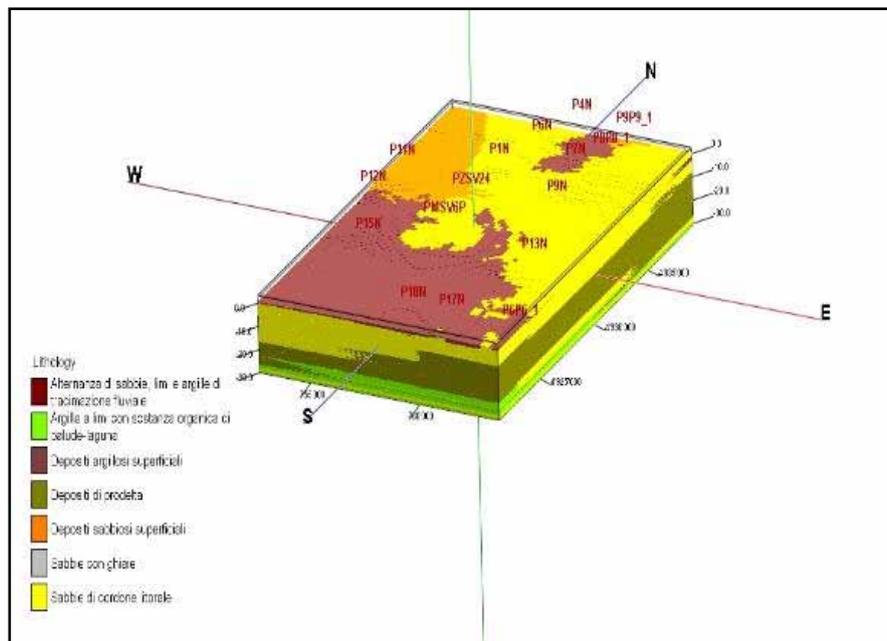


Fig. 66 - Modello litostratigrafico da RockWorks 15, della zona nord.

I depositi di pro-delta della zona nord formano uno strato continuo dalla costa spostandosi verso ovest, al di sotto delle sabbie di cordone litorale che compongono l'acquifero. I dati disponibili evidenziano poi come l'acquifero sia composto quasi esclusivamente dalle sabbie di cordone litorale che si trovano al di sopra dei depositi di pro-delta. Lo spessore dei depositi sabbiosi varia da 4,6 m ad oltre 16 m n. Lo spessore medio delle sabbie che compongono l'acquifero superficiale è di 10 m.

Al di sotto delle sabbie di litorale profonde è possibile vedere le argille, rappresentate con colore verde, che delimitano ed isolano l'acquifero verso il basso.

L'area a sud (Figura 67), presenta dei depositi superficiali prevalentemente argillosi soprattutto in corrispondenza del Savio e nella zona ovest. In superficie si possono distinguere due fasce a prevalenza sabbiosa, la prima in prossimità della costa corrispondente all'odierna Pineta Ramazzotti e Pineta di Lido di Classe, mentre la seconda più interna dove attualmente è insediata la Pineta di classe.

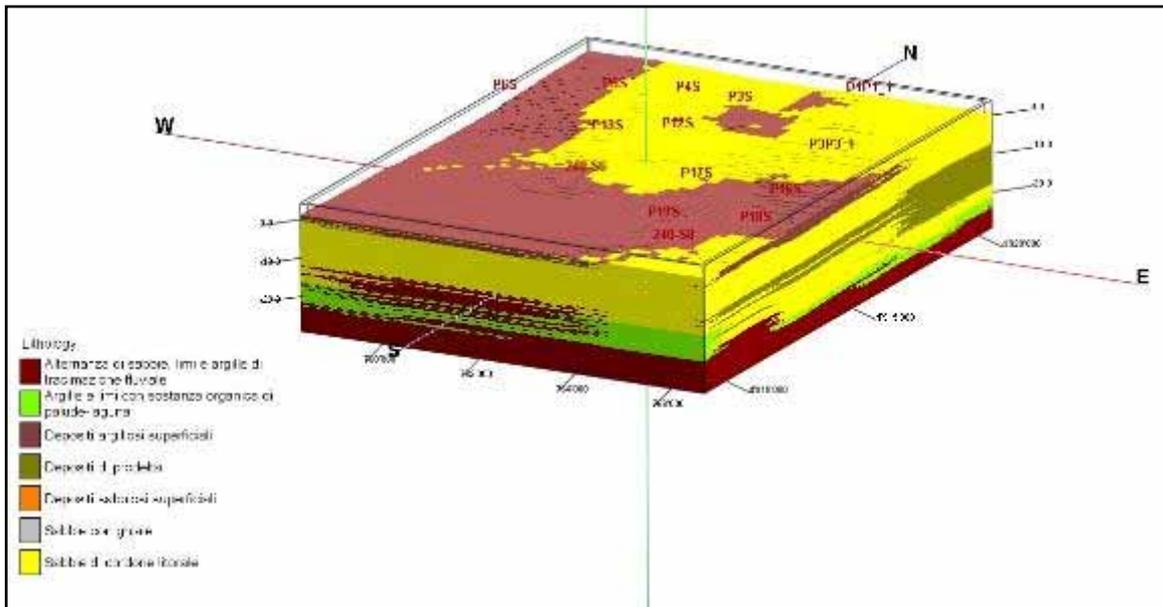


Figura 67 - Modello litostratigrafico da RockWorks 15, della zona sud.

Anche in questo caso, si nota la presenza di depositi sabbiosi ed anche depositi argillosi in piccole porzioni di territorio in discontinuità con i depositi sabbiosi circostanti. I dati evidenziano come il prodelta sia maggiormente presente nella parte settentrionale della zona sud, con spessori che arrivano anche a circa 11,50 m in prossimità della Pineta Ramazzotti. Spostandosi verso sud e verso ovest il prodelta scompare interdigitandosi con i depositi di sabbia di cordone litorale. Nella parte bassa della sequenza litostratigrafica si possono vedere le argille che delimitano l'acquifero. Le argille si incontrano ad una profondità media di - 18,5 m con valori massimi uguali a - 24,5 m.

Dal modello delle sabbie di cordone litorale si registra come varia lo spessore dell'acquifero spostandosi da nord verso sud. Nella parte settentrionale ci sono spessori di circa 8/9 m, mentre nella parte meridionale si arriva ai circa 10/15 m con punte di 22.3 m. Questo è dovuto alla scomparsa del deposito di pro-delta che divide l'acquifero sabbioso in due porzioni, una superficiale ed una profonda, mentre nella parte meridionale ve ne è l'assenza e le sabbie di cordone litorale che compongono l'acquifero non hanno interruzioni in profondità fino alla base dell'acquifero.

Si segnala poi come l'acquifero freatico costiero di Ravenna risulta fortemente contaminato dall'intrusione salina. La salinizzazione è aumentata notevolmente specie negli ultimi decenni e sta minacciando i terreni agricoli e gli ecosistemi naturali della zona costiera ravennate, come pinete, dune costiere e lagune

L'acquifero freatico costiero in questione (Figura 68) è un'unità sedimentaria composta principalmente da depositi sabbiosi marini, delimitata verso l'entroterra da depositi fini che ne riducono gli scambi di fluidi; gli apporti idrici possono avvenire, perciò, esclusivamente dal mare, dalla connessione fiume-acquifero e dalla ricarica superficiale, quest'ultima causata dalle precipitazioni e dagli eccessi irrigui dovuti all'agricoltura.

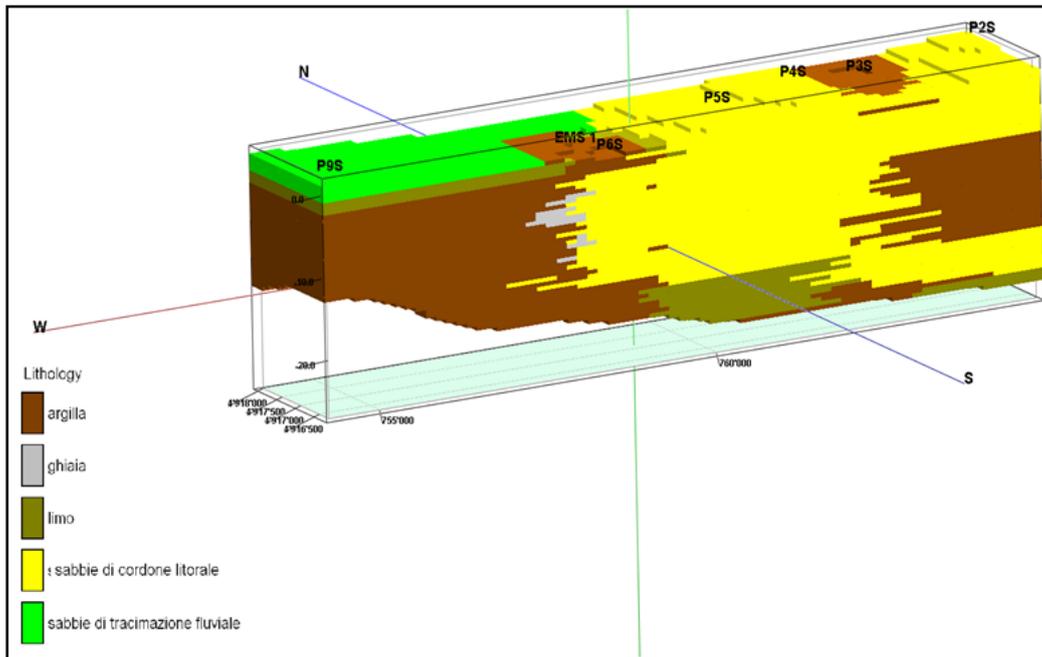


Figura 68 - Sezione litologica 3D ricostruita mediante il software Rockworks. Esager. verticale 75x.

Le aree in cui può avvenire la ricarica sono essenzialmente le fasce di dune e le porzioni di territorio in cui i depositi sabbiosi superficiali siano affioranti. I tassi di infiltrazione che raggiungono l'acquifero sono modesti a causa delle scarse precipitazioni, delle alte temperature che causano una forte evapotraspirazione e della subsidenza che costringe il Consorzio di Bonifica della Romagna ad incrementare il drenaggio per garantire il franco di coltivazione (Fig. 69).

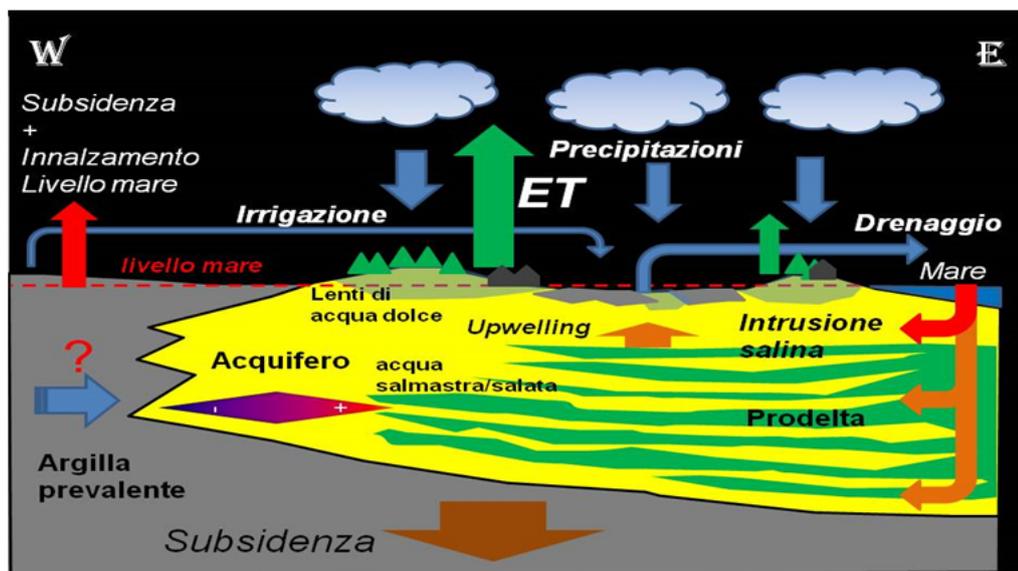


Figura 69 - Rappresentazione schematica dei flussi in ingresso ed in uscita nell'acquifero costiero ravennate.

Il processo di salinizzazione è causato principalmente da due fattori: l'intrusione dell'acqua di mare e la risalita di acque salmastre dalla base dell'acquifero. Il primo fenomeno è favorito dal gradiente idraulico che si genera da mare verso l'entroterra a causa della modesta elevazione dell'area (su cui incide anche la subsidenza) e dalla forte opera di drenaggio delle idrovore costrette ad abbassare la tavola d'acqua (Figura 70).. Il secondo processo avviene sempre ad opera delle idrovore, in quanto, riducendo il carico idraulico favoriscono la risalita di acque profonde con salinità, molto spesso, superiori all'acqua di mare. Gli impianti di sollevamento idraulico, essendo localizzati lontano dalla costa, generano un cono di depressione avente la massima profondità ad ovest delle Pinete storiche. In questo modo si genera una cella di flusso molto ampia che richiama acqua direttamente dal mare.

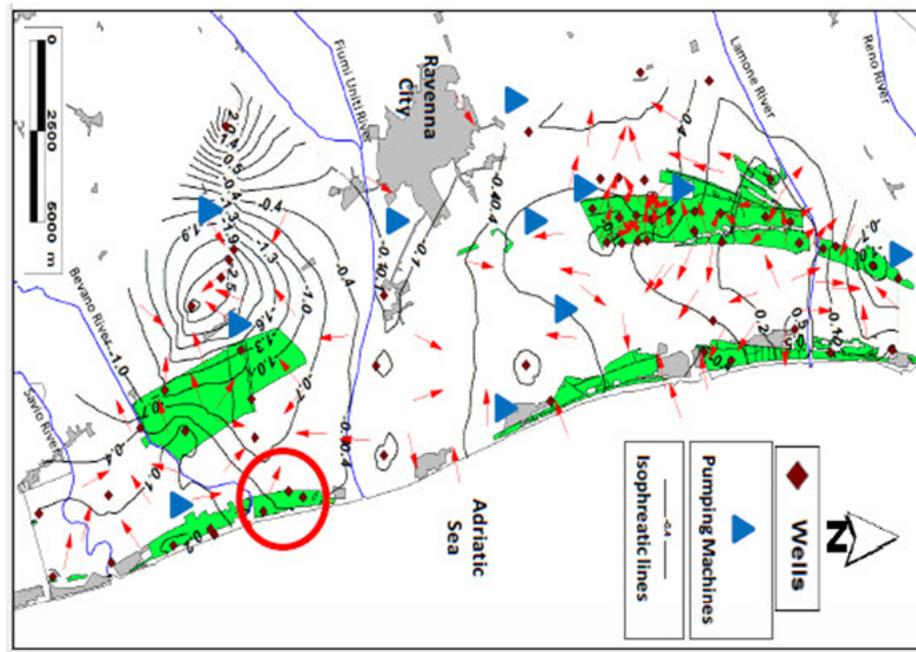


Figura 70 – Schematica ricostruzione della profondità della falda freatica non confinata e dei vettori di flusso che caratterizzano l'area costiera ravennate.

Le indagini geo-elettriche effettuate sempre in queste zone non fanno confermano quanto sopra indicato, cioè mostrano come l'acqua dolce si trovi esclusivamente lontano dai canali di drenaggio e dove l'acquifero risulta freatico; i confronti stagionali mostrano la scomparsa, nella maggior parte dei casi, di queste sottili lenti, nel periodo estivo. In sintesi l'analisi della salinizzazione dell'acquifero superficiale ravennate ha messo in luce che la causa prima del problema è il forte scempenso dei gradienti idraulici che hanno attivato un flusso da mare verso terra delle acque sotterranee e dal fondo dell'acquifero (con acque salmastre) verso le sue parti più superficiali (con acque più dolci).



GRUPPO DI RICERCA
GEOSCIENZE

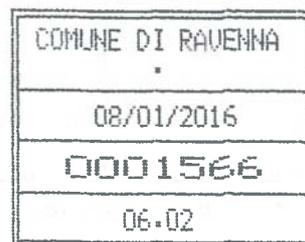
UNIVERSITÀ DI BOLOGNA

C.I.R.S.A. - CENTRO INTERDIPARTIMENTALE DI RICERCA IN SCIENZE AMBIENTALI



COMUNE DI RAVENNA

Area Infrastrutture Civili
Servizio Geologico e Protezione Civile
U.O. Geologico
Via Berlinguer n. 58/68 - Ravenna - Italy
Tel. 0544 - 482086 fax 0544 - 482357
Mail snannini@comune.ravenna.it



POC ARENILE 2015 adottato con delibera di Consiglio Comunale PG n. 99757 PV 76 del 16/07/2015

RELAZIONE GEOLOGICO-GEOTECNICA

INTEGRAZIONE punto 2 richiesta Provincia di Ravenna del 10.11.2015 (PPEC PG. 154879/2015)

L'art. 18 del nuovo POC "Piano dell'Arenile" al comma 2 lettera C prevede fra i "metodi integrativi/alternativi o misti consentiti" mediante il punto 3, la possibilità, fra l'altro del tutto nuova, "nelle zone di erosione":

1) realizzare a filo fondazione delle gabbionate con altezza massima di ml. 1,50 e base di ml. 2,00 posta ad una profondità di almeno ml. 0,50, con una eventuale chiusura laterale rivolta verso il mare.

Oppure in alternativa alla precedente soluzione, a titolo sperimentale per un periodo di tre anni, e solamente per le strutture precarie fisse ad una distanza inferiore a ml. 50,00 (in accoglimento ad una osservazione) dalla battigia, è consentita l'installazione:

2) di palandolead una profondità massima di ml. 3,00 dal piano di campagna e con una eventuale sporgenza (non preferibile) di ml. 0,50 (in accoglimento ad una osservazione) da schermarsi con movimenti di sabbia. Al termine della sperimentazione se ne valuteranno gli effetti prodotti e nel caso di risultati non compatibili con il contesto, le palancole dovranno essere rimosse. Anche per questa soluzione è possibile una chiusura rivolta verso la battigia.

Relativamente alla soluzione n° 1 (gabbionate) non si prevedono effetti negativi già fin dall'origine, in quanto:

a) il loro posizionamento ad una profondità di - 0,50 ml dal piano campagna presuppone l'inizio del loro effetto dopo già una significativa erosione della spiaggia e quindi, considerate le caratteristiche medie delle mareggiate che normalmente si verificano durante il periodo invernale, solamente in pochi casi negli ultimi 10 sarebbero state interessate dal moto ondoso.

b) Relativamente agli effetti attesi si prevede:

- 1) il dissipamento dell'onda residua già franta sull'arenile, mediante il suo collasso all'interno delle cavità interstiziali fra i sassi di riempimento della gabbionata;
- 2) un progressivo aumento della difesa della zona protetta con il progredire dell'erosione, in quanto la gabbionata verrà ad essere esposta all'onda incidente, consentendone il frangimento e il dissipamento dell'energia residua senza fenomeni di riflessione;
- 3) nessun effetto di interferenza con l'assetto idrogeologico locale, considerata l'alta permeabilità della struttura.

Relativamente alla soluzione n° 2 (palandole), come già accennato, sarà la sperimentazione triennale ad evidenziare eventuali effetti negativi, ma comunque si sottolinea:



Progettazione, programmazione, affidamento, direzione lavori dei lavori pubblici e delle manutenzioni; gestione espropri.



a) su tutti i 37 km. di costa del Comune di Ravenna, saranno solamente una decina le strutture che si trovano nella condizione prevista (distanza inferiore a ml. 50,00 dalla battigia) per il loro posizionamento;

b) la forma planimetrica a trapezio, con la base maggiore rivolta verso il mare, fa sì che l'energia dell'onda resti confinata all'interno dell'area protetta e quindi tutta l'energia deve dissiparsi in questa zona. Eventuali scavalcamenti della parte emersa delle palancole avranno comunque un'energia limitata e il flusso dell'acqua di ritorno verso il mare sarà orientato dai lati del trapezio.

c) la geometria descritta e prevista per questa struttura tende anche ad eliminare effetti di bordo negativi nelle aree limitrofe;

d) si prevede comunque un moderato asporto di sabbia (erosione) nell'area interna del trapezio;

e) nessun effetto negativo con l'assetto idrogeologico locale, in quanto la forma a trapezio favorisce il deflusso della falda verso mare e contestualmente il limitato numero di interventi previsti non crea comunque ostacolo al suo deflusso.

Ravenna li 04/01/2016

Comune di Ravenna
Dott. Sergio Nannini
geologo

