



## Progetto AnCoRA



STUDI PROPEDEUTICI PER L'ANALISI DI RISCHIO  
DELLA FASCIA COSTIERA DELLA REGIONE ABRUZZO

# Illustrazione metodologica dell'analisi di rischio

Ultimo aggiornamento: 30 luglio 2019

### **Coordinamento Scientifico**

Prof. Marcello Di Risio, PhD      Università dell'Aquila  
*Dipartimento di Ingegneria Civile, Edile Architettura e Ambientale (DICEAA)*  
*Laboratorio di Idraulica Ambientale e Marittima (LIAM)*

### **Supporto al coordinamento scientifico**

Prof. Paolo De Girolamo, PhD      Sapienza Università di Roma  
*Dipartimento di Ingegneria Civile, Edile, Ambientale (DICEA)*

### **Gruppo di lavoro**

Ing. Melissa Anzellotti      Università dell'Aquila  
*Dipartimento di Ingegneria Civile, Edile Architettura e Ambientale (DICEAA)*  
*Laboratorio di Idraulica Ambientale e Marittima (LIAM)*

Ing. Davide Tullio      Università dell'Aquila  
*Dipartimento di Ingegneria Civile, Edile Architettura e Ambientale (DICEAA)*  
*Laboratorio di Idraulica Ambientale e Marittima (LIAM)*

Ing. Davide Pasquali, PhD      Università dell'Aquila  
*Dipartimento di Ingegneria Civile, Edile Architettura e Ambientale (DICEAA)*  
*Laboratorio di Idraulica Ambientale e Marittima (LIAM)*

Ing. Daniele Celli, PhD      Università dell'Aquila  
*Dipartimento di Ingegneria Civile, Edile Architettura e Ambientale (DICEAA)*  
*Laboratorio di Idraulica Ambientale e Marittima (LIAM)*

Ing. Piera Fischione      Università dell'Aquila  
*Dipartimento di Ingegneria Civile, Edile Architettura e Ambientale (DICEAA)*  
*Laboratorio di Idraulica Ambientale e Marittima (LIAM)*

### **Responsabile della Convenzione per la Regione Abruzzo**

Dott. Franco Gerardini      Regione Abruzzo  
*Responsabile del Servizio Opere Marittime e Acque Marine*

### **Responsabile delle attività scientifiche e tecniche per la Regione Abruzzo**

Ing. Luca Iagnemma, PhD      Regione Abruzzo  
*Responsabile Ufficio qualità acque marine ed ecosistemi*

## Sommario

1. Premesse .....	4
2. Inquadramento normativo .....	5
2.1. Cenni generali.....	5
2.2. Attuazione della direttiva 2007/60/CE relativa alla valutazione e alla gestione dei rischi di alluvioni (D. Lgs. 49/2010).....	6
2.3. Atto di indirizzo e coordinamento per l'individuazione dei criteri relativi agli adempimenti di cui all'art. 1, commi 1 e 2, del decreto-legge 11 giugno 1998, n. 180 (D.P.C.M. 29 settembre 1998).....	7
2.4. Norme in materia ambientale (D. Lgs. 152/2006).....	8
2.5. Disposizioni per la difesa del mare (Legge 979/1982).....	9
2.6. Conferimento di funzioni e compiti amministrativi dello Stato alle regioni ed agli enti locali, in attuazione del capo I della legge 15 marzo 1997, n. 59 (D.Lgs. 112/1998) .....	9
3. Definizioni.....	10
4. Metodologia per la valutazione del rischio della fascia costiera.....	12
4.1. Classificazione, indici e supporto topologico .....	12
4.2. La vulnerabilità della fascia costiera.....	14
4.2.1. Indice geomorfologico (IV-G).....	14
4.2.2. Indice di evoluzione della linea di riva (IV-LR) .....	15
4.2.3. Indice di ampiezza della spiaggia emersa (IV-A) .....	17
4.2.4. Indice di pendenza della spiaggia emersa (IV-PE) .....	18
4.2.5. Indice di pendenza della spiaggia sommersa (IV-PS) .....	18
4.2.6. Indice di quota emersa (IV-QE).....	19
4.2.7. Indice di esposizione meteomarina (IV-M).....	19
4.2.8. Indice di difesa (IV-D) .....	20
4.2.9. Indice di vulnerabilità idraulica (IV-I).....	21
4.3. L'esposizione della fascia costiera .....	22
4.3.1. Indice di densità di popolazione totale (IE-PT).....	22
4.3.2. Indice di densità di popolazione pesata sull'età (IE-PE) .....	23
4.3.3. Indice di densità edificata (IE-E) .....	24
4.3.4. Indice di densità edificata pesata sull'anno di costruzione (IE-EC).....	25
4.3.5. Indice di densità edificata pesata sul numero di piani (IE-EP) .....	26
4.3.6. Indice di presenza di stabilimenti balneari o similari (IE-SB) .....	26

4.3.7.	Indice di esposizione culturale e ambientale (IE-CA) .....	27
4.3.8.	Indice di infrastrutture esposte (IE-IE) .....	28
4.3.9.	Indice di infrastrutture di supporto (IE-IS).....	28
4.3.10.	Indice delle attività economiche (IE-AE).....	29
4.4.	La pericolosità della fascia costiera.....	29
4.4.1.	Indice di pericolosità (IP) .....	30
4.5.	La valutazione del rischio della fascia costiera.....	31
4.5.1.	Indice di vulnerabilità (IV) .....	31
4.5.2.	Indice di esposizione (IE) .....	31
4.5.3.	Indice di pericolosità (IP) .....	32
4.5.4.	Indice di rischio (IR) .....	32
5.	Applicazione al sito pilota di Fossacesia-Punta Penna .....	33
5.1.	Inquadramento del sito .....	33
5.2.	Fonte dei dati .....	36
5.2.1.	Indice geomorfologico (IV-G), Indice di presenza di stabilimenti balneari o similari (IE-SB).....	36
5.2.2.	Indice di evoluzione della linea di riva (IV-LR) .....	36
5.2.3.	Indice di ampiezza della spiaggia emersa (IV-A) .....	36
5.2.4.	Indice di pendenza della spiaggia emersa (IV-PE).....	36
5.2.5.	Indice di pendenza della spiaggia sommersa (IV-PS).....	37
5.2.6.	Indice di quota emersa (IV-QE).....	37
5.2.7.	Indice di esposizione meteomarina (IV-M), Indice di pericolosità (IP).....	37
5.2.8.	Indice di difesa (IV-D) .....	37
5.2.9.	Indice di vulnerabilità idraulica (IV-I).....	37
5.2.10.	Indice di densità di popolazione totale (IE-PT), Indice di densità di popolazione pesata sull'età (IE-PE), Indice di densità edificata (IE-E), Indice di densità edificata pesata sull'anno di costruzione (IE-EC), Indice di densità edificata pesata sul numero di piani (IE- EP), Indice delle attività economiche (IE-AE) .....	37
5.2.11.	Indice di esposizione culturale e ambientale (IE-CA) .....	37
5.2.12.	Indice di infrastrutture esposte (IE-IE) e Indice di infrastrutture di supporto (IE- IS) .....	37
5.3.	Sintesi dei risultati.....	38
6.	Riferimenti bibliografici selezionati .....	47

## 1. Premesse

La gestione integrata della fascia costiera necessita, come supporto di fondo alle azioni di tutela/mitigazione/adattamento, di un apparato conoscitivo evoluto che evidenzi le dinamiche di correlazione tra le determinanti, i rischi e le opzioni risolutive.

La Regione Abruzzo è stata una delle prime regioni italiane a utilizzare modelli territoriali integrati dell'ambito costiero dotandosi di un Piano di gestione basato su un'analisi di rischio multidisciplinare eseguita a scala regionale. Il Piano, che tuttora costituisce lo strumento di programmazione per gli interventi di difesa e riqualificazione delle coste regionali, venne sviluppato tra il 2000 e il 2001 nell'ambito dello Studio di Fattibilità finanziato dal CIPE n.106/99 denominato "Gestione integrata dell'area costiera. Piano organico per il rischio delle aree vulnerabili. Fattibilità di interventi di difesa e di gestione della fascia litoranea su scala regionale" approvato con la Delibera della Giunta Regionale DGR 964 del 31/11/2002.

Il progetto in epigrafe, denominato AnCoRA (Studi propedeutici per l'**A**nalisi di rischio della fascia **C**ostiera della **R**egione **A**bruzzo), è mirato ad aggiornare le conoscenze sulla fascia costiera regionale.

In particolare, esso mira a:

- definire lo stato di fatto della costa;
- valutare il livello di rischio costiero in ogni zona omogenea identificata;
- analizzare gli effetti degli interventi eseguiti in passato;
- realizzare un'analisi di dettaglio sui tratti del litorale a maggiore rischio.

La presente relazione descrive la metodologia volta alla valutazione del livello di rischio costiero.

## 2. Inquadramento normativo

### 2.1. Cenni generali

La valutazione del rischio costiero, rispetto a quella del rischio di alluvioni di origine fluviale, non risulta ancora ben definito dalla normativa nazionale (MATTM, 2013). Di conseguenza anche l'elaborazione dei Piani di gestione integrata delle coste non è inquadrata all'interno di una normativa specifica. Le zone costiere sono nominate nella normativa riguardante la difesa dalle alluvioni, poiché la loro definizione include anche le inondazioni marine (art.2, D.Lgs 49/2010).

Infatti, l'analisi della normativa, seppur senza pretesa di completezza, denota un'estrema frammentarietà delle norme che indicano la gestione delle coste.

Dopo l'introduzione del Piano Coste con la Legge 979/1982, secondo la quale esso ha l'obiettivo di promuovere e coordinare gli interventi e le attività di difesa delle coste dall'inquinamento e di tutela dell'ambiente marino, la normativa ha dettagliato le procedure necessarie al raggiungimento degli obiettivi definiti dal Piano Coste.

In particolare:

- il D. Lgs. 152/2006 ha inserito, tra le attività di programmazione, pianificazione e attuazione, anche la protezione delle coste dall'invasione delle acque marine e dall'erosione, imponendo alla Pubblica Amministrazione di svolgere ogni opportuna azione di carattere conoscitivo, di programmazione e pianificazione degli interventi;
- il D. Lgs. 49/2010 stabilisce che i Piani di gestione del rischio di alluvioni debbano contenere anche l'ordine di priorità delle misure da adottare.

L'ordine di priorità di cui tratta il D. Lgs. 49/2010 presuppone l'analisi comparativa delle aree oggetto di potenziale intervento. Pertanto, essa può basarsi sull'analisi di rischio. A tal proposito:

- il D.P.C.M. 29 settembre 1998 (decreto Sarno) indica la definizione del rischio come il prodotto di tre componenti (pericolosità dell'evento, vulnerabilità ed esposizione degli elementi a rischio) e la definizione qualitativa di 4 classi di rischio.

Nel seguito sono riportati i principali riferimenti normativi per i quali sono evidenziati i passaggi che interessano la definizione del rischio e l'elaborazione dei piani di gestione integrata della fascia costiera.

## 2.2. Attuazione della direttiva 2007/60/CE relativa alla valutazione e alla gestione dei rischi di alluvioni (D. Lgs. 49/2010)

Il decreto, come si evince dal suo titolo, recepisce la [direttiva 2007/60/CE](#) relativa alla valutazione e alla gestione dei rischi di alluvione e dispone di procedere alla perimetrazione delle aree soggette a inondazioni per ridurre le conseguenze negative per la salute umana, il territorio, i beni, l'ambiente, il patrimonio culturale e le attività economiche e sociali derivanti dalle stesse alluvioni. Il decreto è stato modificato dalla [Legge 97/2013](#) (Art. 19) e dalla [Legge 116/2014](#) (Art. 10).

La norma ([Art. 2](#)) riporta le definizioni di interesse per il progetto in epigrafe:

- “Alluvione”  
L'allagamento temporaneo, anche con trasporto, ovvero mobilitazione di sedimenti anche ad alta densità, di aree che abitualmente non sono coperte d'acqua. Ciò include le inondazioni causate da laghi, fiumi, torrenti, eventualmente reti di drenaggio artificiale, ogni altro corpo idrico superficiale anche a regime temporaneo, naturale o artificiale, le inondazioni marine delle zone costiere ed esclude gli allagamenti causati da impianti fognari;
- “Pericolosità da alluvione”  
La probabilità di accadimento di un evento alluvionale in un intervallo temporale prefissato e in una certa area;
- “Rischio di alluvioni”  
La combinazione della probabilità di accadimento di un evento alluvionale e delle potenziali conseguenze negative per la salute umana, il territorio, i beni, l'ambiente, il patrimonio culturale e le attività economiche e sociali derivanti da tale evento.

Successivamente, la norma illustra le caratteristiche che devono avere le mappe della pericolosità e del rischio di alluvioni ([Art. 6](#)), contenenti la perimetrazione delle aree che potrebbero essere interessate da alluvioni secondo i seguenti scenari:

- a. Scarsa probabilità di alluvioni o scenari di eventi estremi;
- b. Media probabilità di alluvioni ( $Tr = 100 - 200$  anni, con  $Tr$  che indica il "tempo di ritorno");
- c. Elevata probabilità di alluvioni ( $Tr = 20-50$  anni).

Si sottolinea che la norma prevede che per le zone costiere in cui esiste un adeguato livello di protezione, le mappe possano fare riferimento solo agli scenari di scarsa probabilità di alluvioni o scenari di eventi estremi.

Analogamente (nello stesso [Art. 6](#)), la norma definisce le mappe del rischio di alluvioni che indicano le potenziali conseguenze negative derivanti dalle alluvioni e prevedono le 4 classi di rischio di cui [DPCM 29/9/1998](#). In particolare, le conseguenze sono espresse tramite le seguenti valutazioni:

- a) numero indicativo degli abitanti potenzialmente interessati;
- b) infrastrutture e strutture strategiche (autostrade, ferrovie, ospedali, scuole, etc);
- c) beni ambientali, storici e culturali di rilevante interesse presenti nell'area potenzialmente interessata;

d) distribuzione e tipologia delle attività economiche insistenti sull'area potenzialmente interessata;

e) impianti di cui all'allegato I del [D.Lgs. 18 febbraio 2005, n. 59](#), che potrebbero provocare inquinamento accidentale in caso di alluvione e aree protette potenzialmente interessate, individuate all'allegato 9 alla parte terza del [D.Lgs. n. 152 del 2006](#);

f) altre informazioni considerate utili dalle autorità di bacino distrettuali, come le aree soggette ad alluvioni con elevato volume di trasporto solido e colate detritiche o informazioni su fonti rilevanti di inquinamento.

La norma, infine, illustra il contenuto del piano di gestione del rischio di alluvioni (Allegato 1, Parte A) nel quale devono essere presenti:

1. conclusioni della valutazione preliminare del rischio di alluvioni (art. 4) sotto forma di una mappa di sintesi che delimiti le zone oggetto del piano (art. 5);
2. mappe della pericolosità e del rischio di alluvioni (art. 6);
3. descrizione degli obiettivi della gestione del rischio alluvioni;
4. sintesi delle misure e relativo ordine di priorità per il raggiungimento degli obiettivi della gestione del rischio di alluvioni;
5. descrizione della metodologia di analisi dei costi e benefici, utilizzata per valutare le misure aventi effetti transnazionali per i bacini idrografici o sottobacini condivisi.

### **2.3. Atto di indirizzo e coordinamento per l'individuazione dei criteri relativi agli adempimenti di cui all'art. 1, commi 1 e 2, del decreto-legge 11 giugno 1998, n. 180 (D.P.C.M. 29 settembre 1998)**

È un atto di indirizzo e coordinamento per l'individuazione dei criteri relativi agli adempimenti di cui ai commi 1 e 2 del [Decreto Legge 11 giugno 1998, n. 180](#), convertito con [Legge 3 agosto 1998, n. 267](#) (Legge Sarno, "Misure urgenti per la prevenzione del rischio idrogeologico e a favore delle zone colpite da disastri franosi nella regione Campania").

Nel seguito sono riportati alcune informazioni desunte dall'analisi dell'atto di indirizzo e coordinamento.

Innanzitutto, l'atto definisce la "valutazione del rischio" in relazione alla "sua formulazione ormai consolidata in termini di rischio totale". In particolare, si fa riferimento all'espressione di maggior semplicità, nel rispetto della quale il rischio totale è il prodotto di tre fattori:

- pericolosità o probabilità di accadimento dell'evento calamitoso;
- valore degli elementi a rischio (intesi come persone, beni localizzati, patrimonio ambientale);
- vulnerabilità degli elementi a rischio (che dipende sia dalla loro capacità di sopportare le sollecitazioni esercitate dall'evento, sia dall'intensità dell'evento stesso).

Successivamente, l'atto propone la definizione di 4 classi di rischio, secondo le classificazioni di seguito riportate e alle quali sono attribuite le seguenti definizioni:

- moderato R1: per il quale i danni sociali, economici e al patrimonio ambientale sono marginali;



- medio R2: per il quale sono possibili danni minori agli edifici, alle infrastrutture e al patrimonio ambientale che non pregiudicano l'incolumità del personale, l'agibilità degli edifici e la funzionalità delle attività economiche;
- elevato R3: per il quale sono possibili problemi per l'incolumità delle persone, danni funzionali agli edifici e alle infrastrutture con conseguente inagibilità degli stessi, la interruzione di funzionalità delle attività socio-economiche e danni rilevanti al patrimonio ambientale;
- molto elevato R4: per il quale sono possibili la perdita di vite umane e lesioni gravi alle persone, danni gravi agli edifici, alle infrastrutture e al patrimonio ambientale, la distruzione di attività socio-economiche.

#### 2.4. Norme in materia ambientale (D. Lgs. 152/2006)

Tale atto normativo ("Norme in materia ambientale") riporta nella sua Parte Terza, Sezione I, le norme in materia di difesa del suolo e lotta alla desertificazione.

In particolare, vengono definite le finalità della parte Terza, Sezione I della norma (Art. 53):

- le disposizioni sono volte ad assicurare la tutela ed il risanamento del suolo e del sottosuolo, il risanamento idrogeologico del territorio tramite la prevenzione dei fenomeni di dissesto, la messa in sicurezza delle situazioni a rischio e la lotta alla desertificazione;
- per il conseguimento di tali finalità, la pubblica amministrazione svolge ogni opportuna azione di carattere conoscitivo, di programmazione e pianificazione degli interventi, nonché preordinata alla loro esecuzione, in conformità alle disposizioni che seguono.

Successivamente, vengono fornite alcune definizioni (Art. 54):

- "Acque superficiali"  
le acque interne, ad eccezione delle sole acque sotterranee, le acque di transizione e le acque costiere, tranne per quanto riguarda lo stato chimico, in relazione al quale sono incluse anche le acque territoriali;
- "Acque costiere"  
le acque superficiali situate all'interno rispetto a una retta immaginaria distante, in ogni suo punto, un miglio nautico sul lato esterno dal punto più vicino della linea di base che serve da riferimento per definire il limite delle acque territoriali, e che si estendono eventualmente fino al limite esterno delle acque di transizione;
- "Difesa del suolo"  
il complesso delle azioni ed attività riferibili alla tutela e salvaguardia del territorio, dei fiumi, dei canali e collettori, degli specchi lacuali, delle lagune, della fascia costiera, delle acque sotterranee, nonché del territorio a questi connessi, aventi le finalità di ridurre il rischio idraulico, stabilizzare i fenomeni di dissesto geologico, ottimizzare l'uso e la gestione del patrimonio idrico, valorizzare le caratteristiche ambientali e paesaggistiche collegate;
- "Dissesto idrogeologico"  
la condizione che caratterizza aree ove processi naturali o antropici, relativi alla dinamica dei corpi idrici, del suolo o dei versanti, determinano condizioni di rischio sul territorio.

Nell'art. 56, la norma esplicita l'estensione delle attività di cui all'art. 53 anche alla protezione delle coste:

*Le attività di programmazione, di pianificazione e di attuazione degli interventi destinati a realizzare le finalità di cui all'articolo 53 riguardano anche la protezione delle coste e degli abitati dall'invasione delle acque marine e dall'erosione costiera ed il ripascimento degli arenili, anche mediante opere di ricostituzione dei cordoni dunosi.*

Nell'art. 65, la norma definisce "il piano di Bacino" come "lo strumento conoscitivo, normativo e tecnico-operativo mediante il quale sono pianificate e programmate le azioni e le norme d'uso finalizzate alla conservazione, alla difesa e alla valorizzazione del suolo ed alla corretta utilizzazione delle acque, sulla base delle caratteristiche fisiche ed ambientali del territorio interessato." Nello stesso articolo, si sottolinea che il Piano di Bacino deve contenere anche le indicazioni delle opere di protezione, consolidamento e sistemazione dei litorali marini che sottendono il distretto idrografico.

## 2.5. Disposizioni per la difesa del mare (Legge 979/1982)

Tale norma ("Disposizioni per la difesa del mare") introduce il "piano generale di difesa del mare e delle coste marine dall'inquinamento e di tutela dell'ambiente marino, valido per tutto il territorio nazionale, tenuto conto dei programmi statali e regionali anche in materie connesse, degli indirizzi comunitari e degli impegni internazionali". In particolare, si esplicita che

*il piano delle coste indirizza, promuove e coordina gli interventi e le attività in materia di difesa del mare e delle coste dagli inquinamenti e di tutela dell'ambiente marino, secondo criteri di programmazione e con particolare rilievo alla previsione degli eventi potenzialmente pericolosi e degli interventi necessari per delimitarne gli effetti e per contrastarli una volta che si siano determinati.*

## 2.6. Conferimento di funzioni e compiti amministrativi dello Stato alle regioni ed agli enti locali, in attuazione del capo I della legge 15 marzo 1997, n. 59 (D.Lgs. 112/1998)

Tale norma dirime la questione legata alle competenze istituzionali. Pur rimanendo tra i compiti di rilievo nazionale (art. 88) per quelli relativi "agli indirizzi generali ed ai criteri per la difesa delle coste", la norma conferisce alle Regioni e agli Enti Locali le funzioni relative "alla programmazione, pianificazione e gestione integrata degli interventi di difesa delle coste e degli abitati costieri".

### 3. Definizioni

Alla luce del dettato normativo, questo paragrafo ha l'obiettivo di enunciare in maniera univoca il significato dei termini utilizzati nell'ambito del progetto in epigrafe. Infatti, l'analisi della letteratura nazionale e internazionale evidenzia una disuniformità diffusa sulla definizione del rischio e delle componenti necessarie alla sua valutazione.

In linea del tutto generale, il concetto di "Rischio" (*risk* nella terminologia anglosassone) non coincide con il significato associato comunemente in ambito non tecnico. Infatti, il rischio non è associato alla sola probabilità che un evento possa accadere ed esercitare le sue azioni su un sistema, bensì anche alle conseguenze (sia sociali, sia economiche, sia ambientali) che l'evento può comportare e alla capacità del sistema di adattarsi all'evento stesso (legata al concetto di resilienza).

Si evince che il concetto di rischio è quindi relazionato sia al sistema in esame, sia al tipo di evento. Nello studio in epigrafe non vi sono dubbi sul sistema in esame: la fascia costiera. Per quanto riguarda l'evento, esso è costituito dall'allagamento (della fascia costiera). Tuttavia, il fenomeno dell'allagamento costiero è intimamente legato a quello dell'evoluzione dei litorali (naturale o indotta dalla pressione antropica).

Come già osservato, la definizione stessa del rischio non è uniforme nella letteratura nazionale e internazionale. Nell'ambito di questo studio, si mutua la definizione desunta dal progetto europeo FloodSite (De Brujin et al., 2009) che propone di definire il rischio (R) come il prodotto della pericolosità dell'evento (P), della vulnerabilità del sistema (V) e dell'esposizione (E):

$$R = P \times V \times E \quad (3-1)$$

Più nel dettaglio, la pericolosità è definita in relazione all'evento che rappresenta una minaccia al sistema. In questo modo essa è definita in funzione della sua probabilità di accadimento o, in altre parole, del suo tempo di ritorno.

La vulnerabilità è definita in relazione al sistema. Essa è legata alla capacità del sistema a reagire (o resistere) alla minaccia dell'evento (cioè alla pericolosità).

L'esposizione è definita, in analogia con il concetto di vulnerabilità, in relazione al sistema. In questo caso, tuttavia, essa si riferisce al valore (economico, sociale e ambientale) delle componenti esposte all'evento.

Si osserva che l'unica componente che può essere valutata in maniera affidabile è la pericolosità (P). Infatti, sono disponibili strumenti (tipicamente numerici e sperimentali) in

grado di valutare la pericolosità di allagamento costiero. La vulnerabilità e l'esposizione risultano tipicamente di difficile stima quantitativa e, comunque, con livelli di affidabilità e generalizzazione che spesso non giustificano l'applicazione di metodi sofisticati.

Questa osservazione ha portato ad una definizione qualitativa (e comparativa) del rischio. La natura qualitativa della valutazione del rischio continua a rispondere al dettato normativo che richiede la definizione "dell'ordine di priorità" degli interventi da attuare per una corretta gestione del rischio. La valutazione qualitativa del rischio presuppone la definizione e la quantificazione della pericolosità, vulnerabilità ed esposizione sotto forma di indici (denominati pertanto Indice di Pericolosità - IP - Indice di Vulnerabilità - IV - Indice di Esposizione - IE - e Indice di Rischio - IR):

$$IR = IP \times IV \times IE \quad (3-2)$$

La definizione e l'utilizzo degli indici permettono la classificazione del sistema secondo una gradazione in classi della pericolosità, vulnerabilità, esposizione e rischio (es. molto basso, basso, medio, alto, molto alto). La classificazione richiede la definizione degli estremi delle classi. Questa necessità sottolinea la tipologia di approccio dell'analisi di rischio che, di fatto, costituisce un'analisi comparativa. Infatti, la letteratura internazionale suggerisce la definizione delle classi in funzione di argomentazioni fisiche (ad esempio una spiaggia con grande pendenza ha una vulnerabilità inferiore rispetto a quella di una spiaggia a debole pendenza), ma anche in funzione della distribuzione nell'ambito dell'area in analisi (es. [Thieler e Hammar-Klose, 1999](#); [Di Risio et al., 2017](#)).

Alla luce delle definizioni adottate, alcuni commenti sono d'obbligo.

Il rischio di un'area costiera non è legato soltanto alla probabilità di allagamento (pericolosità), ma anche alla presenza di beni esposti al pericolo. Secondo questa definizione, pertanto, una zona della fascia costiera facilmente (e frequentemente) allagabile è valutata ad alto rischio soltanto se vi sono attività antropiche o aree sensibili (da un punto di vista ambientale, sociale e/o economico) effettivamente minacciate dal fenomeno.

Un commento merita anche il concetto di "gestione del rischio". Infatti, esso non è legato soltanto alla definizione di azioni volte alla riduzione del rischio, ma, più in generale, alla definizione di uno sviluppo sostenibile finalizzato al soddisfacimento ottimale dei bisogni sociali (es. sviluppo turistico di un'area di pregio) come risultato di un compromesso tra riduzione del rischio e minimizzazione dei costi sociali ([De Bruijn et al., 2009](#)). In altre parole, la "gestione del rischio" coinvolge non soltanto la pericolosità, ma anche la vulnerabilità e l'esposizione. Tale approccio è del tutto diverso da quello perseguito nel passato (almeno fino agli anni '90 del secolo scorso) che mirava alla difesa o al controllo degli allagamenti, agendo pertanto sulla sola pericolosità.

Questi commenti sottolineano la variazione temporale del rischio che, a causa dell'evoluzione sociale, ambientale ed economica della fascia costiera è destinata a modificarsi nel tempo. Da ciò nasce la necessità di aggiornare le analisi di rischio, obiettivo dello studio in epigrafe.

Nel seguito si illustra nel dettaglio la definizione degli indici utilizzati per la valutazione del rischio della fascia costiera Abruzzese.

## 4. Metodologia per la valutazione del rischio della fascia costiera

In base alle definizioni riportate nel paragrafo precedente, la metodologia adottata per valutare l'indice di rischio costiero (IR) prevede la determinazione degli indici di vulnerabilità (IV), esposizione (IE) e pericolosità (IP). Ognuno di essi è definito, a sua volta, da altri fattori a cui viene assegnata una classificazione che permette di attribuire una classe di appartenenza ad ognuno di essi (ovvero all'indice). In questo modo tutti i fattori risultano essere omogenei e confrontabili. Ai fini di una valutazione affidabile, il valore di ogni fattore viene calcolato considerando aree di riferimento in cui è opportunamente suddivisa la fascia costiera. Nel seguito, si riportano i singoli che concorrono alla definizione di ogni indice (IV, IE, IP e IR), la distinzione delle classi e il supporto topologico per il quale sono determinati.

### 4.1. Classificazione, indici e supporto topologico

Si distinguono cinque classi (molto basso, basso, medio, alto, molto alto) in cui ogni indice viene quantificato, alle quali viene attribuito un valore da 1 a 5. Il valore 1 indica un basso contributo e 5 un alto contributo alla vulnerabilità, esposizione o pericolosità (Tabella 4.1).

Tabella 4.1: Criterio di classificazione degli indici

Classi	Molto basso	Basso	Medio	Alto	Molto alto
Classificazione	1	2	3	4	5

Il criterio con cui ogni indice viene classificato dipende dalla tipologia dell'indice stesso.

Come anticipato, gli indici possono dipendere da uno o più fattori. Nel primo caso la classificazione si applica direttamente all'indice. Nel secondo caso, la classificazione si applica alla media pesata dei fattori identificati. Ciò permette di assegnare un peso maggiore al contributo che ha più importanza sul valore complessivo dell'indice.

Ognuno dei fattori utilizzati deve essere valutato in corrispondenza delle aree di interesse. Alcuni di essi sono valutati in corrispondenza di sezioni trasversali (alla linea di riva), altri in corrispondenza dell'area di influenza che la sezione trasversale rappresenta. La Figura 4.1 mostra uno schema qualitativo delle sezioni e delle aree di influenza. Sia la sezione trasversale, sia la relativa area di influenza, si estendono verso mare e verso terra. L'estensione verso mare è pari a circa 2500 m con l'obiettivo di raggiungere profondità superiori a 10 m. L'estensione verso terra è pari a 500 m mutuando, almeno parzialmente, il concetto di Area in Influenza dell'Erosione Costiera (RICE, *Radius of Influence of Coastal Erosion*) proposta nell'ambito del

progetto europeo EUROSION (*Coastal erosion – Evaluation of the need for action*, es. [Niesing, 2005](#)).

In sintesi, l'intero litorale regionale è stato suddiviso in 780 aree di influenza (di estensione longitudinale pari a circa 200 m). Ne deriva che sono ottenuti 780 valori per IV (e relativi fattori), IE (e relativi fattori), IP e IR. In questo modo, i risultati sono molto dettagliati, ma piuttosto frammentati e di difficile lettura ai fini di gestione della fascia costiera. Pertanto, in analogia con il Progetto SiCoRA (e dell'attuale Piano di Gestione), gli indici sono stati aggregati ricorrendo alla definizione di una serie di “area omogenee”, quali porzioni di litorale aventi al loro interno lo stesso assetto urbanistico, territoriale, morfologico e socio-economico. In questo modo si forniscono 60 valori di IV, IE, IP e IR. Si precisa che nell'ambito del progetto SiCoRA erano state identificate 57 aree omogenee. Alla luce delle mutate caratteristiche della fascia costiera regionale la suddivisione è stata rivista e aggiornata. Si sottolinea che la suddivisione in 780 aree di influenza resta comunque valida e utile, poiché permette l'identificazione di criticità localizzate.

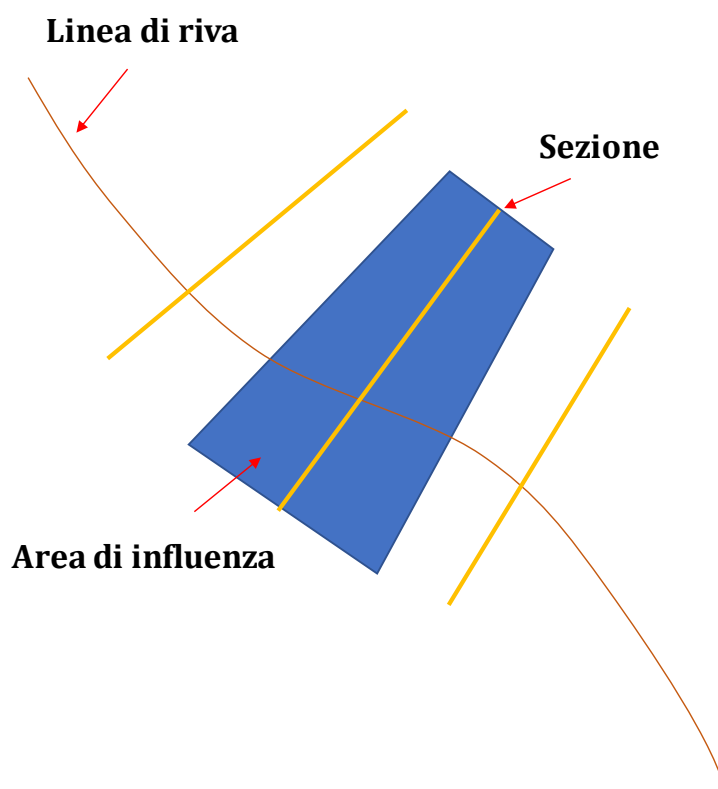


Figura 4.1: Definizione qualitativa di sezione trasversale e di area di influenza.

Nel seguito viene illustrata la metodologia con la quale ogni singolo indice è stato definito e classificato. Tra di essi si distinguono indici pesati, il cui valore è stato determinato tramite la definizione di una media pesata di una serie di singoli fattori.

## 4.2. La vulnerabilità della fascia costiera

La vulnerabilità, come già ampiamente descritto, dipende dalla capacità degli elementi esposti al rischio di sopportare le sollecitazioni esercitate dall'evento.

L'indice di vulnerabilità (IV) dipende, pertanto, da una molteplicità di aspetti fisici degli elementi esposti. Questo studio considera i seguenti aspetti:

- Indice geomorfologico (IV-G), descritto al paragrafo §4.2.1;
- Indice di evoluzione della linea di riva (IV-LR), descritto al paragrafo §4.2.2;
- Indice di ampiezza della spiaggia emersa (IV-A), descritto al paragrafo §4.2.3;
- Indice di pendenza della spiaggia emersa (IV-PE), descritto al paragrafo §4.2.4;
- Indice di pendenza della spiaggia sommersa (IV-PS), descritto al paragrafo §4.2.5;
- Indice di quota emersa (IV-QE), descritto al paragrafo §4.2.6;
- Indice di esposizione meteomarina (IV-M), descritto al paragrafo §4.2.7;
- Indice di difesa (IV-D), descritto al paragrafo §4.2.8;
- Indice di vulnerabilità idraulica (IV-I), descritto al paragrafo §4.2.9.

I seguenti paragrafi hanno l'obiettivo di motivare la selezione dei fattori, di descriverne il metodo di calcolo e di definirne la classificazione.

### 4.2.1. Indice geomorfologico (IV-G)

#### Descrizione

La vulnerabilità della fascia costiera dipende dalle caratteristiche geomorfologiche del litorale. Le coste alte e rocciose sono poco vulnerabili ai fenomeni di allagamento, mentre coste basse e sabbiose sono molto vulnerabili. Inoltre, nel caso di presenza di opere radenti, la costa viene assimilata da un punto di vista morfodinamico (inerodibilità) alla costa alta.

#### Metodo di calcolo

Le caratteristiche geomorfologiche del litorale sono definite sulla base dell'analisi delle immagini satellitari disponibili e sulla base dei risultati dell'analisi geomorfologica redatta nell'ambito del progetto SiCoRA.

#### Criterio di classificazione

Alla luce dell'influenza della geomorfologia sulla vulnerabilità della fascia costiera, comunemente accettata, si associa una vulnerabilità "molto bassa" (IV-G=1) alle coste alte e a quelle protette da barriere radenti, mentre una vulnerabilità "molto alta" viene assegnata (IV-G=5) alle coste basse a prescindere dalla granulometria della spiaggia emersa (Tabella 4.2).

Tabella 4.2: Criterio di classificazione dell'indice geomorfologico (IV-G).

Molto Bassa	Bassa	Media	Alta	Molto Alta
Costa alta, barriere radenti	-	-	-	Costa bassa

#### 4.2.2. Indice di evoluzione della linea di riva (IV-LR)

##### Descrizione

Come già anticipato, la vulnerabilità della fascia costiera è intimamente legata al suo stato morfodinamico. In maniera del tutto semplificata, un litorale stabile oppure in avanzamento ha una vulnerabilità inferiore rispetto a litorali caratterizzati da processi di arretramento della linea di riva. Con l'obiettivo di quantificare lo stato morfodinamico di un litorale, si prende in considerazione il rateo medio (m/anno) di movimento della linea di riva valutato tra due epoche diverse ( $DY_{1-2}$  valutato tra l'epoca "2" e l'epoca "1").

##### Metodo di calcolo

Il rateo medio di evoluzione della linea di riva è quantificato localmente come il rapporto tra la differenza della posizione (trasversale) della linea di riva osservata in due epoche diverse e l'ampiezza dell'intervallo temporale.

La distribuzione dell'evoluzione della linea di riva per la generica coppia di epoche ( $DY_{1-2}$ ) richiede la definizione della direzione trasversale alla linea di riva e la collocazione geografica dell'informazione. Entrambe queste informazioni devono essere conservate al variare delle epoche.

La direzione trasversale alla linea di riva è stata definita quale quella ortogonale alla giacitura media di tutte le linee di riva considerate. Nel dettaglio, è stata valutata la giacitura media della linea di riva relativa ad ognuna delle epoche considerate. La direzione trasversale è definita come ortogonale al valor medio delle giaciture medie così definite.

Lo spostamento della linea di riva lungo la direzione trasversale è stato valutato con una discretizzazione spaziale pari a 10 m. Successivamente, è stato estratto il valor medio  $DY^{(i)}_{1-2}$  di tale spostamento nelle aree di influenza delle sezioni definite al precedente paragrafo 4.1.

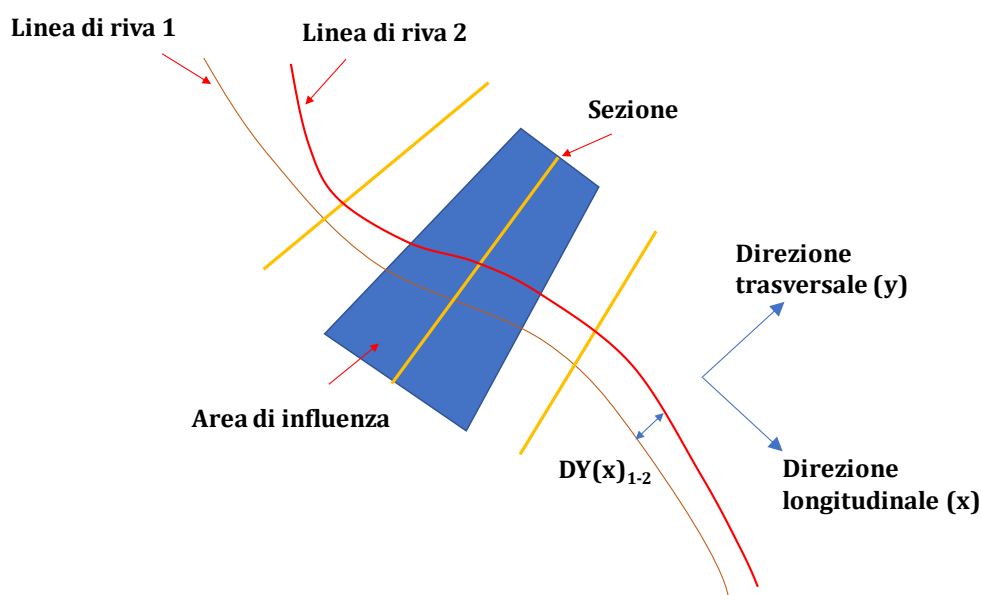


Figura 4.2: Definizione qualitativa del metodo di calcolo dell'evoluzione della linea di riva.



La Figura 4.2 mostra uno schema qualitativo del metodo di calcolo. Nello schema è indicata la direzione trasversale (y) e quella longitudinale (x). Il valore del movimento della linea di riva in corrispondenza della generica ascissa longitudinale (x) tra le epoche 1 e 2 è indicata con il simbolo  $DY(x)_{1-2}$ . Il valor medio del movimento della linea di riva nella generica area di influenza i è definito, pertanto, come:

$$DY_{1-2}^{(i)} = \overline{DY(x)_{1-2}} \quad x \in (\text{area di influenza}) \quad (4-1)$$

nella quale il simbolo di sopralineatura indica l'operazione di media spaziale.

In questo studio sono state desunte le linee di riva relative a 9 epoche diverse (1989, 1997, 1999, 2001, 2007, 2009, 2013, 2014 e 2018) tramite una procedura di estrazione automatica supervisionata dalle immagini satellitari (opportunamente georeferenziate). Pertanto, sono disponibili 8 diverse distribuzioni dell'evoluzione della linea di riva rispetto al rilievo più recente ( $DY_{1989-2018}$ ,  $DY_{1997-2018}$ ,  $DY_{1999-2018}$ ,  $DY_{2001-2018}$ ,  $DY_{2007-2018}$ ,  $DY_{2009-2018}$ ,  $DY_{2013-2018}$ ,  $DY_{2014-2018}$ ). Questo implica che esistono 8 diversi valori del rateo medio di evoluzione della linea di riva per ognuna delle aree considerate. Da ciò deriva la necessità della definizione di un criterio in grado di fornire un unico valore che rappresenti l'evoluzione della linea di riva in corrispondenza delle aree considerate. Così come anticipato nel paragrafo 4.1, si è utilizzata una media pesata. I pesi dei ratei di evoluzione della linea di riva sono stati definiti con l'obiettivo di considerare più importante l'evoluzione recente. La Tabella 4.3 mostra i valori dei pesi ( $p_i$ ) utilizzati.

Tabella 4.3: Pesi utilizzati per la definizione del rateo di evoluzione della linea di riva.

Variabile	$DY_{1989-2018}$	$DY_{1997-2018}$	$DY_{1999-2018}$	$DY_{2001-2018}$	$DY_{2007-2018}$	$DY_{2009-2018}$	$DY_{2013-2018}$	$DY_{2014-2018}$
Peso	1.0	1.0	1.0	5.0	5.0	5.0	10.0	10.0

### **Criterio di classificazione**

L'indice di evoluzione della linea di riva si pone pari a 1 (vulnerabilità molto bassa) se l'area considerata è caratterizzata da un rateo medio annuo (ponderato) positivo e superiore al limite pari a 1.3 m/anno oppure se la linea di riva è costituita da un limite inerodibile. Se il rateo ha un valore compreso tra 0.5 m/annuo e 1.3 m/annuo, il valore di IV-LR si pone pari a 2 (vulnerabilità bassa). Tale limite è riconosciuto come il limite di affidabilità dell'estrazione della linea di riva. Per ratei di arretramento via via crescenti, il valore di IV-LR assume i valori pari a 3 (vulnerabilità media,  $0.0 < DY < 0.5$ ), pari a 4 (vulnerabilità alta,  $-0.5 < DY < 0.0$ ) e pari a 5 (vulnerabilità molto alta,  $DY < -0.5$ ). La Tabella 4.4 sintetizza il criterio di classificazione dell'indice di evoluzione della linea di riva.

Tabella 4.4: Criterio di classificazione dell'indice di evoluzione della linea di riva (IV-LR) in termini di rateo medio annuo ponderato (DY, m/anno).

Molto Bassa	Bassa	Media	Alta	Molto Alta
DY > 1.3 oppure inerodibile	0.5 < DY < 1.3	0.0 < DY < 0.5	-0.5 < DY < 0.0	DY < -0.5

#### 4.2.3. Indice di ampiezza della spiaggia emersa (IV-A)

##### Descrizione

La vulnerabilità della fascia costiera è intimamente legata al suo stato morfodinamico. Oltre allo stato evolutivo (descritto dall'indice di evoluzione della linea di riva, IV-LR), la vulnerabilità di un litorale è legata anche all'ampiezza della spiaggia emersa. In maniera del tutto semplificata, un litorale caratterizzato da una grande ampiezza di spiaggia emersa ha una vulnerabilità inferiore rispetto a litorali caratterizzati da spiagge emerse di ampiezza limitata.

##### Metodo di calcolo

L'ampiezza della spiaggia è calcolata con lo stesso metodo descritto per l'indice di evoluzione della linea di riva (IV-LR). In questo caso, l'ampiezza della spiaggia è definita come la distanza della linea di riva lungo la direzione trasversale dalla linea inerodibile. Come la linea di riva, la linea inerodibile è stata desunta dalle informazioni disponibili (in particolare dalle immagini satellitari) tramite una procedura di estrazione automatica supervisionata. La direzione trasversale è pari a quella considerata per il calcolo di IV-LR e l'ampiezza della spiaggia, ottenuta con una discretizzazione spaziale pari a 10 m, è stata mediata sulle aree di influenza delle sezioni trasversali.

##### Criterio di classificazione

L'indice di ampiezza di spiaggia emersa si pone pari a 1 (vulnerabilità molto bassa) se l'ampiezza A è superiore al valore pari a 100 m. Per ampiezze di spiaggia emersa via via decrescenti, il valore di IV-A assume i valori pari a 2 (vulnerabilità bassa, 70 < A < 100), 3 (vulnerabilità media, 40 < A < 70), pari a 4 (vulnerabilità alta, 20 < A < 40) e pari a 5 (vulnerabilità molto alta, A < 20). La Tabella 4.5 sintetizza il criterio di classificazione dell'indice di ampiezza di spiaggia emersa.

Tabella 4.5: Criterio di classificazione dell'indice di ampiezza della spiaggia emersa (IV-A) in termini di ampiezza (A, m).

Molto Bassa	Bassa	Media	Alta	Molto Alta
A > 100	70 < A < 100	40 < A < 70	20 < A < 40	A < 20

#### 4.2.4. Indice di pendenza della spiaggia emersa (IV-PE)

##### **Descrizione**

La pendenza della spiaggia emersa ha una diretta influenza sulla vulnerabilità. Spiagge a bassa pendenza risultano più vulnerabili rispetto a spiagge ripide poiché le ampiezze dell'area allagata a parità di sovrarzo sono diverse.

##### **Metodo di calcolo**

La definizione della pendenza della spiaggia emersa dipende dalla definizione di spiaggia emersa. In questo studio la spiaggia emersa è definita come la porzione compresa tra la linea di riva e la linea inerodibile, così come già descritto per l'indice di ampiezza della spiaggia emersa (IV-A). La pendenza ( $Pe$ ), di conseguenza, è definita come la pendenza media lungo la direzione trasversale valutata in corrispondenza delle sezioni.

##### **Criterio di classificazione**

L'indice di pendenza della spiaggia emersa si pone pari a 1 (vulnerabilità molto bassa) se la pendenza  $Pe$  è superiore a  $3.0^\circ$ . Per pendenze via via decrescenti, il valore di IV-PE assume i valori pari a 2 (vulnerabilità bassa,  $1.2 < Pe < 3.0$ ), 3 (vulnerabilità media,  $0.6 < Pe < 1.2$ ), pari a 4 (vulnerabilità alta,  $0.4 < Pe < 0.6$ ) e pari a 5 (vulnerabilità molto alta,  $Pe < 0.4$ ). La Tabella 4.6 sintetizza il criterio di classificazione dell'indice di pendenza della spiaggia emersa.

Tabella 4.6: Criterio di classificazione dell'indice di pendenza della spiaggia emersa (IV-PE) in termini della pendenza ( $Pe$ , gradi).

Molto Bassa	Bassa	Media	Alta	Molto Alta
$Pe > 3.0$	$1.2 < Pe < 3.0$	$0.6 < Pe < 1.2$	$0.4 < Pe < 0.6$	$Pe < 0.4$

#### 4.2.5. Indice di pendenza della spiaggia sommersa (IV-PS)

##### **Descrizione**

In analogia con la pendenza della spiaggia emersa, anche quella della spiaggia sommersa ha una diretta influenza sulla vulnerabilità poiché influenza la propagazione delle onde ed è correlata alla granulometria che costituisce il fondo.

##### **Metodo di calcolo**

La definizione della pendenza della spiaggia sommersa dipende dalla definizione stessa di "spiaggia sommersa". In questo studio la spiaggia sommersa è definita come la porzione compresa tra la linea di riva e la profondità di riferimento pari a 10 m. La pendenza ( $Ps$ ), di conseguenza, è definita come la pendenza media lungo la direzione trasversale valutata in corrispondenza delle sezioni.

##### **Criterio di classificazione**

L'indice di pendenza della spiaggia sommersa si pone pari a 1 (vulnerabilità molto bassa) se la pendenza  $Ps$  è superiore a  $0.5^\circ$ . Per pendenze via via decrescenti, il valore di IV-PS assume i

valori pari a 2 (vulnerabilità bassa,  $0.35 < Ps < 0.5$ ), 3 (vulnerabilità media,  $0.3 < Ps < 0.35$ ), pari a 4 (vulnerabilità alta,  $0.25 < Ps < 0.3$ ) e pari a 5 (vulnerabilità molto alta,  $Ps < 0.25$ ). La Tabella 4.7 sintetizza il criterio di classificazione dell'indice di pendenza della spiaggia sommersa.

Tabella 4.7: Criterio di classificazione dell'indice di pendenza della spiaggia sommersa (IV-PS) in termini della pendenza ( $Ps$ , gradi).

Molto Bassa	Bassa	Media	Alta	Molto Alta
$Ps > 0.5$	$0.35 < Ps < 0.5$	$0.3 < Ps < 0.35$	$0.25 < Ps < 0.3$	$Ps < 0.25$

#### 4.2.6. Indice di quota emersa (IV-QE)

##### Descrizione

La quota della spiaggia emersa ha un'evidente influenza sulla vulnerabilità. Tale aspetto ha una forte correlazione con gli scenari di cambiamento climatico in discussione nella letteratura scientifica. Pertanto, questo studio prende in considerazione la quota in corrispondenza della linea inerodibile.

##### Metodo di calcolo

La quota della spiaggia emersa è stata valutata con una discretizzazione spaziale pari a 10 m e successivamente mediata in corrispondenza di ognuna delle aree di influenza (in analogia con la metodologia già descritta per l'indice di vulnerabilità di evoluzione della linea di riva, IV-LR).

##### Criterio di classificazione

In funzione degli scenari di cambiamento climatico, l'indice di quota della spiaggia emersa si pone pari a 1 (vulnerabilità molto bassa) se la quota  $Q$  è superiore a 3.0 m. Per quote via via decrescenti, il valore di IV-QE assume i valori pari a 2 (vulnerabilità bassa,  $2.5 < Q < 3.0$ ), 3 (vulnerabilità media,  $2.25 < Q < 2.5$ ), pari a 4 (vulnerabilità alta,  $2.0 < Q < 2.25$ ) e pari a 5 (vulnerabilità molto alta,  $Q < 2.0$ ). La Tabella 4.8 sintetizza il criterio di classificazione dell'indice di quota emersa.

Tabella 4.8: Criterio di classificazione dell'indice di quota emersa (IV-QE) in termini della quota ( $Q$ , m).

Molto Bassa	Bassa	Media	Alta	Molto Alta
$Q > 3.0$	$2.5 < Q < 3.0$	$2.25 < Q < 2.5$	$2.0 < Q < 2.25$	$Q < 2.0$

#### 4.2.7. Indice di esposizione meteomarina (IV-M)

##### Descrizione

Il ruolo dell'esposizione meteomarina sulla vulnerabilità è piuttosto ovvio. Con l'obiettivo di considerare tale influenza, si prende in considerazione il valore medio della massima altezza

d'onda significativa annuale in corrispondenza di ognuna delle sezioni considerate alla profondità di riferimento pari a 10 m.

### **Metodo di calcolo**

Il valor medio dell'altezza d'onda significativa massima annuale è stato valutato propagando la serie storica ondometrica a largo sino ad una profondità di riferimento di ogni sezione. Il metodo di propagazione si basa sull'utilizzo della teoria lineare con ipotesi di batimetria rettilinea e parallela. Inoltre, si tiene conto del fenomeno di diffrazione dovuto alla presenza di eventuali sorgenti di diffrazione tramite l'applicazione del metodo proposto da Goda (2010). In sintesi, il metodo tiene conto dei fenomeni di rifrazione, di shoaling e di diffrazione. L'intera serie ondometrica propagata sotto costa permette la stima del valore medio dell'altezza d'onda significativa massima annua (Hm).

### **Criterio di classificazione**

L'indice di esposizione meteomarina si pone pari a 1 (vulnerabilità molto bassa) se il valore medio dell'altezza d'onda significativa massima annuale Hm è inferiore a 3.0 m. Per valori dell'altezza d'onda significativa massima annuale via via crescenti, il valore di IV-M assume i valori pari a 2 (vulnerabilità bassa,  $3.0 < Hm < 3.5$ ), 3 (vulnerabilità media,  $3.5 < Hm < 4.0$ ), pari a 4 (vulnerabilità alta,  $4.0 < Hm < 4.5$ ) e pari a 5 (vulnerabilità molto alta,  $Hm > 4.5$ ). La Tabella 4.9 sintetizza il criterio di classificazione dell'indice di esposizione meteomarina.

Tabella 4.9: Criterio di classificazione dell'indice di esposizione meteomarina (IV-M) in termini di altezza d'onda significativa (Hm, m).

Molto Bassa	Bassa	Media	Alta	Molto Alta
$Hm < 3.0$	$3.0 < Hm < 3.5$	$3.5 < Hm < 4.0$	$4.0 < Hm < 4.5$	$Hm > 4.5$

## **4.2.8. Indice di difesa (IV-D)**

### **Descrizione**

L'eventuale presenza di opere di difesa costiera influisce sulla vulnerabilità. Tuttavia, tale influenza dipende sia dalla tipologia di opere (che influenzano in maniera diversa la variazione dei livelli di sovrizzo), sia dallo stato di ammaloramento delle eventuali strutture rigide. In questo studio vengono considerate opere trasversali (es. pennelli), opere longitudinali (es. barriere emerse o sommerse) e sistemi di difesa misti; vengono escluse da questa classificazione le barriere radenti, le quali invece sono state incluse nell'ambito dell'indice geomorfologico IV-G.

### **Metodo di calcolo**

La presenza di opere di difesa è stata valutata utilizzando i risultati del progetto SiCoRA opportunamente aggiornati con l'analisi delle immagini satellitari del 2018. In questo modo è disponibile la distribuzione delle opere di difesa costiera su tutto il litorale in esame. Si sottolinea che tale catasto è parte dei risultati attesi del progetto in epigrafe.

### **Criterio di classificazione**

Se il litorale è protetto da opere trasversali in ottimo stato, l'indice di difesa si pone pari a 1 (vulnerabilità molto bassa). Se il litorale è protetto da opere longitudinali in ottimo stato si pone un valore pari a 2 (vulnerabilità bassa). Se il litorale è protetto da opere in condizioni di sufficiente conservazione, la vulnerabilità si pone pari a 2 (media). Se non vi è la presenza di opere, la vulnerabilità è pari a 4 (alta). Infine, se le opere sono danneggiate la vulnerabilità è pari a 5 (molto alta). Se vi è la presenza di sistemi composti, la vulnerabilità è pari a quella più alta in relazione alla tipologia di opere. A titolo di esempio, nel caso di un sistema di difesa costituito da opere trasversali e longitudinali in ottimo stato, la vulnerabilità è bassa.

Tabella 4.10: Criterio di classificazione dell'indice di difesa (IV-D).

Molto Bassa	Bassa	Media	Alta	Molto Alta
Opere trasversali in ottimo stato	Opere longitudinali in ottimo stato	Opere (longitudinali o trasversali) in condizioni di sufficiente conservazione	Assenza di opere	Opere di difesa danneggiate

### **4.2.9. Indice di vulnerabilità idraulica (IV-I)**

#### **Descrizione**

Il fenomeno di allagamento costiero può interagire con quello derivante dal deflusso fluviale. Pertanto, la vulnerabilità della fascia costiera è influenzata anche dall'eventuale previsione di allagamenti derivanti da tali fenomeni.

#### **Metodo di calcolo**

Si prendono in considerazione le aree caratterizzate da pericolosità di allagamento desunte da studi di letteratura. In questo modo è possibile valutare se le singole aree di influenza considerate sono interessate potenzialmente da allagamenti fluviali.

#### **Criterio di classificazione**

L'indice di vulnerabilità idraulica si pone pari a 1 (vulnerabilità molto bassa) se vi è l'assenza di pericolosità idraulica derivante dal deflusso fluviale. Una vulnerabilità pari a 2 (bassa) si assegna alle aree interessate da zone a pericolosità P1 (allagabili con tempo di ritorno pari a 200 anni). La classe di vulnerabilità media (valore pari a 3) si assegna alle aree interessate da zone a pericolosità P2 (allagabili con profondità inferiori a 1.0 m nel caso di eventi di piena con tempo di ritorno pari a 100 anni). La classe di vulnerabilità alta (valore pari a 4) si assegna alle aree interessate da zone a pericolosità P3 (allagabili con profondità comprese tra 0.5 m e 1.0 m nel caso di eventi di piena con tempo di ritorno pari a 50 anni oppure profondità superiori a 1.0 m o velocità superiori a 1 m/s nel caso di eventi con tempo di ritorno pari a 100 anni). Infine, la classe di vulnerabilità molto alta (valore pari a 5) si assegna alle aree interessate da zone a pericolosità P4 (allagabili con profondità superiori a 1.0 m o velocità superiori a 1 m/s nel caso di eventi di piena con tempo di ritorno pari a 50 anni).

Tabella 4.11: Criterio di classificazione dell'indice di vulnerabilità idraulica (IV-I).

Molto Bassa	Bassa	Media	Alta	Molto Alta
Assenza di pericolosità idraulica	P1	P2	P3	P4

### 4.3. L'esposizione della fascia costiera

L'esposizione si riferisce al valore (economico, sociale e ambientale) degli elementi esposti all'evento.

L'indice di esposizione (IE) dipende, pertanto, dalla tipologia e dalle caratteristiche degli elementi esposti. Questo studio considera i seguenti aspetti:

- Indice di densità di popolazione totale (IE-PT), descritto al paragrafo §4.3.1;
- Indice di densità di popolazione pesata sull'età (IE-PE), descritto al paragrafo §4.3.2;
- Indice di densità edificata (IE-E), descritto al paragrafo §4.3.3;
- Indice di densità edificata pesata sull'anno di costruzione (IE-EC), descritto al paragrafo §4.3.4;
- Indice di densità edificata pesata sul numero di piani (IE-EP), descritto al paragrafo §4.3.5;
- Indice di presenza di stabilimenti balneari o simili (IE-SB), descritto al paragrafo §4.3.6;
- Indice di esposizione culturale e ambientale (IE-CA), descritto al paragrafo §4.3.7;
- Indice di infrastrutture esposte (IE-IE), descritto al paragrafo §4.3.8;
- Indice di infrastrutture di supporto (IE-IS), descritto al paragrafo §4.3.9;
- Indice delle attività economiche (IE-AE), descritto al paragrafo §4.3.10.

I seguenti paragrafi hanno l'obiettivo di motivare la selezione degli indici, di descriverne il metodo di calcolo e di definirne la classificazione.

#### 4.3.1. Indice di densità di popolazione totale (IE-PT)

##### Descrizione

Il primo elemento che entra nella quantificazione dell'esposizione è il numero di abitanti residenti (popolazione totale).

##### Metodo di calcolo

Il numero di abitanti totale è associato alle singole aree di influenza considerate ipotizzando una densità di abitanti omogenea sulle singole sezioni di censimento e applicando un coefficiente di riduzione pari al rapporto areale tra l'area di influenza considerata e l'area dell'intera sezione di censimento. Se nell'area di influenza considerata ricadono più sezioni di censimento, il calcolo avviene in maniera analoga sommando i risultati per ognuna delle sezioni di censimento.

### **Criterio di classificazione**

L'indice di densità di popolazione totale si pone pari a 1 (esposizione molto bassa) se la densità di popolazione totale Pt è inferiore a 100 ab/km<sup>2</sup>. Per densità via via crescenti, il valore di IE-PT assume valori pari a 2 (esposizione bassa, 100<Pt<500), 3 (esposizione media, 500<Pt<1000), pari a 4 (esposizione alta, 1000<Pt<2000) e pari a 5 (esposizione molto alta, Pt>2000). La Tabella 4.12 sintetizza il criterio di classificazione dell'indice di densità di popolazione totale.

*Tabella 4.12: Criterio di classificazione dell'indice di densità di popolazione totale (IE-PT), in termini di numero di abitanti per unità di area (Pt/km<sup>2</sup>).*

Molto Bassa	Bassa	Media	Alta	Molto Alta
Pt < 100	100 < Pt < 500	500 < Pt < 1000	1000 < Pt < 2000	Pt > 2000

### **4.3.2. Indice di densità di popolazione pesata sull'età (IE-PE)**

#### **Descrizione**

L'esposizione in termini di popolazione dipende fortemente anche dall'età degli individui. In questo modo è possibile tener conto della capacità di reazione degli individui e della possibilità di informarsi sugli adeguati comportamenti nella valutazione delle possibili perdite di vita umana. Con questo obiettivo, è possibile considerare la distribuzione della popolazione totale (così come definito nel paragrafo precedente) associando pesi diversi alle classi definite in funzione dell'età.

#### **Metodo di calcolo**

Il numero di abitanti per ogni classe di età è associato alle singole aree di influenza così come descritto per l'indice di densità di popolazione totale (IE-PT). Con l'obiettivo di fornire un unico valore della densità di popolazione che tenga conto della distribuzione dell'età, si è definita una media pesata con i pesi riportati in Tabella 4.13. I pesi sono stati definiti in funzione della capacità di informazione, delle capacità fisiche e della consapevolezza del pericolo indotto dall'evento.

*Tabella 4.13: Pesi utilizzati per la definizione della densità di popolazione pesata sull'età.*

Fascia di età	<5 anni	5-9 anni	10-14 anni	15-19 anni	20-24 anni	25-29 anni	30-34 anni	35-39 anni
Peso	10.0	8.0	5.0	2.0	2.0	1.0	1.0	1.0

Fascia di età	40-44 anni	45-49 anni	50-54 anni	55-59 anni	60-64 anni	65-69 anni	70-74 anni	>74 anni
Peso	1.0	1.0	1.0	1.0	2.0	5.0	8.0	10.0



### **Criterio di classificazione**

L'indice di densità di popolazione pesata sull'età si pone pari a 1 (esposizione molto bassa) se la densità di popolazione  $P_e$  è inferiore a 20 ab/km<sup>2</sup>. Per densità via via crescenti, il valore di IE-PE assume i valori pari a 2 (esposizione bassa,  $20 < P_e < 50$ ), 3 (esposizione media,  $50 < P_e < 150$ ), pari a 4 (esposizione alta,  $150 < P_e < 600$ ) e pari a 5 (esposizione molto alta,  $P_e > 600$ ). La Tabella 4.12 sintetizza il criterio di classificazione dell'indice di densità di popolazione pesata sull'età.

Tabella 4.14: Criterio di classificazione dell'indice di popolazione pesata sull'età (IE-PE), in termini di numero di abitanti ( $P_e$ ).

Molto Bassa	Bassa	Media	Alta	Molto Alta
$P_e < 20$	$20 < P_e < 50$	$50 < P_e < 150$	$150 < P_e < 600$	$P_e > 600$

### **4.3.3. Indice di densità edificata (IE-E)**

#### **Descrizione**

Oltre alla popolazione presente, anche la presenza di edifici nelle aree potenzialmente interessate dall'evento contribuisce alla quantificazione dell'esposizione. In questo caso ci si riferisce al numero di edifici.

#### **Metodo di calcolo**

In maniera analoga a quanto descritto per gli indici relativi alla popolazione, il numero di edifici è associato alle singole aree di influenza considerate ipotizzando una distribuzione di edifici omogenea sulle singole sezioni di censimento e applicando un coefficiente di riduzione pari al rapporto areale tra l'area di influenza considerata e l'area dell'intera sezione di censimento. Se nell'area di influenza considerata ricadono più sezioni di censimento, il calcolo avviene in maniera analoga sommando i risultati per ognuna delle sezioni di censimento.

#### **Criterio di classificazione**

L'indice di densità edificata si pone pari a 1 (esposizione molto bassa) se il valore medio  $E$  è inferiore a 20 edifici/km<sup>2</sup>. Per densità via via crescenti, il valore di IE-E assume i valori pari a 2 (esposizione bassa,  $20 < E < 100$ ), 3 (esposizione media,  $100 < E < 250$ ), pari a 4 (esposizione alta,  $250 < E < 500$ ) e pari a 5 (esposizione molto alta,  $E > 500$ ). La Tabella 4.15 sintetizza il criterio di classificazione dell'indice di densità edificata.

Tabella 4.15: Criterio di classificazione dell'indice di densità edificata (IE-E), in termini di numero di edifici per unità di superficie ( $E$ , edifici/km<sup>2</sup>).

Molto Bassa	Bassa	Media	Alta	Molto Alta
$E < 20$	$20 < E < 100$	$100 < E < 250$	$250 < E < 500$	$E > 500$

#### 4.3.4. Indice di densità edificata pesata sull'anno di costruzione (IE-EC)

##### **Descrizione**

L'esposizione in termini di densità edificata dipende anche dall'anno di costruzione. Con l'obiettivo di tener conto di questo aspetto, è possibile considerare la distribuzione degli edifici totali (così come definito nel paragrafo precedente) associando pesi diverse alle classi definite in funzione dell'anno di costruzione.

##### **Metodo di calcolo**

Il numero di edifici per ogni classe di anno di costruzione è associato alle singole aree di influenza così come descritto per l'indice di densità edificata. Con l'obiettivo di fornire un unico valore della densità edificata che tenga conto della distribuzione dell'anno di costruzione, si è definita una media pesata con i pesi riportati in Tabella 4.16. I pesi sono stati definiti in funzione dell'importanza storica (direttamente proporzionale all'età degli edifici) e del valore (inversamente proporzionale all'età degli edifici).

Tabella 4.16: Pesi utilizzati per la definizione della densità edificata pesata sull'anno di costruzione.

Anno di costruzione	<1919	1919-1945	1946-1960	1961-1970	1971-1980
Peso	10.0	9.0	8.0	5.0	5.0

Anno di costruzione	1981-1990	1991-2000	2001-2005	>2015
Peso	5.0	8.0	9.0	10.0

##### **Criterio di classificazione**

L'indice di densità edificata pesata sull'anno di costruzione si pone pari a 1 (esposizione molto bassa) se il valore medio  $E_c$  è inferiore a 20 edifici/km<sup>2</sup>. Per densità via via crescenti, il valore di IE-EC assume i valori pari a 2 (esposizione Bassa,  $20 < E_c < 50$ ), 3 (esposizione media,  $50 < E_c < 150$ ), pari a 4 (esposizione alta,  $150 < E_c < 300$ ) e pari a 5 (esposizione molto alta,  $E_c > 300$ ). La Tabella 4.17 sintetizza il criterio di classificazione dell'indice di densità edificata pesata sull'anno di costruzione.

Tabella 4.17: Criterio di classificazione dell'indice di densità edificata pesata sull'anno di costruzione (IE-EC), in termini di numero di edifici per unità di superficie ( $E_c$ , edifici/km<sup>2</sup>).

Molto Bassa	Bassa	Media	Alta	Molto Alta
$E_c < 20$	$20 < E_c < 50$	$50 < E_c < 150$	$150 < E_c < 300$	$E_c > 300$

#### 4.3.5. Indice di densità edificata pesata sul numero di piani (IE-EP)

##### Descrizione

L'esposizione degli edifici dipende anche dal numero di piani. Infatti, al crescere di quest'ultimo diminuisce la potenziale esposizione. Con l'obiettivo di tener conto di questo aspetto, è possibile considerare la distribuzione degli edifici totali (così come definito nel paragrafo precedente) associando pesi diverse alle classi definite in funzione del numero di piani.

##### Metodo di calcolo

Il numero di edifici per ogni classe di numero di piani è associato alle singole aree di influenza così come descritto per l'indice di densità edificata. Con l'obiettivo di fornire un unico valore della densità edificata che tenga conto della distribuzione in funzione del numero di piani, si è definita una media pesata con i pesi riportati in Tabella 4.18.

Tabella 4.18: Pesi utilizzati per la definizione della densità edificata pesata sul numero di piani.

Numero di piani	1	2	3	>4
Peso	10.0	5.0	1.0	1.0

##### Criterio di classificazione

L'indice di densità edificata pesata sul numero di piani si pone pari a 1 (esposizione molto bassa) se il valore medio  $E_p$  è inferiore a 20 edifici/km<sup>2</sup>. Per densità via via crescenti, il valore di IE-EP assume i valori pari a 2 (esposizione bassa,  $20 < E_p < 50$ ), 3 (esposizione media,  $50 < E_p < 150$ ), pari a 4 (esposizione alta,  $150 < E_p < 300$ ) e pari a 5 (esposizione molto alta,  $E_p > 300$ ). La Tabella 4.19 sintetizza il criterio di classificazione dell'indice di densità edificata pesata sul numero di piani.

Tabella 4.19: Criterio di classificazione dell'indice di densità edificata pesata sul numero di piani (IE-EP), in termini di numero di edifici per unità di superficie ( $E_p$ , edifici/km<sup>2</sup>).

Molto Bassa	Bassa	Media	Alta	Molto Alta
$E_p < 20$	$20 < E_p < 50$	$50 < E_p < 150$	$150 < E_p < 300$	$E_p > 300$

#### 4.3.6. Indice di presenza di stabilimenti balneari o similari (IE-SB)

##### Descrizione

Nella stima delle componenti dell'esposizione si tiene conto di eventuali attività turistiche presenti direttamente sulla spiaggia (es. stabilimenti balneari o strutture simili).

### **Metodo di calcolo**

L'eventuale presenza di attività turistiche è associata alle singole aree di influenza analizzando la più recente foto satellitare (2018).

### **Criterio di classificazione**

L'indice di presenza di stabilimenti balneari o similari si pone pari a 1 (esposizione molto bassa) se non è presente alcun elemento. Si pone il valore pari a 5 (esposizione molto alta) se, invece, è presente almeno un elemento. La Tabella 4.20 sintetizza il criterio di classificazione dell'indice.

*Tabella 4.20: Criterio di classificazione dell'indice di esposizione culturale e ambientale (IE-SB).*

Molto Bassa	Bassa	Media	Alta	Molto Alta
Assente	-	-	-	Presente

## **4.3.7. Indice di esposizione culturale e ambientale (IE-CA)**

### **Descrizione**

L'esposizione dipende anche dall'eventuale presenza di elementi (oppure aree costiere) di particolare importanza ambientale o culturale. Con questo obiettivo, si è considerata la presenza di:

- Siti di Interesse Nazionale (SIN);
- Siti Natura 2000;
- Aree protette;
- Impianti a Rischio di Incidenti Rilevanti;
- Aree archeologiche;
- Trabocchi;
- Regio Tratturo;
- Bandiere Blu.

### **Metodo di calcolo**

L'eventuale presenza di elementi di pregio ambientale o culturale è associata alle singole aree di influenza.

### **Criterio di classificazione**

L'indice di esposizione culturale e ambientale si pone pari a 1 (esposizione molto bassa) se non è presente alcun elemento di pregio. Si pone il valore pari a 5 (esposizione molto alta) se, invece, è presente almeno un elemento di pregio. La Tabella 4.21 sintetizza il criterio di classificazione dell'indice.

*Tabella 4.21: Criterio di classificazione dell'indice di esposizione culturale e ambientale (IE-CA).*

Molto Bassa	Bassa	Media	Alta	Molto Alta
Assente	-	-	-	Presente

#### 4.3.8. Indice di infrastrutture esposte (IE-IE)

##### **Descrizione**

Tra gli elementi esposti, vanno annoverate le infrastrutture stradali o ferroviarie direttamente esposte all'evento. Con questo obiettivo vengono considerate le infrastrutture stradali (comprese nelle categorie A3, A4, A5, A6, A7 e barriere a pedaggio) eventualmente presenti a distanze comprese tra 0 m e 500 m dalla linea di riva.

##### **Metodo di calcolo**

L'eventuale presenza di infrastrutture stradali o ferroviarie a distanze comprese tra 0 m e 500 m è associata alle singole aree di influenza.

##### **Criterio di classificazione**

L'indice di infrastrutture esposte si pone pari a 1 (esposizione molto bassa) se non è presente alcun elemento esposto. Si pone il valore pari a 5 (esposizione molto alta) se, invece, è presente almeno un'infrastruttura stradale o ferroviaria. La Tabella 4.22 sintetizza il criterio di classificazione dell'indice.

*Tabella 4.22: Criterio di classificazione dell'indice di infrastrutture esposte (IE-IE).*

Molto bassa	Bassa	Media	Alta	Molto alta
Assente	-	-	-	Presente

#### 4.3.9. Indice di infrastrutture di supporto (IE-IS)

##### **Descrizione**

Si può osservare che l'esposizione può diminuire se esistono infrastrutture potenzialmente utilizzabili durante e dopo l'evento pericoloso. Con questo obiettivo vengono considerate le infrastrutture stradali (comprese nelle categorie A3 e barriere a pedaggio) eventualmente presenti a distanze comprese tra 0 m e 1000 m dalla linea di riva.

##### **Metodo di calcolo**

L'eventuale presenza di infrastrutture stradali di supporto a distanze comprese tra 500 m e 1000 m è associata alle singole aree di influenza.

##### **Criterio di classificazione**

L'indice di infrastrutture di supporto si pone pari a 1 (esposizione molto bassa) se è presente almeno un'infrastruttura. Si pone il valore pari a 5 (esposizione molto alta) se, invece, non è presente nessuna infrastruttura stradale. La Tabella 4.23 sintetizza il criterio di classificazione dell'indice.

*Tabella 4.23: Criterio di classificazione dell'indice di infrastrutture di supporto (IE-IS).*

Molto Bassa	Bassa	Media	Alta	Molto Alta
Presente	-	-	-	Assente

#### 4.3.10. Indice delle attività economiche (IE-AE)

##### **Descrizione**

L'ultimo elemento che viene considerato per descrivere l'esposizione consiste nel rilevare la presenza di attività economiche nell'area, che si traduce nel ricercare il numero di addetti impegnati nei vari settori produttivi.

##### **Metodo di calcolo**

In maniera analoga a quanto descritto per gli indici relativi alla popolazione e agli edifici, il numero di addetti è associato alle singole aree di influenza considerate ipotizzando una distribuzione omogenea sulle singole sezioni di censimento e applicando un coefficiente di riduzione pari al rapporto areale tra l'area di influenza considerata e l'area dell'intera sezione di censimento. Se nell'area di influenza considerata ricadono più sezioni di censimento, il calcolo avviene in maniera analoga sommando i risultati per ognuna delle sezioni di censimento.

##### **Criterio di classificazione**

L'indice delle attività economiche si pone pari a 1 (esposizione molto bassa) se il valore medio  $A_e$  è inferiore a un addetto. Per valori via via crescenti, il valore di IE-AE assume i valori pari a 2 (esposizione bassa,  $1 < A_e < 3$ ), 3 (esposizione media,  $3 < A_e < 15$ ), pari a 4 (esposizione alta,  $15 < A_e < 50$ ) e pari a 5 (esposizione molto alta,  $A_e > 50$ ). La Tabella 4.24 sintetizza il criterio di classificazione dell'indice considerato.

Tabella 4.24: Criterio di classificazione dell'indice delle attività economiche (IE-AE).

Molto Bassa	Bassa	Media	Alta	Molto Alta
$A_e < 1$	$1 < A_e < 3$	$3 < A_e < 15$	$15 < A_e < 50$	$A_e > 50$

#### 4.4. La pericolosità della fascia costiera

La pericolosità dipende dall'intensità dell'evento. Nel caso specifico in esame, essa può essere valutata stimando il valore di ritorno associato a una fissata probabilità di superamento (e, quindi, ad un certo tempo di ritorno).

L'indice di pericolosità (IP) dipende, pertanto, dal valore (estremo) del livello idrico. Questo studio prende in considerazione il solo valore della risalita indotto dal moto ondoso, costituito da una componente a media non nulla (il sovrizzo indotto dal moto ondoso) e da una componente a media nulla associata al movimento della linea di riva istantanea. Il fenomeno della risalita del moto ondoso dipende anche dalla eventuale presenza di opere marittime; in questo studio tale fenomeno viene trascurato, rimandando questa analisi agli studi di dettaglio dei singoli ambiti di interesse.

Il seguente paragrafo ha l'obiettivo di motivare la selezione dell'indice, di descriverne il metodo di calcolo e di definirne la classificazione.

#### 4.4.1. Indice di pericolosità (IP)

##### Descrizione

Gli eventi di allagamento sono dovuti alle azioni meteorologiche che, a causa di una serie di fenomeni fisici, inducono l'aumento del valor medio del livello idrico. Le principali forzanti che inducono il cosiddetto "sovrizzo" sono costituite dal vento, dalle anomalie bariche e dall'azione del moto ondoso frangente. In questo studio, la pericolosità viene descritta dalla sola componente indotta dal moto ondoso frangente sottolineando l'approccio comparativo della metodologia.

##### Metodo di calcolo

Il sovrizzo indotto dal moto ondoso frangente può essere stimato, con diversi gradi di affidabilità, tramite diversi strumenti. Esistono formulazioni empiriche, modellazioni teoriche e modelli numerici in grado di fornire la stima. I diversi gradi di affidabilità sono associati a diversi costi computazionali. I modelli empirici sono meno affidabili, ma utilizzabili per studi a grande scala quali le analisi di rischio a cui questo studio mira. Pertanto, è stata utilizzata la formulazione proposta da [Stockdon et al. \(2006\)](#) che fornisce il valore che viene superato il 2% delle volte in funzione delle caratteristiche delle onde incidenti e della sezione trasversale dell'area in studio:

$$R = 1.1 \left[ 0.35\beta_f\sqrt{H_0L_0} + 0.5\sqrt{H_0L_0(0.563\beta_f^2 + 0.004)} \right] \quad (4-2)$$

nella quale  $\beta_f$  è la pendenza trasversale della spiaggia,  $H_0$  è l'altezza d'onda significativa a largo e  $L_0$  è la lunghezza d'onda a largo. Per poter ottenere il livello di ritorno della risalita  $R$  associato ad un fissato tempo di ritorno è necessario calcolare la serie storica della risalita ed effettuare l'analisi estrema. Infatti, il valore di  $R$  non dipende soltanto dall'altezza d'onda significativa a largo, ma anche dalla relativa lunghezza d'onda (legata al periodo dell'onda). Un'alternativa è quella di effettuare l'analisi estrema della variabile aleatoria  $H_0L_0$  e di utilizzare il suo livello di ritorno per ottenere il valore di  $R$ . Quest'ultima metodologia è stata adottata per ognuna delle sezioni trasversali identificate per rappresentare l'area in esame.

##### Criterio di classificazione

L'indice di pericolosità si pone pari a 1 (pericolosità molto bassa) se il valore della risalita  $R$  è inferiore a 0.5 m. Per risalite via via crescenti, il valore di IP assume i valori pari a 2 (pericolosità bassa,  $0.5 < R < 1.0$ ), 3 (pericolosità media,  $1.0 < R < 1.5$ ), pari a 4 (pericolosità alta,  $1.5 < R < 2.0$ ) e pari a 5 (pericolosità molto alta,  $R > 2.0$ ). La Tabella 4.25 sintetizza il criterio di classificazione dell'indice.

Tabella 4.25: Criterio di classificazione dell'indice di pericolosità (IP), in termini di risalita del moto ondoso (R, m).

Molto Bassa	Bassa	Media	Alta	Molto Alta
$R < 0.5$	$0.5 < R < 1.0$	$1.0 < R < 1.5$	$1.5 < R < 2.0$	$R > 2.0$

## 4.5. La valutazione del rischio della fascia costiera

Gli indici di vulnerabilità, di esposizione e di pericolosità devono essere combinati per ottenere l'indice di rischio. Con l'obiettivo di ottenere un unico indice di vulnerabilità costituito da 12 fattori è necessario definire un criterio in grado di fornire un valore unico. Lo stesso vale per l'indice di esposizione, costituito da 9 fattori.

I prossimi paragrafi hanno l'obiettivo di descrivere nel dettaglio la procedura di calcolo dei vari indici e i criteri di classificazione.

### 4.5.1. Indice di vulnerabilità (IV)

L'indice di vulnerabilità viene definito come media geometrica pesata degli indici descritti al paragrafo 4.2. Di seguito vengono riassunti i pesi utilizzati:

Tabella 4.26: Pesi utilizzati per la definizione dell'indice di vulnerabilità.

Indice	IV-G	IV-LR	IV-A	IV-PE	IV-PS	IV-QE	IV-M	IV-D	IV-I
Peso	1.0	3.0	3.0	0.5	0.5	1.0	0.75	1.5	0.75

$$IV = \sqrt[12]{IV-G^1 \cdot IV-LR^3 \cdot IV-A^3 \cdot IV-PE^{0.5} \cdot IV-PS^{0.5} \cdot IV-QE^1 \cdot IV-M^{0.75} \cdot IV-D^{1.5} \cdot IV-I^{0.75}}$$

(4-3)

Si osserva che, nel rispetto degli obiettivi dell'analisi, i pesi maggiori sono stati associati agli effetti dell'erosione (IV-LR, IV-A, IV-D) e agli effetti dei cambiamenti climatici (IV-QE), nonché alla tipologia di costa (IV-G).

### 4.5.2. Indice di esposizione (IE)

L'indice di esposizione viene definito come media geometrica pesata degli indici descritti al paragrafo 4.3. Di seguito vengono riassunti i pesi utilizzati:

Tabella 4.27: Pesi utilizzati per la definizione dell'indice di esposizione.

Indice	IE-PT	IE-PE	IE-E	IE-EC	IE-EP	IE-SB	IE-CA	IE-IE	IE-IS	IE-AE
Peso	1.0	0.25	1.0	0.25	0.25	2.0	2.0	0.75	0.5	1.0



$$IE = \sqrt[9]{IE-PT^1 \cdot IE-PE^{0.25} \cdot IE-E^1 \cdot IE-EC^{0.25} \cdot IE-EP^{0.25} \cdot IE-SB^2 \cdot IE-CA^2 \cdot IE-IE^{0.75} \cdot IE-IS^{0.5} \cdot IE-AE^1}$$

(4-4)

Anche in questo caso si osserva che, nel rispetto degli obiettivi dell'analisi (sostenibilità economica, ambientale e sociale), i pesi maggiori sono stati associati alla componente ambientale (IE-CA), economica (IE-E, IE-SB, IE-AE) e sociale (IE-PT).

#### 4.5.3. Indice di pericolosità (IP)

L'indice di pericolosità è costituito da un unico indice, espresso sotto forma di numero decimale su una scala da 1 a 5, per cui non è necessaria nessuna operazione di fusione.

#### 4.5.4. Indice di rischio (IR)

L'indice di rischio è dato dal prodotto degli indici di vulnerabilità, esposizione e pericolosità classificati secondo i criteri descritti nei paragrafi precedenti:

$$IR = IV * IE * IP \quad (4-5)$$

I valori ottenuti per le 780 aree di influenza vengono normalizzati, suddividendoli in 5 classi omogenee mediante l'utilizzo del concetto di percentile (nella fattispecie quintile), consentendo così anche la rappresentazione grafica su mappe graduate.

## 5. Applicazione al sito pilota di Fossacesia-Punta Penna

La metodologia descritta nel capitolo precedente è stata applicata al litorale compreso tra Fossacesia e Punta Penna. L'applicazione è finalizzata a valutare l'applicabilità del metodo.

### 5.1. Inquadramento del sito

Il sito pilota del litorale compreso tra Fossacesia e Punta Penna è localizzato nella zona meridionale della costa regionale, per un'estensione totale di circa 20 km. Il sito comprende la zona litoranea dei comuni costieri, procedendo da Nord verso Sud, di Fossacesia, Torino di Sangro, Casalbordino e, almeno parzialmente, di Vasto (Figura 5-1).

Lungo il litorale in esame sono presenti tre foci fluviali: la foce del Fiume Sangro al confine tra Fossacesia e Torino di Sangro; la foce dell'Osento al confine tra Torino di Sangro e Casalbordino; la foce del Sinello tra Casalbordino e Vasto. La foce del Fiume Sangro (Figura 5-2-a) si mostra non armata. Al contrario, in corrispondenza delle foci dell'Osento (Figura 5-2-b) e del Sinello (Figura 5-2-c) si nota la presenza di opere rigide volte alla loro armatura.

Il litorale è stato interessato da fenomeni erosivi sin dagli anni '80 del secolo scorso. Motivo per cui si riconosce la presenza di opere di difesa in corrispondenza del litorale di Fossacesia (sistema composto di opere trasversali e opere a debole sommergenza), di Torino di Sangro (sistema composto da opere longitudinali emergenti e opere trasversali) e di Casalbordino (opere longitudinali a debole sommergenza sovrapposte ad un sistema composto di opere trasversali e opere sommerse). Le opere mostrano evidenti segni di degrado diffuso a Fossacesia e Casalbordino. E' presente, inoltre, un'opera radente riconducibile alla presenza del tracciato ferroviario, oggi dismesso. Si registrano diversi interventi di ripascimento effettuati lungo il litorale di Casalbordino. Lungo il litorale è presente una darsena nel comune di Fossacesia, poche decine di metri a Nord della foce del Fiume Sangro (Figura 5-2-a).

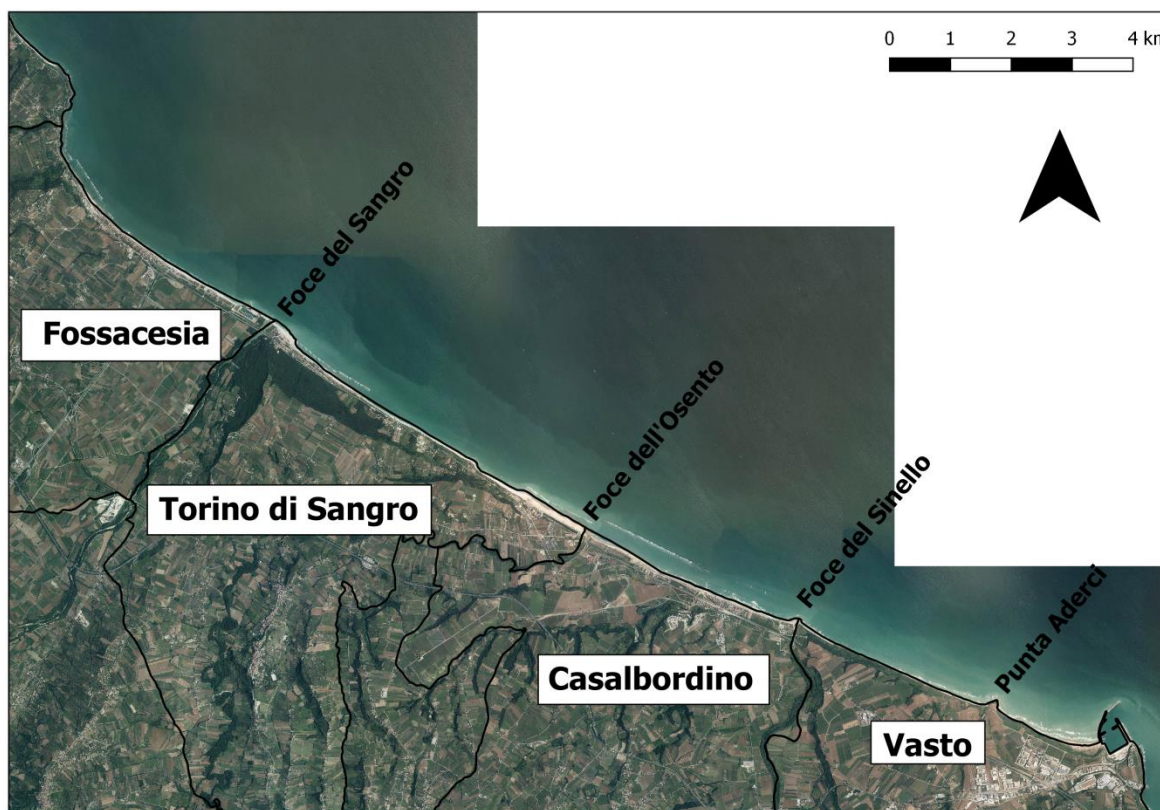


Figura 5-1: Inquadramento del sito in esame.

Da un punto di vista morfologico, il litorale si mostra piuttosto eterogeneo. A Nord, la costa si mostra come un litorale ghiaioso da Fossacesia sino alla foce del Fiume Sangro. Procedendo verso Sud, il litorale mostra un'alternanza di tratti ghiaiosi e sabbiosi con la presenza dell'opera radente sino al litorale de Le Morge di Torino di Sangro, ove le opere rigide hanno ricostituito un litorale sabbioso a scapito delle zone sottoflutto del litorale di Casalbordino che si presenta in forte erosione con alternanza di tratti ghiaiosi e sabbiosi. A Sud della foce del Sinello, il litorale è ghiaioso o protetto da opere radenti sino a Punta Aderci, caratterizzato da una costa alta. In corrispondenza del Molo Nord del Porto di Vasto è presente una spiaggia sabbiosa.

Per quanto riguarda l'esposizione del paraggio, esso è, in linea generale, caratterizzato da un settore di traversia geografico delimitato dal Gargano a Sud-Est e dal Conero a Nord-Ovest, esposto al mare aperto per un settore di traversia compreso tra i 320°N e i 110°N circa.

Ponendosi in un punto baricentrico (all'incirca al largo del litorale Le Morge di Torino di Sangro), i valori più elevati della lunghezza del fetch geografico si osservano lungo le direzioni che traggono la costa veneta (circa 340°N) e la costa albanese (circa 110°N) per le quali la lunghezza del fetch geografico raggiunge valori di circa 400 km.

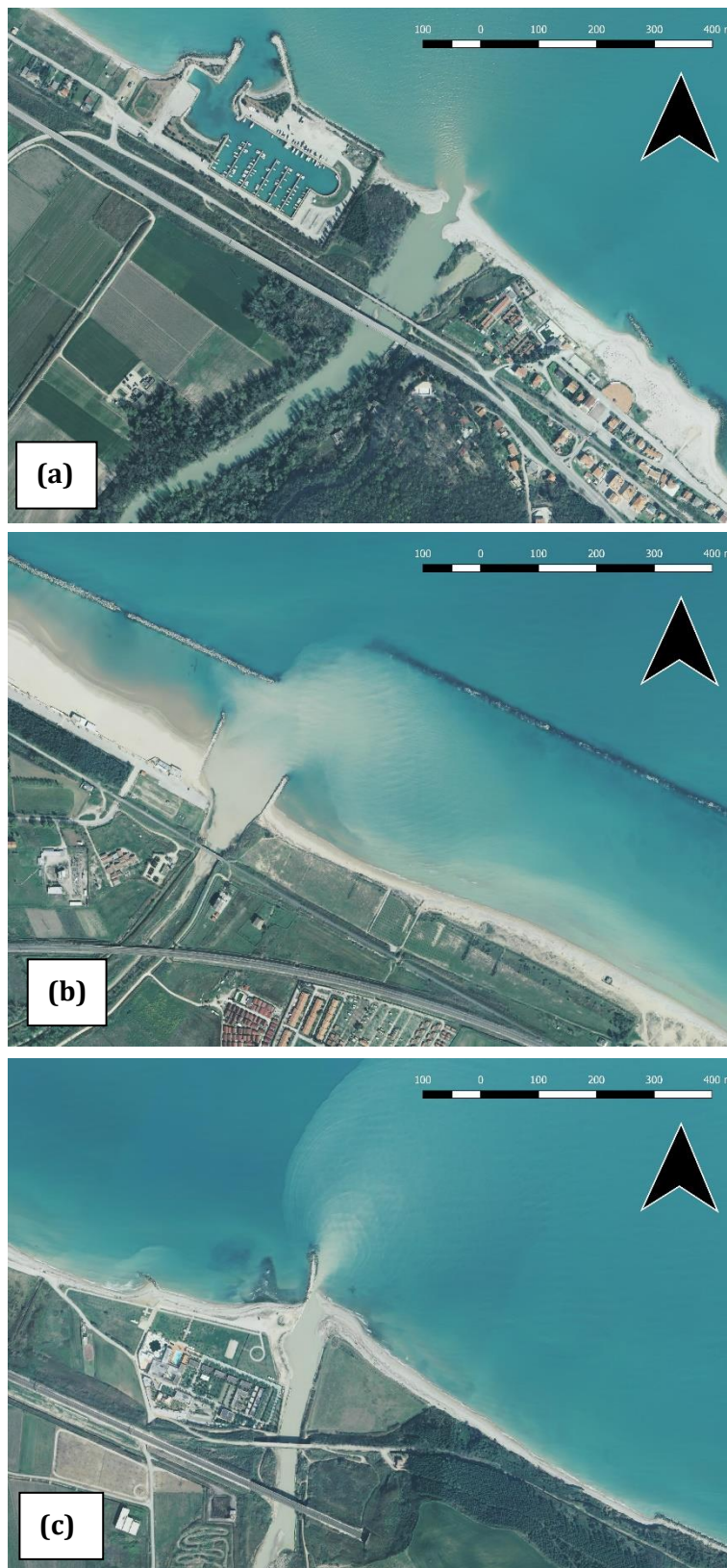


Figura 5-2: Elementi caratteristici del sito in esame. La foce del Fiume Sangro (a), la foce dell'Osento (b) e la foce del Sinello (c).

Il settore che si affaccia sulle coste croate (10-80°N) è il più confinato ed è caratterizzato da lunghezze del fetch geografico di circa 200 km. Ne deriva che, anche sulla base dell'analisi di dati di letteratura (Regione Abruzzo, 2006), gli stati di mare più frequenti e caratterizzati da altezze d'onda più elevate provengono dal settore di traversia compreso nel settore 320°N-50°N (settore di traversia principale) al quale si affianca un settore di traversia secondario che si estende nell'intervallo angolare 50°N-130°N, nel quale ricadono le direzioni di provenienza delle mareggiate meno intense. L'anno climatico medio è caratterizzato da periodi di calma (altezza d'onda significativa inferiore a 0.50 m) di durata superiore al 50%. La profondità di chiusura risulta pari a circa 7.0 m (Lisi et al., 2017).

L'analisi d'insieme della circolazione delle grandi masse rivela che i flussi delle correnti di gradiente (o di densità), il cui regime è condizionato anche dall'azione della forza di Coriolis, è intimamente legato al fenomeno di riflusso della circolazione d'insieme antioraria del Mar Adriatico e pertanto è diretta da Nord verso Sud. In generale, nell'Adriatico centrale la velocità media delle correnti in superficie è piuttosto modesta, circa 5 cm/s, con punte massime comunque inferiori a 50 cm/s. La conformazione batigrafica del sito in esame, associata alla limitata escursione dei livelli di marea astronomica, lascia prevedere valori trascurabili delle possibili correnti di marea. In definitiva, il regime delle correnti di gradiente in esame ha effetti irrilevanti sulla dinamica dei sedimenti costieri per il sito in esame.

## 5.2. Fonte dei dati

Ognuno dei fattori descritti nel Capitolo 4 richiede dati finalizzati alla valutazione degli indici di vulnerabilità, di esposizione, di pericolosità e di rischio. Nel seguito sono esplicitate le fonti dei dati utilizzati per l'applicazione al sito pilota.

### 5.2.1. Indice geomorfologico (IV-G), Indice di presenza di stabilimenti balneari o simili (IE-SB)

La valutazione della geomorfologia del litorale viene effettuata utilizzando le immagini satellitari più recenti (Google, 2018), che sono state reperite mediante servizio WMS.

### 5.2.2. Indice di evoluzione della linea di riva (IV-LR)

Le linee di riva sono state digitalizzate, anno per anno, utilizzando come supporto le ortofoto satellitari rese disponibili dal Ministero dell'Ambiente e dalla Regione Abruzzo.

### 5.2.3. Indice di ampiezza della spiaggia emersa (IV-A)

La fonte delle linee di riva è stata già discussa in precedenza, mentre per quanto riguarda la linea inerodibile, essa è stata ricavata in modo del tutto analogo.

### 5.2.4. Indice di pendenza della spiaggia emersa (IV-PE)

Il calcolo della pendenza della spiaggia emersa richiede l'utilizzo del rilievo topografico della fascia costiera, nella fattispecie è stato utilizzato il dato Lidar fornito dalla Regione Abruzzo.



#### **5.2.5. Indice di pendenza della spiaggia sommersa (IV-PS)**

Il calcolo della pendenza della spiaggia sommersa richiede l'utilizzo del rilievo batimetrico della fascia costiera, nella fattispecie è stato utilizzato il dato scaricabile liberamente da EMODnet.

#### **5.2.6. Indice di quota emersa (IV-QE)**

Sono stati utilizzati dati, quali la linea inderodabile e il rilievo topografico, la cui origine è stata già discussa in precedenza.

#### **5.2.7. Indice di esposizione meteomarina (IV-M), Indice di pericolosità (IP)**

La serie storica ondometrica è stata ricavata dal database NOAA WAVEWATCH III CFSR Reanalysis Hindcasts Project (Phase II) relativo al periodo 1979-2009. Le serie ondometriche sono state calibrate tramite confronto con le osservazioni disponibili.

#### **5.2.8. Indice di difesa (IV-D)**

Il calcolo dell'indice è stato eseguito aggiornando il censimento delle opere di difesa costiere effettuato dalla Regione Abruzzo nell'ambito del progetto SiCoRA, sulla base delle ortofoto satellitari più recenti e dei progetti disponibili relativi a tali opere.

#### **5.2.9. Indice di vulnerabilità idraulica (IV-I)**

Lo studio di letteratura considerato riguarda il PSDA (Piano Stralcio Difesa dalle Alluvioni), ottenuto liberamente dal sito della Regione Abruzzo.

#### **5.2.10. Indice di densità di popolazione totale (IE-PT), Indice di densità di popolazione pesata sull'età (IE-PE), Indice di densità edificata (IE-E), Indice di densità edificata pesata sull'anno di costruzione (IE-EC), Indice di densità edificata pesata sul numero di piani (IE-EP), Indice delle attività economiche (IE-AE)**

I dati in una determinata area vengono forniti dell'ISTAT, in particolare nel censimento del 2011.

#### **5.2.11. Indice di esposizione culturale e ambientale (IE-CA)**

I dati hanno una certa eterogeneità, pertanto presentano fonti diverse, in particolar modo il Ministero dell'Ambiente, la Regione Abruzzo, l'UNESCO, il sito delle Bandiere Blu e il sito del Tratturo Magno.

#### **5.2.12. Indice di infrastrutture esposte (IE-IE) e Indice di infrastrutture di supporto (IE-IS)**

Il dato relativo alle infrastrutture viarie è stato reperito sul sito della Regione Abruzzo, utilizzando la Carta Tecnica Regionale.

### 5.3. Sintesi dei risultati

Il sito pilota presenta una vulnerabilità generalmente medio-alta. Spostandosi da Nord verso Sud, si nota come la vulnerabilità delle aree di influenza di Fossacesia sia medio-alta, invece per quando riguarda Torino di Sangro si ottengono valori bassi in corrispondenza del tratto dove è presente una barriera radente e valori medi in corrispondenza del tratto sabbioso della spiaggia Le Morge. A Casalbordino la situazione è diversa: la vulnerabilità è perlopiù alta (cosa dovuta ad esempio al fenomeno di arretramento della linea di riva e alla presenza di spiagge poco ampie), mentre nella zona di Punta Aderci e Punta Penna si ottengono valori più eterogenei, che spaziano da una vulnerabilità molto bassa (tratti alti e rocciosi o con presenza di una barriera radente) ad una vulnerabilità alta (tratti bassi e sabbiosi).

Il sito oggetto di studio è caratterizzato da una esposizione non particolarmente elevata, cosa dovuta alla scarsa presenza lungo la fascia costiera di elementi che potenzialmente possono subire danni da un evento pericoloso. Procedendo da Nord verso Sud, nel comune di Fossacesia si evidenziano valori medi in corrispondenza del centro abitato di Fossacesia Marina, e bassi nei pressi della darsena Marina del Sole. A Torino di Sangro il discorso è analogo: Borgata Marina, Torino di Sangro Marina e la spiaggia Le Morge si contraddistinguono per valori medi di esposizione (anche alti nell'ultimo caso), nel restante litorale i valori sono bassi. Nel comune di Casalbordino si ottiene una esposizione media nel tratto di costa a Nord del centro abitato, alta in corrispondenza dello stesso, e bassa a sud di esso. Per quanto riguarda il litorale nei pressi di Punta Aderci e Punta Penna, l'esposizione è bassa in ogni area di influenza. La classe di esposizione non è la più bassa, poichè si evidenzia la presenza di aree protette quali la Riserva Naturale Regionale di Punta Aderci.

Per quanto riguarda la pericolosità del sito pilota, essa si mostra piuttosto variabile. Procedendo da Nord verso Sud, si nota come essa sia inizialmente alta e media a Fossacesia Marina, per diventare bassa nei dintorni della darsena Marina del Sole e in corrispondenza degli abitati di Borgata Marina e Torino di Sangro Marina. Al contrario, valori molto alti si registrano nel tratto di litorale difeso da una barriera radente, mentre nella spiaggia Le Morge la pericolosità è bassa. Nel comune di Casalbordino essa è molto variabile (da molto bassa a molto alta), invece il litorale di Punta Aderci e Punta Penna è caratterizzato da una pericolosità molto alta nella maggioranza delle aree di influenza.

Infine, in termini di livello di rischio, il sito si contraddistingue per valori di rischio molto alti per buona parte delle aree di influenza: le maggiori criticità si registrano a Fossacesia Marina, nell'area di Torino di Sangro nei dintorni di Punta Le Morge, nella quasi totalità del litorale del comune di Casalbordino e nella spiaggia di Mottagrossa, immediatamente a Nord di Punta Aderci. Altri valori significativi di rischio (alto e medio) vengono rilevati nei tratti non menzionati in precedenza dei comuni di Fossacesia e Torino di Sangro. Le ultime due classi (rischio basso e molto basso) vengono registrate solo in poche aree di influenza, quali la spiaggia di Punta Penna.

Le Figure 5-3 – 5-10 mostrano la sintesi dei risultati ottenuti.

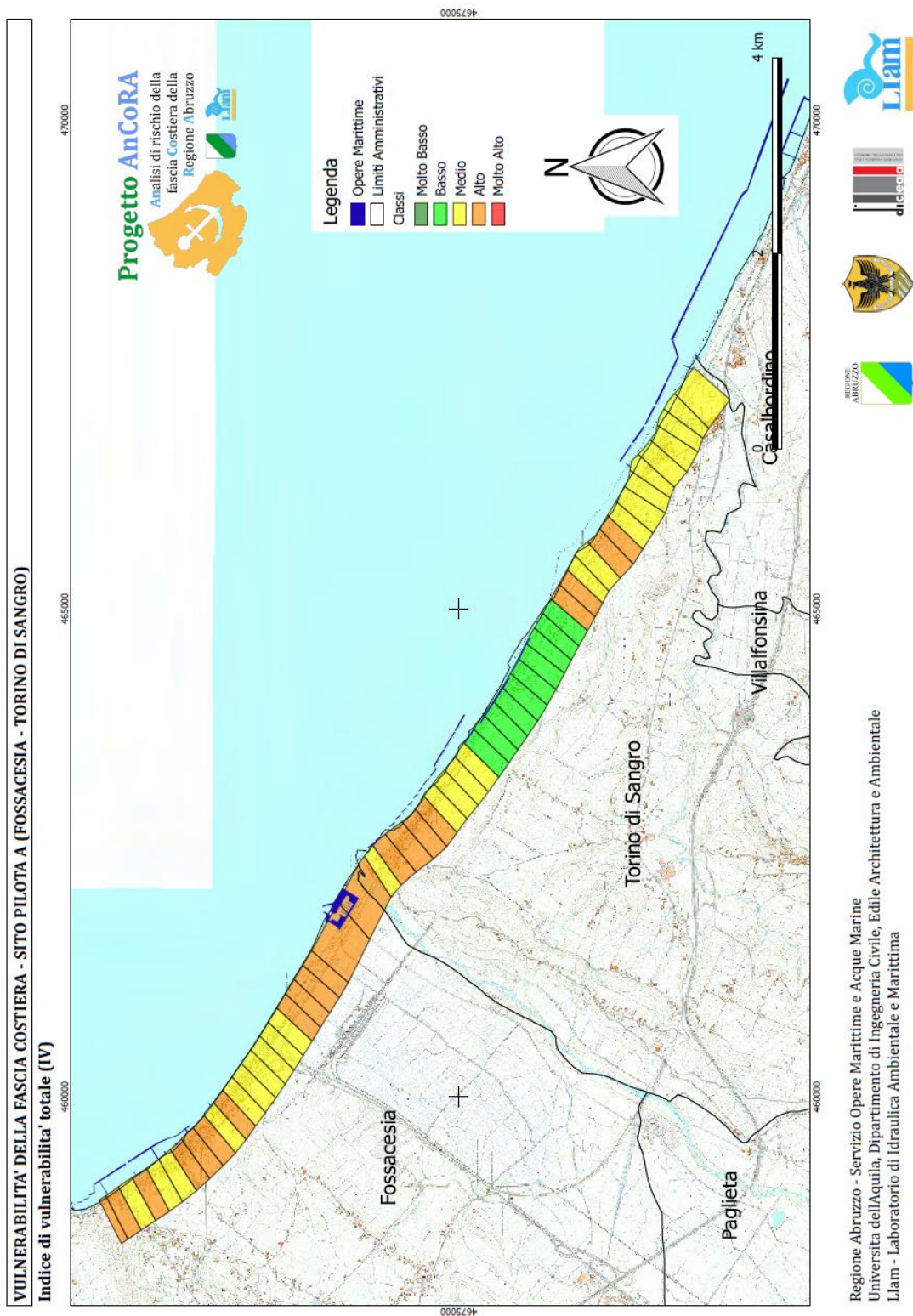


Figura 5-3: Risultati dell'analisi di vulnerabilità per il tratto tra Fossacesia e Torino di Sangro.



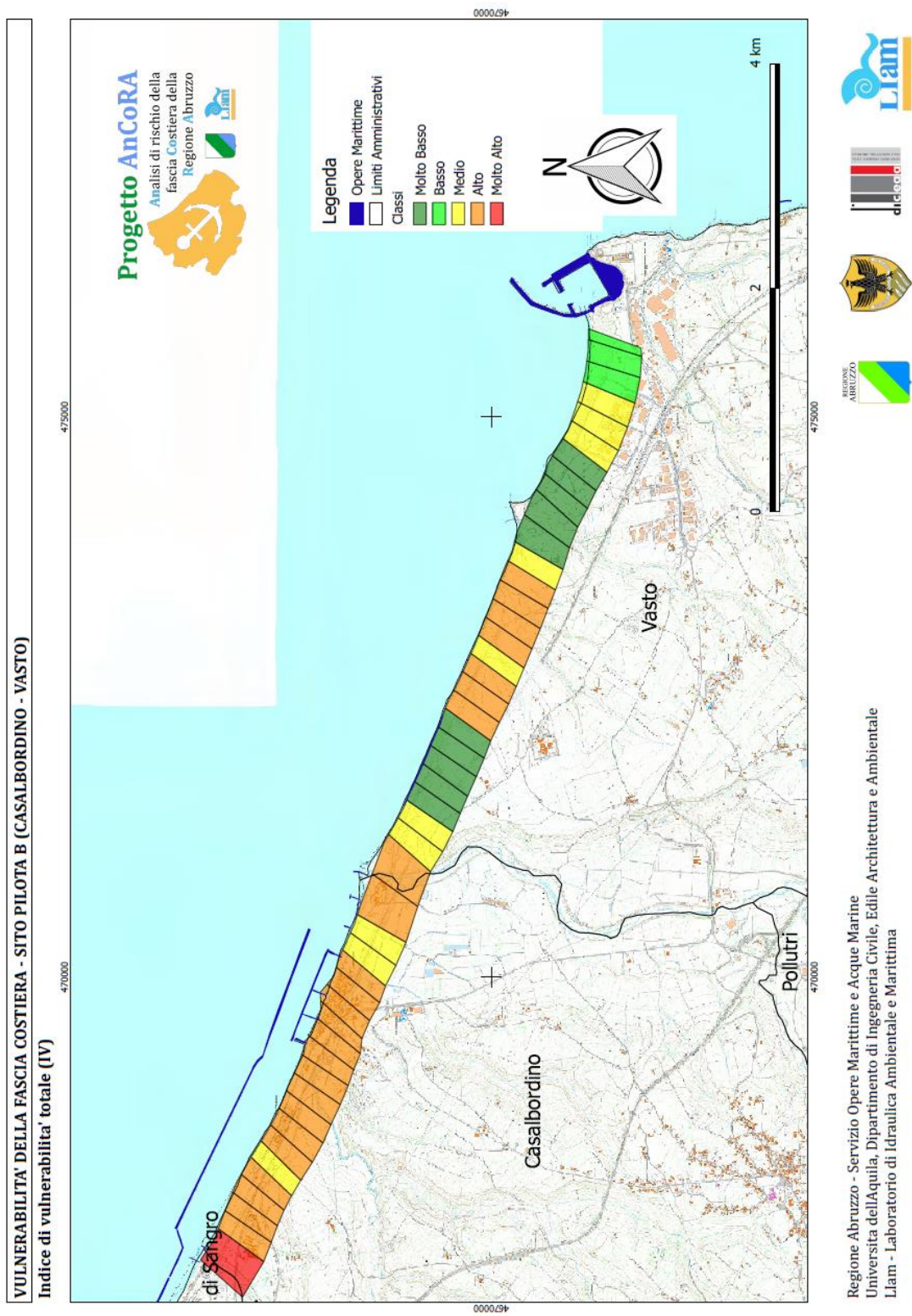


Figura 5-4: Risultati dell'analisi di vulnerabilità per il tratto tra Casalbordino e Punta Penna (Vasto).

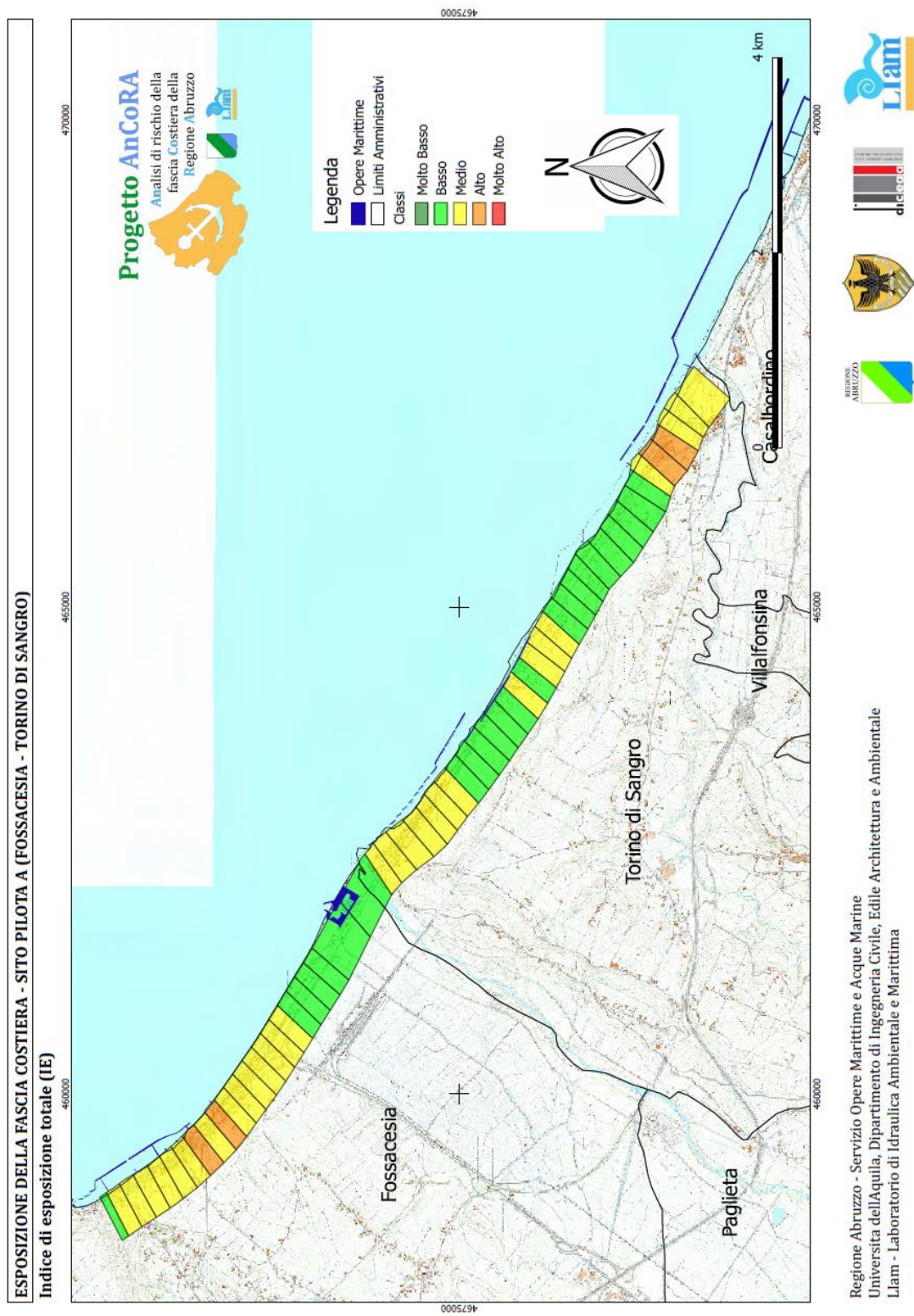


Figura 5-5: Risultati dell'analisi di esposizione per il tratto tra Fossacesia e Torino di Sangro.



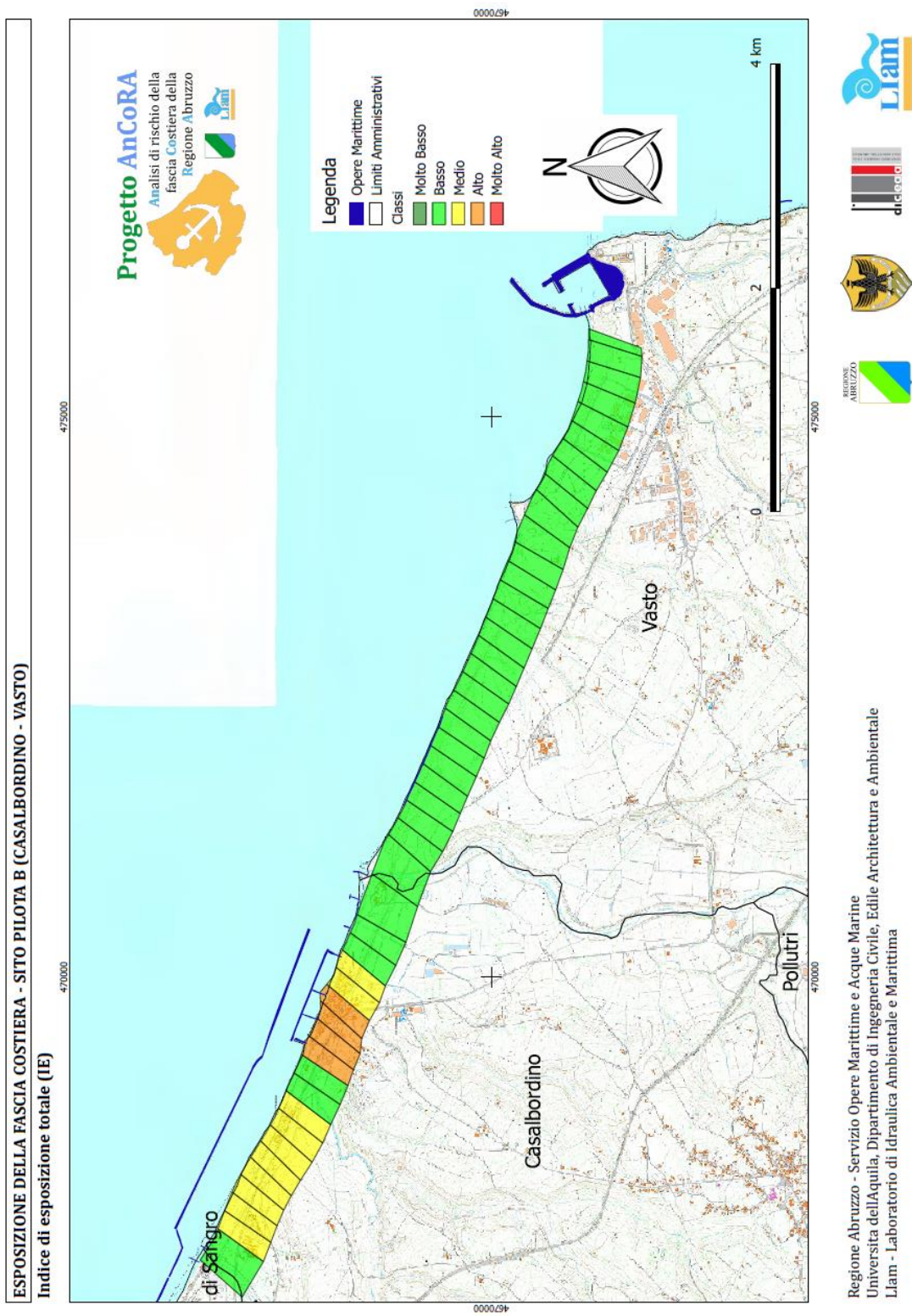


Figura 5-6: Risultati dell'analisi di esposizione per il tratto tra Casalbordino e Punta Penna (Vasto).

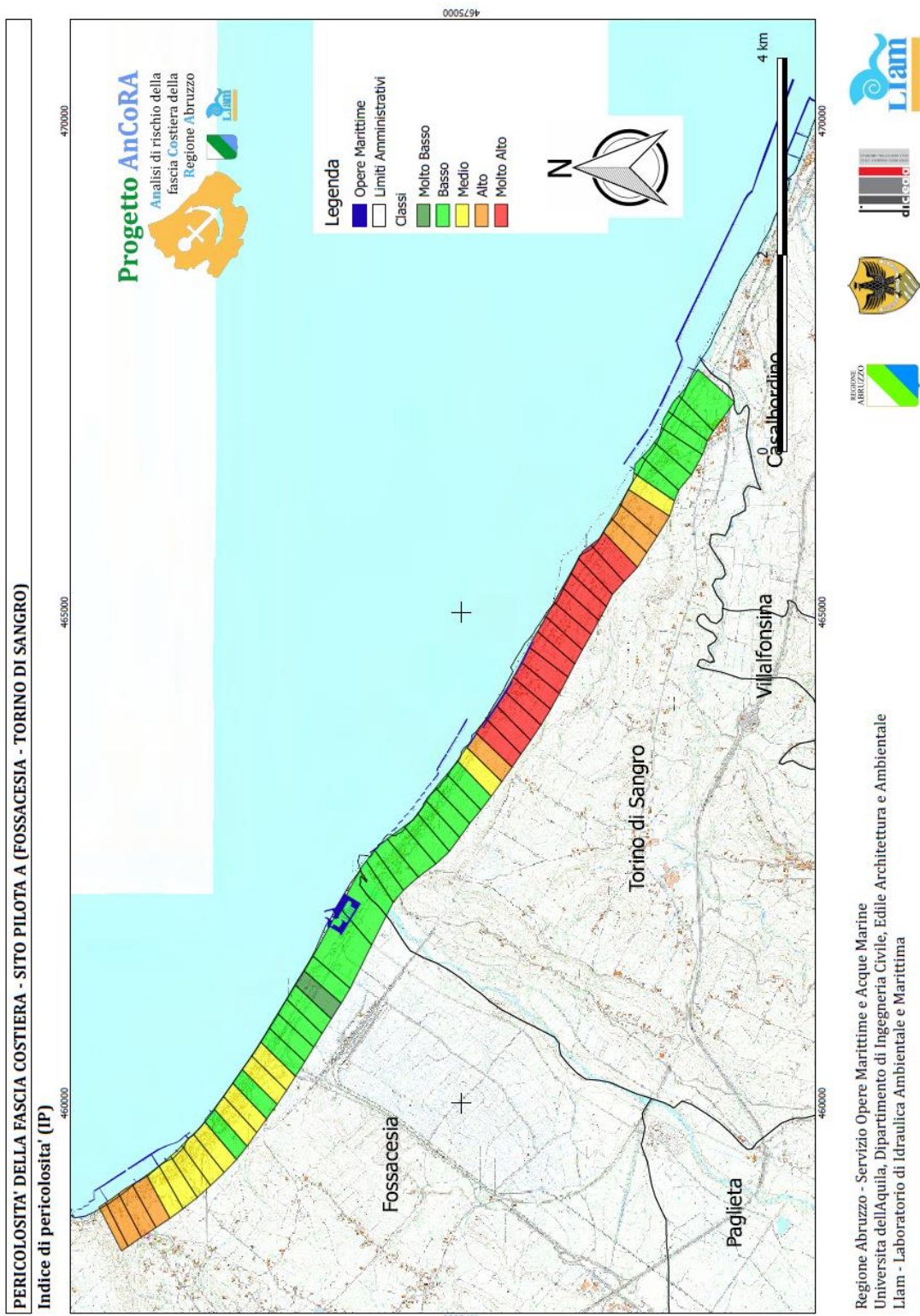


Figura 5-7: Risultati dell'analisi di pericolosità per il tratto tra Fossacesia e Torino di Sangro.



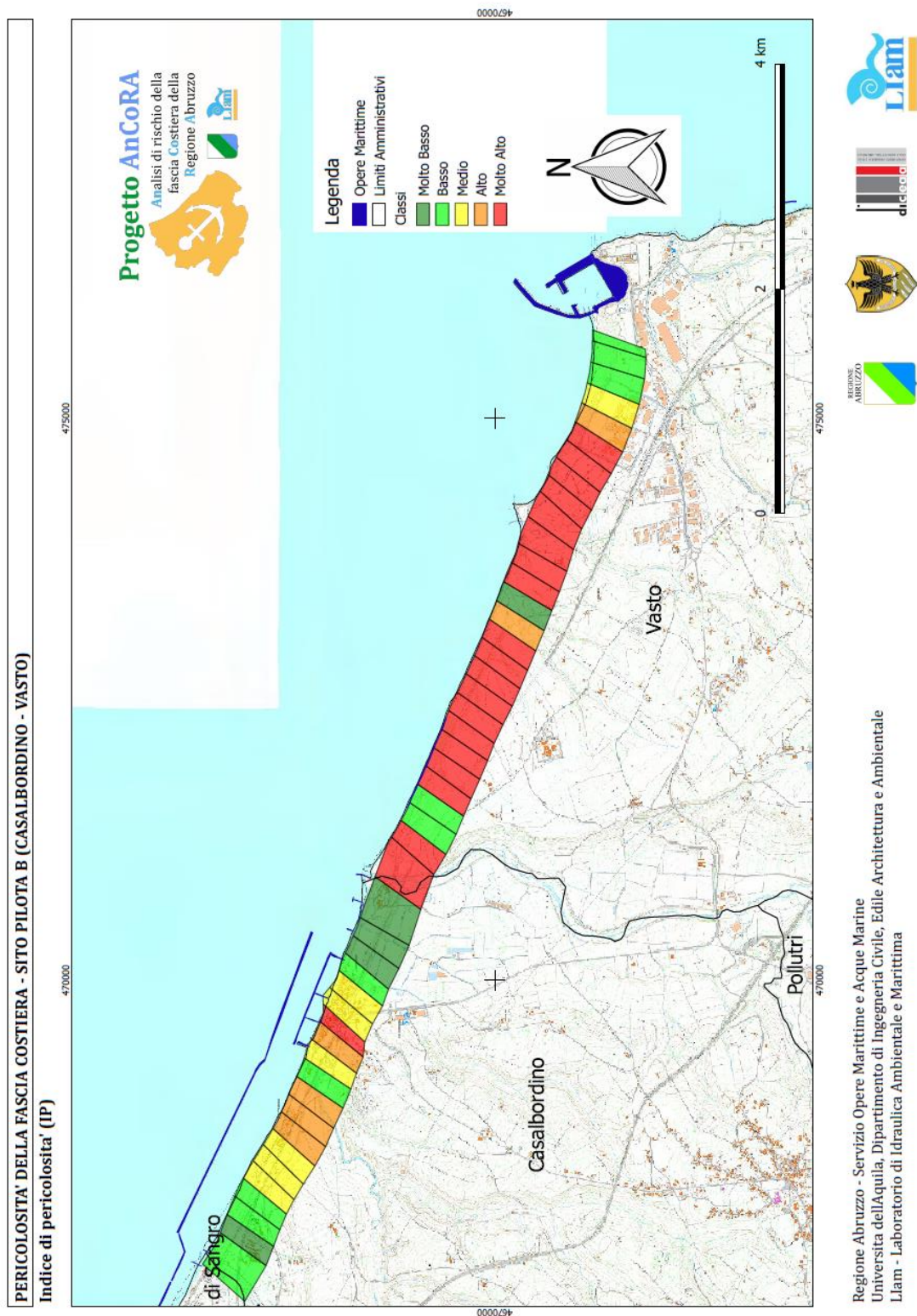


Figura 5-8: Risultati dell'analisi di pericolosità per il tratto tra Casalbordino e Punta Penna (Vasto).

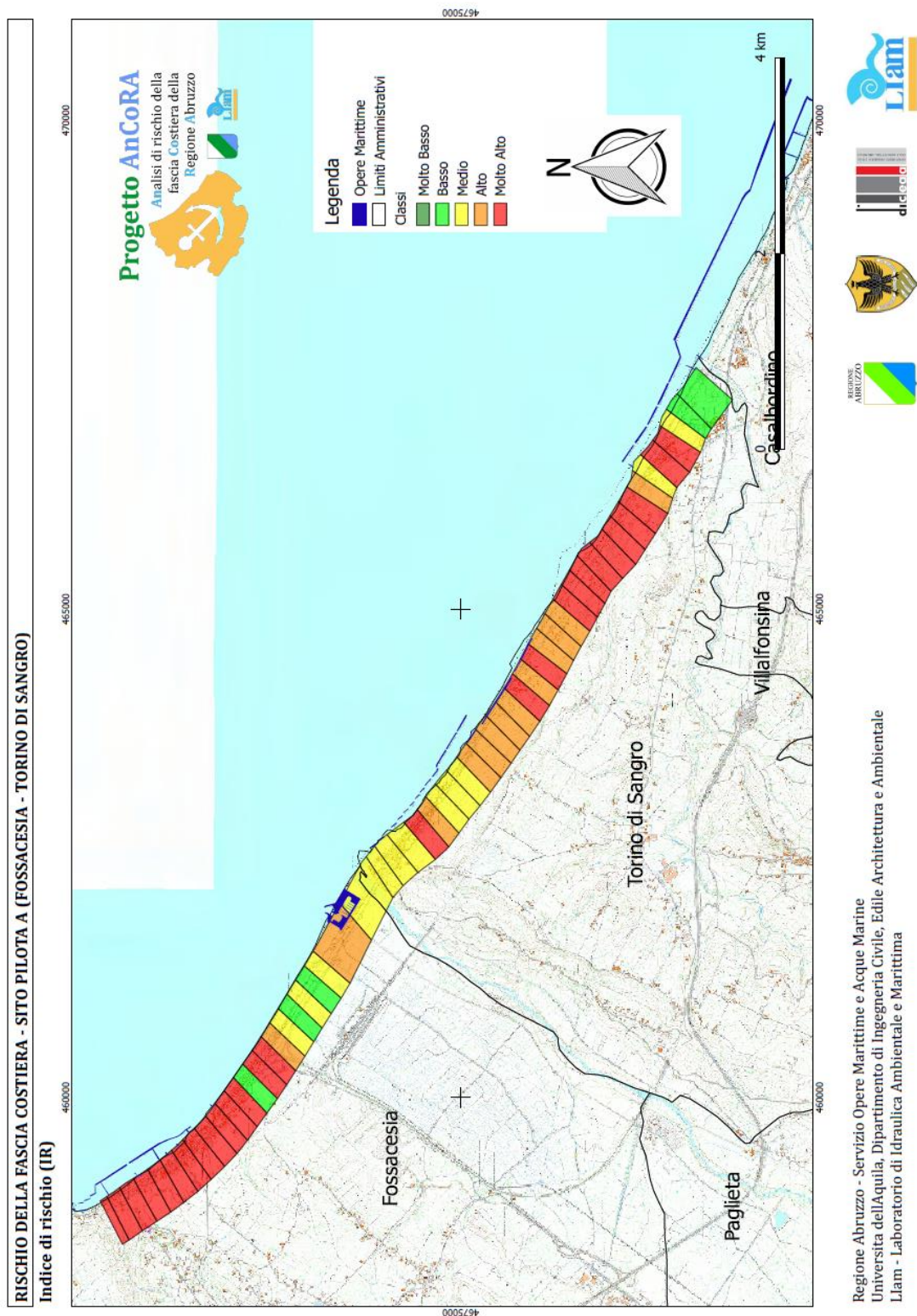


Figura 5-9: Risultati dell'analisi di rischio per il tratto tra Fossacesia e Torino di Sangro.



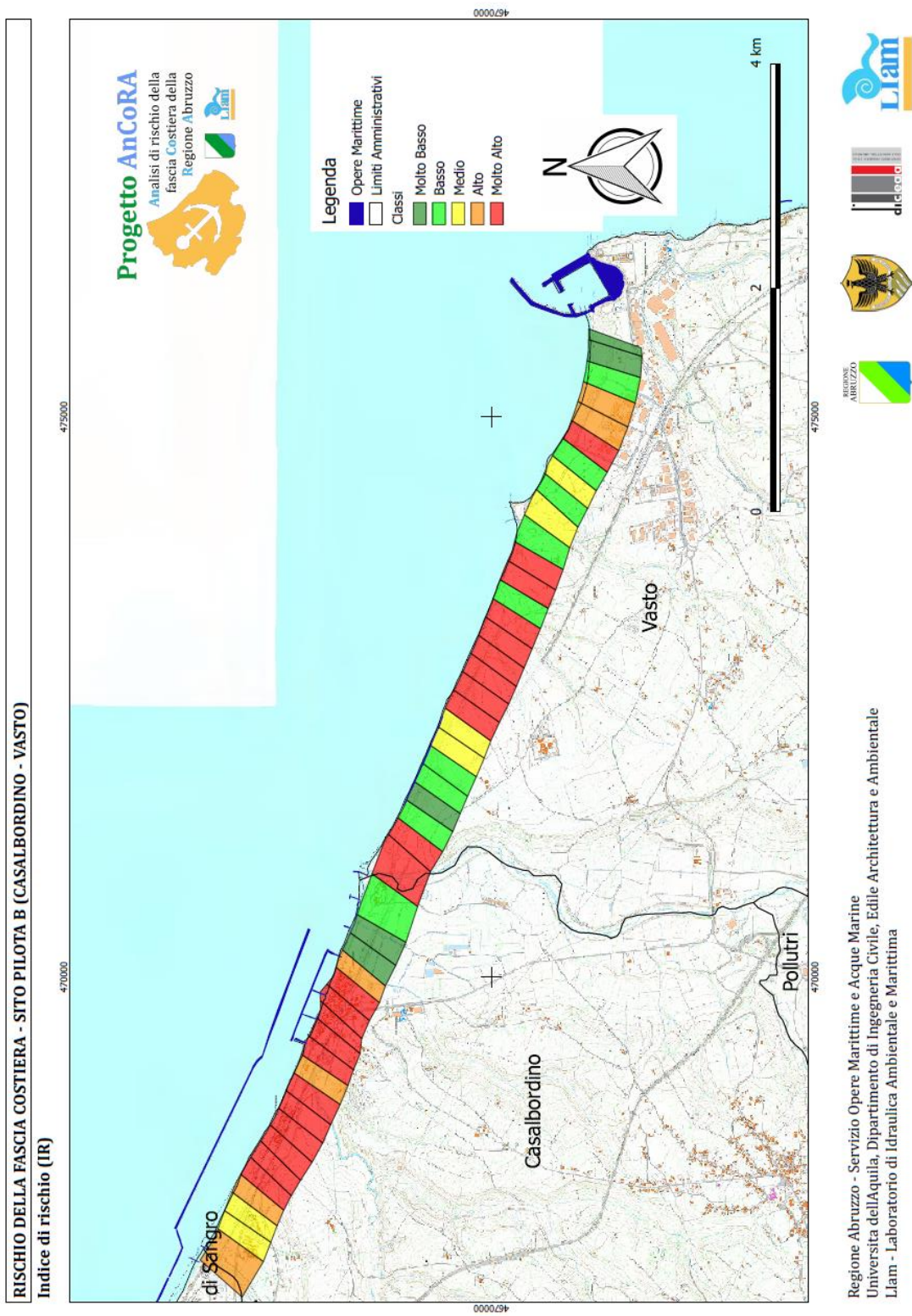


Figura 5-10: Risultati dell'analisi di rischio per il tratto tra Casalbordino e Punta Penna (Vasto).

## 6. Riferimenti bibliografici selezionati

De Bruijn, K.; Klijn, F.; Ölfert, A.; Penning-Rowsell, E.; Simm, J.; Wallis, M. (2009) Flood Risk Assessment and Flood Risk Management; An Introduction and Guidance Based on Experiences and Findings of FLOODsite (An EU-Funded Integrated Project); T29-09-01; FLOODsite Consortium: Wallingford, UK.

Di Risio, M., Bruschi, A., Lisi, I., Pesarino, V., & Pasquali, D. (2017). Comparative Analysis of Coastal Flooding Vulnerability and Hazard Assessment at National Scale. *Journal of Marine Science and Engineering*, 5(4), 51.

Direttiva 2007/60/CE del Parlamento europeo e del Consiglio, del 23 ottobre 2007 relativa alla valutazione e alla gestione dei rischi di alluvioni

D.Lgs. 112/1998 e ss.mm. Conferimento di funzioni e compiti amministrativi dello Stato alle regioni ed agli enti locali, in attuazione del capo I della legge 15 marzo 1997, n. 59. Vigente al: 10-2-2018

D.Lgs. 180/1998 e ss.mm. Misure urgenti per la prevenzione del rischio idrogeologico ed a favore delle zone colpite da disastri franosi nella regione Campania. Vigente al: 10-2-2018

D.Lgs. 59/2005 e ss.mm. Attuazione integrale della direttiva 96/61/CE relativa alla prevenzione e riduzione integrate dell'inquinamento. Vigente al: 10-2-2018

D.Lgs. 152/2006 e ss.mm. Norme in materia ambientale. Vigente al: 10-2-2018

D.Lgs. 49/2010 e ss.mm. Attuazione della direttiva 2007/60/CE relativa alla valutazione e alla gestione dei rischi di alluvioni. (10G0071) Vigente al: 10-2-2018

DPCM 29/09/1998, Atto di indirizzo e coordinamento per l'individuazione dei criteri relativi agli adempimenti di cui all'art. 1, commi 1 e 2, del D.L. 11 giugno 1998, n. 180 (2)

Goda, Y. (2010). *Random seas and design of maritime structures* (Vol. 33). World Scientific Publishing Company.

Legge 979/1982. Disposizioni per la difesa del mare. Vigente al: 10-2-2018

Legge 267/1998. Conversione in legge, con modificazioni, del decreto-legge 11 giugno 1998, n. 180, recante misure urgenti per la prevenzione del rischio idrogeologico ed a favore delle zone colpite da disastri franosi nella regione Campania. Vigente al: 10-2-2018

Legge 97/2013. Disposizioni per l'adempimento degli obblighi derivanti dall'appartenenza dell'Italia all'Unione europea - Legge europea 2013. Vigente al: 10-2-2018.

Legge 116/2014. Conversione in legge, con modificazioni, del decreto-legge 24 giugno 2014, n. 91, recante disposizioni urgenti per il settore agricolo, la tutela ambientale e l'efficientamento energetico dell'edilizia scolastica e universitaria, il rilancio e lo sviluppo delle imprese, il contenimento dei costi gravanti sulle tariffe elettriche, nonché per la definizione immediata di adempimenti derivanti dalla normativa europea. Vigente al: 10-2-2018.

MATTM, Ministero dell'Ambiente, della Tutela del Territorio e del Mare (2013), *Indirizzi operativi per l'attuazione della direttiva 2007/60/CE relativa alla valutazione ed alla gestione dei rischi da alluvioni con riferimento alla predisposizione delle mappe della pericolosità e del rischio di alluvioni* (decreto legislativo n. 49/2010)

Niesing, H. (2005). EUROSION: Coastal erosion measures, knowledge and results acquired through 60 studies. *Proceedings 'Dunes and Estuaries*, 421-431.



---

Stockdon, H.F.; Holman, R.A.; Howd, P.A.; Sallenger, A.H. (2006) Empirical parameterization of setup, swash, and runup. *Coast. Eng.* 53, 573–588.

Thieler, E.; Hammar-Klose, E. (1999) National Assessment of Coastal Vulnerability to Future Sea Level Rise: Preliminary Results for the U.S. Atlantic Coast; Technical Report Open-File Report 99-593; U.S. Geological Survey: Reston, VA, USA