

# Comune di Cesenatico

Provincia di Forlì-Cesena

Settore Sviluppo del Territorio



Il Sindaco **Dott. Matteo Gozzoli**

Il Dirigente del Settore **Ing. Simona Savini e Ing. Chiara Benaglia**

PIANO URBANISTICO GENERALE

**Attività di supporto alla caratterizzazione della  
pericolosità idraulica sul territorio comunale**



Assunto con delibera di G.C. n. 240 del 27/11/2020  
Adottato con delibera di C.C. n. 31 del 19/07/2021  
Approvato con delibera di C.C. n. ... del .....

PUG

Elaborato

**Qc4.Ri1**





COMUNE DI  
CESENATICO

## Comune di Cesenatico

Attività di supporto alla caratterizzazione della  
pericolosità idraulica sul territorio  
Comunale per il Piano Urbanistico Generale .

### Relazione Tecnica

|             |   |        |          |
|-------------|---|--------|----------|
| Approvato   | Ing. Stefano Bagli  |        |          |
| Controllato | Ing. Paolo Mazzoli  |        |          |
| Redatto     | Ing. Paolo Mazzoli<br>Ing. Stefano Bagli<br>Ing. Davide Broccoli<br>Dott. Antonio Sartini |        |          |
| Rev.        | 07  | Data   | 24/11/20 |
| Cod. Doc.   |   | Pagine | 1 di 81  |

**gecosistema**  
sistema  
Geographic Environmental Consulting

[www.gecosistema.com](http://www.gecosistema.com)

|              |        |    |    |       |  |    |    |
|--------------|--------|----|----|-------|--|----|----|
| ° Documento: | Foglio |    |    | Rev.: |  |    |    |
|              | 1      | di | 81 | 07    |  | 24 | 11 |







COMUNE DI  
CESENATICO

## 1 INTRODUZIONE E OBIETTIVI

Il presente studio è predisposto come aggiornamento del quadro conoscitivo della pericolosità idraulica per il redigendo Piano Urbanistico Generale del Comune di Cesenatico (FC) ed è stato sviluppato secondo la seguente sequenza di attività

- Inquadramento dell'Area di studio attraverso la pianificazione esistente sul rischio idraulico
- Mappatura aggiornata della pericolosità idraulica con tecniche
- Analisi degli interventi di mitigazione strutturali attuati e indicazioni

## 2 INQUADRAMENTO PIANIFICAZIONE ESISTENTE RISCHIO IDRAULICO

Si inquadra nel seguito l'area di studio (territorio del Comune di Cesenatico ) riportando le considerazioni sul rischio idraulico fluviale e costiero contenute nella pianificazione sovraordinata settoriale vigente, a partire dal livello distrettuale sino a quello provinciale.

### 2.1 IL PIANO DI GESTIONE DEL RISCHIO ALLUVIONI

Il Piano di Gestione del Rischio di Alluvioni (P.G.R.A.) è lo strumento di pianificazione previsto nella legislazione comunitaria dalla Direttiva 2007/60/CE relativa alla valutazione e gestione del rischio di alluvioni, recepita nell'ordinamento italiano con il D.Lgs. 49/2010.

La Dir. 2007/60/CE (detta anche Direttiva Alluvioni) si inserisce all'interno di un percorso di politiche europee in tema di acque iniziato con la Direttiva quadro 2000/60/CE che si prefigge l'obiettivo di salvaguardare e tutelare i corpi idrici superficiali e sotterranei e di migliorare la qualità della risorsa, con la finalità di raggiungere il buono stato ambientale in tutti i corpi idrici europei; nello specifico, il PGRA ha la finalità di costruire un quadro omogeneo a livello distrettuale per la valutazione e la gestione dei rischi da fenomeni alluvionali, al fine di ridurre le conseguenze negative nei confronti della vita e salute umana, dell'ambiente, del patrimonio culturale, delle attività economiche e delle infrastrutture strategiche.

| ° Documento:               | Foglio |    |    | Rev.: |  |  |    |    |    |  |
|----------------------------|--------|----|----|-------|--|--|----|----|----|--|
|                            |        | di |    |       |  |  |    |    |    |  |
| PUG pericolosità idraulica | 4      | di | 81 | 07    |  |  | 24 | 11 | 20 |  |



COMUNE DI  
CESENATICO

In base a quanto disposto dal D.Lgs. 49/2010 di recepimento della Direttiva 2007/60/CE, il PGRA, alla stregua dei Piani di Assetto Idrogeologico (PAI), è stralcio del Piano di Bacino ed ha valore di piano sovraordinato rispetto alla pianificazione territoriale e urbanistica. Alla scala di intero distretto, il PGRA agisce in sinergia e coordinamento con i PAI costituitisi nella precedente stagione di pianificazione e tutt'ora vigenti.

Il primo ciclo attuazione si è concluso nel 2016 quando sono stati definitivamente approvati i PGRA relativi al periodo 2015-2021; tale ciclo è stato scandito in tre tappe successive e tra loro concatenate, nel dettaglio:

- fase 1: valutazione preliminare del rischio di alluvioni (conclusa, per il primo ciclo, il 22 settembre 2011);
- fase 2: elaborazione di mappe della pericolosità e del rischio di alluvione (conclusa il 22 dicembre 2013);
- fase 3: predisposizione di Piani di Gestione del Rischio di Alluvioni (conclusa il 22 dicembre 2015).

Il secondo ciclo è in corso con le attività che porteranno, nel dicembre 2021, all'approvazione dei PGRA di seconda generazione, con le seguenti tappe:

- fase 1: valutazione preliminare del rischio di alluvioni (conclusa, per il secondo ciclo, nel dicembre 2018);
- fase 2: aggiornamento delle mappe della pericolosità e del rischio di alluvione (conclusa, in dicembre 2019)
- fase 3: predisposizione dei Piani di Gestione del Rischio di Alluvioni di seconda generazione (da concludersi entro il 22 dicembre 2021).

Il PGRA si compone di

- una parte cartografica, consistente nel quadro conoscitivo di settore costituito dall'insieme delle mappe di pericolosità e di rischio di alluvioni a scala di bacino predisposte lo scorso dicembre 2013,
- una relazione generale (comprensiva di allegati) e le misure relative alle fasi del ciclo di gestione del rischio di prevenzione e protezione (Parte A, art. 7, comma a) D.Lgs. 49/2010);

| ° Documento:               | Foglio |    |    | Rev.: |  |  |    |    |    |  |
|----------------------------|--------|----|----|-------|--|--|----|----|----|--|
|                            |        | di |    |       |  |  |    |    |    |  |
| PUG pericolosità idraulica | 5      |    | 81 | 07    |  |  | 24 | 11 | 20 |  |



- una parte specifica relativa alle misure di preparazione e ritorno alla normalità e analisi (Parte B, art. 7, comma b) D.lgs., 49/2010, predisposta, per il territorio regionale, dall’Agenzia Regionale di Protezione Civile, con il coordinamento del Dipartimento Nazionale di Protezione Civile;
- il Rapporto Ambientale (Valutazione Ambientale Strategica).

La parte cartografica del PGRA deriva sostanzialmente dai contenuti dei precedenti Piani di Assetto Idrogeologico vigenti (PAI) e dagli studi di approfondimento ad essi propedeutici, con l’aggiunta di mappe specifiche redatte per l’ambito costiero, che descrivono il fenomeno di ingressione marina, e di cartografie che documentano le aree storicamente allagate a causa dell’inofficiosità del reticolo di bonifica nei territori di pianura.

La parte normativa del PGRA è sostanzialmente demandata ai PAI previgenti, ancorché aggiornati e coordinati nella cornice del PGRA, si rimanda al paragrafo 4.3 per la disamina delle norme in questione.

Al fine di descrivere i diversi fenomeni alluvionali che possono avere impatti nel territorio in esame, le attività finalizzate alla mappatura della pericolosità e del rischio ai sensi dell’art. 6 del D.Lgs. 49/2010 sono state sviluppate, parallelamente, per l’Ambito Costiero Marino (ACM), per il Reticolo Principale e Secondario Collinare Montano (RP\_RSCM) e per il Reticolo Secondario Pianura (RSP).

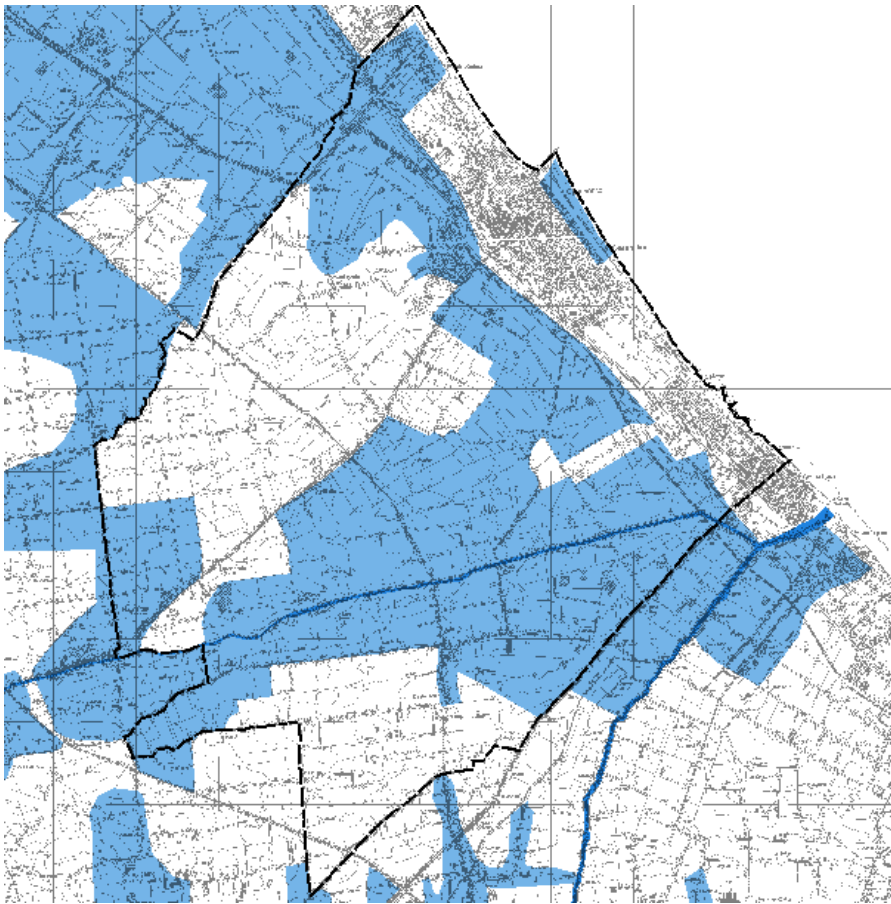
Le mappe della pericolosità indicano, pertanto, le aree geografiche potenzialmente allagabili con riferimento all’insieme di cause scatenanti sopra descritte, in relazione a tre scenari (art. 6, comma 2 D.Lgs. 49/2010):

- P1. Scarsa probabilità di alluvioni o scenari di eventi estremi;
- P2. Alluvioni poco frequenti: corrispondenti a tempo di ritorno fra 100 e 200 anni (media probabilità);
- P3. Alluvioni frequenti: corrispondenti a tempo di ritorno fra 20 e 50 anni (elevata probabilità).

Si riportano a titolo di esempio le mappe di pericolosità per il territorio del Comune di Cesenatico relative rispettivamente al Reticolo Principale (RP) ed al Reticolo Secondario Pianura (RSP).

| ° Documento:               | Foglio |    |    | Rev.: |  |  |    |    |    |  |
|----------------------------|--------|----|----|-------|--|--|----|----|----|--|
|                            |        | di |    |       |  |  |    |    |    |  |
| PUG pericolosità idraulica | 6      | di | 81 | 07    |  |  | 24 | 11 | 20 |  |





**Legenda**

- territorio comunale
- Alluvioni frequenti - H - P3 - RP
- Alluvioni poco frequenti - M - P2 - RP

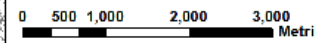


Figura 1 - mappa della pericolosità da Reticolo Principale (RP)

|              |                            |   |    |    |       |  |    |    |  |
|--------------|----------------------------|---|----|----|-------|--|----|----|--|
| ° Documento: | Foglio                     |   |    |    | Rev.: |  |    |    |  |
|              | PUG pericolosità idraulica | 7 | di | 81 | 07    |  | 24 | 11 |  |

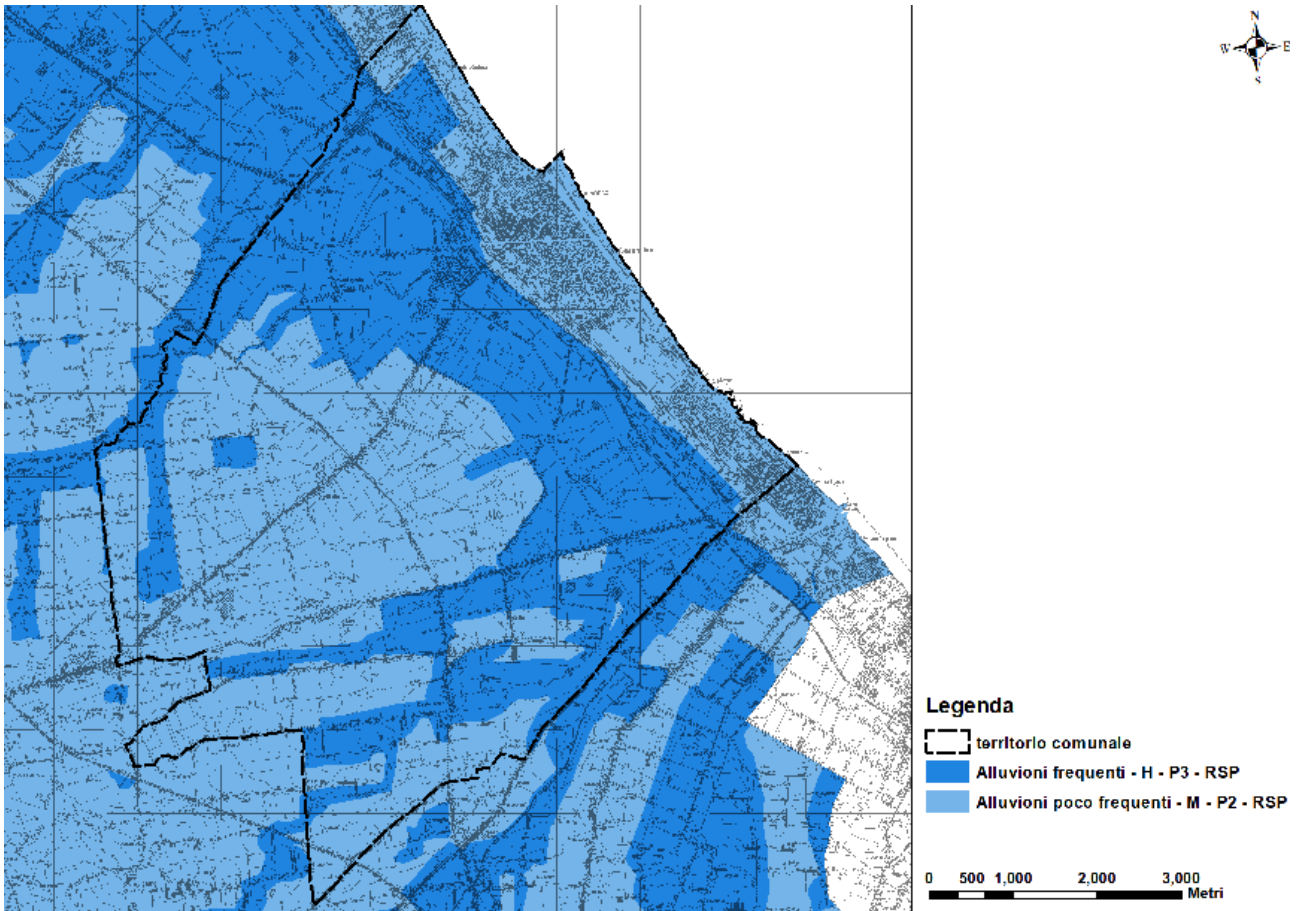


Figura 2 - mappa della pericolosità da Reticolo Secondario di Pianura (RSP)

La pericolosità derivante da potenziali alluvioni dal Reticolo Principale è generalmente limitata alla parte di pianura a monte della SS16 e dell'abitato principale (Tavola 1), con un grado di pericolosità P2 ed un grado P3 limitatamente all'alveo del torrente Pisciatello; la pericolosità derivante dal Reticolo Secondario di Pianura (Tavola 2) copre invece l'intero territorio comunale, con grado P3 nella parte di pianura a monte della SS16 e dell'abitato principale ed un grado P2 su tutta la restante parte del territorio.

Le aree inondabili per l'Ambito Marino Costiero (AMC) sono state mappate calcolando l'elevazione totale della superficie del mare quale somma di più fattori tra loro concomitanti: l'effetto delle onde

|                            |        |    |    |    |       |    |    |    |  |
|----------------------------|--------|----|----|----|-------|----|----|----|--|
| ° Documento:               | Foglio |    |    |    | Rev.: |    |    |    |  |
|                            | 8      | di | 81 | 07 |       | 24 | 11 | 20 |  |
| PUG pericolosità idraulica |        |    |    |    |       |    |    |    |  |



COMUNE DI  
CESENATICO

(che sotto costa generano un rialzo cosiddetto “*wave set-up*”), l’acqua alta, data dalla marea astronomica (*tide*) e dal sovrizzo atmosferico (*surge*).

Le diverse altezze critiche, corrispondenti agli scenari di bassa, media ed elevata probabilità (Tabella 1), sono state comparate con dati morfologici di dettaglio (rilievo Lidar anno 2008), tenendo conto dello smorzamento e dei percorsi reali seguiti dall’acqua.

| Scenario          | Tr         | Elevazione totale superficie del mare in metri |
|-------------------|------------|--|
| Frequente P3      | Tdr = 10   | 1,49   |
| Poco Frequente P2 | Tdr = 100  | 1,81   |
| Raro P1           | Tdr >> 100 | 2,5 m<br>(Dato Piano costa RER '82)            |

**Tabella 1 - Valori del sovrizzo totale da mareggiata considerati per la perimetrazione delle aree soggette ad ingressione marina**

Le mappe di pericolosità predisposte seguendo il metodo sopra riassunto non tengono conto della presenza di misure di difesa temporanee, quali ad esempio le dune invernali e la protezione con paratie mobili, non essendo queste vere e proprie opere strutture, ma strumenti utilizzati per la gestione del rischio, posti in essere, in particolare nel periodo invernale, per ridurre i danni conseguenti alle mareggiate, dagli enti e dai privati; in Figura 3 si riporta la mappa di pericolosità per il territorio comunale relativo all’Ambito Marino Costiero.

| ° Documento:               | Foglio |    |    | Rev.: |  |    |    |    |
|----------------------------|--------|----|----|-------|--|----|----|----|
|                            |        |    |    |       |  |    |    |    |
| PUG pericolosità idraulica | 9      | di | 81 | 07    |  | 24 | 11 | 20 |

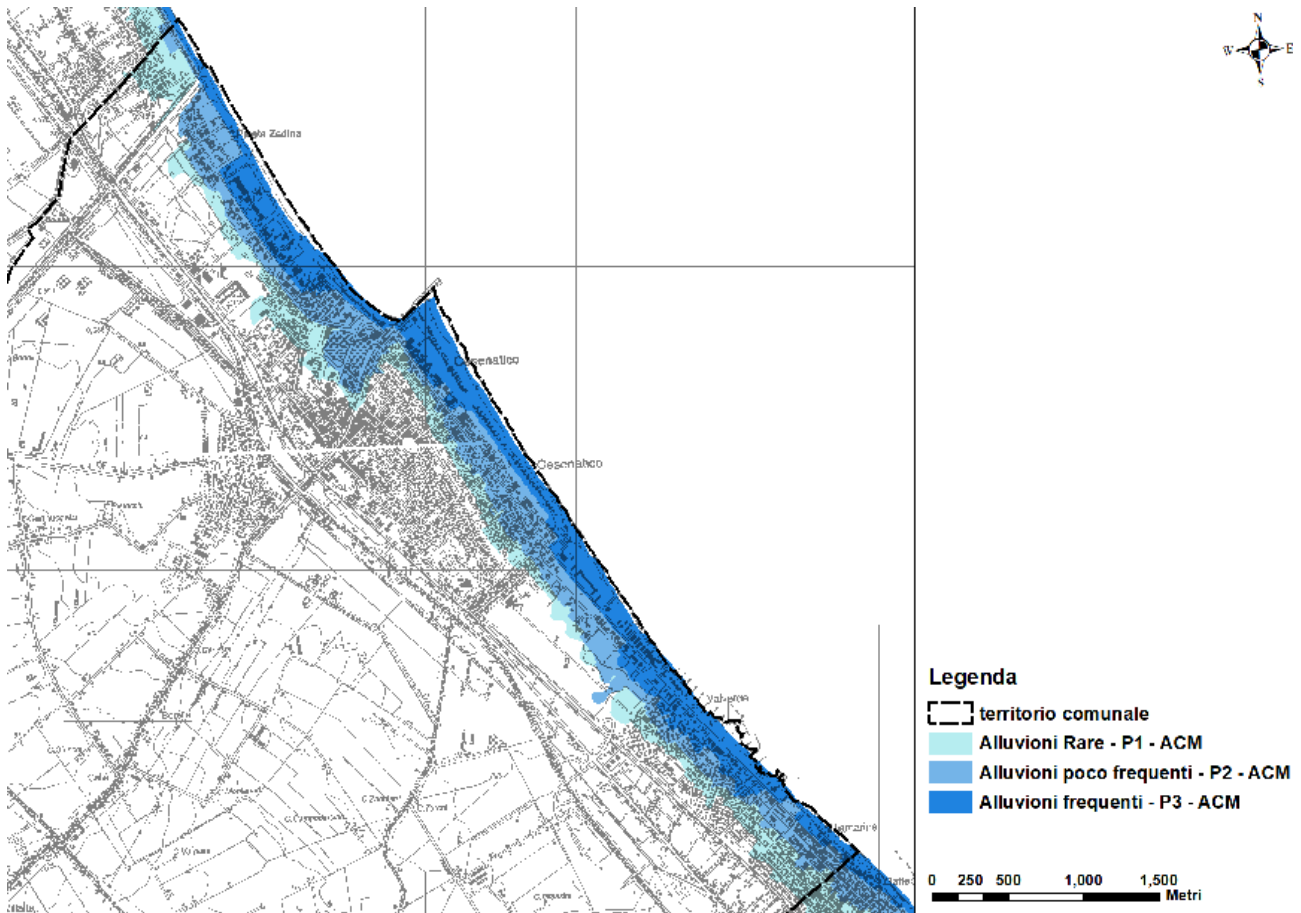


Figura 3 - mappa della pericolosità per l’Ambito Marino Costiero (AMC)

Le mappe del rischio predisposte dal PGRA sono restituite in due formati grafici:

- rappresentazione degli elementi esposti di cui all’art. 6 della Direttiva 2007/60/CE e art. 6, c. 5 del D.Lgs., 49/2010 ricadenti all’interno delle aree di pericolosità articolate nei tre scenari previsti, tematizzati in funzione delle 6 macrocategorie indicate negli Indirizzi Operativi MATTM” (Zone urbanizzate, Strutture Strategiche e sedi di attività collettive, Infrastrutture strategiche e principali, Beni ambientali, storici e culturali di rilevante interesse, Distribuzione e tipologia delle attività economiche insistenti sull’area potenzialmente interessata, Zone interessate da insediamenti produttivi o impianti tecnologici) e della tipologia di attività economica prevalente presente nelle suddette aree;

|                            |        |    |    |       |  |    |    |    |
|----------------------------|--------|----|----|-------|--|----|----|----|
| ° Documento:               | Foglio |    |    | Rev.: |  |    |    |    |
| PUG pericolosità idraulica | 10     | di | 81 | 07    |  | 24 | 11 | 20 |



COMUNE DI  
CESENATICO

- rappresentazione degli elementi esposti classificati in 4 gruppi di rischio, a valore crescente (da R1, moderato o nullo a R4, molto elevato), secondo quanto previsto dal D.P.C.M. 29.09.98 “Atto di indirizzo e coordinamento per l’individuazione dei criteri relativi agli adempimenti di cui all’art. 1, commi 1 e del D.L. 11.06.98, n. 180”; tali classi di rischio sono di seguito riassunte:
  - R4 (rischio molto elevato): per il quale sono possibili perdita di vite umane e lesioni gravi alle persone, danni gravi agli edifici, alle infrastrutture ed al patrimonio ambientale, la distruzione di attività socioeconomiche.
  - R3 (rischio elevato): 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 socioeconomiche e danni relativi al patrimonio ambientale;
  - R2 (rischio medio): per il quale sono possibili danni minori agli edifici, alle infrastrutture e al patrimonio ambientale che non pregiudicano l’incolumità delle persone, l’agibilità degli edifici e la funzionalità delle attività economiche;
  - R1 (rischio moderato o nullo): per il quale i danni sociali, economici ed al patrimonio ambientale sono trascurabili o nulli.

Le classi di rischio sono state definite tramite un algoritmo di classificazione del territorio mediante la elaborazione di una matrice generale che associa le classi di pericolosità alle classi di danno potenziale, definito come grado di perdita prevedibile a seguito di un fenomeno naturale di data intensità, funzione sia del valore che della vulnerabilità dell’elemento esposto.

Le classi di rischio per il territorio comunale, rispettivamente per eventi relativi al Reticolo Principale (RP), al Reticolo Secondario di Pianura (RSP) e per l’ambito Marino Costiero (AMC) sono riportate nelle figure seguenti.

| ° Documento: | Foglio                     |    |    | Rev.: |    |  |  |    |    |
|--------------|----------------------------|----|----|-------|----|--|--|----|----|
|              | PUG pericolosità idraulica | 11 | di | 81    | 07 |  |  | 24 | 11 |



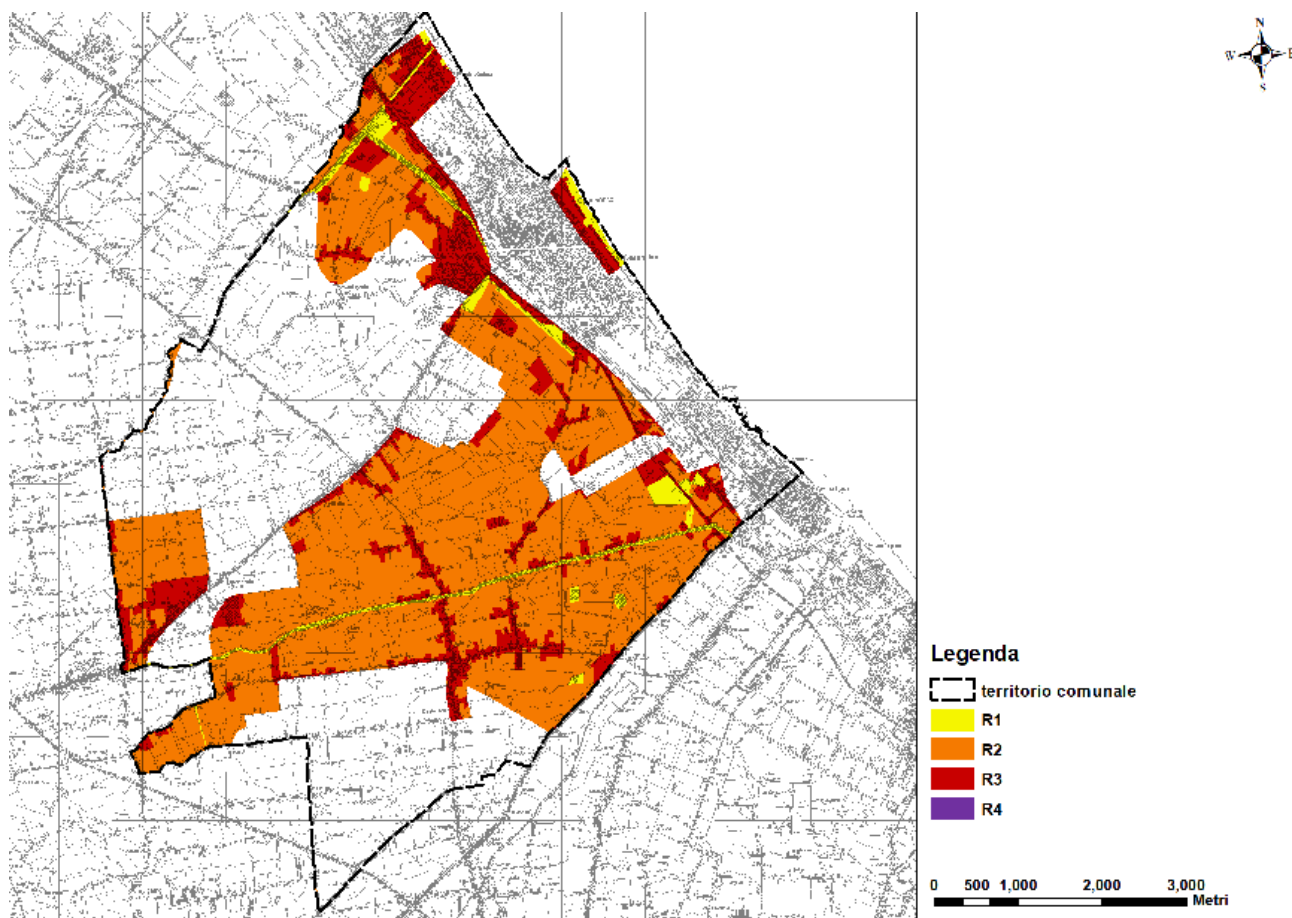


Figura 4 - mappa del rischio da Reticolo Principale (RP)

|              |                            |    |    |    |       |  |    |    |  |
|--------------|----------------------------|----|----|----|-------|--|----|----|--|
| ° Documento: | Foglio                     |    |    |    | Rev.: |  |    |    |  |
|              | PUG pericolosità idraulica | 12 | di | 81 | 07    |  | 24 | 11 |  |

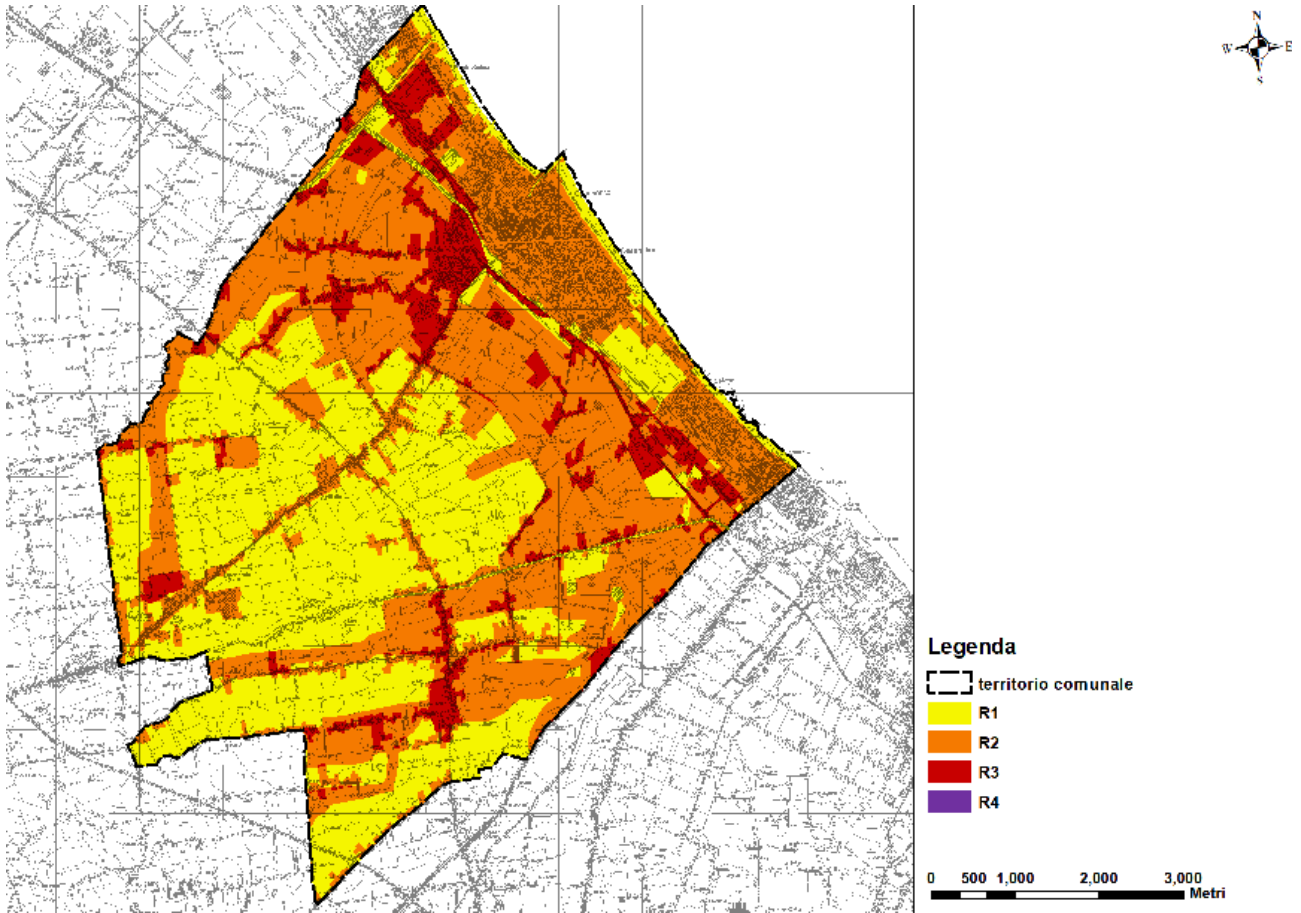


Figura 5 - mappa del rischio da Reticolo Secondario di Pianura (RSP)

|              |                            |    |    |    |       |  |    |    |  |
|--------------|----------------------------|----|----|----|-------|--|----|----|--|
| ° Documento: | Foglio                     |    |    |    | Rev.: |  |    |    |  |
|              | PUG pericolosità idraulica | 13 | di | 81 | 07    |  | 24 | 11 |  |

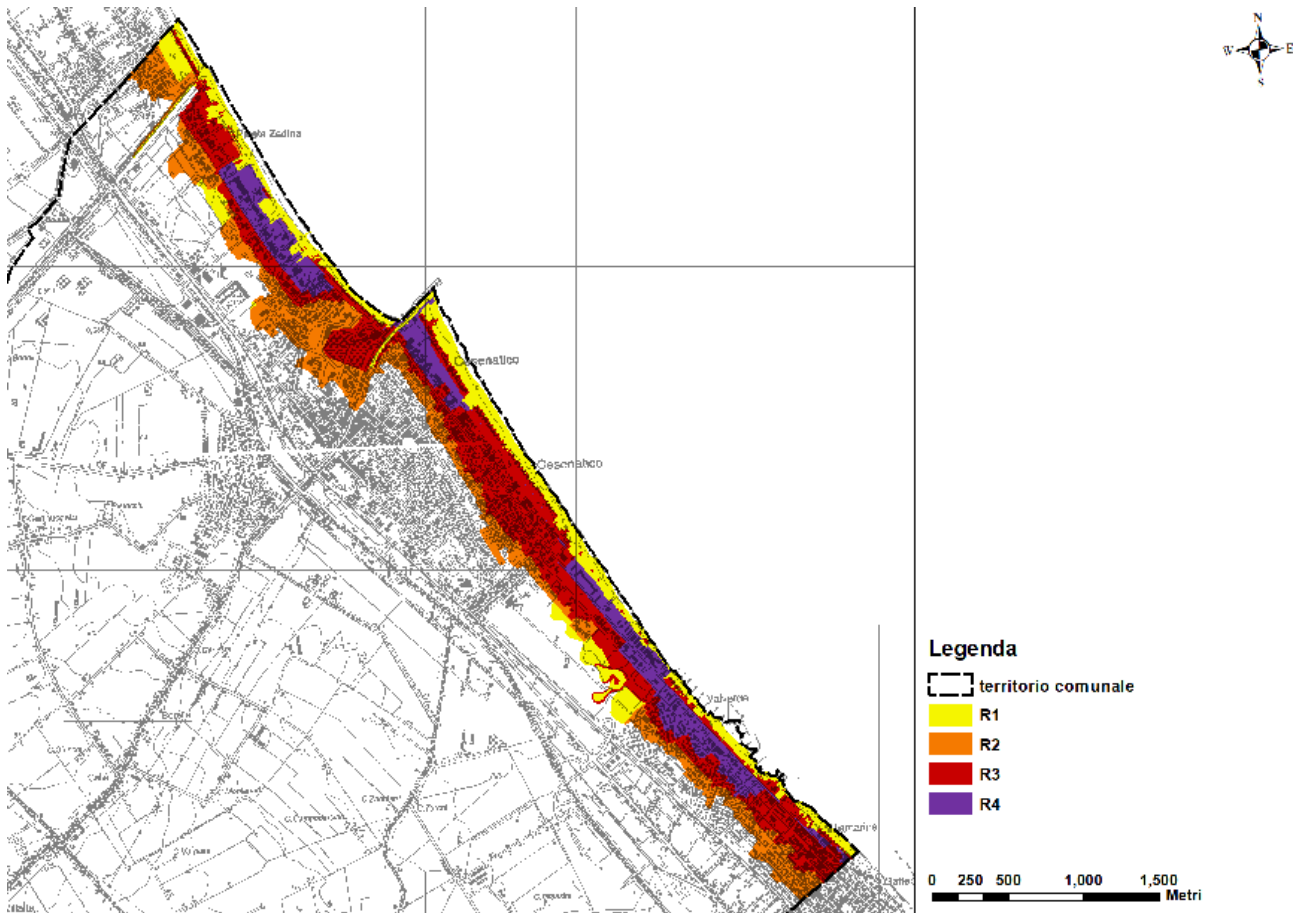


Figura 6 - mappa del rischio per l'Ambito Marino Costiero (AMC)

Le valutazioni contenute all'interno del Piano di Gestione del Rischio Alluvione sono state recepite dal vigente Piano Stralcio per il Rischio Idrogeologico, con la "Variante di coordinamento" approvata dalla Giunta regionale con la DGR 2112/2016. I due strumenti risultano quindi ad oggi coerenti ed allineati, si rimanda al capitolo relativo al Piano Stralcio per l'analisi cartografica e normativa di tale variante di recepimento.

| ° Documento: | Foglio                     |    |    |    | Rev.: |  |    |    |
|--------------|----------------------------|----|----|----|-------|--|----|----|
|              | PUG pericolosità idraulica | 14 | di | 81 | 07    |  | 24 | 11 |





COMUNE DI  
CESENATICO

## 2.2 IL PIANO TERRITORIALE DI COORDINAMENTO PROVINCIALE DELLA PROVINCIA DI FORLÌ-CESENA

Il Piano Territoriale di Coordinamento Provinciale della Provincia di Forlì-Cesena è stato adottato con Delibera di Consiglio Provinciale n.53971/127 del 14/07/2005. Le controdeduzioni alle riserve regionali ed alle osservazioni pervenute sono state deliberate con atto del Consiglio n.33083/65 del 20/04/2006.

Il Piano Territoriale di Coordinamento Provinciale è stato approvato con Delibera del Consiglio Provinciale n.68886/146 del 14/09/2006.

La variante integrativa al piano provinciale è stata adottata con delibera di Consiglio Provinciale n. 29974/42 del 30/03/2009 ed approvata con delibera del Consiglio Provinciale n. 70346/146 del 19/07/2010, entrata in vigore il giorno 4/08/2010.

La Variante Specifica ai sensi dell'art. 27bis è stata adottata con deliberazione del Consiglio Provinciale n. 146884/183 del 19 dicembre 2013 ed approvata con deliberazione del Consiglio Provinciale prot. n. 103517/57 del 10 dicembre 2015.

Con la variante cartografica "Carta forestale e dell'uso dei suoli", costituente approfondimento paesistico del PTPR, proposta dall'Unione Rubicone e Mare nell'ambito del Piano Strutturale Intercomunale (Gatteo, Savignano sul Rubicone, San Mauro Pascoli), adottato con delibera del Consiglio dell'Unione n. 30 del 22/12/2016 e approvato con delibera del Consiglio dell'Unione n. 15 del 14/05/2018, ai sensi dell'art. 22 della L.R. 20/2000 e ss.mm.ii., sono stati modificati due elaborati della Tavola 3 (Tav. 256NO – Bellaria-Igea Marina; Tav. 256SO – Santarcangelo di Romagna).

Ai fini del presente studio, sono stati analizzati solo gli articoli e le prescrizioni o indicazioni che attengono al rischio idraulico all'interno del territorio del Comune di Cesenatico.

La figura seguente riporta un estratto della tavola 2 del PTCP vigente, in cui sono riportate le perimetrazioni relative agli artt. 12 (Sistema costiero), 17 (Zone di tutela dei caratteri ambientali di laghi, bacini e corsi d'acqua) e 18 (Invasi ed alvei di laghi, bacini e corsi d'acqua).

| ° Documento:               | Foglio |    |    | Rev.: |  |  |    |    |    |
|----------------------------|--------|----|----|-------|--|--|----|----|----|
|                            |        | di |    |       |  |  |    |    |    |
| PUG pericolosità idraulica | 15     | di | 81 | 07    |  |  | 24 | 11 | 20 |

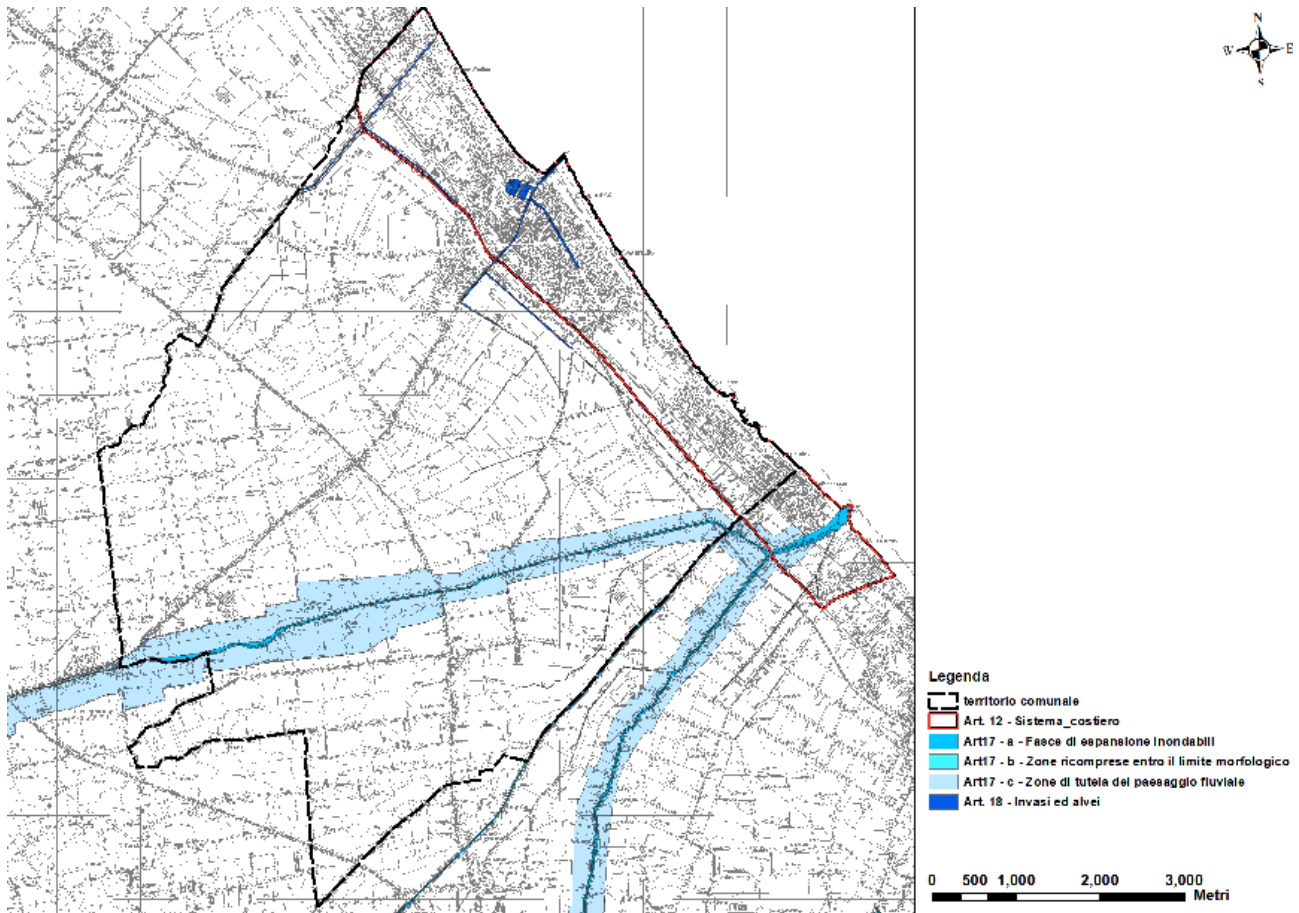


Figura 7 - estratto della tavola 2 del PTCP - Zonizzazione Paesistica

Il territorio indicato quale “sistema costiero” ricomprende tutta la parte del Comune a ridosso della costa; per esso valgono i disposti dell’art.12 che riporta diversi indirizzi ai fini del mantenimento ambientale, fra i quali gli interventi di difesa dai fenomeni erosivi e di ingressione marina che *“devono essere rivolti a conferire una maggiore flessibilità alle variazioni indotte dalla dinamica costiera al fine di evitare interventi di protezione della spiaggia ad elevato impatto ambientale comportanti effetti negativi dal punto di vista paesaggistico e della qualità delle acque di balneazione e la mitigazione dell’erosione in porzioni dell’arenile non protette”* (comma e); la figura seguente riporta il dettaglio della zonizzazione del PTCP per l’area costiera.

| ° Documento: | Foglio                     |    |    |    | Rev.: |  |    |    |
|--------------|----------------------------|----|----|----|-------|--|----|----|
|              | PUG pericolosità idraulica | 16 | di | 81 | 07    |  | 24 | 11 |

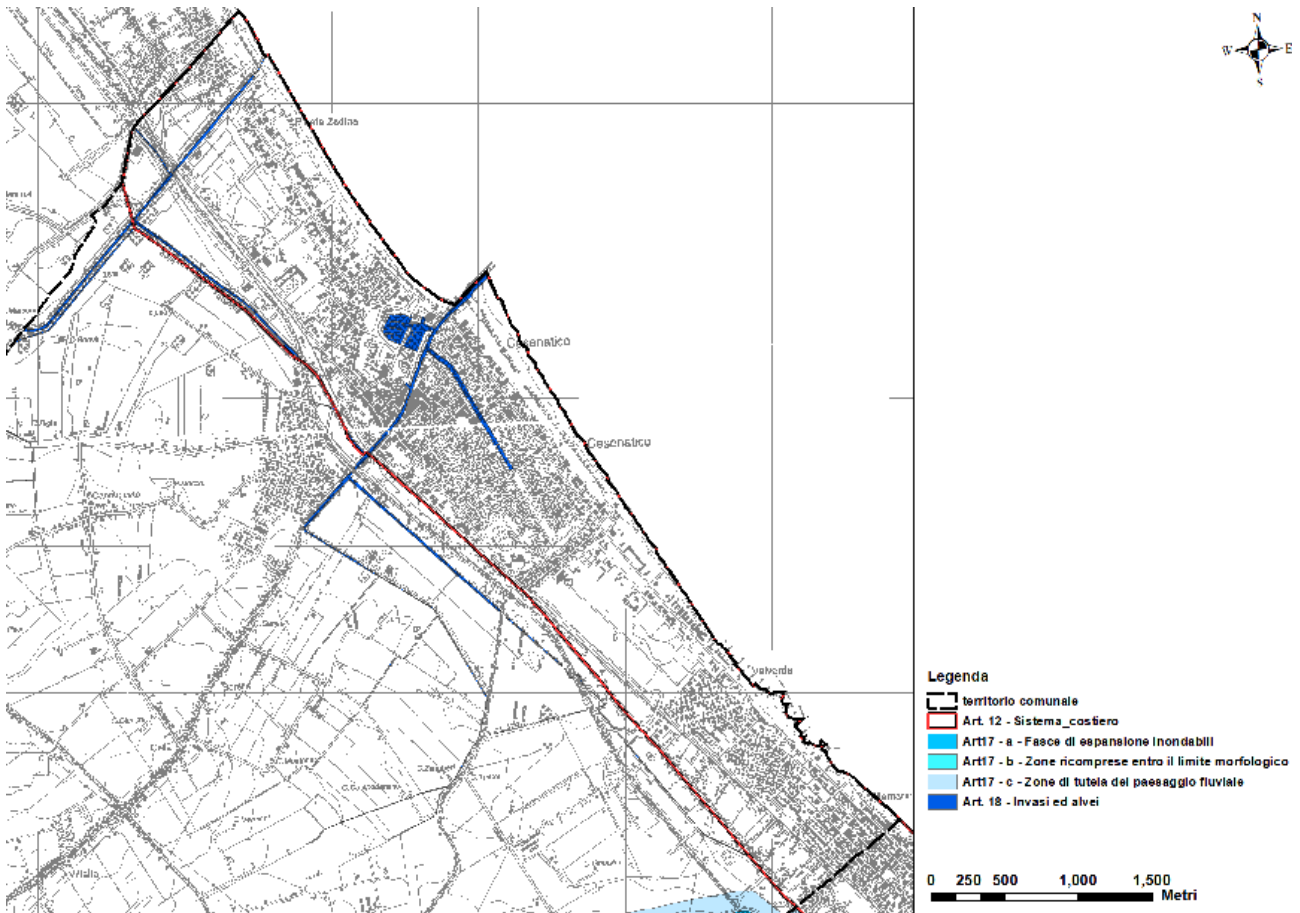


Figura 8 - estratto della tavola 2 del PTCP - Zonizzazione Paesistica - dettaglio dell'area di costa

Per quanto riguarda l'art. 17, il territorio comunale risulta interessato in relazione al corso del Pisciatello ed alle aree ad esso contermini, così come riportato nella figura seguente.

| ° Documento: | Foglio                     |    |    |    | Rev.: |  |    |    |
|--------------|----------------------------|----|----|----|-------|--|----|----|
|              | PUG pericolosità idraulica | 17 | di | 81 | 07    |  | 24 | 11 |

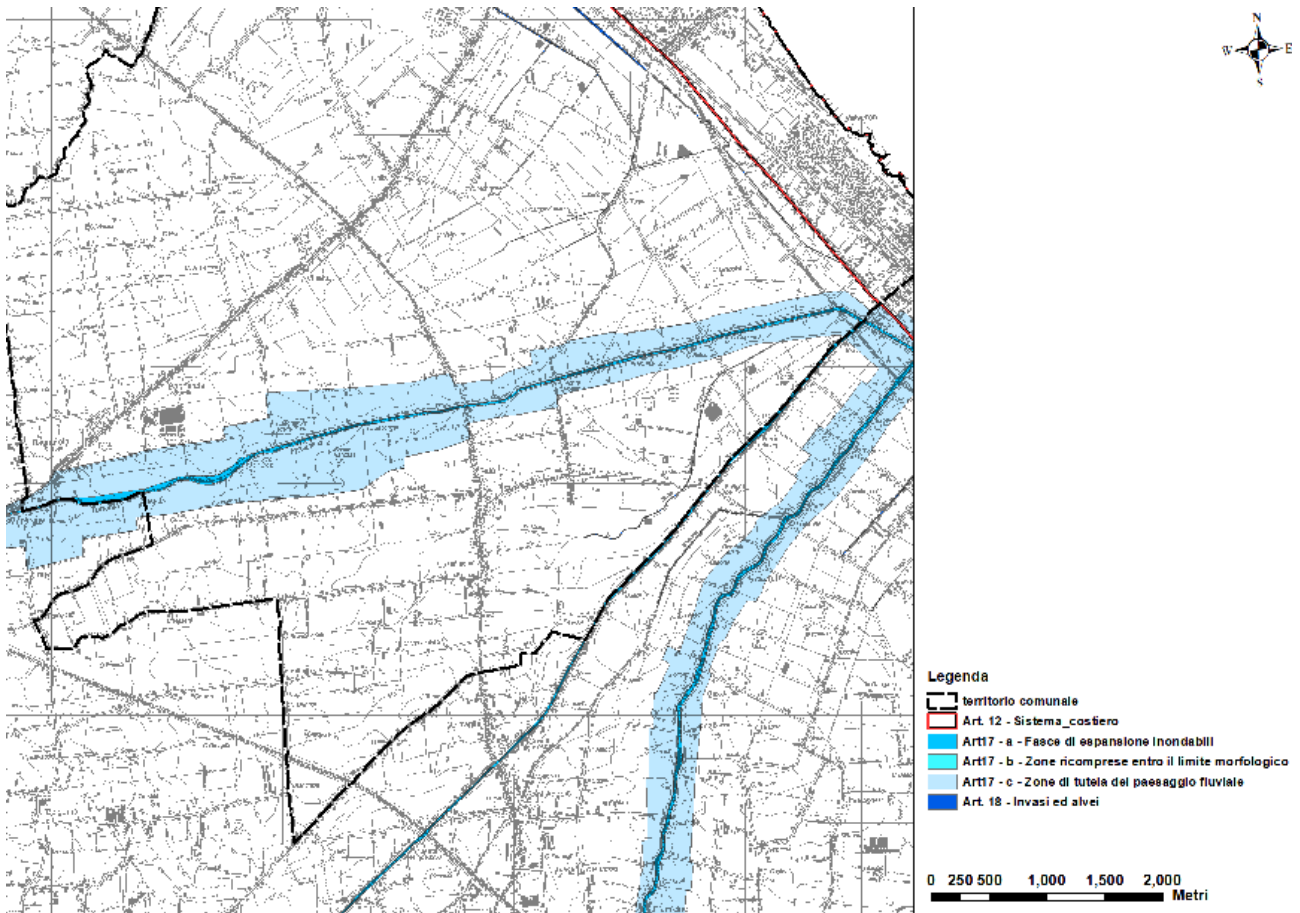


Figura 9 - estratto della tavola 2 del PTCP - Zonizzazione Paesistica - dettaglio del corso del torrente Pisciatello

L'articolo 17 procede innanzitutto alla zonizzazione su tre livelli, di cui interessano il territorio comunale i primi due "Fasce di espansione inondabili" e "Zone ricomprese entro il limite morfologico".

Ai sensi dell'art. 18 si individuano gli "Invasi ed alvei di laghi, bacini e corsi d'acqua" che includono, oltre al corso del Pisciatello, anche i canali di bonifica e scolo presenti all'interno del territorio comunale, a monte ed all'interno dell'abitato principale (Figura 7).

| ° Documento:               | Foglio |    |    |    | Rev.: |    |    |    |
|----------------------------|--------|----|----|----|-------|----|----|----|
| PUG pericolosità idraulica | 18     | di | 81 | 07 |       | 24 | 11 | 20 |



COMUNE DI  
CESENATICO

Gli articoli indicano gli usi ed interventi ammissibili e vietati, dettando linee di indirizzo e vincoli specifici per la pianificazione comunale; per una articolata disamina di tali aspetti si rimanda alla lettura integrale del testo.

### 2.3 IL PIANO STRALCIO PER IL RISCHIO IDROGEOLOGICO

Il 5 dicembre 2016 la Giunta regionale ha approvato con la DGR 2112/2016 la "Variante di coordinamento tra il Piano di Gestione del Rischio di Alluvioni e il Piano Stralcio per il Rischio Idrogeologico".

Si tratta di una variante cartografica e normativa che ha inteso allineare ed armonizzare i contenuti del Piano Stralcio previgente redatto dall'Autorità dei Bacini Regionali Romagnoli (attualmente soppressa al pari di tutte Autorità di bacino nazionali, interregionali e regionali dal D.M. 25 ottobre 2016 e confluita nell'Autorità di bacino distrettuale del Fiume Po) con le successive modifiche ed i contenuti integrati e derivati a seguito della elaborazione ed approvazione del Piano di Gestione del Rischio di Alluvioni (Deliberazione n. 235 del 3 marzo 2016 dai Comitati Istituzionali Integrati). Gli elaborati della "Variante PAI-PGRA" sono stati integrati alla pianificazione previgente con un testo coordinato che raccoglie tutte le modifiche dalla data di impianto del Piano Stralcio all'attualità; verranno di seguito analizzate le norme specifiche riferite al rischio idraulico relativo del territorio del Comune di Cesenatico, facendo riferimento alle perimetrazioni vigenti ed ai relativi articoli.

Come già discusso la parte normativa del PGRA è sostanzialmente demandata ai PAI previgenti, ancorché aggiornati e coordinati nella cornice del PGRA, le perimetrazioni dei PAI, tradotte all'interno del PGRA, si accompagnano quindi a disposti normativi che vengono di seguito brevemente riassunti.

Secondo il vigente Piano Stralcio per il Rischio Idrogeologico, l'intero territorio comunale ricade in un'area di potenziale allagamento, mappata ai sensi dell'Art. 6 (Figura 10), mentre all'interno dell'alveo del Torrente Pisciatello sono vigenti i disposti dell'art. 2ter (alvei), come riportato in dettaglio in Figura 11. L'area più prossima alla Costa è infine soggetta agli artt. 15 e 16, relativi ai diversi gradi di rischio costiero (Figura 12) introdotti dalle analisi del Piano di Gestione del Rischio Alluvioni PGRA.

| ° Documento:               | Foglio |    |    |    | Rev.: |  |    |    |    |  |
|----------------------------|--------|----|----|----|-------|--|----|----|----|--|
|                            |        | di |    |    |       |  |    |    |    |  |
| PUG pericolosità idraulica | 19     | di | 81 | 07 |       |  | 24 | 11 | 20 |  |



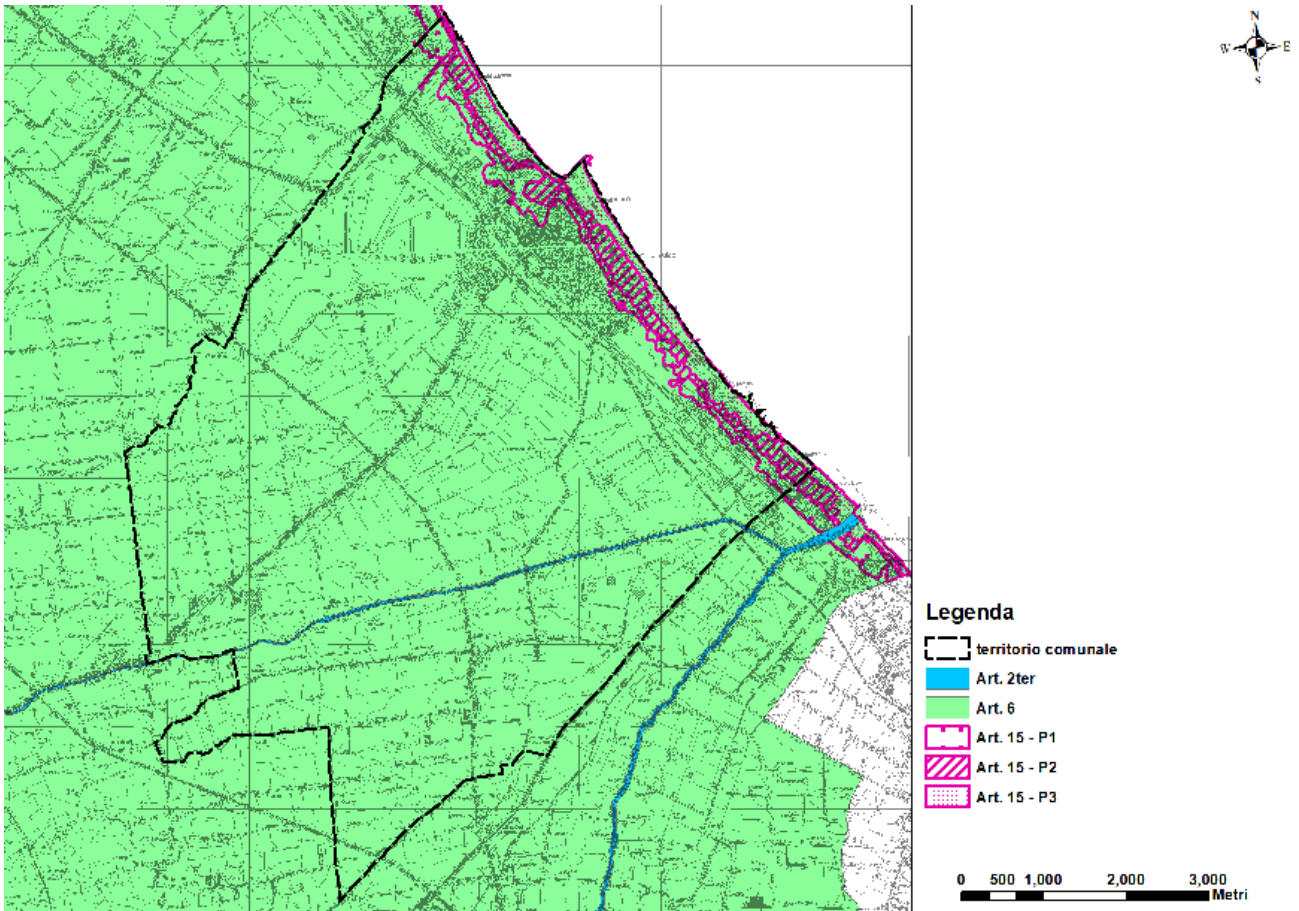
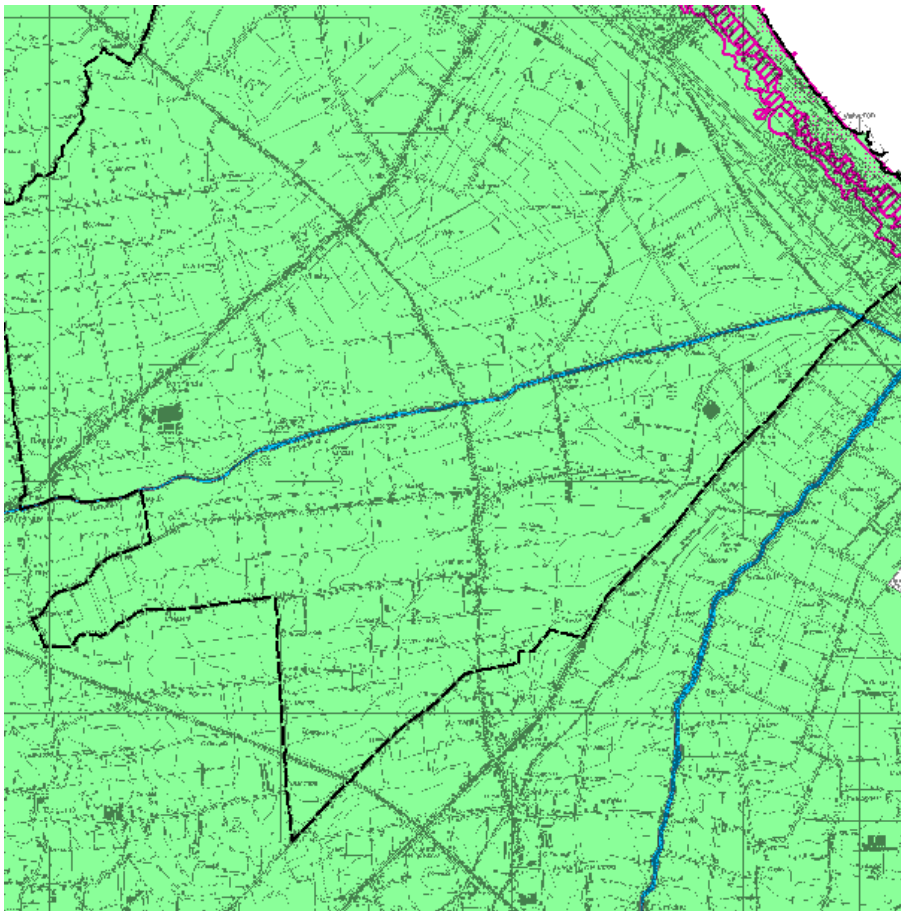


Figura 10 - perimetrazioni ai sensi del Piano Stralcio per il Rischio Idrogeologico

| ° Documento:               | Foglio |    |    |    | Rev.: |    |    |    |  |
|----------------------------|--------|----|----|----|-------|----|----|----|--|
|                            |        |    |    |    |       |    |    |    |  |
| PUG pericolosità idraulica | 20     | di | 81 | 07 |       | 24 | 11 | 20 |  |



**Legenda**

- territorio comunale
- Art. 2ter
- Art. 6
- Art. 15 - P1
- Art. 15 - P2
- Art. 15 - P3

0 250 500 1,000 1,500 2,000  
Metri

Figura 11 - perimetrazioni ai sensi del Piano Stralcio per il Rischio Idrogeologico - dettaglio del corso del Torrente Pisciatello

| ° Documento:               | Foglio |    |    |    | Rev.: |  |    |    |    |  |
|----------------------------|--------|----|----|----|-------|--|----|----|----|--|
|                            |        |    |    |    |       |  |    |    |    |  |
| PUG pericolosità idraulica | 21     | di | 81 | 07 |       |  | 24 | 11 | 20 |  |

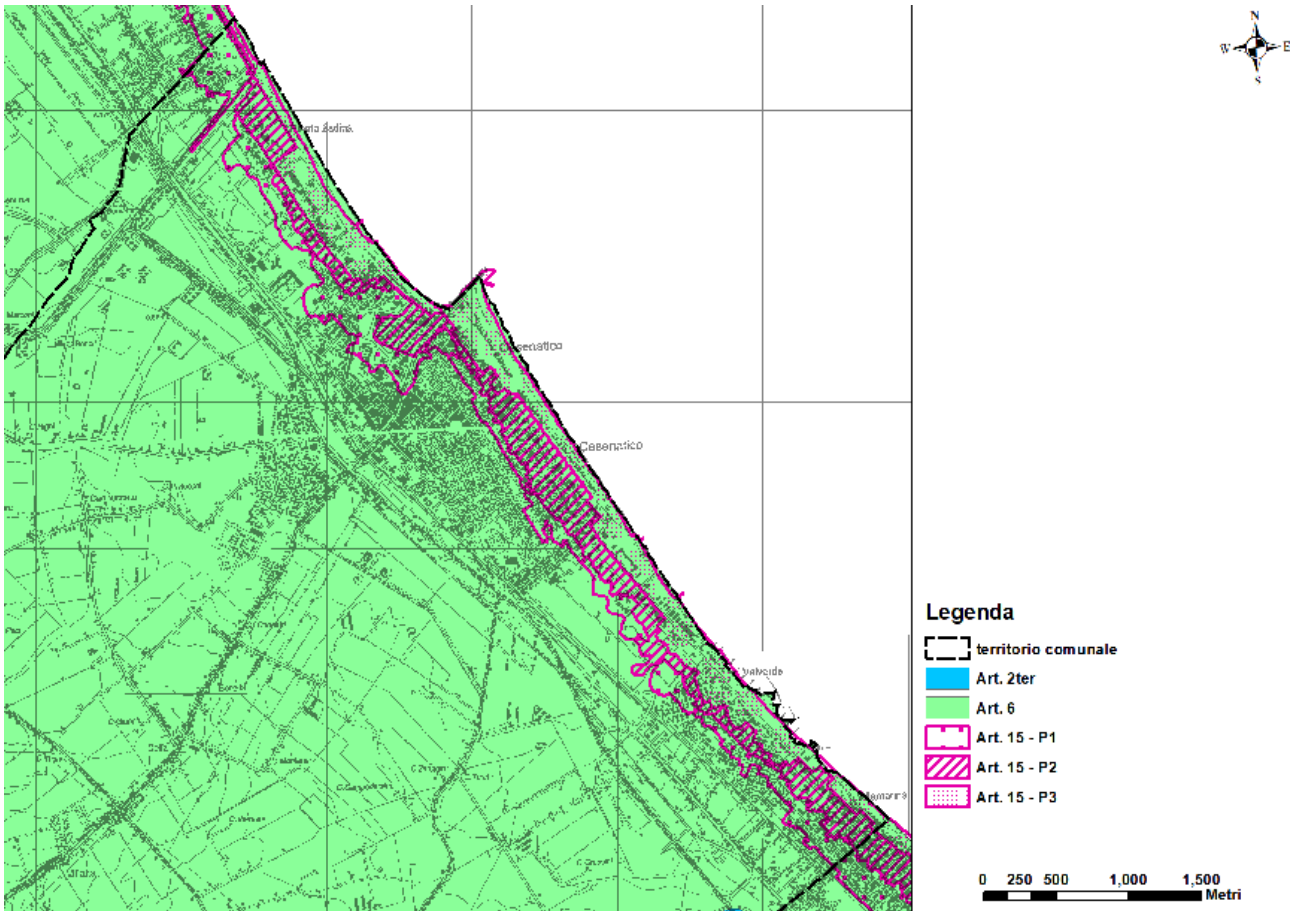


Figura 12 - perimetrazioni ai sensi del Piano Stralcio per il Rischio Idrogeologico - dettaglio dell'area di costa

Per quanto riguarda l'articolo 2ter, relativo all'alveo del Torrente Pisciatello, sono stabiliti gli interventi vietati ed ammessi, con specifico richiamo anche agli indirizzi per la disciplina dei capanni per la pesca sportiva per i quali si richiamano i "Criteri e indirizzi per i programmi ittici provinciali e la disciplina dei capanni per la pesca sportiva e ricreativa nel parco regionale del Delta del Po".

L'articolo 6 è relativo alle Aree di potenziale allagamento, *nelle quali si riconosce la possibilità di allagamenti a seguito di piene del reticolo minore e di bonifica, nonché di sormonto degli argini da parte di piene dei corsi d'acqua principali di pianura, in corrispondenza di piene con tempo di ritorno non superiore ai 200 anni, senza apprezzabili effetti dinamici.* Tale articolo di fatto comprende l'intero territorio comunale; ed introduce la mappatura dei "tiranti idrici di riferimento", mappati nella

| ° Documento: | Foglio                     |    |    |    | Rev.: |  |    |    |
|--------------|----------------------------|----|----|----|-------|--|----|----|
|              | PUG pericolosità idraulica | 22 | di | 81 | 07    |  | 24 | 11 |



"Direttiva per le verifiche e il conseguimento degli obiettivi di sicurezza idraulica", approvata con Delibera Comitato Istituzionale n. 3/2 del 20/10/2003" e s. m. e i. (di seguito anche solo "Direttiva idraulica") che fornisce anche indicazioni riguardo agli accorgimenti tecnico-costruttivi e ai diversi gradi di cautela da adottare in funzione dei tiranti idrici di riferimento, come protezione dall'evento e/o riduzione della vulnerabilità. Tali accorgimenti hanno valore prescrittivo da parte dei comuni in sede di approvazione dei progetti e di autorizzazione degli interventi.

I tiranti idrici di riferimento, introdotti dall'articolo 6, sono riportati nella mappa seguente; all'interno del territorio comunale i maggiori tiranti si localizzano immediatamente a monte della SS16, con valori massimi dell'ordine di circa 3.10 m in corrispondenza del confine con il Comune di Cervia.

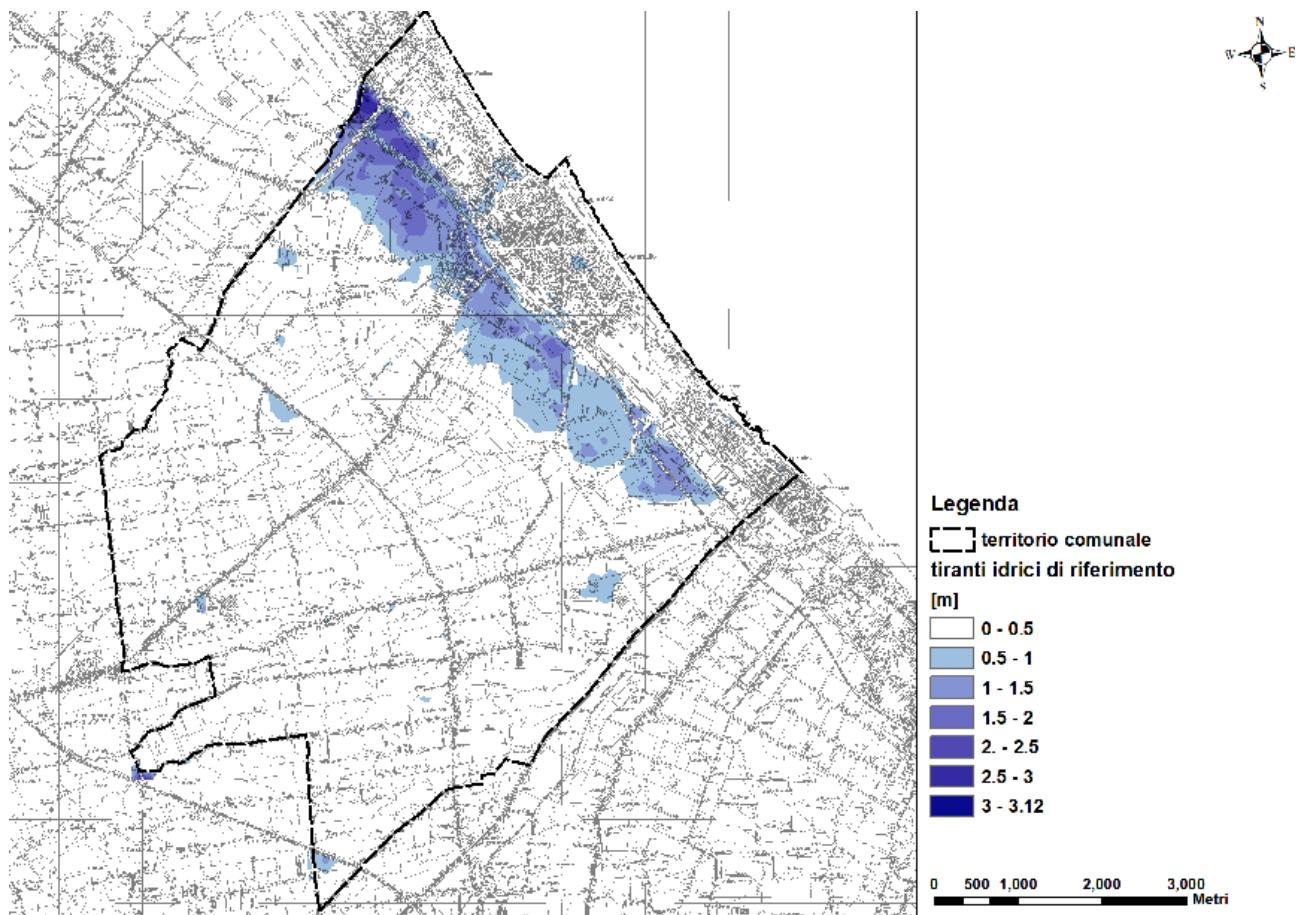


Figura 13 - tiranti idrici di riferimento per il territorio comunale

| ° Documento:               | Foglio |    |    |    | Rev.: |    |    |    |
|----------------------------|--------|----|----|----|-------|----|----|----|
| PUG pericolosità idraulica | 23     | di | 81 | 07 |       | 24 | 11 | 20 |



COMUNE DI  
CESENATICO

Gli articoli 15 e 16 fanno parte del titolo IV della Normativa del Piano Stralcio, recentemente introdotto con la variante di coordinamento con il PGRA, e si riferiscono all'analisi del rischio in ambito costiero. Oltre alla suddivisione in tre fasce di pericolosità da P1 a P3, si individuano per la pianificazione comunale l'obbligo di aggiornare i Piani di emergenza ai fini della Protezione Civile, di assicurare la congruenza dei propri strumenti urbanistici con il quadro della pericolosità di inondazione e di promuovere interventi finalizzati alla riduzione della vulnerabilità. L'articolo detta anche indicazioni tecniche specifiche (elevazione totale della superficie del mare di assegnato tempo di ritorno di riferimento) rispetto ai quali i comuni, nell'ambito delle procedure autorizzative di loro competenza in materia di interventi edilizi ed infrastrutturali, devono richiedere l'adozione di specifiche misure di riduzione della vulnerabilità.

È interessante notare come la pianificazione del PAI abbia natura innanzitutto prestazionale, e come gli strati conoscitivi e le perimetrazioni cui si accompagnano le prescrizioni più stringenti (tiranti di pianura ed elevazione a mare ad esempio) ammettano che si possa operare un aggiornamento con variante alle stesse per mutate condizioni (quali la messa in sicurezza di parti del territorio) o anche solo per nuove conoscenze di tipo idrologico e idraulico o topografico.

### 3 INDIRIZZI SPECIFICI NELLA PIANIFICAZIONE DI BACINO E REGIONALE SULLE AZIONI DA INTRAPRENERE E PR GLI APPROFONDIMENTI LOCALI

La componente normativa della pianificazione di bacino, riassunta nelle norme di piano del [PAI-PGRA](#) e nella [Direttiva idraulica](#) fornisce sia indicazioni cogenti che possibilità di approfondimenti per la pianificazione comunale sugli aspetti del rischio idraulico, di seguito sinteticamente richiamati, propedeutici alla formulazione di proposte per le norme di piano.

Di seguito si individuano gli indirizzi ed i limiti che tali normative offrono alla pianificazione di livello comunale suddividendole nei principali aspetti esaminati in relazione al rischio idraulico ovvero:

- Invarianza idraulica ( controllo degli apporti d'acqua alle reti)
- Tiranti idrici di pianura (pericolosità idraulica fluviale)
- Pericolosità idraulica di origine costiera

| ° Documento:               | Foglio |    |    | Rev.: |  |  |    |    |    |
|----------------------------|--------|----|----|-------|--|--|----|----|----|
|                            |        |    |    |       |  |  |    |    |    |
| PUG pericolosità idraulica | 24     | di | 81 | 07    |  |  | 24 | 11 | 20 |



La LR 24/2017 tocca anch' essa alcuni degli argomenti specifici sul rischio idraulico ed in particolare **(art. 21)** evidenzia come il PUG, nella propria strategia, debba perseguire finalità di *miglior equilibrio idrogeologico e la funzionalità della rete idraulica superficiale, anche attraverso il contenimento dell'impermeabilizzazione dei suoli e la dotazione di spazi idonei alla ritenzione e al trattamento delle acque meteoriche, al loro riuso o rilascio in falda o nella rete idrica superficiale* .

la legge prevede anche il possibile utilizzo dei proventi da titoli abilitativi e sanzioni possano essere per finalità di riduzione del rischio idraulico,

la **strategia** del PUG ( art 34 ) deve considerare in modo espresso le condizioni di rischio anche in proiezione *Climate change (...incremento della resilienza del sistema abitativo rispetto ai fenomeni di cambiamento climatico* con le relative strategie di adattamento.)

Il quadro entro cui si muove la pianificazione comunale, per quanto attiene il rischio idraulico è indirizzato dalla Legge urbanistica regionale e dalle disposizioni della pianificazione distrettuale e vincolato in particolare da quest'ultima, cui si farà riferimento nel seguito per evidenziare gli approfondimenti sui temi principali per il redigendo PUG.

### 3.1.1 INVARIANZA IDRAULICA E CONTROLLO DEGLI APPORTI D'ACQUA

L'argomento è trattato nelle NTA del PAI -PGRA ( art.8) e nella Direttiva idraulica ( capitoli 7 e 8) , alla cui lettura si rimanda.

In estrema sintesi definitiva la norma indirizza il Comune a promuovere modalità di progettazione e di intervento che vadano oltre il semplice rispetto della norma di invarianza idraulica vigente (sulla cui applicazione occorre comunque vigilare), nella direzione di una maggiore capacità di invaso e di infiltrazione.

Gli approfondimenti svolti con la presente analisi di seguito introdotti (quali la mappa dei tiranti e delle aree a maggior contributo al *runoff* superficiale in caso di eventi intensi) forniscono una informazione utile a supporto degli interventi specifici, che il Comune potrà introdurre in tale direzione, e della Val.S.A.T

| ° Documento:               | Foglio |    |    | Rev.: |  |  |    |    |    |
|----------------------------|--------|----|----|-------|--|--|----|----|----|
|                            |        | di |    |       |  |  |    |    |    |
| PUG pericolosità idraulica | 25     | di | 81 | 07    |  |  | 24 | 11 | 20 |



COMUNE DI  
CESENATICO

### 3.1.2 TIRANTI IDRICI DI RIFERIMENTO – ALLAGAMENTO PLUVIALE, FLUVIALE E COSTIERO

Le attuali norme del PAI-PGRA considerano l'allagamento di tipo **fluviale** alla base della mappatura dei tiranti idrici di riferimento, la Direttiva idraulica dettaglia le indicazioni per la progettazione degli interventi offrendo però apprezzabili margini di miglioramento alla pianificazione comunale.

In Comune di Cesenatico vige in sostanza il solo articolo 6 sulle aree di potenziale allagamento descritte dai tiranti idrici di riferimento e non vi sono perimetrazioni di aree ex. Artt. 3-4 ( arre a moderata ed elevata probabilità di esondazione) o art. 10 (Distanze di rispetto dai corpi idrici ).

L'argomento è trattato nelle NTA del PAI -PGRA (art.6) e nella Direttiva idraulica ( capitolo 6), cui si rimanda.

La norma riconosce al Comune la facoltà di perfezionare la mappatura esistente della pericolosità idraulica di pianura e di fornire indicazioni specifiche ed ulteriori nei propri regolamenti.

Gli approfondimenti svolti con la presente analisi illustrati nei paragrafi successivi (in particolare le mappe dei tiranti *pluvial e fluvial* ad alta risoluzione) permettono di aggiornare e sostituire la mappatura attualmente vigente del PAI -PGRA. Inoltre, esse permettono di descrivere in maggior dettaglio e con riferimento a diversi tempi di ritorno le due diverse sorgenti di pericolosità per elaborare ulteriori prescrizioni e richieste di approfondimenti specifici in caso di nuovi interventi e per la mitigazione del rischio sull'esistente.

Per quanto riguarda la pericolosità idraulica lungo la **costa**, infine, le NTA la trattano all' articolo 16, cui si rimanda, prevedendo obblighi per la Amministrazione sia in relazione alla compatibilità dei propri pini ,sia durante la autotrazione di interventi sul territorio

Oltre all' aggiornamento delle aree allagabili per assegnata pericolosità ( da P3 P1), con indicazione del tirante atteso da *flooding* costiero , le analisi di seguito introdotte offrono la stessa informazione anche in proiezione climatica. Ciò permette al Comune da un lato di valutare propri interventi di messa in sicurezza permanenti o temporanei adeguatamente resilienti, dall'altro di autorizzare gli interventi locali allorquando se ne dimostri la coerenza con gli scenari di pericolosità suddetti, ed infine di dare indicazioni anche per la mitigazione del rischio sull'edificato esistente.

## 4 MAPPATURA AGGIORNATA DELLA PERICOLOSITÀ IDRAULICA

| ° Documento:               | Foglio |    |    |    | Rev.: |  |    |    |    |  |
|----------------------------|--------|----|----|----|-------|--|----|----|----|--|
|                            |        |    |    |    |       |  |    |    |    |  |
| PUG pericolosità idraulica | 26     | di | 81 | 07 |       |  | 24 | 11 | 20 |  |



#### 4.1 INTRODUZIONE

La mappatura del pericolo idraulico (“*Hazard*”) determinato da potenziali eventi costieri, fluviali e meteorici intensi, può essere condotta a seconda del livello di complessità con strumenti di modellistica idrodinamici numerici o con metodi semplificati.

Gli approcci idrodinamici numerici sono in grado di riprodurre con accuratezza la fisica di propagazione dell’allagamento sul terreno e simularne l’evoluzione temporale in termini di battente idraulico e velocità di avanzamento attraverso la risoluzione delle equazioni di *Navier-Stokes* o delle *Shallow Water* (Saint Venant) con metodi numerici (differenze finite, elementi finiti). Tra i modelli disponibili e maggiormente utilizzati in applicazioni costiere e di tipo fluviale abbiamo i codici HEC-RAS, Telemac, Anuga, Mike 22, LISFLOOD, etc.

Questo approccio risulta molto oneroso sia dal punto di vista computazionale e spesso soffre di problemi di stabilità o convergenza numerica. Inoltre, se da una parte consente di rappresentare l’idrodinamica dell’allagamento dall’altra richiede la discretizzazione del dominio di calcolo in celle perdendo in qualche modo il dettaglio offerto dai modelli digitali del terreno ad alta risoluzione.

Questi approcci complessi sono inoltre del tutto inapplicabili in situazioni in cui si vogliono analizzare molteplici scenari ad esempio legati a pianificazioni territoriali o ai piani di adattamento e mitigazione del cambiamento climatico.

Una versione semplificata dei modelli *fully 2D* è rappresentata dai cosiddetti modelli di allagamento non-inerziali che possono essere sviluppati secondo uno schema di tipo raster (*raster-based*). Questo approccio offre un guadagno in termini di riduzione dei tempi di calcolo e la sua applicazione diventa possibile anche su ampie aree territoriali. Tra i modelli disponibili, sicuramente LISFLOOD-FP (Bates et al. 2010) è il modello maggiormente utilizzato con applicazioni anche su scala Europea (Dottori et al 2016).

Tuttavia, sebbene i modelli non inerziali rappresentino un passo in avanti nella semplificazione e riduzione dei tempi di calcolo, risultano sempre complessi soprattutto in situazioni in cui si vogliono analizzare ampie aree di studio mantenendo una elevata risoluzione spaziale.

| ° Documento:               | Foglio |    |    | Rev.: |  |  |    |    |    |  |
|----------------------------|--------|----|----|-------|--|--|----|----|----|--|
|                            |        | di |    |       |  |  |    |    |    |  |
| PUG pericolosità idraulica | 27     | di | 81 | 07    |  |  | 24 | 11 | 20 |  |



COMUNE DI  
CESENATICO

L'approccio modellistico utilizzato per le analisi di allagamento costiero, fluviale e pluviale per l'analisi dello stato di fatto e degli scenari di progetto connessi con il Piano Stralcio Comunale del Comune di Cesenatico (FC), è quello rappresentato dai modelli 0-D o *DEM-based* classificati come idrostatici. Se da una parte questa classe di modelli non si occupa di descrivere nel dettaglio la fisica dell'idrodinamica dell'allagamento dall'altra consente di rappresentare la fotografia a fine evento sfruttando al massimo l'alta risoluzione spaziale dei modelli digitali del terreno tra cui i LIDAR.

Se da una parte la perdita dei dettagli legati all'evoluzione idrodinamica può essere considerata un problema in applicazioni di dettaglio, ad es. supporto alla progettazione di strutture idrauliche o regimazione delle acque, dall'altra consente di essere idonea ad applicazioni in cui le variabili idrodinamiche non sono fondamentali ma interessa esclusivamente studiare e mappare nel dettaglio le potenziali aree soggette ad allagamento e fornire un supporto decisionale ai processi di pianificazione urbanistica comunale.

Di seguito si descrivono nel dettaglio gli approcci modellistici utilizzati per la mappatura del pericolo idraulico da eventi costieri, fluviali e pluviali utilizzati a supporto del quadro conoscitivo e progettuale del PUG del Comune di Cesenatico.

| ° Documento:               | Foglio |    |    |    | Rev.: |  |    |    |    |  |
|----------------------------|--------|----|----|----|-------|--|----|----|----|--|
|                            |        |    |    |    |       |  |    |    |    |  |
| PUG pericolosità idraulica | 28     | di | 81 | 07 |       |  | 24 | 11 | 20 |  |



## 4.2 MODELLO INONDAZIONE COSTIERA

In questo paragrafo si descrivono le ipotesi, i dati e i modelli utilizzati per simulare scenari storici e futuri determinati da eventi di allagamento costieri ovvero determinati dall'ingressione marina all'interno della pianura di Cesenatico.

Il paragrafo descrive in primo luogo il modello *raster-based* sviluppato ed utilizzato nelle analisi modellistiche, quindi i dati di input del modello e gli scenari caratteristici delle inondazioni costiere sia in condizioni storiche che per le proiezioni future determinate dal cambiamento climatico, dalla subsidenza e dalle previsioni di progetto del PUG.

### 4.2.1 MODELLO SEMPLIFICATO SAFER\_COAST

Il modello denominato Safer\_COAST è stato sviluppato da GECO sistema S.r.l.

Safer\_COAST è un modello idrostatico 0-D in grado di mappare l'estensione ed il battente idraulico associato ad uno specifico evento di allagamento costiero caratterizzato da uno specifico Extreme Sea Level ovvero livello del medio mare.

Il modello scritto in codice *python* è in grado di propagare la quota del livello del mare a partire da un punto (pixel) sorgente localizzato in mare aperto verso tutti i pixel della terraferma che sono idraulicamente connessi al punto sorgente ed hanno una quota inferiore o uguale alla quota del mare in esame. L'equazione che segue descrive le regole alla base di propagazione dell'allagamento dal punto sorgente all'interno dell'area di studio:

$$F_{x,y} = \begin{cases} E_{x,y} \leq S, 1 \\ E_{x,y} > S, 0 \end{cases} \cdot C_i$$

Dove F è una funzione binomiale (1) allagato o (0) non allagato, E è l'altezza topografica fornita dal DEM/Lidar alla posizione x,y; S è il livello del mare che si vuole propagare, C rappresenta la regola di connessione idraulica nelle diverse direzioni ("*zero-side rule*", "*four-side rule*", or "*eight-side rule*"). Con riferimento alla figura seguente, dato un livello marino di riferimento pari a 1 m, si ha che:

- "*zero-side rule*": tutte le celle del raster con quota minore o uguale al livello di riferimento risultano allagate

| ° Documento:               | Foglio |    |    | Rev.: |  |  |    |    |    |  |
|----------------------------|--------|----|----|-------|--|--|----|----|----|--|
| PUG pericolosità idraulica | 1      | di | 81 | 07    |  |  | 24 | 11 | 20 |  |



- b. “four-side rule”: le celle del raster a quota inferiore o uguale al livello di riferimento risultano allagate solo se connesse al mare direttamente oppure tramite celle adiacenti lungo le direzioni cardinali
- c. “eight-side rule”: le celle del raster a quota inferiore o uguale al livello di riferimento risultano allagate solo se connesse al mare direttamente oppure tramite celle adiacenti sia lungo le direzioni cardinali, sia in direzione diagonale

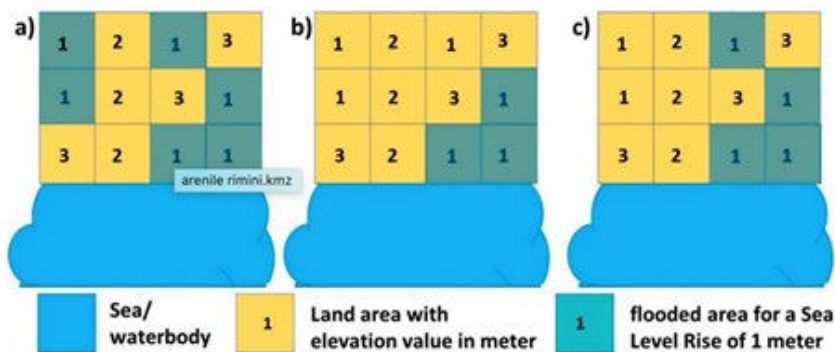


Figura 14 - regole di connessione idraulica nelle diverse direzioni

La mappa delle aree allagate è ottenuta dall’insieme di tutti i pixel della pianura che rispettano le seguenti regole topologiche:

1. Sono idraulicamente connessi al pixel sorgente dell’allagamento da mare
2. La quota del pixel è inferiore al livello del mare alla sorgente

Il modello Safer\_COAST è stato sviluppato utilizzando librerie raster python (Gdal) e sfruttando l’algebra delle matrici (numpy, numba) (Tomlin, 1990), questi modelli vengono classificati come *region-growing*, *watershed segmentation* (Meyer and Beucher (1990), Soille and Ansoult (1990)) o *cellular automata*.

#### 4.2.2 IPOTESI E LIMITI

Le ipotesi principali del modello Safer\_COAST per la mappatura delle aree di pericolosità idraulica costiera sono le seguenti:

1. Propagazione del livello del medio/estremo mare ipotizzando un volume di acqua infinito

|                            |        |    |    |       |  |  |    |    |    |
|----------------------------|--------|----|----|-------|--|--|----|----|----|
| ° Documento:               | Foglio |    |    | Rev.: |  |  |    |    |    |
| PUG pericolosità idraulica | 2      | di | 81 | 07    |  |  | 24 | 11 | 20 |





2. Il terreno è considerato impermeabile e si trascurano i processi di infiltrazione sia naturali che della rete fognaria
3. i risultati relativi all'estensione delle aree allagate rappresentano lo stato del fenomeno dopo un tempo teoricamente infinito, in questo caso non si possono considerare i pixel allagati per fenomeni di rigurgito
4. l'acqua si muove da una cella connessa all'altra secondo la regola di connessione D8

Il limite principale di questo approccio è che, essendo idrostatico, non consente di simulare i fenomeni fisici dinamici dell'allagamento costiero e non permette di avere informazioni sulla velocità di avanzamento del fronte di allagamento e simulare nel dettaglio fenomeni di *overtopping* delle difese costiere caratterizzati da allagamenti con volumi di acqua limitati.

Le simulazioni condotte con il codice Safer\_COAST sono state validate e confrontate con il modello idrodinamico 3D ANUGA (<https://anuga.anu.edu.au/>).

#### 4.2.3 DATI DI INPUT

Il modello semplificato Safer\_COAST richiede solo due dati di input principali:

1. Modello digitale del terreno ad alta risoluzione DEM/LiDAR
2. Livelli estremi di altezza del mare sia per scenari di riferimento storici con assegnato tempo di ritorno sia per proiezioni future che considerino gli effetti del cambiamento climatico e della subsidenza antropica

##### 4.2.3.1 DEM/LIDAR

il modello digitale del terreno deriva dal rilievo LIDAR effettuato dalla Regione e dal ministero dell'Ambiente nell'ambito del "Progetto piano straordinario di telerilevamento", avviato con la legge 179/2002 e mirato a potenziare le conoscenze in ambito territoriale. In particolare, i dati utilizzati sono stati realizzati nel corso del 2008-2009 con voli aerei e strumentazione LiDAR aviotrasportata per le aste fluviali del reticolo principale.

Tale rilievo è fornito come raster *geotiff* con risoluzione di circa 1 m (2m lungo la fascia costiera). Il DTM presenta un'accuratezza altimetrica corrispondente a  $\pm 15$  cm, mentre per l'accuratezza planimetrica l'errore deve essere contenuto entro  $\pm 30$  cm, secondo le specifiche ministeriali. Nel corso del 2019 l'Autorità di Bacino Distrettuale del Fiume Po ha effettuato con le stesse specifiche un secondo rilievo

| ° Documento:               | Foglio |    |    | Rev.: |  |  |    |    |    |  |
|----------------------------|--------|----|----|-------|--|--|----|----|----|--|
| PUG pericolosità idraulica | 3      | di | 81 | 07    |  |  | 24 | 11 | 20 |  |



COMUNE DI  
CESENATICO

lungo la fascia costiera (in presenza di duna invernale) che è stato utilizzato ad integrazione del LiDAR precedente.

Il LiDAR acquisito è stato successivamente oggetto delle seguenti operazioni di *pre-processing* al fine di renderlo maggiormente rappresentativo delle condizioni di topografia reale:

1. Estrusione delle quote degli edifici, con assegnazione di quota costante e pari a + 10 m da p.c.: si è utilizzata a tale fine la sagoma vettoriale degli edifici disponibili come *shapefile* a taglio comunale nel Database Topografico Regionale <sup>(1)</sup>
2. Controllo puntuale delle quote della continuità degli argini dei corsi d'acqua connessi al mare, integrando le indicazioni pervenute dalla Consorzi di Bonifica della Romagna sugli interventi di adeguamento arginale intercorsi nell'ultimo decennio ed in fase di completamento.
3. Completamento lungo la linea di costa dei muretti ed opere di difesa presenti lato mare, in base alle quote assegnate in collaborazione con il Comune di Cesenatico, che per il loro spessore non potevano essere riprodotti correttamente nemmeno dal LiDAR.

Ai fini delle simulazioni di allagamento costiero si è ritagliato un dominio di calcolo pari a circa 20 km<sup>2</sup> lungo un tratto di 10 km di costa opportunamente esteso a nord e sud del territorio comunale (mentre per le simulazioni di tipo pluviale e fluviale, di cui si dirà nei prossimi paragrafi, il dominio copre l'intero territorio comunale estendendosi al di fuori di esso sino al primo confine morfologico significativo).

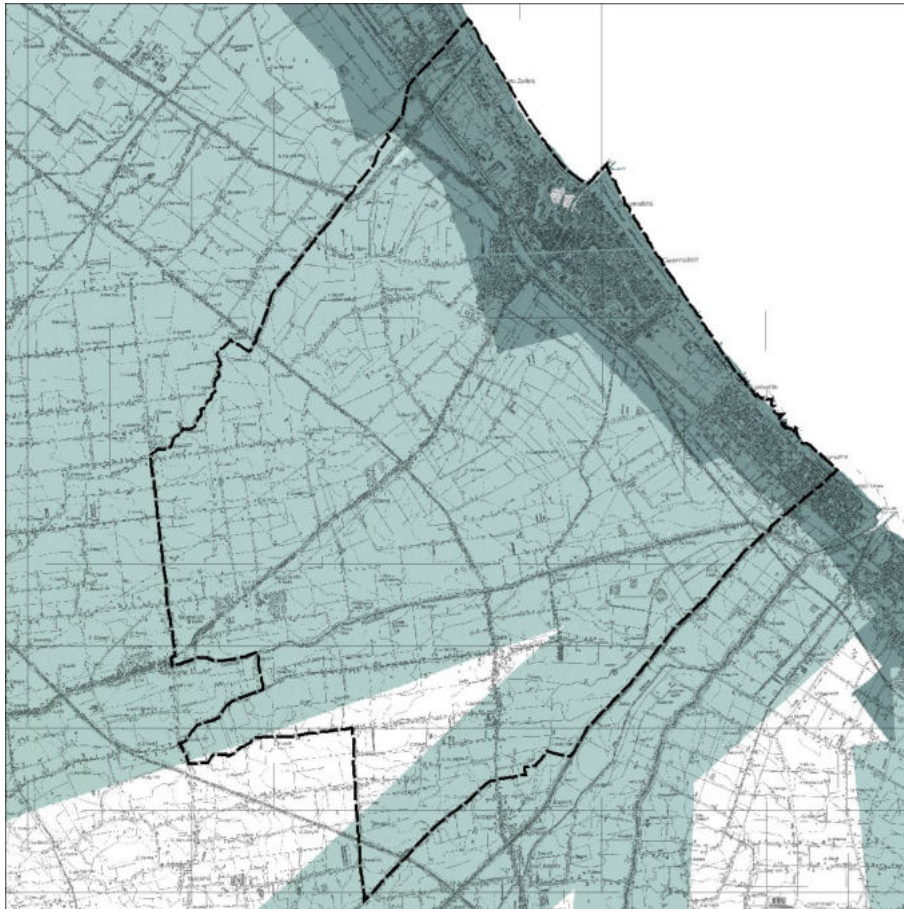
Va notato che non tutto il territorio comunale risulta attualmente coperto da LiDAR. Per una porzione di forma triangolare tra l'autostrada A14 e l'abitato di Sala, rappresentata nell'immagine seguente, si è quindi fatto ricorso al Modello Digitale del Terreno a celle di 5 m x 5 m prodotto dalla Regione Emilia-Romagna, derivato dalle informazioni altimetriche ricavate dalla Carta Tecnica Regionale alla scala 1:5000 e ricampionate ad 1 m per l'integrazione con il rilievo Lidar<sup>2</sup>.

Tale porzione non ha comunque rilevanza per le simulazioni di allagamento costiero.

<sup>1</sup> <http://geoportale.regione.emilia-romagna.it/it/download/it/contenuti/database-topografico-regionale>

<sup>2</sup> <http://geoportale.regione.emilia-romagna.it/it/catalogo/dati-cartografici/altimetria/dtm-5x5>

| ° Documento:               | Foglio |    |    | Rev.: |  |  |    |    |    |  |
|----------------------------|--------|----|----|-------|--|--|----|----|----|--|
|                            |        | di |    |       |  |  |    |    |    |  |
| PUG pericolosità idraulica | 4      | di | 81 | 07    |  |  | 24 | 11 | 20 |  |



**Legenda**

- territorio comunale
- LiDAR risoluzione 1 m
- LiDAR risoluzione 2 m



Figura 15 - parte di territorio coperta da Lidar

|              |                            |   |    |    |       |  |  |    |  |
|--------------|----------------------------|---|----|----|-------|--|--|----|--|
| ° Documento: | Foglio                     |   |    |    | Rev.: |  |  |    |  |
|              | PUG pericolosità idraulica | 5 | di | 81 | 07    |  |  | 24 |  |

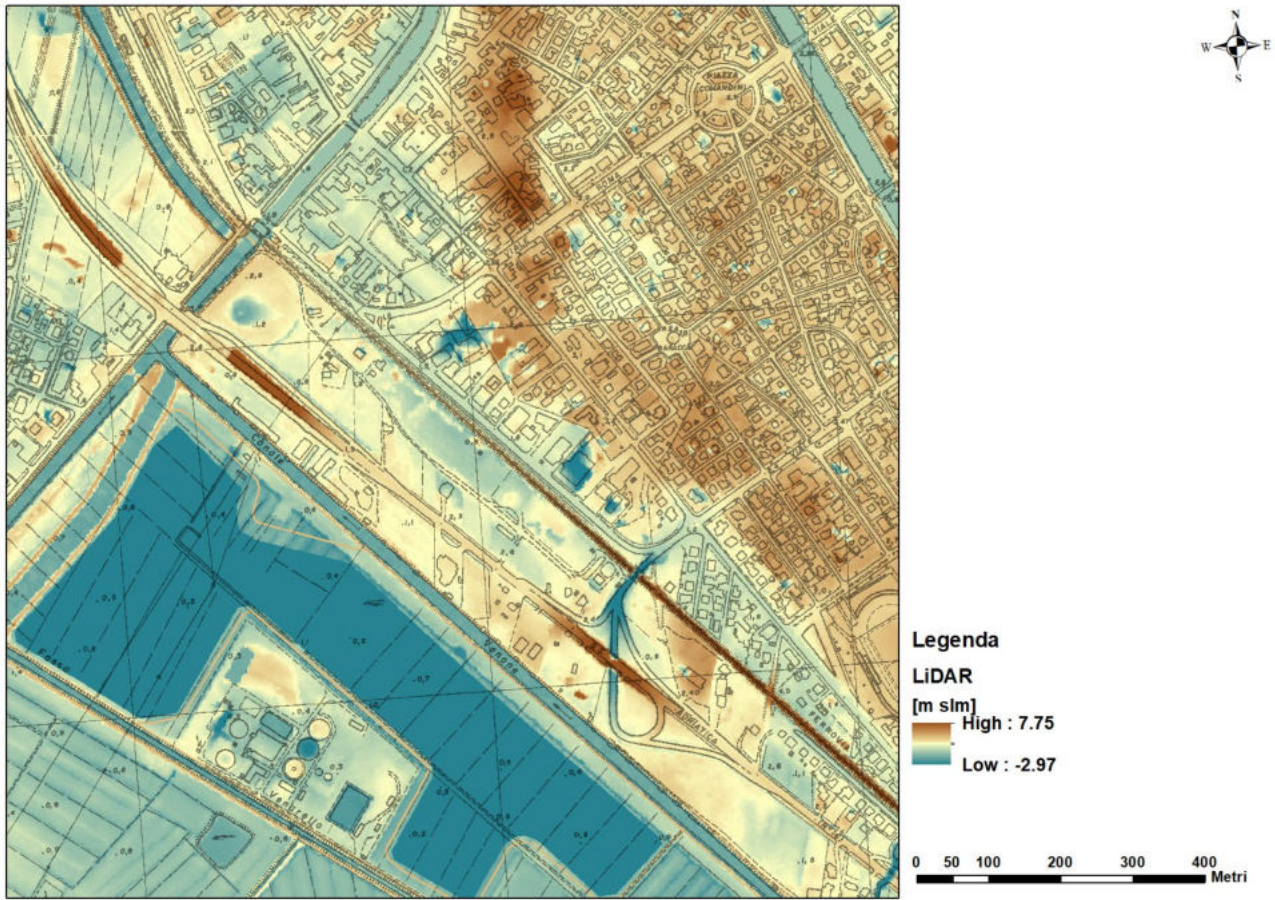


Figura 16 - esempio di DTM lidar a passo 1X 1 m elaborato

|              |                            |   |    |    |       |  |  |    |  |
|--------------|----------------------------|---|----|----|-------|--|--|----|--|
| ° Documento: | Foglio                     |   |    |    | Rev.: |  |  |    |  |
|              | PUG pericolosità idraulica | 6 | di | 81 | 07    |  |  | 24 |  |





Figura 17 - esempio di rilievo Lidar lungo la costa con edifici estrusi, si nota la presenza della duna invernale

#### 4.2.3.2 LIVELLI ESTREMI DEL MARE

In generale l'allagamento di zone costiere è determinato da eventi estremi di livello del mare (ESL Extreme Sea Level) che sono innescati dalla combinazione dei seguenti fattori: maree astronomiche e forzanti meteorologiche come basse pressioni (*Storm Surge*) o prolungati venti, questi due fenomeni sono denominati *Episodic Extreme Water Level* (EEWL). Per analisi di scenario sul lungo termine sono anche importanti i fenomeni di innalzamento del medio mare (MSL *Mean Sea Level*) determinati sia dai movimenti verticali del suolo per effetto della subsidenza (VLM) sia per effetto dei cambiamenti climatici (SLR).

| ° Documento:               | Foglio |    |    | Rev.: |  |    |       |
|----------------------------|--------|----|----|-------|--|----|-------|
| PUG pericolosità idraulica | 7      | di | 81 | 07    |  | 24 | 11 20 |

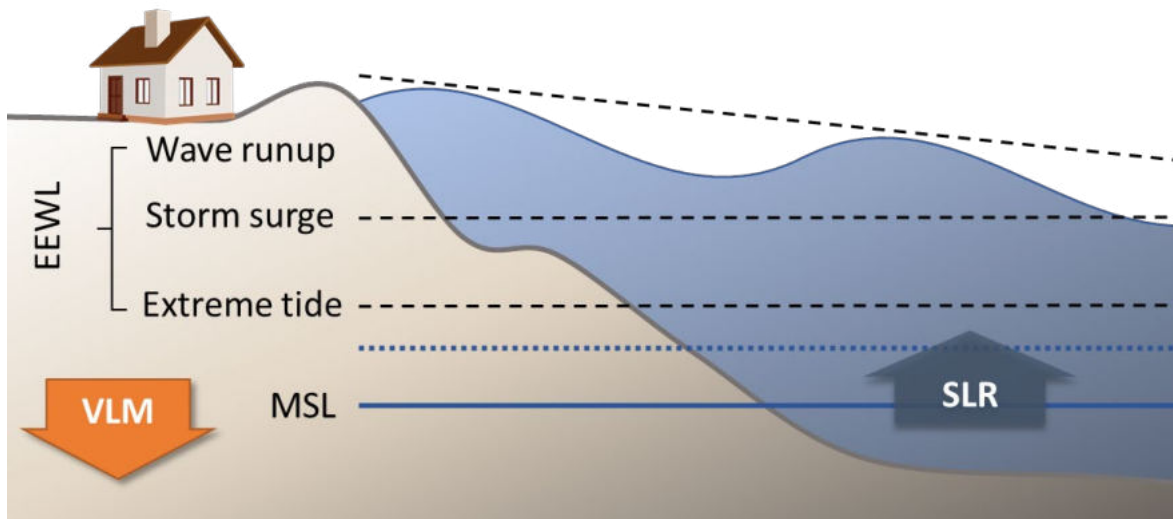


Figura 18 – Componenti per l’analisi degli eventi estremi di livello del mare (ESL)

### Movimento verticale del suolo VLM

La stima del contributo del movimento verticale del suolo VLM per effetto dei fenomeni di subsidenza sia di origine antropica che naturale sono non trascurabili in tutta la fascia costiera adriatica dell’Emilia-Romagna.

In particolare, le velocità di abbassamento del suolo osservate tramite interferometria SAR multi-temporale negli ultimi decenni (Gambolati *et al.* 1998; Antonioli *et al.* 2017; Polcari *et al.* 2018; Solari *et al.* 2018) spesso mostrano valori di gran lunga superiori rispetto a quelli di subsidenza naturale: nella pianura costiera del Po, dove il sistema acquifero è stato ampiamente sfruttato per uso agricolo, industriale e civile dal boom industriale del dopoguerra, la subsidenza osservata è circa un ordine di grandezza maggiore. Dagli anni '70, tuttavia, con l'arresto dei prelievi delle acque sotterranee, la subsidenza antropogenica è stata fortemente ridotta o arrestata, ma molti degli effetti indotti rimangono (Carbognin *et al.* 2009).

Le indagini geodetiche condotte dal 1953 al 2003 lungo la costa di Ravenna hanno mostrato un abbassamento complessivo del suolo superiore a 1 m in alcuni siti, a causa delle attività di estrazione del gas naturale. I tassi medi di subsidenza osservati per il periodo 2006-2011 lungo la costa dell'Emilia-Romagna sono di circa 5 mm/anno, superando i 10 mm/anno nelle zone a ridosso della costa delle aree

| ° Documento:               | Foglio |    |    |    | Rev.: |  |    |    |    |
|----------------------------|--------|----|----|----|-------|--|----|----|----|
| PUG pericolosità idraulica | 8      | di | 81 | 07 |       |  | 24 | 11 | 20 |



di Cesenatico e Rimini e superando i 20-50 mm/anno a Ravenna (Carbognin *et al.* 2009; Perini *et al.* 2017). Questa notevole differenza tra i tassi di subsidenza naturali e le osservazioni produrrebbe un effetto drammatico sugli scenari SLR stimati: ai tassi attuali, Rimini vedrebbe un innalzamento nel livello del medio mare di 15 cm nel 2050 e di oltre 40 cm nel 2100 indipendentemente da ogni altro effetto dovuto ai cambiamenti climatici (SLR). Poiché questi tassi sono collegati all'attività umana, non è possibile prevedere esattamente come cambieranno a lungo termine.

| Area       | Tectonic<br>[mm/yr] | GIA<br>[mm/yr] | VLM<br>[mm/yr] | Observed<br>[mm/yr] | $\Delta$ VLM<br>2050 [m] | $\Delta$ VLM<br>2100 [m] |
|------------|---------------------|----------------|----------------|---------------------|--------------------------|--------------------------|
| Ravenna    | -0.60               | -0.07          | -0.67          | -2                  | -0.06                    | -0.16                    |
| Cesenatico | -0.86               | -0.11          | -0.97          | -5                  | -0.15                    | -0.40                    |
| Rimini     | -0.86               | -0.11          | -0.97          | -5                  | -0.15                    | -0.40                    |

Tabella 2 - velocità complessive di subsidenza come combinazione dei fenomeni di movimento tettonico e fenomeni isostatici, velocità osservate e differenze relative al 2050 ed al 2100

### Livello Medio del Mare

La disponibilità di lunghe serie storiche dei livelli di marea lungo la costa adriatica settentrionale consente di valutare in modo affidabile le variazioni di RSL: dal 1890 al 2007 i dati mostrano un aumento dei livelli dovuto a fenomeni di tipo eustatico pari a 1.2 mm/anno, in buon accordo con l'aumento eustatico misurato in altre stazioni del Mediterraneo (Tsimpis and Rixen 2002; Carbognin *et al.* 2009).

Il cambiamento nel livello del medio mare (MSL) considera la componente isostatica come risultato delle simulazioni di modelli di circolazione globale, ottenuta combinando le proiezioni derivanti da quattro modelli climatici globali riguardanti l'espansione termica marina, disponibili per i diversi scenari di emissione globale RCP, con l'aggiunta dei contributi stimati da calotte glaciali e ghiacciai (Hinkel *et al.* 2014) e le proiezioni delle velocità di subsidenza (Peltier 2004). La media dei risultati dei modelli viene scelta per rappresentare ciascuno scenario di emissione globale RCP per ogni passo temporale. Si prevede che l'aumento nel bacino del Mediterraneo sia di circa 0.2 m entro il 2050 e tra 0.5 e 0,7 m entro il 2100, rispetto alla media storica (1970-2004). Il cambiamento ha una piccola variabilità ( $\pm 2$  cm) tra i siti pilota. Va notato che tali proiezioni non tengono conto delle peculiari caratteristiche continentali del settore poco profondo dell'Adriatico settentrionale, nel quale i parametri idrodinamici e oceanografici risultano influenzati anche dall'afflusso di acqua dolce (Zanchettin *et al.* 2007).

| ° Documento:               | Foglio |    |    | Rev.: |  |  |    |    |    |
|----------------------------|--------|----|----|-------|--|--|----|----|----|
| PUG pericolosità idraulica | 9      | di | 81 | 07    |  |  | 24 | 11 | 20 |



COMUNE DI  
CESENATICO

### **Episodic Extreme Water Level EEWL**

Gli eventi episodici di livello marino estremo (Episodic Extreme Water Level - EEWL) rappresentano il contributo maggiore durante un evento di allagamento ESL. La definizione di scenari EEWL per il caso in esame è stata ottenuta dall'analisi dei registri delle maree e delle osservazioni di eventi estremi ottenuti da studi locali (Perini et al. 2011, 2012, 2017; Masina et al. 2015; Armaroli e Duo 2018) (altriVE).

La tabella 3 mostra il contributo relativo di ciascun componente all'evento stimato per ogni scenario di Tempo di Ritorno (Return Period - RP), insieme all'effetto di marea massimo stimato. Secondo quanto riportato in (Tsimplis et al. 2012), la forzante atmosferica ha contribuito in modo significativo alla variabilità del livello del mare per il periodo dal 1960 in poi; dato che allo stato attuale non ci sono prove evidenti di potenziali cambiamenti nell'intensità della forzante meteorologica nei prossimi decenni (Lionello 2012), si suppone che l'intensità degli eventi EEWL considerati rimanga invariata fino a 2100.

### **Extreme Sea Level**

Nella tabella che segue si riportano i valori di Extreme Sea Level ESL ovvero livelli estremi del medio mare sia per gli scenari storici che nelle condizioni di proiezione futura al 2050 e 2100.

| ARPAE-PERINI historical ESL summary |           |           |           |          |         |         |          | 2050_avg |      |      | 2100_avg |      |      |
|-------------------------------------|-----------|-----------|-----------|----------|---------|---------|----------|----------|------|------|----------|------|------|
| RP                                  | Total ESL | SSL (max) | High tide | W Set-up | Wave Hs | Wave Ts | Duration | SLR      | VLM  | ESL  | SLR      | VLM  | ESL  |
| [Years]                             | [m]       | [m]       | [m]       | [m]      | [m]     | [m]     | [h]      | [m]      | [m]  | [m]  | [m]      | [m]  | [m]  |
| 1                                   | 1.20      | 0.60      | 0.40      | 0.20     |         |         |          | 0.14     | 0.19 | 1.53 | 0.53     | 0.44 | 2.17 |
| P3-10                               | 1.50      | 0.80      | 0.40      | 0.30     | 4.70    | 8.90    | 42       | 0.14     | 0.19 | 1.83 | 0.53     | 0.44 | 2.47 |
| P2-100                              | 1.80      | 1.00      | 0.40      | 0.40     | 5.90    | 9.90    | 55       | 0.14     | 0.19 | 2.13 | 0.53     | 0.44 | 2.77 |
| P1-200                              | 2.50      | 1.40      | 0.40      | 0.70     |         |         |          | 0.14     | 0.19 | 2.83 | 0.53     | 0.44 | 3.47 |

**Tabella 3 - Livelli Extreme Sea Levels ESL – dati storici e proiezioni future**

#### **4.2.4 RISULTATI E SCENARI MODELLO ALLAGAMENTO SAFER\_COAST**

In questo paragrafo vengono descritti gli scenari di allagamento costiero considerati come rappresentativi sia dello stato di fatto che di alcuni scenari di progetto associati all'implementazione delle previsioni del PUG del Comune di Cesenatico.

| ° Documento:               | Foglio |    |    |    | Rev.: |  |    |    |    |
|----------------------------|--------|----|----|----|-------|--|----|----|----|
| PUG pericolosità idraulica | 10     | di | 81 | 07 |       |  | 24 | 11 | 20 |





COMUNE DI  
CESENATICO

Per quanto riguarda lo stato di fatto, si è presa in considerazione l'orografia del territorio prossimo alla costa, così come rappresentato nel LiDAR del 2019 e con le integrazioni di dettaglio relative in particolare alle quote degli argini come discusso nel paragrafo precedente.

Si nota come il LiDAR del 2019 disponibile nel territorio di Cesenatico include la presenza della duna artificiale costiera di protezione invernale lungo ampi tratti dell'arenile, tuttavia essa presenta alcune discontinuità che ai fini della propagazione dei livelli ESL consentono all'inondazione di propagarsi al di là della duna e quindi allagare la pianura retrostante.

Per quanto riguarda gli scenari di ESL simulati di fa riferimento agli scenari storici del PGRA denominati P1, P2 e P3 e anche agli scenari futuri proiettati al 2050 e 2100 come riportati nella Tabella 4.

Le mappe riportate in Tabella 5 e riportate in allegato rappresentano sia l'estensione che il battente idraulico associati agli scenari di ESL applicati alla condizione dello stato di fatto e dello stato di progetto.

| Numero | COASTAL | Scenario Stato di Fatto | Scenario di Progetto | Tavole PUG        |
|--------|---------|-------------------------|----------------------|-------------------|
| 1      | P1      | A_P1                    | P_P1                 |                   |
| 2      | P2      | A_P2                    | P_P2                 |                   |
| 3      | P3      | A_P3                    | P_P3                 |                   |
| 4      | P1_2050 | <b>A_P1_2050</b>        | P_P1_2050            | <b>Lt4.Ri1</b>    |
| 5      | P2_2050 | <b>A_P2_2050</b>        | P_P2_2050            | <b>Lt4.Ri1/i2</b> |
| 6      | P3_2050 | <b>A_P3_2050</b>        | P_P3_2050            | <b>Lt4.Ri1/i3</b> |
| 7      | P1_2100 | A_P1_2100               | P_P1_2100            |                   |
| 8      | P2_2100 | A_P2_2100               | P_P2_2100            |                   |
| 9      | P3_2100 | A_P3_2100               | P_P3_2100            |                   |

**Tabella 4 – elenco mappe scenari di allagamento costiero- in grassetto gli scenari utilizzati nella creazione delle mappe di piano.**

Analizzando le mappe di allagamento dello stato di fatto ipotizzando che le Porte Vinciane siano chiuse alla quota di 2.2m si osserva come per molti degli scenari di allagamento sia storici che di proiezione future si determinano ampie estensioni dell'allagamento costiero.

In particolare, senza una protezione di duna artificiale costiera con quote superiori ai 2.5m e caratterizzata da una continuità lungo tutta la costa del Comune di Cesenatico, si osserva come solo lo scenario storico P3 con tempo di ritorno 10 anni e ESL=1.5 m determina un allagamento contenuto e

| ° Documento: | Foglio                     |    |    | Rev.: |    |  |  |    |    |
|--------------|----------------------------|----|----|-------|----|--|--|----|----|
|              | PUG pericolosità idraulica | 11 | di | 81    | 07 |  |  | 24 | 11 |



COMUNE DI  
CESENATICO

limitato alla sola zona dell'arenile. Gli scenari P2 e P1 sono invece caratterizzati da un'ampia estensione dell'area allagata che interessa zone anche interne del territorio comunale. Gli scenari futuri al 2050 e 2100 determinano condizioni anche più impattanti dal punto di vista dell'estensione e dei battenti che interessano le aree allagate.

Lo stato di fatto non è in grado, pertanto, di garantire la sicurezza idraulica del territorio comunale, si sottolinea come gli scenari di livello del mare considerati fanno riferimento a situazioni estremamente conservative ipotizzando una durata di evento superiore alle 12 ore e la concomitanza di eventi di massimo livello di marea insieme ai valori massimi di *storm-surge* e contributo del *wave run-up*.

Nello stato di progetto si sono considerati i medesimi scenari sia storici che futuri di ESL con la differenza che l'orografia dell'area in prossimità della costa considera la presenza di barriere realizzate mediante un sistema misto di muretti con paratoie e nuovi sistemi naturali tipo dune che sono in grado di contenere la maggior parte degli scenari di allagamento.

In particolare, lo stato di progetto ipotizza la realizzazione di un sistema di barriere continue con una quota pari a 2.84 m rispetto al livello del mare ( ad esempio duna invernale e muretti) . Per dare continuità alla difesa è chiaro che occorrerebbe innalzare parimenti la quota delle porte vinciane e di tutto il sistema di muretti nella zona del porto canale. Lo scenario ha un valore esplorativo dei benefici che si potrebbero ottenere con una protezione continua id tipo strutturale (permanente o temporanea) come indirizzo a gli interventi comunali per la riduzione della pericolosità idraulica da inondazione costiera.

Le mappe seguenti riportano i tiranti derivanti dalla simulazione degli scenari P1 (Figura 19), P2 (Figura 20) e P3 (Figura 21) nello stato *ante-operam*, relativamente alla parte di territorio compresa fra la SS16 Adriatica e la linea di costa nelle condizioni attuale e nella ipotesi di difesa continua lungo la costa

| ° Documento: | Foglio                     |    |    | Rev.: |    |  |  |    |    |
|--------------|----------------------------|----|----|-------|----|--|--|----|----|
|              | PUG pericolosità idraulica | 12 | di | 81    | 07 |  |  | 24 | 11 |

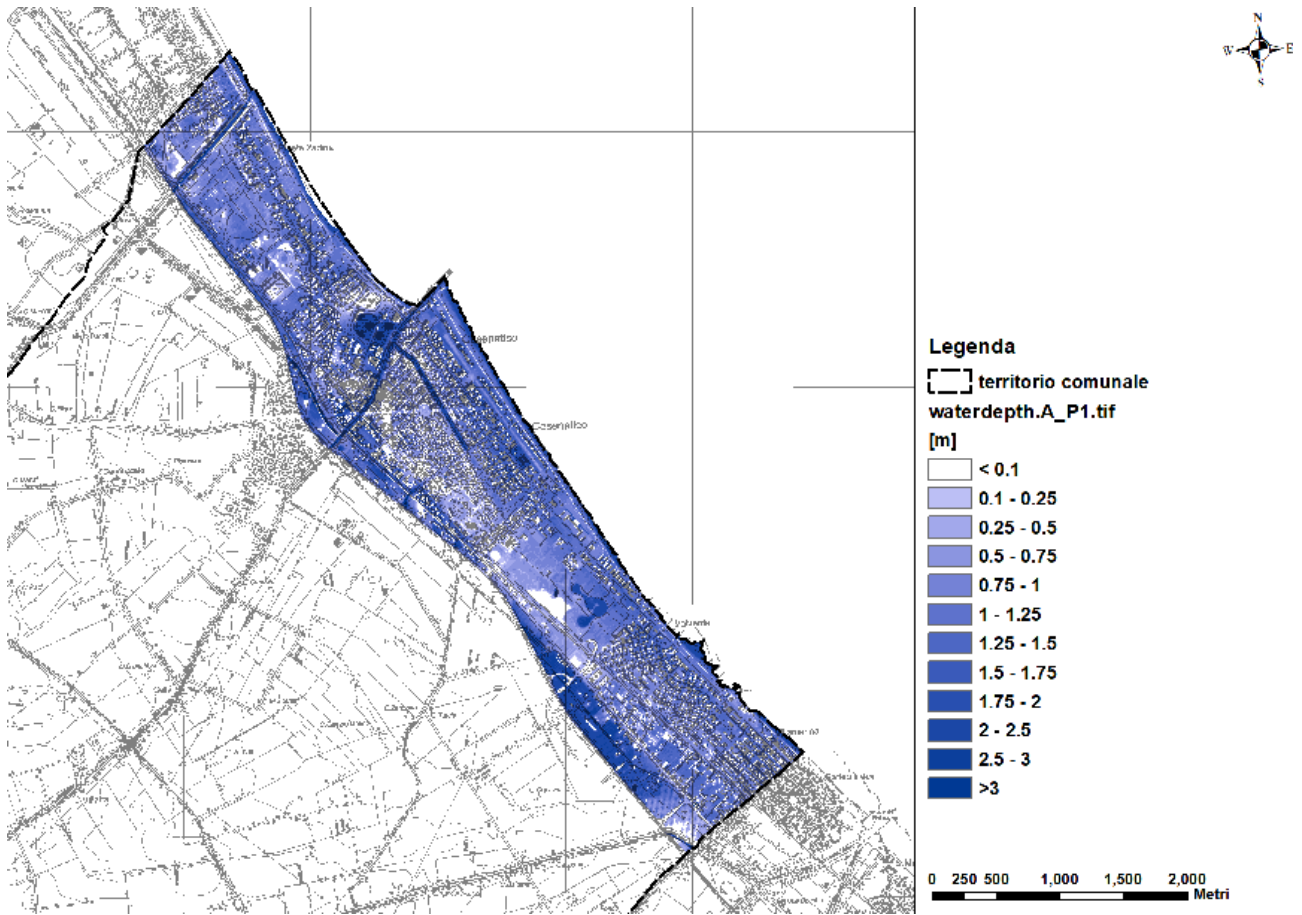


Figura 19 - tiranti nello scenario P1, stato *ante-operam*

|              |                            |    |    |    |       |  |  |    |    |
|--------------|----------------------------|----|----|----|-------|--|--|----|----|
| ° Documento: | Foglio                     |    |    |    | Rev.: |  |  |    |    |
|              | PUG pericolosità idraulica | 13 | di | 81 | 07    |  |  | 24 | 11 |

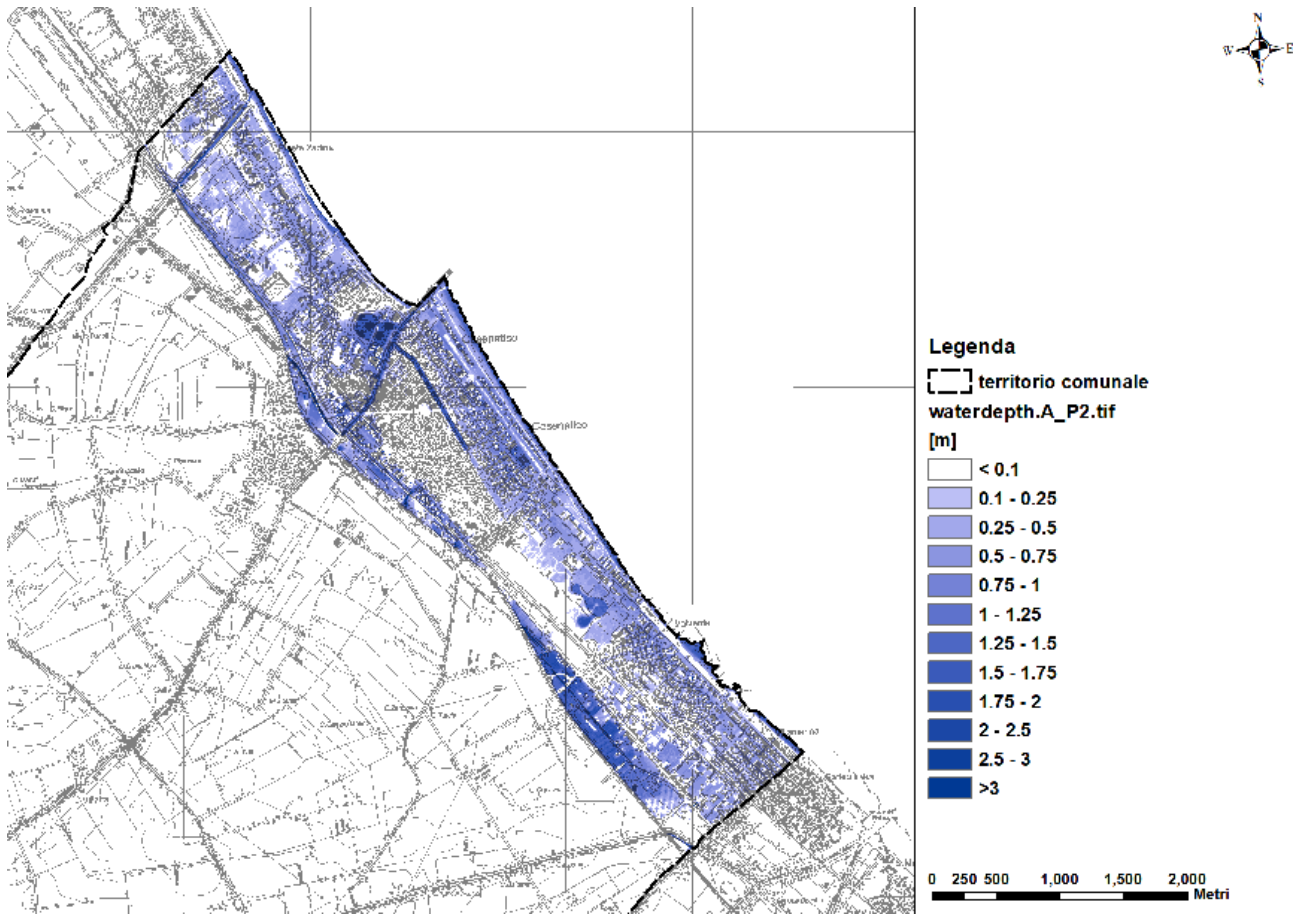


Figura 20 - tiranti nello scenario P2, stato ante-operam

|              |                            |    |    |       |    |  |  |    |  |
|--------------|----------------------------|----|----|-------|----|--|--|----|--|
| ° Documento: | Foglio                     |    |    | Rev.: |    |  |  |    |  |
|              | PUG pericolosità idraulica | 14 | di | 81    | 07 |  |  | 24 |  |

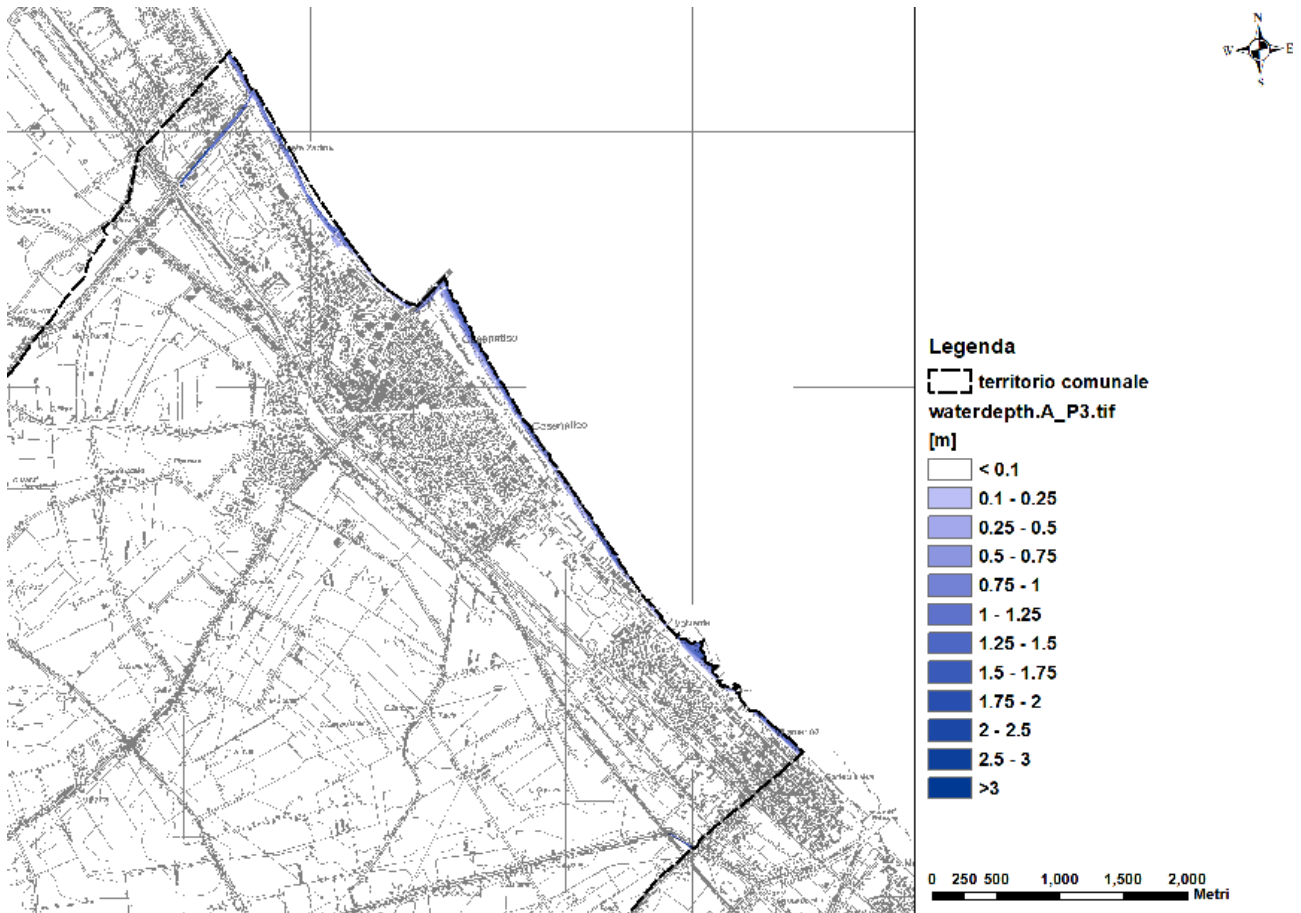


Figura 21 - tiranti nello scenario P3, stato *ante-operam*

Le figure seguenti riportano rispettivamente i tiranti nello stato *post-operam* per lo scenario P1 al 2050 (Figura 22), per lo scenario P2 al 2050 (Figura 23) e per lo scenario P3 al 2100 (Figura 24).

| ° Documento:               | Foglio |    |    |    | Rev.: |  |    |    |    |
|----------------------------|--------|----|----|----|-------|--|----|----|----|
| PUG pericolosità idraulica | 15     | di | 81 | 07 |       |  | 24 | 11 | 20 |



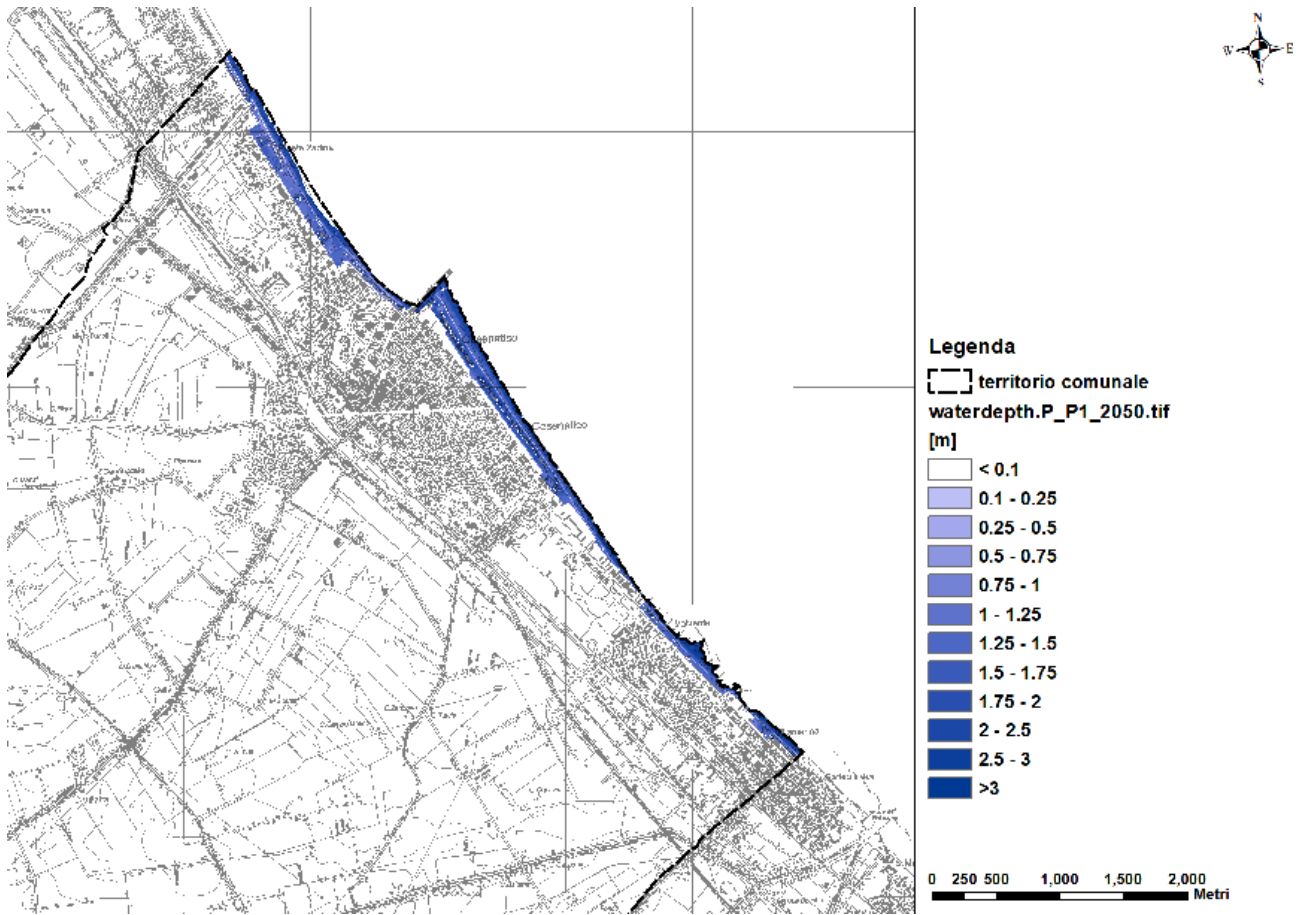


Figura 22 - tiranti nello scenario P1 al 2050, stato *post-operam*

|                            |        |    |    |       |  |  |    |    |    |
|----------------------------|--------|----|----|-------|--|--|----|----|----|
| ° Documento:               | Foglio |    |    | Rev.: |  |  |    |    |    |
| PUG pericolosità idraulica | 16     | di | 81 | 07    |  |  | 24 | 11 | 20 |

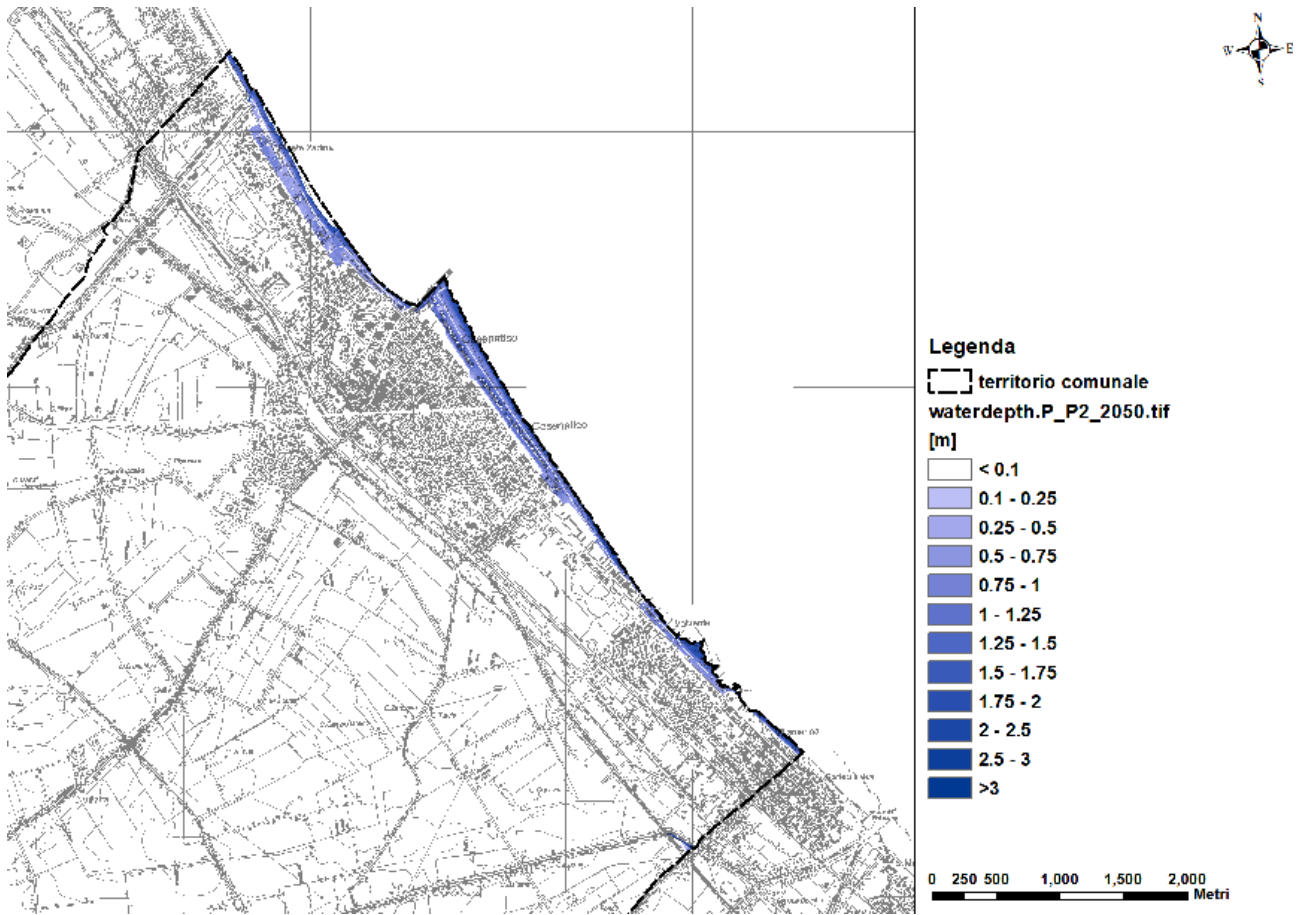


Figura 23 - tiranti nello scenario P2 al 2050, stato *post-operam*

|              |                            |    |    |    |       |  |  |    |  |
|--------------|----------------------------|----|----|----|-------|--|--|----|--|
| ° Documento: | Foglio                     |    |    |    | Rev.: |  |  |    |  |
|              | PUG pericolosità idraulica | 17 | di | 81 | 07    |  |  | 24 |  |

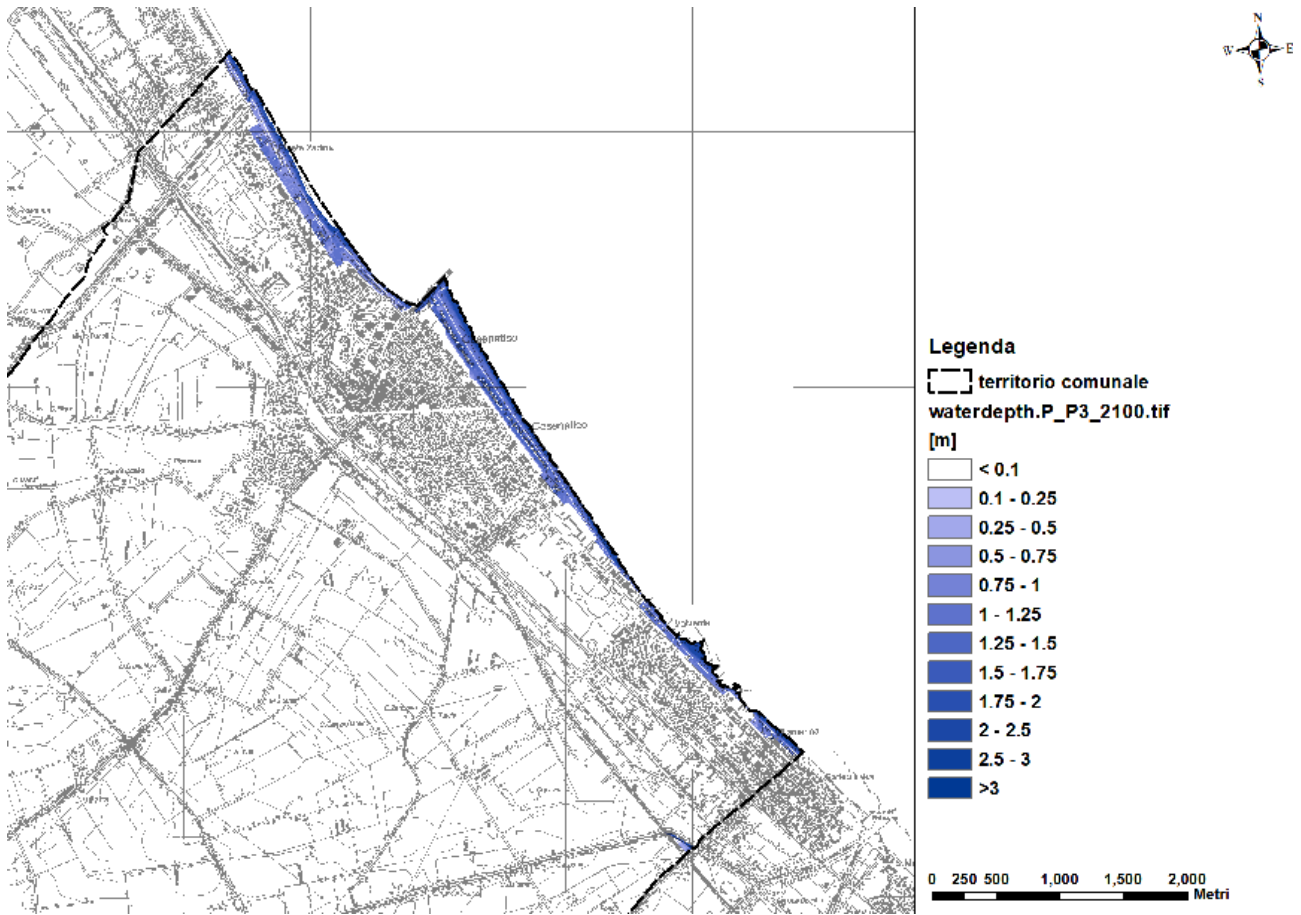


Figura 24 - tiranti nello scenario P3 al 2100, stato *post-operam*

|              |                            |    |    |    |       |  |  |    |    |
|--------------|----------------------------|----|----|----|-------|--|--|----|----|
| ° Documento: | Foglio                     |    |    |    | Rev.: |  |  |    |    |
|              | PUG pericolosità idraulica | 18 | di | 81 | 07    |  |  | 24 | 11 |





COMUNE DI  
CESENATICO

#### 4.2.5 VALIDAZIONE E CONFRONTO CON IL MODELLO NUMERICO ANUGA

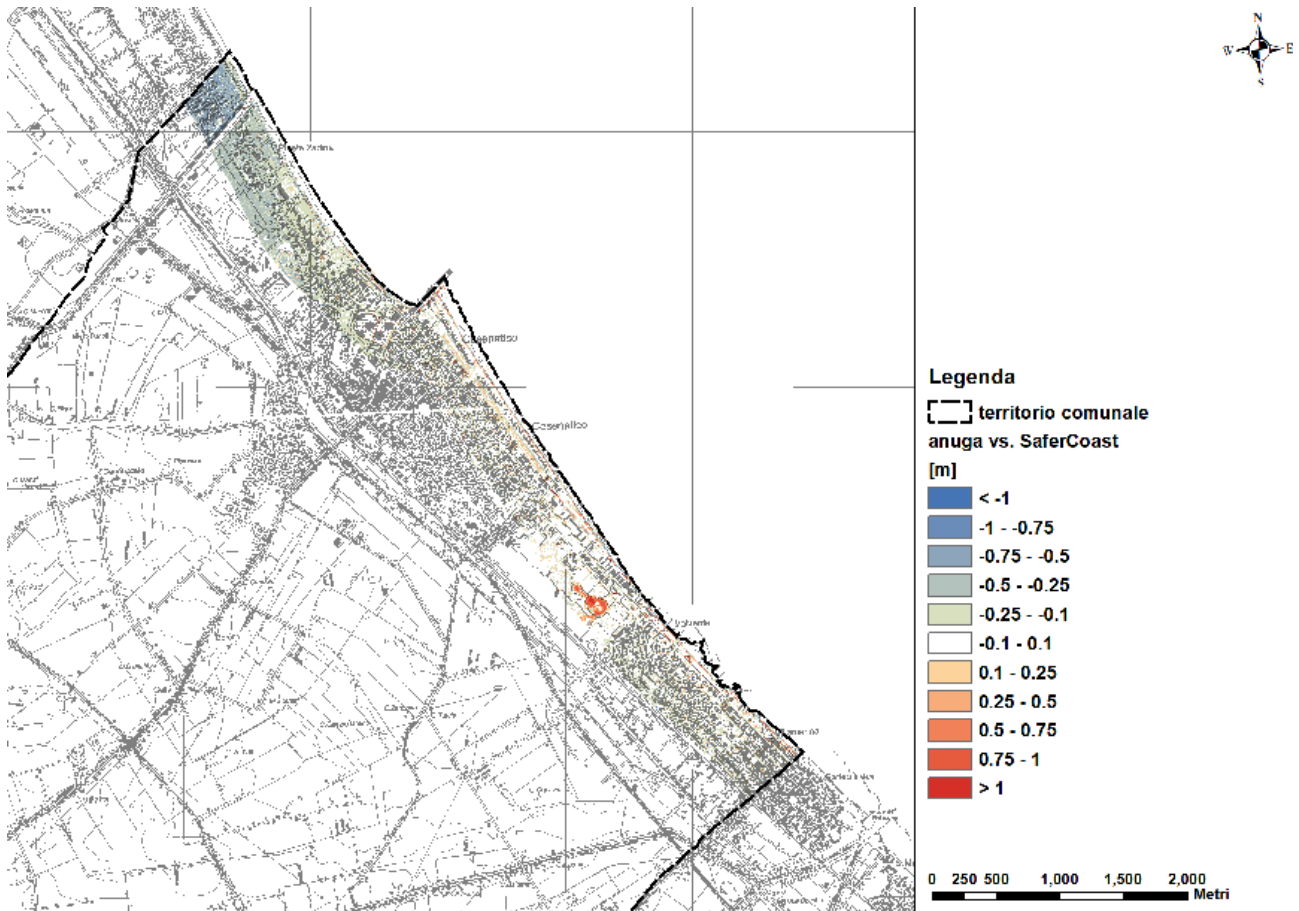
In questo paragrafo si procede nella analisi di benchmarking dei risultati di Safer\_COAST con i risultati di allagamento ottenuti con il modello numerico ANUGA.

ANUGA è un modello idrodinamico 2D gratuito e open source sviluppato dalla Australian National University (ANU) e da Geoscience Australia (GA). Il modello è adatto per la modellazione numerica di eventi idrologici estremi come inondazioni fluviali, mareggiate e inondazioni costiere (Roberts, et al. 2015). La dinamica dei fluidi in ANUGA si basa su un metodo ai volumi finiti per risolvere le equazioni delle onde in acque poco profonde (*shallow waters*), basandosi quindi sulla forma semplificata delle equazioni di continuità e del momento (Zoppou e Roberts, 1999). ANUGA utilizza una griglia triangolare irregolare, consentendo così l'uso di griglie più fini su aree specifiche e fornendo potenzialmente una rappresentazione spaziale più accurata del dominio bidimensionale. Per ogni cella e passo temporale, il modello calcola la superficie dell'acqua, la quota del fondo e il momento orizzontale (lungo gli assi x e y). Le condizioni iniziali in ogni punto *della mesh* del modello ANUGA sono la quota del fondo, l'attrito (coefficiente di scabrezza di Manning, un termine forzante) e il livello dell'acqua (altezza del pelo libero). ANUGA è in grado di simulare la bagnatura e l'asciugatura delle superfici; ciò significa che il modello è adatto per simulare l'inondazione costiera su terra asciutta e attorno/sopra le strutture, quali edifici e strutture di difesa dalle inondazioni. Inoltre, ANUGA è in grado di fornire l'estensione, la profondità, la durata e la velocità di un evento di alluvione costiero, essendo quindi adatto per la valutazione di danni da alluvione multivariati. Come inconveniente, ANUGA richiede una maggiore potenza computazionale, il che significa un processo più lento di valutazione del danno da alluvione e pertanto può non essere adatto per studi probabilistici di valutazione del rischio di alluvione.

Si è proceduto nella simulazione dei medesimi scenari di ESL per lo stato di fatto, qui di seguito si riporta il confronto tra lo scenario P1 al 2050 e ANUGA e le metriche di performance tra i due approcci.

La mappa seguente riporta la differenza fra i tiranti simulati con ANUGA ed i tiranti simulati con Safer\_coast in una fascia di 500 metri dalla linea di costa.

| ° Documento: | Foglio                     |    |    | Rev.: |    |  |  |    |    |
|--------------|----------------------------|----|----|-------|----|--|--|----|----|
|              | PUG pericolosità idraulica | 19 | di | 81    | 07 |  |  | 24 | 11 |



**Figura 25 - differenza fra i tiranti simulati con ANUGA ed i tiranti simulati con SaferCoast**

Come si può vedere nella figura precedente, i risultati fra i due modelli sono sostanzialmente simili, con differenze nei tiranti generalmente di pochi centimetri nelle aree urbane; nella zona di Ponente, a nord dello scolo consorziale Mesola del Montaletto i tiranti generati con Safer\_COAST risultano superiori di circa 50-60 cm rispetto ai risultati di ANUGA, mentre quest'ultimo modello simula tiranti maggiori in corrispondenza del Parco di Levante ed in limitate zone all'interno della fascia urbana. Considerando la fascia di 500 m dalla linea di costa, riportata in Figura 23, escludendo i canali presenti e calcolando la differenza fra i tiranti simulati dai due modelli, risulta che il modello Safer\_COAST simula tiranti mediamente superiori di circa 11 cm rispetto al modello ANUGA.

Qui di seguito sono riportate le mappe di allagamento ottenute con il modello ANUGA

| ° Documento:               | Foglio |    |    |    | Rev.: |  |    |    |    |
|----------------------------|--------|----|----|----|-------|--|----|----|----|
| PUG pericolosità idraulica | 20     | di | 81 | 07 |       |  | 24 | 11 | 20 |

BASELINE



Return Period (years)



Figura 26 – Mappe di allagamento costiero ottenute con il modello ANUGA per diversi tempi di ritorno

|                            |        |    |    |       |  |  |    |    |    |  |
|----------------------------|--------|----|----|-------|--|--|----|----|----|--|
| ° Documento:               | Foglio |    |    | Rev.: |  |  |    |    |    |  |
| PUG pericolosità idraulica | 21     | di | 81 | 07    |  |  | 24 | 11 | 20 |  |



COMUNE DI  
CESENATICO

#### 4.3 MODELLO INONDAZIONE PLUVIALE E FLUVIALE SAFER\_RAIN

Safer\_RAIN è un modello semplificato idrostatico *DEM-based* in grado di mappare l'allagamento da eventi meteorici pluviali ad elevata risoluzione spaziale. Il modello è stato sviluppato insieme ad UNIBO all'interno del progetto di ricerca SaferPLACES finanziato da EIT Climate-KIC.

Safer\_RAIN si basa sulla identificazione delle depressioni (*Bluespots*) topografiche che sono rilevate nei DEM/Lidar ad alta risoluzione e successivamente attraverso algoritmi specifici di *water routing* e di "*hierarchy filling and spilling*" consente di mappare il riempimento delle depressioni in funzione del volume di acqua meteorica che interessa l'area di studio.

Il modello Safer\_RAIN è quindi composto da due set di algoritmi:

- 1) Modelli di Pre-processing del DEM/LiDAR:
  - a) Identificazione delle depressioni, *watersheds*, *pour-points*
  - b) Definizione dell'albero gerarchico sia orizzontale, ovvero delle connessioni idrauliche dalle depressioni da monte verso valle seguendo le *downstream flow-path*,
  - c) Definizione dell'albero gerarchico verticale ovvero del riempimento gerarchico dei livelli all'interno di ogni depressione
- 2) Modelli di Allagamento
  - a) Calcolo della pioggia netta in funzione dei parametri di infiltrazione naturale mediante modello Green-Ampt
  - b) Calcolo dei volumi di acqua di *filling* e *spilling* per ciascuna depressione
  - c) calcolo del livello di riempimento gerarchico verticale della depressione in funzione del volume di acqua

Nella figura che segue si riportano le diversi operazioni implementate nel modello.

| ° Documento: | Foglio                     |    |    | Rev.: |    |  |  |    |    |
|--------------|----------------------------|----|----|-------|----|--|--|----|----|
|              | PUG pericolosità idraulica | 22 | di | 81    | 07 |  |  | 24 | 11 |

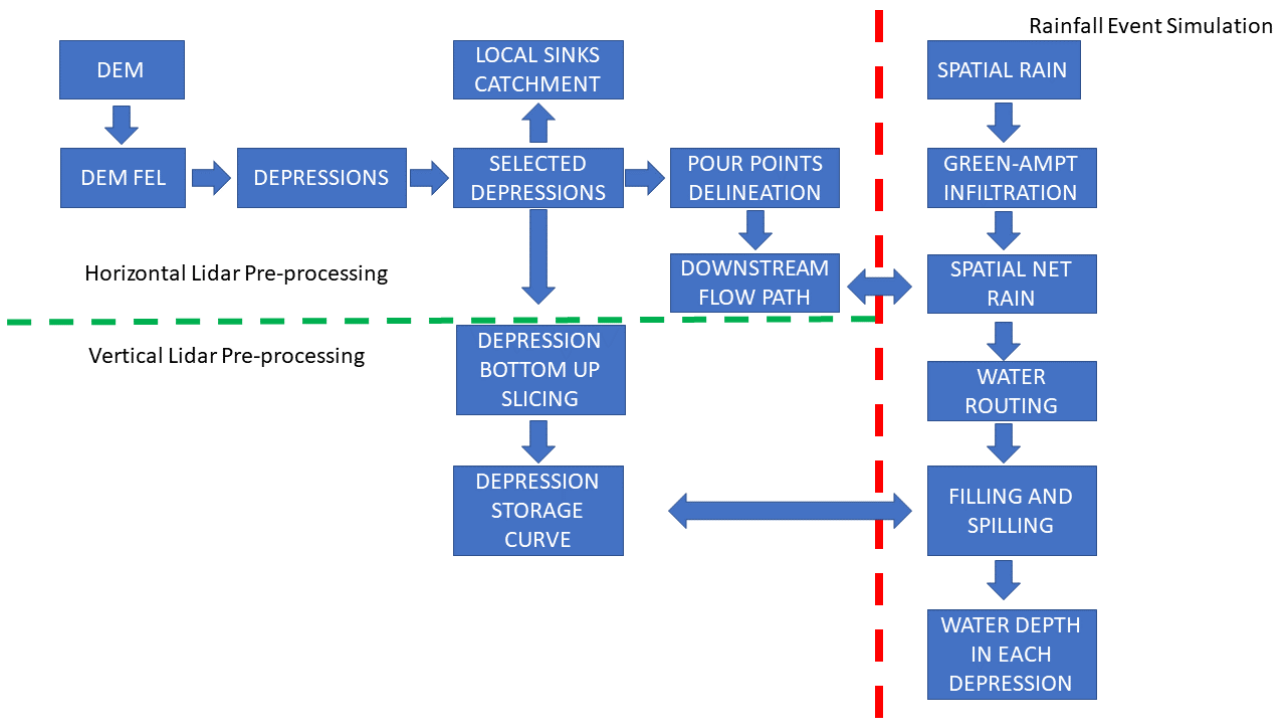


Figura 27 – schema a blocchi degli algoritmi di Safer\_RAIN

Il modello Safer\_RAIN è sviluppato secondo le seguenti ipotesi semplificative:

1. le direzioni del flusso di drenaggio sulla superficie orografica del DEM sono calcolate con il metodo di *flow direction D8 method* (O'Callaghan and Mark, 1984);
2. l'idrodinamica dei fenomeni di flusso/allagamento sulla superficie è totalmente trascurata; non è possibile, ad esempio, simulare effetti locali di rigurgito determinati dalla quantità di moto del flusso di allagamento, il modello riproduce una condizione idrostatica rappresentativa della fotografia a fine evento meteorico con le depressioni allagate.
3. il modello è in grado di simulare sia piogge sintetiche uniformi sul dominio di calcolo sia eventi di pioggia non uniformi e reali;
4. il modello considera i fenomeni di infiltrazione naturale stimati secondo il metodo Green-Ampt (Green and Ampt, 1911).

Nella figura che segue si riporta schematicamente il metodo del *Filling&Spilling*: nella sotto-figura a) si rappresentano due depressioni principali (A+B+C e D+E) costituite ciascuna da sotto-depressioni, la depressione A+B+C una volta raggiunto il livello alla quota del punto di *spilling* (o) determina un

| ° Documento:               | Foglio |    |    | Rev.: |  |  |    |    |    |
|----------------------------|--------|----|----|-------|--|--|----|----|----|
| PUG pericolosità idraulica | 23     | di | 81 | 07    |  |  | 24 | 11 | 20 |

versamento verso la depressione sottostante D+E. A livello di gerarchia verticale ogni singola depressione si riempie secondo una gerarchia di livelli come evidenziato nella sotto-figura b). Gli alberi gerarchici dei livelli di riempimento verticale sono riportati nelle figure c) e d).

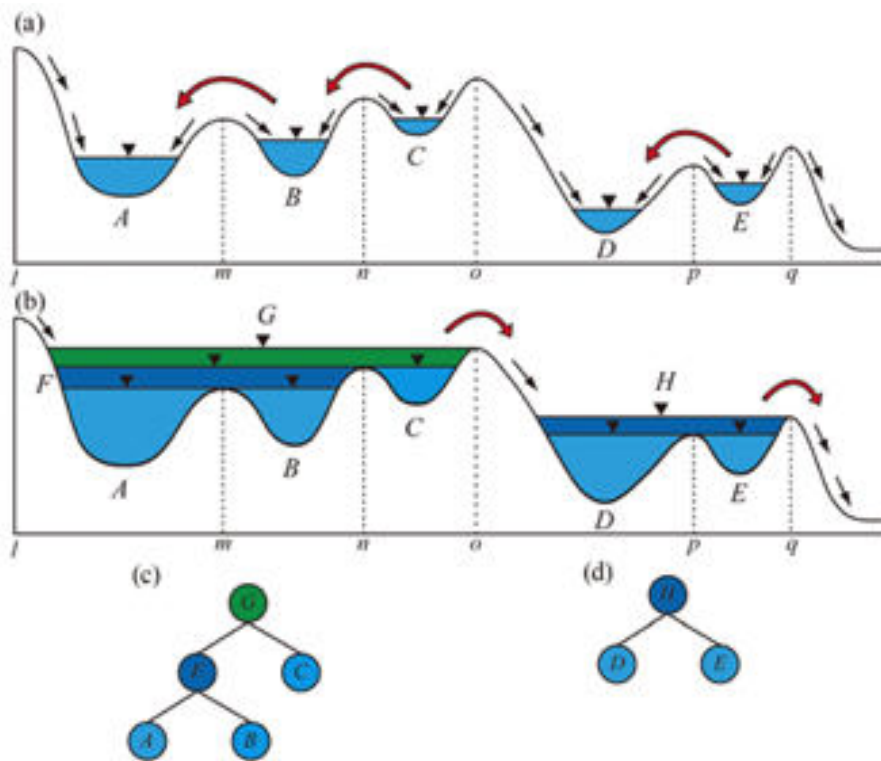


Figura 28 – schema semplificato del metodo del Filling&Spilling

#### 4.3.1 DATI DI INPUT

Le simulazioni con il modello Safer\_RAIN richiedono tre tipologie di dati di input:

- 1) Modello digitale del terreno ad alta risoluzione. In questo caso si è utilizzato il LIDAR come descritto al paragrafo 5.2.3.1 precedente
- 2) Dati di uso del suolo e litologici
- 3) caratterizzazione degli eventi di pioggia IDF

##### 4.3.1.1 LIDAR

Il rilievo Lidar utilizzato è compiutamente descritto al paragrafo 5.2.3.1

|                            |        |    |    |       |  |  |    |    |    |
|----------------------------|--------|----|----|-------|--|--|----|----|----|
| ° Documento:               | Foglio |    |    | Rev.: |  |  |    |    |    |
| PUG pericolosità idraulica | 24     | di | 81 | 07    |  |  | 24 | 11 | 20 |



#### 4.3.1.2 USO DEL SUOLO E LITOLOGIA

L'uso del suolo all'interno dell'area di studio è stato ricavato dalla zonizzazione di uso del suolo a supporto della pianificazione comunale (fonte Geoportale regionale ); i diversi usi sono stati riclassificati ed aggregati tra di loro al fine di evidenziare le zone permeabili e le zone impermeabili. Nelle zone ritenute impermeabili verranno di seguito non considerati i contributi della infiltrazione naturale.

In Figura 26 sono riportate le zone permeabili, che coprono la maggior parte del territorio comunale, fatta ovviamente eccezione per le zone abitate, soprattutto a ridosso della costa.

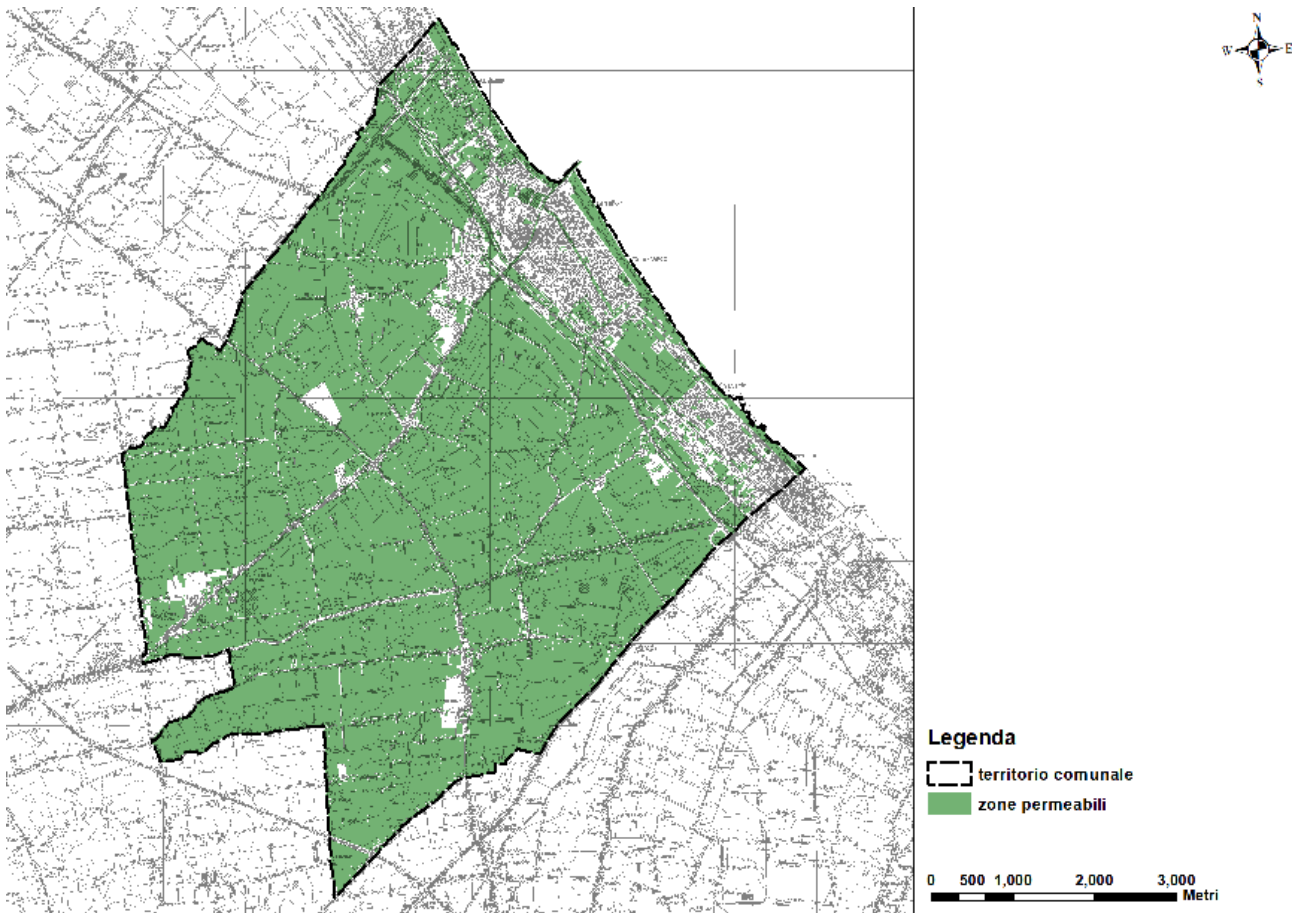


Figura 29 - carta delle zone permeabili

Per quanto riguarda la litologia dell'area, la mappa seguente riporta la distribuzione delle diverse tessiture all'interno del territorio comunale così come ricavata dalla Cartografia Geologica della Regione

| ° Documento:               | Foglio |    |    |    | Rev.: |  |    |    |    |  |
|----------------------------|--------|----|----|----|-------|--|----|----|----|--|
| PUG pericolosità idraulica | 25     | di | 81 | 07 |       |  | 24 | 11 | 20 |  |

Emilia-Romagna, in particolare la carta degli ambienti deposizionali e delle tessiture (fonte: <http://ambiente.regione.emilia-romagna.it/it/geologia>).

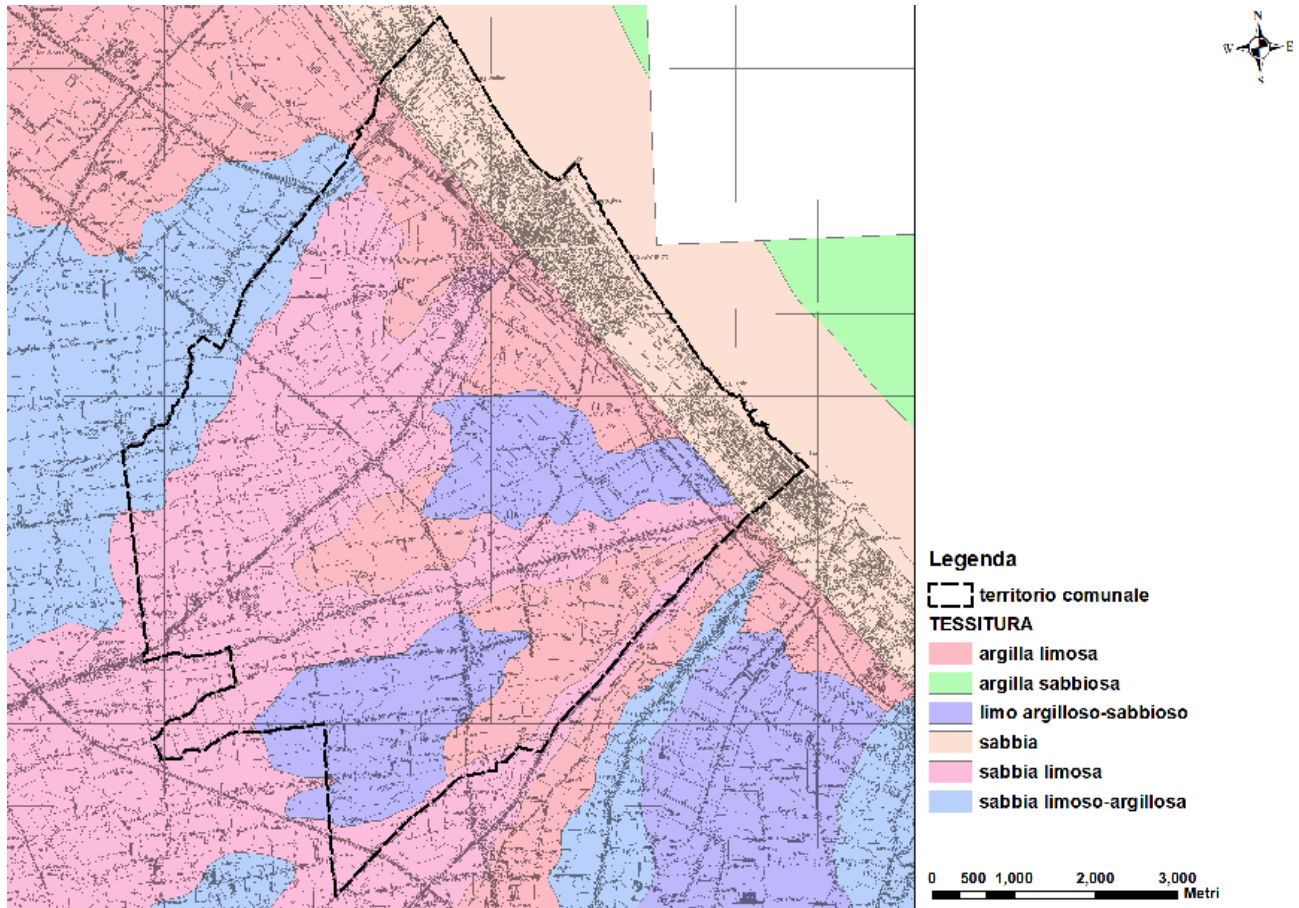


Figura 30 - carta litologica

Le litologie all'interno del territorio comunale presentano, oltre ad una fascia sabbiosa a ridosso della costa, formazioni principalmente di tipo sabbioso e limoso, con zone a presenza di frazioni più fini di tipo argilloso.

Sulla base delle litologie presenti, sono stati ricavati i parametri del modello di Green-Ampt per la descrizione del fenomeno di infiltrazione superficiale. La tabella seguente, tratta da Chow *et al.* [1988], riporta i valori dei parametri  $k$  (Conducibilità idraulica),  $\psi$  (potenziale di ritenzione capillare del fronte umido) e  $\theta_e$  (porosità effettiva) per diverse classi tessiturali. In corrispondenza dei corsi d'acqua si è assegnato un valore di permeabilità alto al fine di considerare la capacità di infiltrare tutta l'acqua che viene convogliata verso il corso d'acqua.

| ° Documento:               | Foglio |    |    |    | Rev.: |  |    |    |    |
|----------------------------|--------|----|----|----|-------|--|----|----|----|
| PUG pericolosità idraulica | 26     | di | 81 | 07 |       |  | 24 | 11 | 20 |



| Suolo              | Capacità di immagazzinamento idrico (Porosità) | $\theta_e = C_s - \theta_r$ | Potenziale di ritenzione capillare del fronte umido | Conducibilità idraulica |
|--------------------|--|-----------------------------|---|-------------------------|
|                    | $C_s (n)$                                      |                             | $\psi (cm)$   |                         |
| Sand               | 0.437<br>(0.374-0.500)                         | 0.417<br>(0.354-0.480)      | 4.95<br>(0.97-25.36)                                | 11.78                   |
| Loamy sand         | 0.437<br>(0.363-0.506)                         | 0.401<br>(0.329-0.473)      | 6.13<br>(1.35-27.94)                                | 2.99                    |
| Sandy loam         | 0.453<br>(0.351-0.555)                         | 0.412<br>(0.283-0.541)      | 11.01<br>(2.67-45.47)                               | 1.09                    |
| Loam               | 0.463<br>(0.375-0.551)                         | 0.434<br>(0.334-0.534)      | 8.89<br>(1.33-59.38)                                | 0.34                    |
| Silt loam          | 0.501<br>(0.420-0.582)                         | 0.486<br>(0.394-0.578)      | 16.68<br>(2.92-95.39)                               | 0.65                    |
| Sandy clay<br>Loam | 0.398<br>(0.332-0.464)                         | 0.330<br>(0.235-0.425)      | 21.85<br>(4.42-108.0)                               | 0.15                    |
| Clay loam          | 0.464<br>(0.409-0.519)                         | 0.309<br>(0.279-0.501)      | 20.88<br>(4.79-91.10)                               | 0.10                    |
| Silty clay<br>Loam | 0.471<br>(0.418-0.524)                         | 0.432<br>(0.347-0.517)      | 27.30<br>(5.67-131.50)                              | 0.10                    |
| Sandy clay         | 0.430<br>(0.370-0.490)                         | 0.321<br>(0.207-0.435)      | 23.90<br>(4.08-140.2)                               | 0.06                    |
| Silty clay         | 0.479<br>(0.425-0.533)                         | 0.423<br>(0.334-0.512)      | 29.22<br>(6.13-139.4)                               | 0.05                    |
| Clay               | 0.475<br>(0.427-0.523)                         | 0.385<br>(0.269-0.501)      | 31.63<br>(6.39-156.5)                               | 0.03                    |

Tabella 5 - Parametri del modello di Green-Ampt per diverse classi di suolo (tra parentesi gli intervalli di confidenza delle prove sperimentali calcolati come valore medio  $\pm$  dev. standard)

Le figure seguenti riportano rispettivamente le distribuzioni dei parametri  $k$ ,  $\psi$  e  $\theta_e$  all'interno dell'area di studio.

|                            |        |    |    |       |  |  |    |    |    |
|----------------------------|--------|----|----|-------|--|--|----|----|----|
| ° Documento:               | Foglio |    |    | Rev.: |  |  |    |    |    |
| PUG pericolosità idraulica | 27     | di | 81 | 07    |  |  | 24 | 11 | 20 |

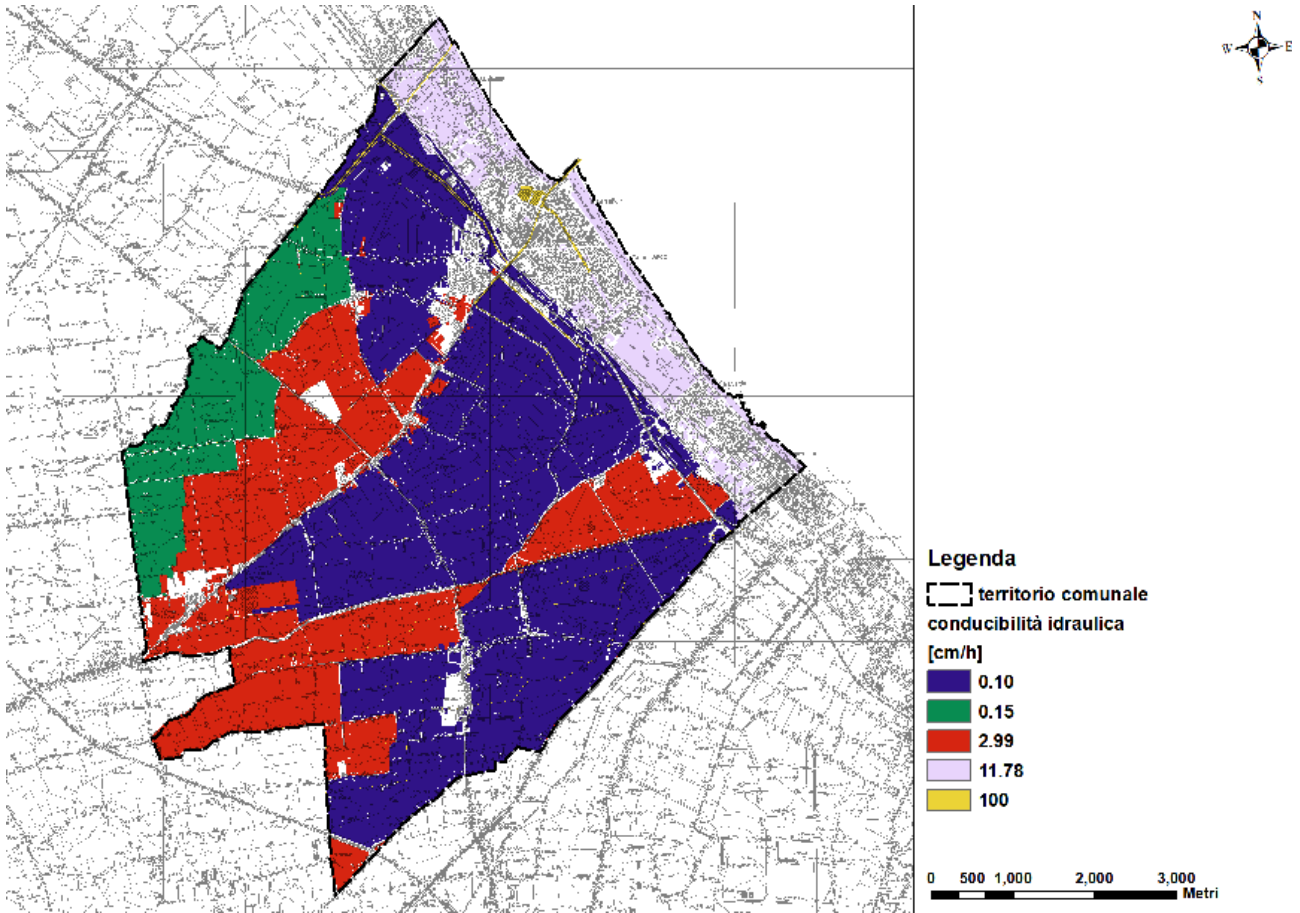


Figura 31 - conducibilità idraulica all'interno dell'area di studio

|              |                            |    |    |    |       |  |  |    |    |
|--------------|----------------------------|----|----|----|-------|--|--|----|----|
| ° Documento: | Foglio                     |    |    |    | Rev.: |  |  |    |    |
|              | PUG pericolosità idraulica | 28 | di | 81 | 07    |  |  | 24 | 11 |



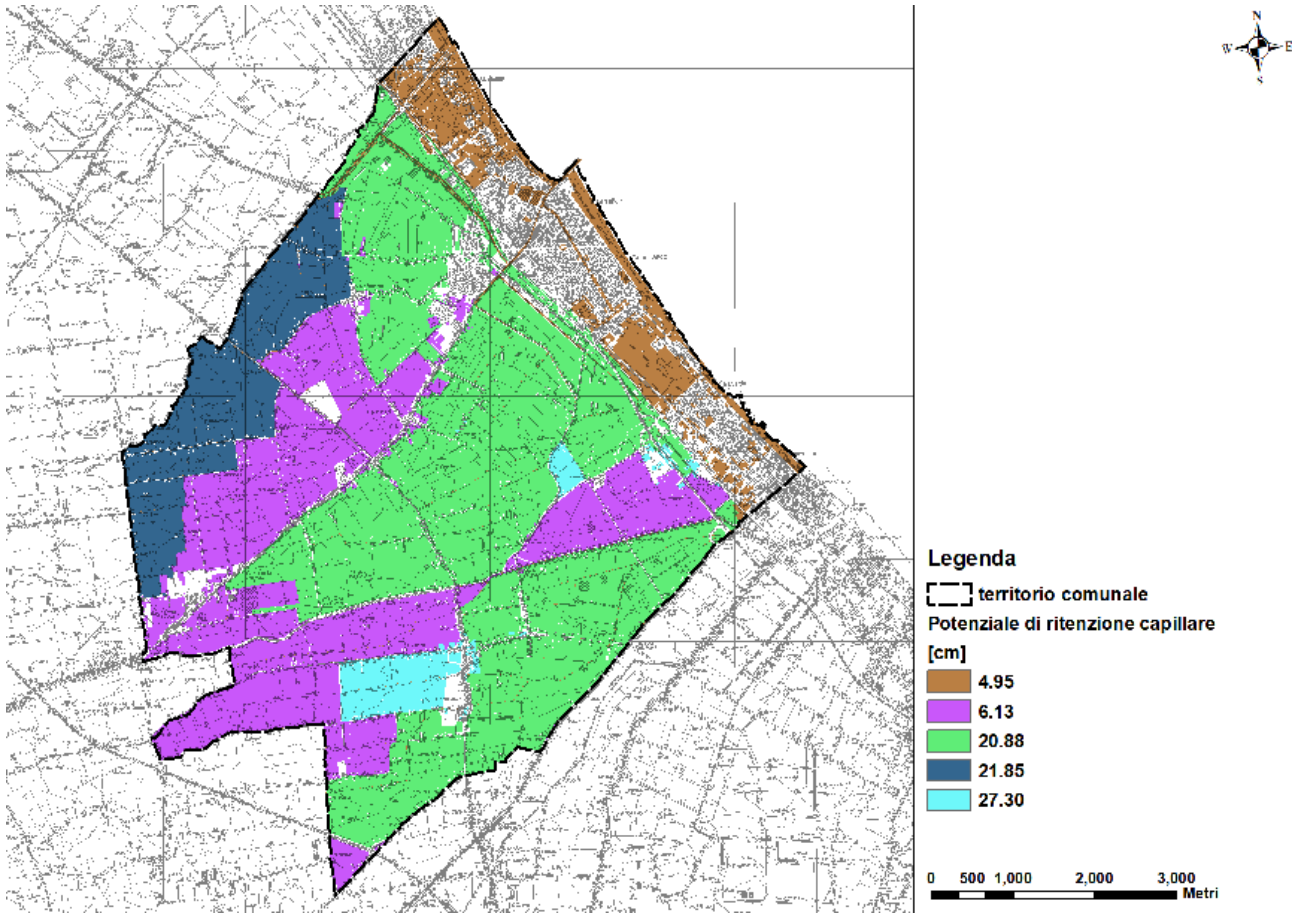


Figura 32 - potenziale di ritenzione capillare del fronte umido all'interno dell'area di studio

|              |                            |    |    |    |       |  |  |    |    |
|--------------|----------------------------|----|----|----|-------|--|--|----|----|
| ° Documento: | Foglio                     |    |    |    | Rev.: |  |  |    |    |
|              | PUG pericolosità idraulica | 29 | di | 81 | 07    |  |  | 24 | 11 |

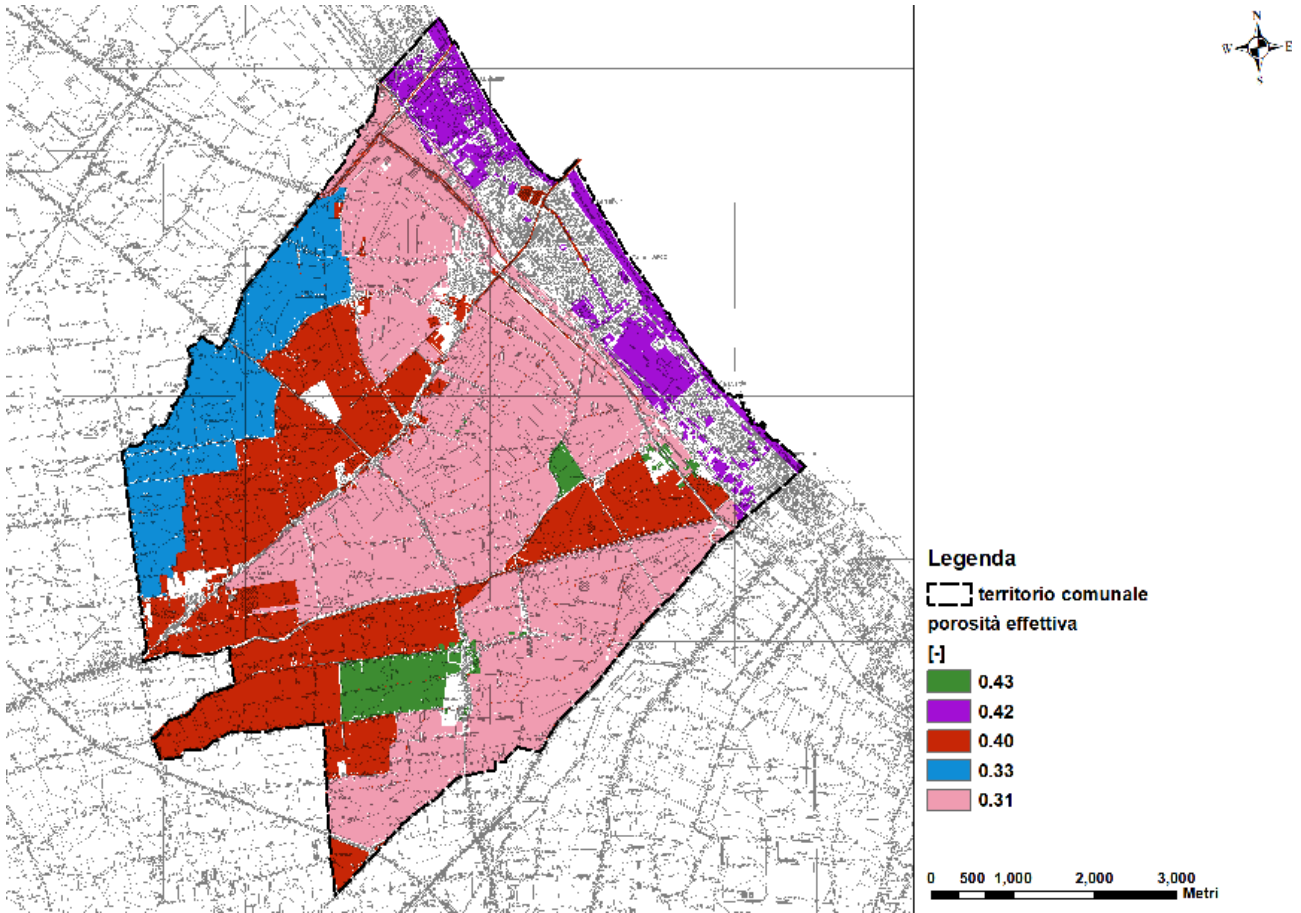


Figura 33 - porosità effettiva all'interno dell'area di studio

|              |                            |    |    |    |       |  |  |    |    |
|--------------|----------------------------|----|----|----|-------|--|--|----|----|
| ° Documento: | Foglio                     |    |    |    | Rev.: |  |  |    |    |
|              | PUG pericolosità idraulica | 30 | di | 81 | 07    |  |  | 24 | 11 |





COMUNE DI  
CESENATICO

#### 4.3.1.3 IDF - DATI DI PIOGGIA

Le altezze di pioggia di assegnata durata e tempo di ritorno sono state recentemente aggiornate a cura di ARPAE nel documento “Attività di supporto all’attuazione della Direttiva 2007/60/CE con riferimento ai temi dell’idrologia di piena e dello studio dei cambiamenti climatici in atto e futuri nella porzione del territorio della Regione Emilia-Romagna ricadente nel distretto dell’Appennino settentrionale, definito ai sensi del D.Lgs. 152/2006 (Bacino del fiume Reno, bacini regionali romagnoli e bacino Marecchia-Conca)” redatto nel 2014 (di seguito richiamato anche solo *Regionalizzazione-ARPAE*), cui si rimanda per ogni approfondimento metodologico.

Nello studio citato sono fornite le mappe raster delle altezze di pioggia per durate superiori all’ora, al variare del tempo di ritorno; da tali mappe si è calcolato il valor medio sul territorio comunale. Le altezze per durate inferiori all’ora sono state stimate nell’ipotesi che le percentuali della pioggia oraria cadute nei 5’, 15’ e 30’ siano rispettivamente il 30%, 60% e 75%, come risulta, orientativamente, da vari studi sperimentali; si veda ad es. CSDU, 19973 cit. in (3).

Le altezze di pioggia per assegnata durata e tempo di ritorno [mm] e le relative intensità [mm/h] sono riassunte nelle tabelle seguenti:

| TR anni | h (d) [mm] |       |       |       |      |      |      |      |
|---------|------------|-------|-------|-------|------|------|------|------|
|         | 24h        | 12h   | 6h    | 3h    | 1h   | 30'  | 15'  | 5'   |
| 2       | 64.1       | 50    | 39.2  | 32.8  | 23.4 | 17.5 | 14   | 7    |
| 5       | 89.4       | 69.8  | 55.4  | 46.6  | 33.5 | 25.1 | 20.1 | 10.1 |
| 10      | 108.6      | 85.6  | 68.2  | 57    | 40.8 | 30.6 | 24.5 | 12.2 |
| 20      | 129.2      | 103.1 | 82.3  | 68.1  | 48.2 | 36.2 | 28.9 | 14.5 |
| 30      | 142        | 114.3 | 91.4  | 74.9  | 52.7 | 39.6 | 31.6 | 15.8 |
| 50      | 159.2      | 129.7 | 103.8 | 84.1  | 58.6 | 44   | 35.2 | 17.6 |
| 100     | 184.5      | 153.2 | 122.6 | 97.5  | 66.9 | 50.2 | 40.2 | 20.1 |
| 200     | 212.5      | 180   | 144   | 112.1 | 75.8 | 56.8 | 45.5 | 22.7 |
| 500     | 254.1      | 221.6 | 177   | 133.8 | 88.2 | 66.2 | 52.9 | 26.5 |

Tabella 6 – altezze di pioggia [mm] per assegnata durata e tempo di ritorno

<sup>3</sup> Direttiva inerente le verifiche idrauliche e gli accorgimenti tecnici da adottare per conseguire gli obiettivi di sicurezza idraulica definiti dal Piano Stralcio per il Rischio Idrogeologico, ai sensi degli artt. 2 ter, 3, 4, 6, 7, 8, 9, 10, 11 del Piano dell’Autorità dei Bacini Regionali Romagnoli (<http://ambiente.regione.emilia-romagna.it/suolo-bacino/sezioni/pianificazione/autorita-bacini-romagnoli/direttive>)

| ° Documento:               | Foglio |    |    |    | Rev.: |  |    |    |    |
|----------------------------|--------|----|----|----|-------|--|----|----|----|
| PUG pericolosità idraulica | 31     | di | 81 | 07 |       |  | 24 | 11 | 20 |



| TR anni | i (d) [mm/h] |      |      |      |      |       |       |       |
|---------|--------------|------|------|------|------|-------|-------|-------|
|         | 24h          | 12h  | 6h   | 3h   | 1h   | 30'   | 15'   | 5'    |
| 2       | 2.7          | 4.2  | 6.5  | 10.9 | 23.4 | 35.1  | 56.1  | 84.2  |
| 5       | 3.7          | 5.8  | 9.2  | 15.5 | 33.5 | 50.3  | 80.5  | 120.7 |
| 10      | 4.5          | 7.1  | 11.4 | 19   | 40.8 | 61.2  | 97.9  | 146.9 |
| 20      | 5.4          | 8.6  | 13.7 | 22.7 | 48.2 | 72.4  | 115.8 | 173.7 |
| 30      | 5.9          | 9.5  | 15.2 | 25   | 52.7 | 79.1  | 126.6 | 189.9 |
| 50      | 6.6          | 10.8 | 17.3 | 28   | 58.6 | 87.9  | 140.7 | 211   |
| 100     | 7.7          | 12.8 | 20.4 | 32.5 | 66.9 | 100.4 | 160.7 | 241   |
| 200     | 8.9          | 15   | 24   | 37.4 | 75.8 | 113.6 | 181.8 | 272.7 |
| 500     | 10.6         | 18.5 | 29.5 | 44.6 | 88.2 | 132.4 | 211.8 | 317.7 |

Tabella 7 - intensità di pioggia [mm/h] per assegnata durata e tempo di ritorno

#### 4.3.2 RISULTATI DELLE SIMULAZIONI - SAFER\_RAIN

Sulla base delle ipotesi e dati discussi nei precedenti paragrafi, sono stati simulati gli scenari di allagamento determinati da eventi meteorici estremi per lo stato di fatto del territorio del Comune di Cesenatico.

Gli eventi meteorici estremi considerati fanno riferimento a valori di intensità e durata rappresentativi di condizioni storiche calcolate con assegnato tempo di ritorno.

In particolare, si sono simulate piogge di durata oraria con intensità che fanno riferimento ai tempi di ritorno di 20, 50, 100 e 200 anni.

| Scenario Stato di Fatto | Durata  | Intensità [mm] | Tempo di Ritorno [anni] |
|-------------------------|---------|----------------|-------------------------|
| A_0.5h_20               | 30 min. | 72.4           | 20                      |
| A_0.5h_50               | 30 min. | 87.9           | 50                      |
| A_0.5h_100              | 30 min. | 100.4          | 100                     |
| A_0.5h_200              | 30 min. | 113.6          | 200                     |
| A_1h_20                 | 60 min. | 48.2           | 20                      |
| A_1h_50                 | 60 min. | 58.6           | 50                      |
| A_1h_100                | 60 min. | 66.9           | 100                     |
| A_1h_200                | 60 min. | 75.8           | 200                     |

Tabella 8 – scenari di allagamento simulati

| ° Documento: | Foglio                     |    |    |    | Rev.: |  |  |    |    |
|--------------|----------------------------|----|----|----|-------|--|--|----|----|
|              | PUG pericolosità idraulica | 32 | di | 81 | 07    |  |  | 24 | 11 |

Si evidenzia come a livello di pianificazione sovra-ordinata, PAI e PGRA, il tema del rischio idraulico da eventi meteorici estremi (bombe d'acqua) non è trattato e non esistono mappe di rischio idraulico per questa tipologia di sorgente di rischio.

Le mappe di allagamento da eventi pluviali di Tabella 9 sono riportate nel quadro conoscitivo del PUG

Analizzando lo stato di fatto, ad esempio la mappa per evento TR = 200 anni e durata 1 ora riportata nella immagine seguente si nota come a fronte di evidenti accumuli in area urbana a anche il tessuto urbanizzato a minore densità e le aree agricole situate a monte , per la loro conformazioni topografica, possano risentire di simili eventi., generando effetti di accumulo non dissimili da quelli riscontrabili per esondazione fluviale.

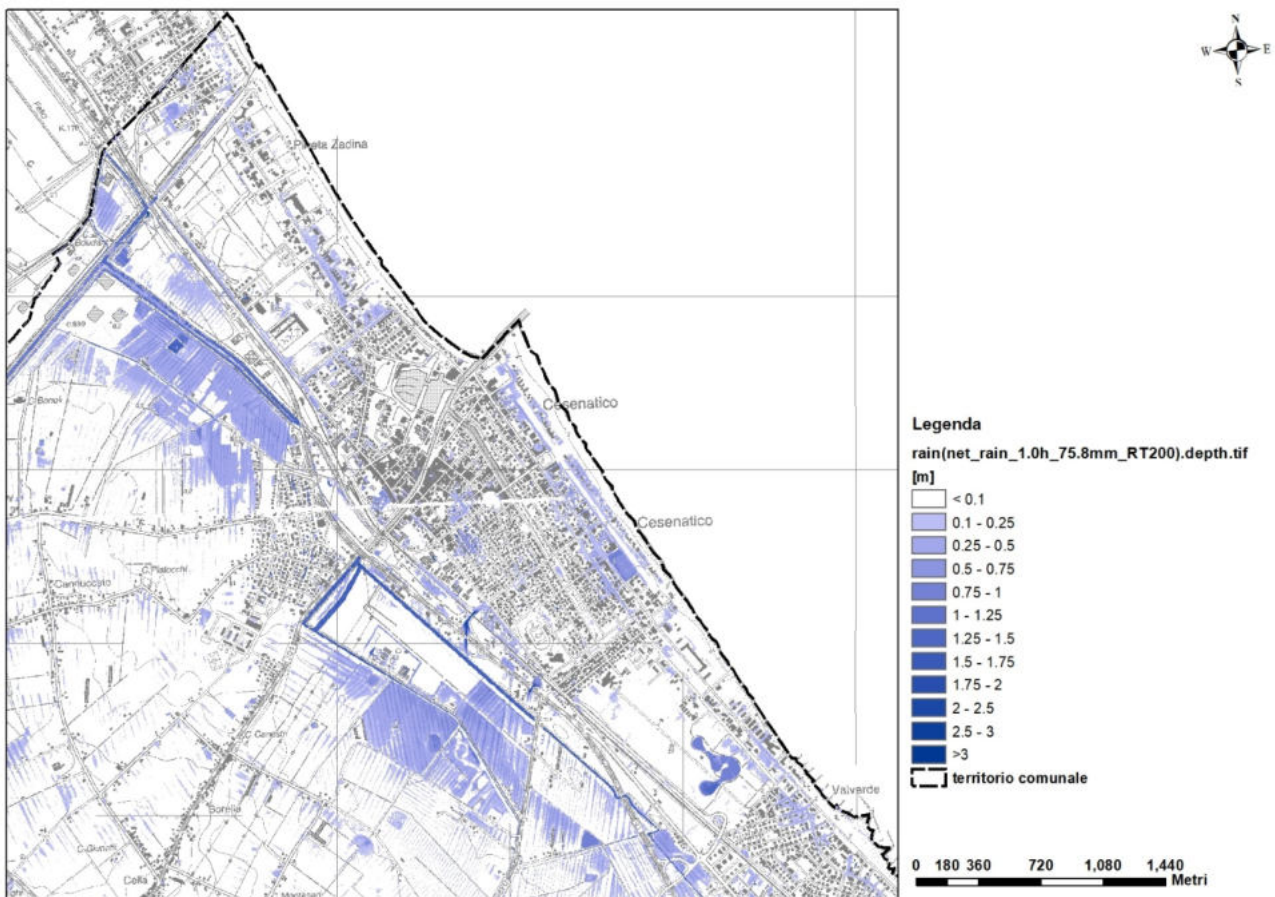


Figura 34 – mappa dei tiranti (m) per evento pluviale intenso di durata 1 ora e 200 anni di tempo di ritorno

| ° Documento:               | Foglio |    |    | Rev.: |  |    |       |
|----------------------------|--------|----|----|-------|--|----|-------|
| PUG pericolosità idraulica | 33     | di | 81 | 07    |  | 24 | 11 20 |

Dalle simulazioni eseguite si ottiene anche una seconda informazione ( Figura 34) ovvero i mm attesi di *runoff* per ogni bacino contribuyente in cui sia stato suddiviso il territorio , in ragione del tipo di copertura e di suolo ( in definitiva della capacità di assorbire arte dell’evento intenso ) . Una simile informazione permette di identificare le aree ove gli interventi diffusi (quali superfici permeabili o sistemi di drenaggio urbano sostenibili ) risultino più efficaci.

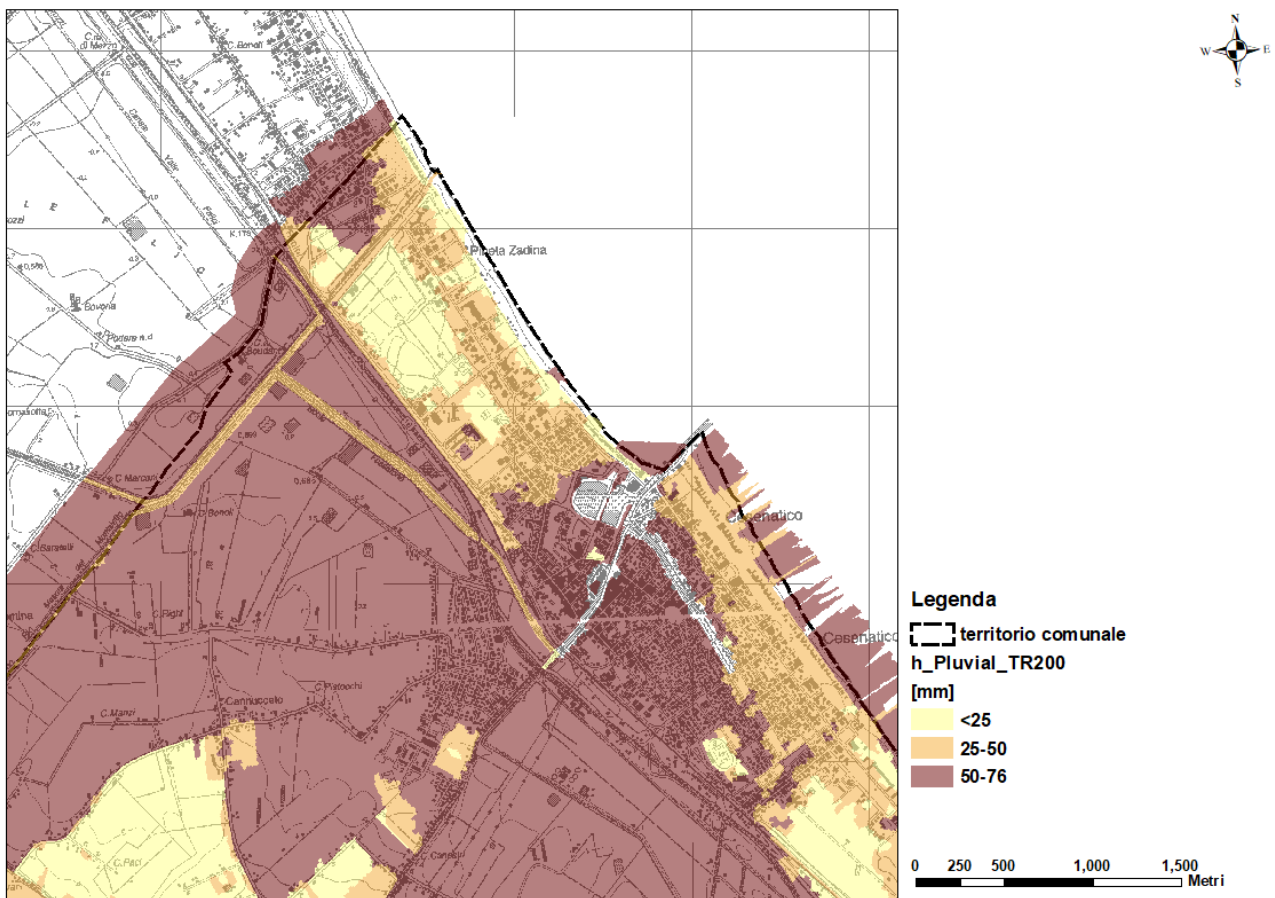


Figura 35- esempio di mappa con i mm di *runoff* simulati per aree geografiche contribuenti (*watersheds*) in ragione del tipo di copertura e si suolo

| ° Documento:               | Foglio |    |    |    | Rev.: |  |    |    |    |  |
|----------------------------|--------|----|----|----|-------|--|----|----|----|--|
| PUG pericolosità idraulica | 34     | di | 81 | 07 |       |  | 24 | 11 | 20 |  |



COMUNE DI  
CESENATICO

Le mappe riportate in Tabella 10 e riportate in allegato rappresentano sia l'estensione che il battente idraulico associati agli scenari di allagamento pluviale applicati alla condizione dello stato di fatto.

|   | PLUVIAL  | Scenario Stato di Fatto | Tavole PUG     |
|---|----------|-------------------------|----------------|
| 1 | 0.5h_20  | A_0.5h_20               |                |
| 2 | 0.5h_50  | A_0.5h_50               |                |
| 3 | 0.5h_100 | A_0.5h_100              |                |
| 4 | 0.5h_200 | A_0.5h_200              |                |
| 5 | 1h_20    | A_1h_20                 |                |
| 6 | 1h_50    | <b>A_1h_50</b>          | <b>Lt4.Ri3</b> |
| 7 | 1h_100   | A_1h_100                |                |
| 8 | 1h_200   | <b>A_1h_200</b>         | <b>Lt4.Ri2</b> |

Tabella 9 – elenco mappe scenari di allagamento pluviale, in grassetto le mappe utilizzate per la creazione delle tavole di piano

| ° Documento:               | Foglio |    |    |    | Rev.: |  |    |    |    |  |
|----------------------------|--------|----|----|----|-------|--|----|----|----|--|
|                            |        | di |    |    |       |  |    |    |    |  |
| PUG pericolosità idraulica | 35     | di | 81 | 07 |       |  | 24 | 11 | 20 |  |



COMUNE DI  
CESENATICO

#### 4.4 MODELLO INONDAZIONE FLUVIALE

In questo paragrafo si descrive lo studio idraulico finalizzato alla stima dei tiranti di allagamento per effetto di esondazione dai corsi d'acqua principali presenti nel territorio del Comune di Cesenatico.

Anche in questo caso si è proceduto a simulare potenziali allagamenti da esondazione fluviale mediante modellistica semplificata di tipo idrostatico, in grado di rappresentare ad alta risoluzione l'estensione spaziale e il tirante idraulico di un evento fluviale.

Come discusso in precedenza, l'approccio idrostatico non consente di simulare i processi fisici legati alla dinamica dell'allagamento e quindi rappresenta solo una fotografia a fine evento.

Il modello sviluppato da GECO sistema e denominato Safer\_RIVER, è un modello di mappatura dei tiranti idrici basato sul Lidar ad alta risoluzione che rappresenta una significativa evoluzione della Mappa delle depressioni di pianura prodotta dalla ex Autorità dei Bacini Regionali Romagnoli in riferimento alla Direttiva idraulica e suoi adeguamenti, descritta nel quadro di riferimento programmatico. La mappatura attuale (Giorgi *et al.*, 2003, Mazzoli *et al.*, 2013) prevede l'utilizzo di un DTM (derivato dalla CTR 1:5000 interpolato a risoluzione 10 X 10) che rappresenti ragionevolmente il piano di base, con i rilevati ed i varchi in essi eventualmente presenti sovrapposti successivamente. Al DTM così derivato si applica l'algoritmo di *fillsink*. Tale operazione, diffusa nel trattamento di modelli digitali del terreno, identifica le celle (*sink*), caratterizzate da quota inferiore a quelle delle otto celle vicine, e assegna loro la minore delle quote delle celle adiacenti (Figura 31). All'interno di un DTM la presenza di un gruppo di celle a quote inferiori di quelle circostanti è gestita in modo iterativo localizzando l'estensione del gruppo di celle che costituiscono il *sink* e la quota della prima cella esterna al *sink* (la più bassa) che recapita all'esterno, assegnando a tutte le celle del *sink* tale quota. In definitiva, il metodo consiste nella individuazione delle aree di potenziale accumulo su base esclusivamente topografica (macro-depressioni del terreno) identificando il massimo livello di invaso fino al primo punto di sfogo utile verso valle, e non considera quindi i volumi effettivamente accumulabili per uno specifico evento.

| ° Documento:               | Foglio |    |    | Rev.: |  |  |    |    |    |
|----------------------------|--------|----|----|-------|--|--|----|----|----|
|                            |        |    |    |       |  |  |    |    |    |
| PUG pericolosità idraulica | 36     | di | 81 | 07    |  |  | 24 | 11 | 20 |



|    |    |    |    |    |    |
|----|----|----|----|----|----|
| 58 | 52 | 55 | 53 | 56 | 58 |
| 55 | 40 | 42 | 45 | 51 | 55 |
| 48 | 33 | 35 | 33 | 48 | 52 |
| 33 | 23 | 15 | 27 | 25 | 38 |
| 17 | 17 | 17 | 22 | 17 | 12 |
| 12 | 10 | 15 | 18 | 16 | 14 |

|    |    |    |    |    |    |
|----|----|----|----|----|----|
| 58 | 52 | 55 | 53 | 56 | 58 |
| 55 | 40 | 42 | 45 | 51 | 55 |
| 48 | 33 | 35 | 33 | 48 | 52 |
| 33 | 23 | 17 | 27 | 25 | 38 |
| 17 | 17 | 17 | 22 | 17 | 12 |
| 12 | 10 | 15 | 18 | 16 | 14 |

Figura 36 - esempio di *sink* e modifica della quota della cella con l'algoritmo di *fillsink*

Nel modello Safer\_RIVER Le modifiche introdotte al metodo descritto sono sostanziali e riguardano:

- l'uso di un DTM ad alta risoluzione in grado di descrivere correttamente sia il piano campagna che gli elementi in rilievo, nonché i varchi quali ad esempio sottopassi stradali
- le depressioni interessate dall'allagamento fluviale sono solo quelle idrologicamente connesse al reticolo fluviale,
- la procedura di allagamento prende in considerazione un volume finito e procede ad allagare tutte le depressioni connesse all'alveo fino all'esaurimento del volume rappresentativo dello scenario in esame.

Gli algoritmi di calcolo della gerarchia di connessione idrologica orizzontale e di riempimento gerarchico verticale delle depressioni sono i medesimi descritti ed implementati in Safer\_RAIN, con l'accorgimento di sostituire la sorgente di allagamento diffusa (pioggia) con i volumi esondabili da ogni corso d'acqua assestandoli ai *watersheds* connessi.

La sorgente di allagamento fluviale è descritta nei paragrafi seguenti.

#### 4.4.1 SORGENTI E SCENARI DI ALLAGAMENTO FLUVIALE

Per definire la nuova proposta di mappa dei tiranti di pianura sono stati identificati i tratti dei canali di bonifica e del reticolo principale, e da questi sono stati stimati i volumi di piena per eventi di assegnato tempo di ritorno che potrebbero esondare tratto per tratto.

##### 4.4.1.1 RETICOLO IDROGRAFICO E BACINI

|                            |        |    |    |       |  |  |    |    |    |
|----------------------------|--------|----|----|-------|--|--|----|----|----|
| ° Documento:               | Foglio |    |    | Rev.: |  |  |    |    |    |
| PUG pericolosità idraulica | 37     | di | 81 | 07    |  |  | 24 | 11 | 20 |



COMUNE DI  
CESENATICO

Il reticolo idrografico è composto essenzialmente da canali di bonifica, in parte sotto idrovora, essendo il Torrente Pisciatello l'unico corso d'acqua principale che interessa il territorio comunale (Figura 9).

Il reticolo idrografico aggiornato è stato reperito presso il Consorzio di Bonifica della Romagna ed integrando con il tracciato del Torrente Pisciatello. Per quanto riguarda quest'ultimo, si è definito, di concerto con l'Agenzia di Protezione Civile - Servizio area Romagna, il livello di officiosità minimo pari alla portata con TR 30 anni dopo i lavori di sistemazione e adeguamento susseguitisi negli anni recenti. Cautelativamente non sono stati considerati i tratti a officiosità maggiore, considerando pertanto l'intera asta al livello minimo di officiosità per TR 30. Sono stati segnalati dalla Agenzia e vengono riportati per completezza i tratti ritenuti a maggior criticità (in giallo in Figura 32), principalmente per carenze alla struttura arginale in sinistra idraulica.

Per i cavi di bonifica si è recuperato presso il Consorzio di Bonifica uno studio idraulico relativo a buona parte della rete <sup>4</sup> il quale, ancorché non aggiornato agli interventi eseguiti successivamente al 2006, permette di identificare con ragionevole cautela i tratti inofficiosi, stimando il volume di esondazione per assegnato tempo di ritorno come descritto nel paragrafo seguente.

A questa base dati si è aggiunta la mappatura locale di aree allagabili nel recente evento del 2015, gentilmente messa a disposizione dal Consorzio insieme all'indicazione di quali aree non corrispondono ad oggi a interventi di messa in sicurezza realizzati (aree in rosso in Figura 32). Per tali aree il consorzio ha reso disponibile la stima di tempo di corrivazione e portata per TR = 30 e TR = 200 anni. La portata TR 30 è stata assunta pari alla officiosità massima del corso d'acqua.

---

<sup>4</sup> " DOCUMENTO QUADRO DEI RISCHI IDRAULICI E STRATEGIE DI INTERVENTO" a cura di ing. Massimo Plazzi , LUGLIO 2006

| ° Documento: | Foglio                     |    |    | Rev.: |    |  |  |    |    |
|--------------|----------------------------|----|----|-------|----|--|--|----|----|
|              | PUG pericolosità idraulica | 38 | di | 81    | 07 |  |  | 24 | 11 |

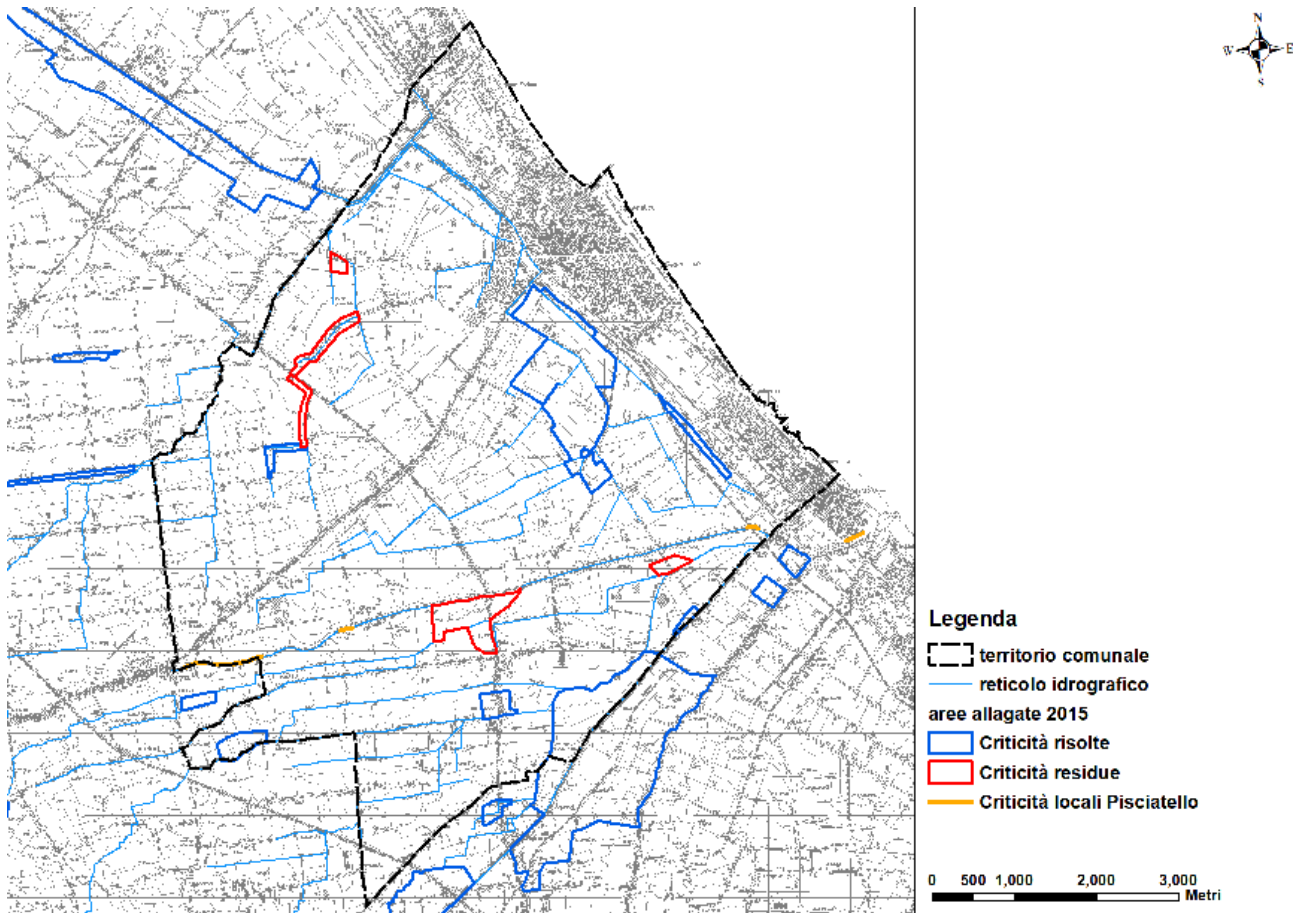


Figura 37 - corsi d'acqua nel territorio comunale criticità localizzate segnalate

#### 4.4.1.2 SCENARI DI ESONDAZIONE FLUVIALE

A partire dalle ricostruzioni descritte al paragrafo precedente, si è identificato per ciascun tratto il volume potenzialmente esondabile. L'idrogramma di riferimento è assunto di andamento triangolare con picco dopo un tempo  $t$  pari a quello di corrivazione ( $T_c$ ) ed un esaurimento pari a  $2T_c$  (è stato allungato del doppio il tempo di calo della piena, rispetto al *metodo razionale* per sovrastimare cautelativamente i volumi), approssimazione del tutto accettabile per le finalità di stima speditiva di volumi esondabili che accompagna l'analisi e tra quelle ammesse alla Direttiva idraulica. La stessa ipotesi è alla base delle stime sui volumi esondabili nello studio citato datato 2006 per il Consorzio di Bonifica.

| ° Documento:               | Foglio |    |    | Rev.: |  |  |    |    |    |
|----------------------------|--------|----|----|-------|--|--|----|----|----|
| PUG pericolosità idraulica | 39     | di | 81 | 07    |  |  | 24 | 11 | 20 |

Il volume esondato rappresenta semplicemente la parte di idrogramma al di sopra del valore ammissibile. Il calcolo implementato ha così permesso di dettagliare i tratti i corsi d'acqua con possibili volumi di fuoriuscita in sinistra o destra idraulica, a partire dalle informazioni raccolte descritte la paragrafo precedente; i volumi sono rappresentati nelle immagini seguenti rispettivamente per TR = 30 anni e TR = 200 anni.

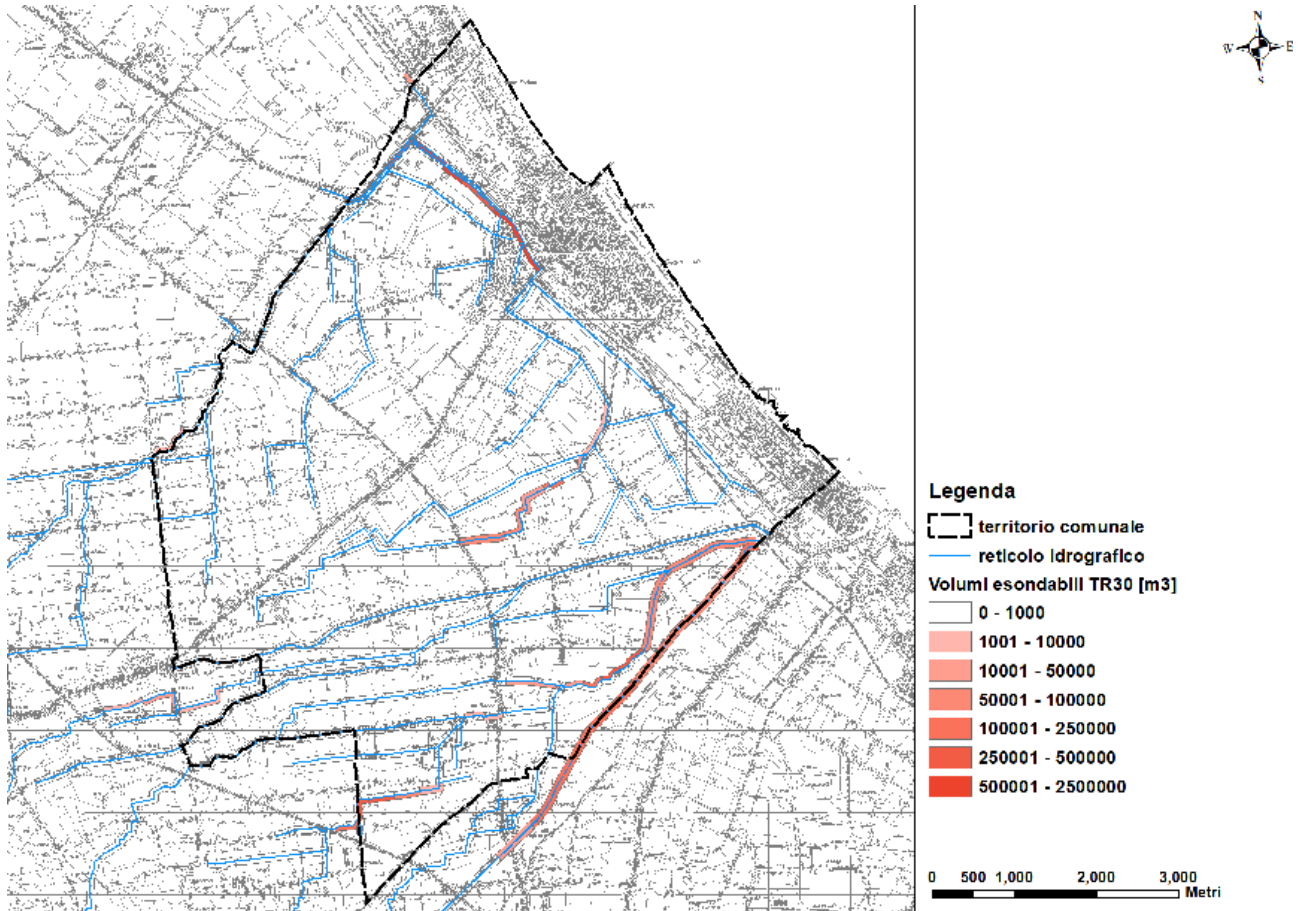


Figura 38 - volumi esondabili dal reticolo idrografico - TR = 30 anni

|              |                            |    |    |    |       |  |  |    |  |
|--------------|----------------------------|----|----|----|-------|--|--|----|--|
| ° Documento: | Foglio                     |    |    |    | Rev.: |  |  |    |  |
|              | PUG pericolosità idraulica | 40 | di | 81 | 07    |  |  | 24 |  |

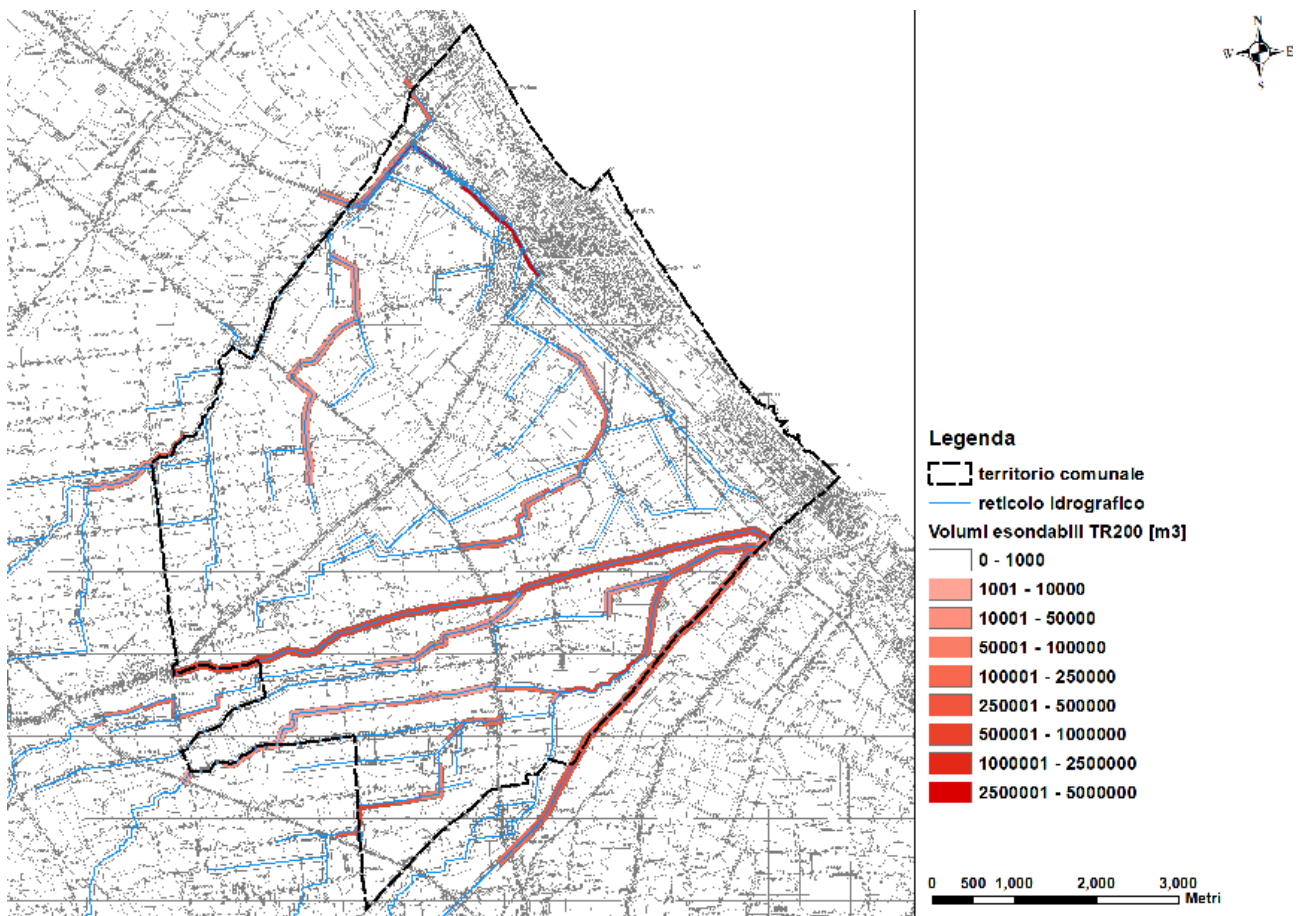


Figura 39 - volumi esondabili dal reticolo idrografico - TR = 200 anni

Il volume esondabile in ogni tratto generico di corso d'acqua è stato convenzionalmente ed iterativamente associato a tutte le depressioni situate ad una distanza convenzionale di 50 m dal corso d'acqua medesimo; tale ipotesi speditiva ha permesso di includere con ragionevole approssimazione tutte le depressioni direttamente connesse al reticolo idrografico.

#### 4.4.2 RISULTATI DELLE SIMULAZIONI

I risultati del calcolo sopra descritto sono i tiranti idrici di pianura aggiornati e differenziati per tempo di ritorno TR = 30 e TR = 200 anni. È presente un solo scenario di stato attuale in quanto, come

|                            |        |    |    |    |       |  |    |    |    |
|----------------------------|--------|----|----|----|-------|--|----|----|----|
| ° Documento:               | Foglio |    |    |    | Rev.: |  |    |    |    |
| PUG pericolosità idraulica | 41     | di | 81 | 07 |       |  | 24 | 11 | 20 |



sommariamente descritto nel paragrafo 5.2.3.1, il Lidar di base utilizzato integra già i lavori di adeguamento arginale realizzati o in corso di realizzazione da parte del Consorzio (che si riflettono in un ridotto numero di tratti esondabili avendo avuto cura di escludere alcune aree in precedenza critiche nello studio del 2006 come il ramo terminale del canale Vena Madonna) ed in quote massime invasabili nei diversi tratti condizionate proprio dalla altezza massima dei rilevati arginali e dei muretti di protezione così inseriti

Sul lidar utilizzato è stata inoltre imposta la quota di 0.3 m slm nel porto canale (mantenuta tale dalle idrovore delle porte vinciane).

Le mappe seguenti rappresentano tiranti idrici di riferimento aggiornati, rispettivamente per tempi di ritorno pari a 30 anni ed a 200 anni.

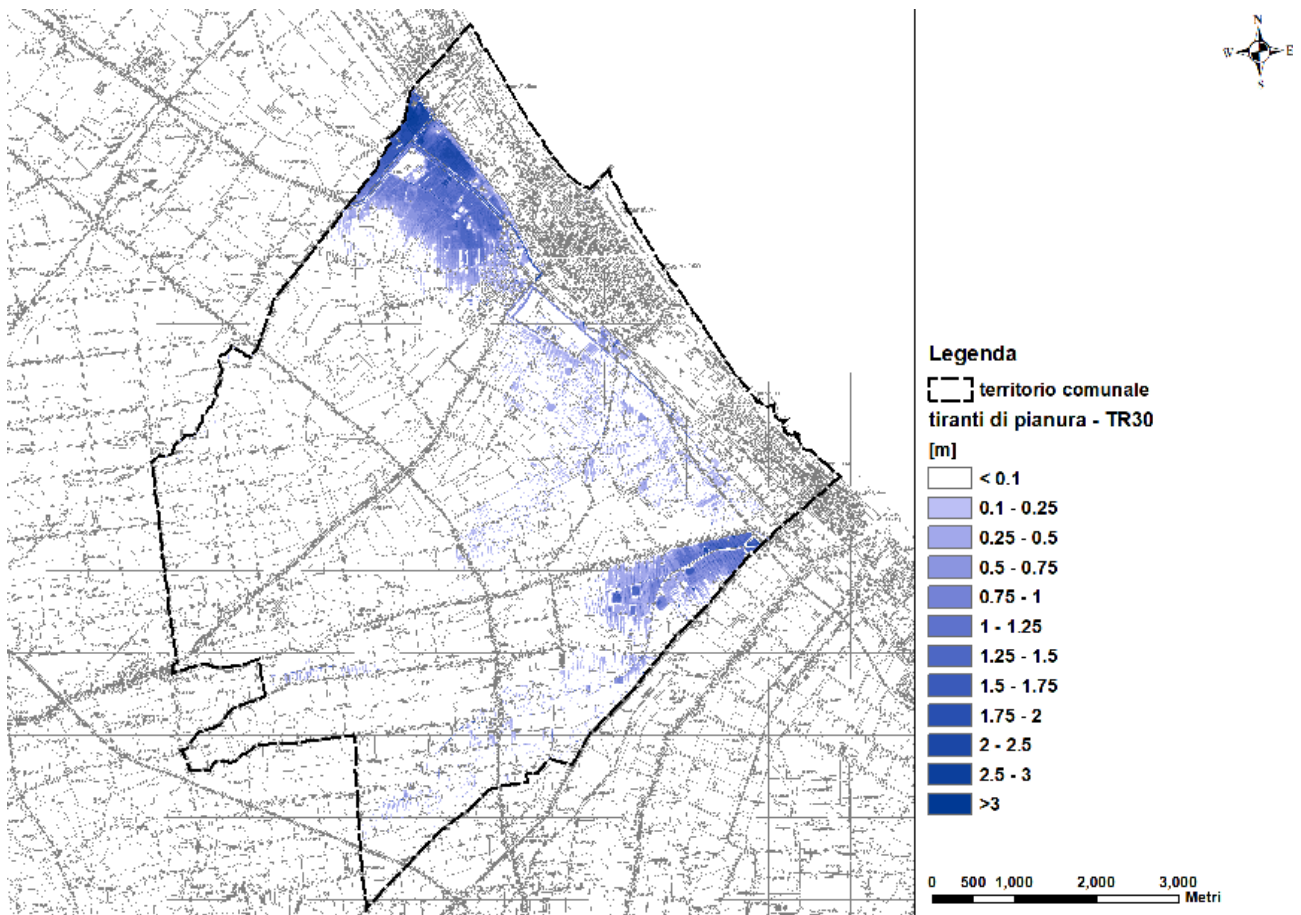


Figura 40 - tiranti idrici di pianura per tempo di ritorno pari a 30 anni

|                            |        |    |    |       |  |  |    |    |    |
|----------------------------|--------|----|----|-------|--|--|----|----|----|
| ° Documento:               | Foglio |    |    | Rev.: |  |  |    |    |    |
| PUG pericolosità idraulica | 42     | di | 81 | 07    |  |  | 24 | 11 | 20 |



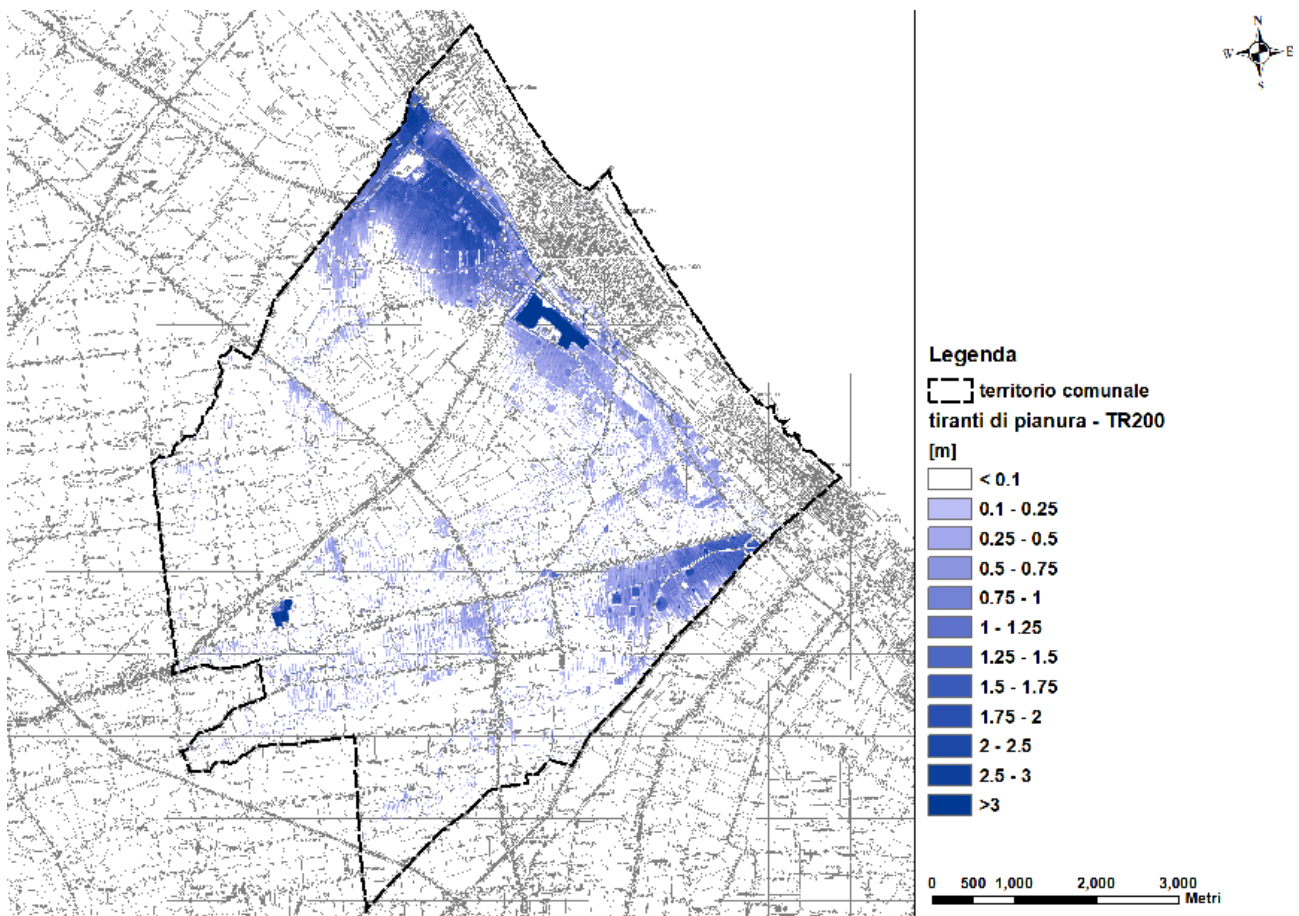


Figura 41 - tiranti idrici di pianura per tempo di ritorno pari a 200 anni

Le mappe riportate in Tabella 11 e in allegato rappresentano sia l'estensione che il battente idraulico associati agli scenari di allagamento fluviale applicati alla condizione dello stato di fatto ( inclusi gli interventi strutturali in corso di realizzazione descritti al capitolo seguente )

|   | FLUVIAL                          | Scenario Stato di Fatto | Tavole PUG     |
|---|----------------------------------|-------------------------|----------------|
| 1 | TR30                             | <b>A_TR30</b>           | <b>Lt4.Ri3</b> |
| 2 | TR200                            | <b>A_TR200</b>          | <b>Lt4.Ri2</b> |
| 3 | Zone Normative Rischio Idraulico |                         |                |

Tabella 10 – elenco mappe scenari di allagamento fluviale, in grassetto le mappe utilizzate per la creazione delle tavole di piano

| ° Documento:               | Foglio |    |    | Rev.: |  |  |    |    |    |
|----------------------------|--------|----|----|-------|--|--|----|----|----|
| PUG pericolosità idraulica | 43     | di | 81 | 07    |  |  | 24 | 11 | 20 |



## 5 AZIONI DI MITIGAZIONE DEL RISCHIO IDRAULICO

Le azioni di mitigazione del pericolo e di conseguenza del rischio idraulico possono essere distinte in:

- interventi strutturali per ridurre la sollecitazione (picchi di piena e di volume apportati alla rete di drenaggio) o, in modo speculare, aumentare la officiosità idraulica della rete di drenaggio stessa, realizzare barriere in grado di ridurre l'estensione delle aree allagate.
- interventi non strutturali, la cui finalità è quella di incentivare l'uso di suolo che aumenti gli effetti di drenaggio urbano e innanzitutto prevenire l'uso del territorio che esalti ed amplifichi gli effetti dei fenomeni alluvionali, come infrastrutture verdi (Nature Based Solution) e SUDS. In questa categoria, inoltre, si intendono comprese anche le azioni di mitigazione dei danni economici applicabili direttamente sugli edifici.

Il presente paragrafo, evitando di addentrarsi in una disamina concettuale sui diversi tipi di intervento possibili alle varie scale territoriali e sui relativi principi ispiratori, intende piuttosto verificare il livello di soluzione delle criticità note e l'esistenza di criticità residue o nuove da mitigare.

### 5.1 INTERVENTI STRUTTURALI

Per quanto concerne il pericolo e rischio Fluviale si procede nella analisi dello stato di attuazione delle misure strutturali pianificate nell'ambito del PAI-PGRA.

Per quanto riguarda gli **interventi strutturali** il PAI, nella sua ultima variante di coordinamento con il PGRA del Novembre 2016, contiene un esteso ed aggiornato elenco di opere ritenute necessarie per la mitigazione del rischio idraulico di origine **fluviale**, da cui si possono estrarre agevolmente quelli di interesse diretto per il territorio comunale:

- Torrente Pisciatello e Fiume Rubicone - Cesena, Cesenatico e Savignano sul R.: Ripristino erosioni di scarpata e di franamenti della sommità arginale con ricostruzione della sottobanca.
- Potenziamento delle strutture arginali dei canali Venone e Vena Madonnina – Comune di Cesenatico, consistente nella risagomatura dell'alveo e del conseguente rialzo arginale dei suddetti canali.
- Realizzazione di vasca di laminazione delle portate di piena del Canale Madonnina in Comune di Cesenatico

| ° Documento:               | Foglio |    |    | Rev.: |  |  |    |    |    |
|----------------------------|--------|----|----|-------|--|--|----|----|----|
|                            |        | di |    |       |  |  |    |    |    |
| PUG pericolosità idraulica | 44     | di | 81 | 07    |  |  | 24 | 11 | 20 |



COMUNE DI  
CESENATICO

- Realizzazione di collegamento del canale Vena Madonnina all'impianto idrovoro Venarella – Comune di Cesenatico, consistente nella realizzazione di una condotta intubata (scatolare in c.a.)
- Interventi di messa in sicurezza del reticolo artificiale di bonifica nelle aree interessate dagli eventi del 5 e 6 febbraio 2015.

Tali previsioni trovano riscontro anche negli approfondimenti condotti in ordine al rischio fluviale presentate al capitolo 5.4

Per il torrente Pisciatello le sistemazioni e sezionamenti previsti, co adeguamento almeno alla portata trentennale, dopo verifica con l'agenzia di Protezione Civile, risultano eseguite negli anni successivi la variante e permangono solo alcune criticità localizzate in sinistra idraulica (Figura 32) per la incerta consistenza arginale.

Analoga verifica presso il Consorzio ha di Bonifica ha mostrato come gli interventi sulla rete minore indicati siano già stati pianificati/progettati quando non avviati/conclusi. In particolare, per quanto riguarda il nodo idraulico del canale Vena Madonnina, a seguito delle alluvioni del 2015, sono in corso di realizzazione gli step di interventi di cui si riporta di seguito breve sintesi in relazione anche ai benefici idraulici ottenibili, elaborata a partire dal confronto tecnico con il Consorzio di Bonifica.

Permangono quindi ad oggi, per il reticolo minore situazioni di criticità residue evidenziate a seguito degli eventi del 2015 e sintetizzate nella Figura 34, per le quali non sono previsti specifici interventi strutturali.

| ° Documento: | Foglio                     |    |    | Rev.: |    |  |  |    |    |
|--------------|----------------------------|----|----|-------|----|--|--|----|----|
|              | PUG pericolosità idraulica | 45 | di | 81    | 07 |  |  | 24 | 11 |



COMUNE DI  
CESENATICO

| <b>Intervento</b>   | <b>Effetti</b>   | <b>stato<br/>avanzamento ad<br/>Aprile 2020</b>                      |
|---|--|--|
| a. Potenziamento delle strutture arginali dei canali Venone e Vena Madonna  | Protezione da evento di piena TR 10 anni (in ipotesi di mare a livello + 130 cm) di aree limitrofe al canale Venone e bacino idrovoro Venarella (280 ha).  | in corso di esecuzione, prevista ultimazione al 2020                 |
| b. Lavori urgenti di manutenzione straordinaria del canale di bonifica Madonna a difesa delle abitazioni limitrofe  | Protezione da evento di piena TR 10 anni (in ipotesi di mare a livello + 130 cm) di piccola porzione nord bacino canale Madonna (200 ha).  | in corso di affidamento lavori previsti nel 2021                     |
| c. Costruzione Cassa di laminazione arginata ed annesse opere idrauliche di regolazione a servizio del canale Madonna a difesa delle abitazioni limitrofe | Protezione da evento di piena TR 30 anni (in ipotesi di mare a livello + 130 cm) di ampia porzione nord bacino canale Madonna (400 ha) e aumento considerevole della protezione da evento di piena del centro urbano di Cesenatico (400 ha), attualmente TR10. | progetto definitivo approvato, lavori previsti nel periodo 2021-2023 |

**Tabella 11- interventi strutturali nel nodo idraulico Vena Madonna che apportano benefici specifici. Cronologia indicativa di realizzazione degli interventi, informazioni elaborate a partire dal confronto tecnico con il Consorzio di Bonifica.**

| <b>° Documento:</b>        | <b>Foglio</b> |    |    | <b>Rev.:</b> |  |  |    |    |    |
|----------------------------|---------------|----|----|--------------|--|--|----|----|----|
| PUG pericolosità idraulica | 46            | di | 81 | 07           |  |  | 24 | 11 | 20 |

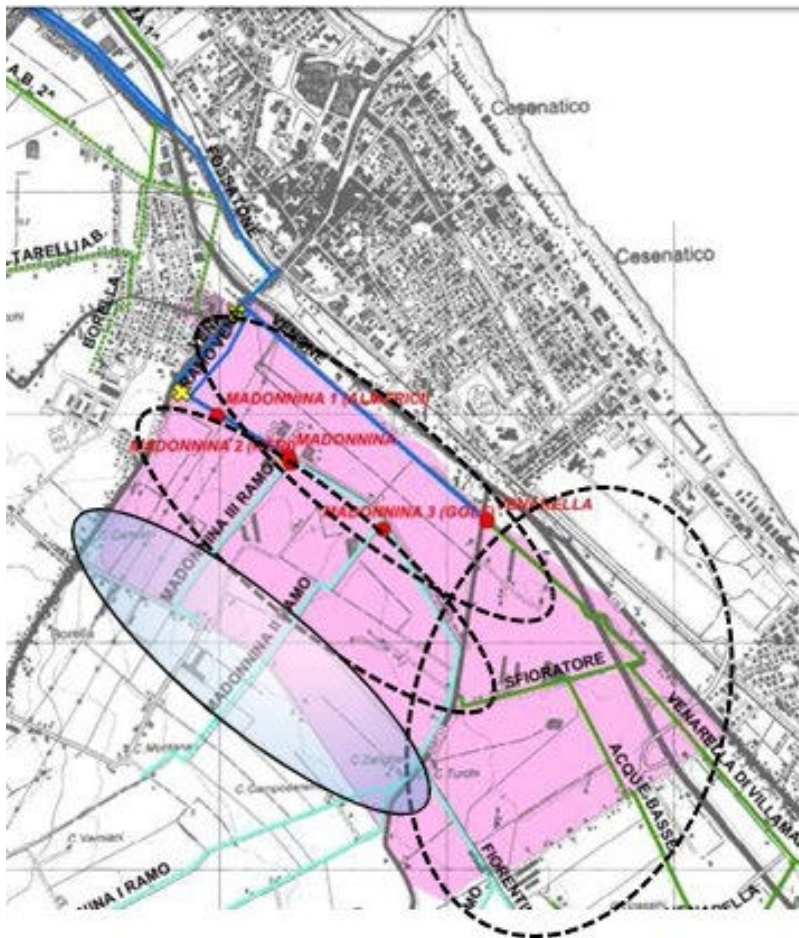


Figura 42 – aree difese dagli interventi a) b) e c). TR 30 anni, fonte <sup>5</sup>

Dalla disamina congiunta del quadro degli interventi strutturali previsti ed attuati per le alluvioni di tipo fluviale e della mappatura aggiornata dei tiranti idrici di riferimento per tempo di ritorno TR = 30 anni e TR = 200 anni presentato nel capitolo 5.4 si può desumere un quadro di rischio idraulico fluviale di tipo residuale, ovvero dove le misure di mitigazione ancora da attuarsi siano essenzialmente di tipo non strutturale, volti a mitigare e a non amplificare gli effetti delle alluvioni.

<sup>5</sup> PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ED ECONOMICA "Costruzione cassa di laminazione arginata ed annesse opere idrauliche di regolazione a servizio del canale Madonnaia a difesa delle abitazioni limitrofe"-RELAZIONE SULLA CRONOLOGIA DEGLI INTERVENTI, Consorzio di Bonifica della Romagna -Gennaio 2017

| ° Documento:               | Foglio |    |    | Rev.: |  |  |    |    |    |
|----------------------------|--------|----|----|-------|--|--|----|----|----|
| PUG pericolosità idraulica | 47     | di | 81 | 07    |  |  | 24 | 11 | 20 |





COMUNE DI  
CESENATICO

Simili considerazioni sono riportate anche nella relazione idraulica corredo della precedente variante al PAI del 2011 <sup>6</sup>, dove si sottolinea il concetto del tutto condivisibile che *il territorio costiero compreso fra Savio e Pisciatello conserva una fragilità intrinseca legata all'assetto idraulico (soprattutto per la presenza di manufatti inofficiosi e della complessiva dipendenza da sistemi di bonifica) e al fenomeno della subsidenza; su entrambi gli aspetti, che concorrono alla configurazione di un "rischio residuo" che non è possibile interamente coprire con gli interventi strutturali, occorre mantenere un'elevata attenzione a tutti i livelli, dalle scelte di pianificazione agli accorgimenti progettuali sui singoli interventi, al monitoraggio e all'analisi delle criticità locali e di sistema. Un atteggiamento di attenzione come quello richiesto viene attuato attraverso gli strumenti normativi, conoscitivi e tecnico-operativi propri della pianificazione di bacino.*

Per quanto riguarda il rischio di allagamento **costiero** il PAI riporta per Cesenatico (dopo la realizzazione delle porte Vinciane in epoca recente per la mitigazione strutturale del rischio per l'area del porto canale) quale opera in corso l'Adeguamento delle opere esistenti (argini a mare, difese radenti, etc.) e più specificatamente la "Messa in sicurezza tratti particolarmente critici del litorale regionale, interessati da erosione, subsidenza e rischio di ingressione marina negli abitati mediante ripristino, manutenzione, reintegro di opere di difesa rigide e volumi/profili di spiaggia. Località: Lido Adriano (RA), Cesenatico, Gatteo, S. Mauro Pascoli, Savignano sul R. (FC). Codice ReNDiS O8IR197/G1".

Questo tipo di interventi come la manutenzione e ricarica delle scogliere posizionate a difesa degli arenili (ad esempio in località Villamarina) ed il ripascimento annuale degli arenili in erosione vengono periodicamente programmati dalla Regione Emilia-Romagna, progettati dall'Agenzia di Protezione civile - Servizio Area Romagna in coordinamento con le Amministrazioni comunali e le realtà locali.

Tra gli interventi strutturali e temporanei riveste un certo interesse la duna invernale, come si è avuto modo di discutere nel capitolo 5.2, la cui continuità rappresenta un elemento critico nella difesa dalle mareggiate e un elemento di attenzione su cui soffermarsi nella ideazione e mantenimento delle opere di difesa strutturale.

il PAI ben riassume gli interventi di tipo strutturale (a carattere sostanzialmente manutentivo) previsti:

*Creazione o ripristino di profili idonei a garantire un primo livello di difesa della costa utilizzando sabbie litoranee e depositi sottomarini al largo*

<sup>6</sup> PIANO STRALCIO PER IL RISCHIO IDROGEOLOGICO "Variante al Titolo II "Assetto della rete idrografica"- RELAZIONE Autorità dei Bacini Regionali Romagnoli, Novembre 2011.

| ° Documento:               | Foglio |    |    | Rev.: |  |  |    |    |    |
|----------------------------|--------|----|----|-------|--|--|----|----|----|
|                            |        | di |    |       |  |  |    |    |    |
| PUG pericolosità idraulica | 48     | di | 81 | 07    |  |  | 24 | 11 | 20 |



COMUNE DI  
CESENATICO

*Inoltre : rendere cogenti le linee guida GIZC*

*LINEA 2.4.1 – Rinforzare il sistema ambientale litoraneo attraverso l'avanzamento della linea di costa*

*LINEA 3.1.1 – Attuare la difesa delle aree critiche mediante ripascimento con sabbie sottomarine*

*LINEA 3.1.2 – Promuovere l'utilizzo delle sabbie litoranee e portuali*

*LINEA 3.2.2 – Avviare la ricostruzione degli apparati dunosi,*

*LINEA 3.2.3 – Introdurre/rafforzare norme per la salvaguardia e la conservazione dei sistemi dunosi esistenti.*

In generale per il pericolo e rischio Costiero si ritiene percorribile la realizzazione di dune artificiali/naturali a ridosso del lungomare per proteggere la città e il territorio retrostante dagli eventi di allagamento anche in considerazione degli scenari di cambiamento climatico.

Per quanto riguarda il rischio di tipo **pluviale** la pianificazione attuale del rischio idraulico non offre alcuna precedente disamina. Nel Capitolo 5.3 si sono analizzati gli scenari legati agli eventi intensi sul territorio comunale, permettendo di evidenziare le aree a maggiore criticità su cui pianificare nel prossimo futuro l'attuazione di interventi strutturali connessi alle trasformazioni del territorio.

Le misure strutturali che sono possibili per mitigare il rischio pluviale in particolare connesso con eventi meteorici estremi si identificano in particolare le vasche di raccolta delle acque o sistemi di invaso a servizio di aree urbane depresse e soggette ad accumulo delle acque meteoriche.

## 5.2 INTERVENTI NON STRUTTURALI

La prima importante misura non strutturale consiste nell'aggiornamento periodico della conoscenza e della mappatura delle criticità. E' fondamentale che il Comune acquisisca, aggiornata con cicli pluriennali (dell'ordine di 2- 5 anni ) la topografia di dettaglio LIDAR, ad oggi parziale e datata ( anno 2008 e , per la sola fascia costiera, 2019 ); in tal senso un aggiornamento periodo di tale copertura a livello regionale sarebbe auspicabile, per ovvie ragioni di costi e di risparmi conseguibile su tale scala di acquisizione, anche su istanza delle amministrazioni comunali.

| ° Documento:               | Foglio |    |    | Rev.: |  |  |    |    |    |  |
|----------------------------|--------|----|----|-------|--|--|----|----|----|--|
|                            |        | di |    |       |  |  |    |    |    |  |
| PUG pericolosità idraulica | 49     | di | 81 | 07    |  |  | 24 | 11 | 20 |  |



COMUNE DI  
CESENATICO

Le misure di tipo **non strutturale** propriamente dette assumono una rilevanza di primo piano nella pianificazione locale e possono essere rese cogenti per tutte le trasformazioni territoriali in atto su cui il Comune abbia un ruolo autorizzativo.

Sotto il profilo tecnico vanno senz'altro considerati i due principali regolamenti in materia di sicurezza idraulica del territorio ovvero la già citata Direttiva Idraulica della Ex ADBRR (ora Autorità Distrettuale del Fiume Po) ed il Regolamento di Polizia Idraulica del Consorzio di Bonifica della Romagna<sup>7</sup>.

Tra gli interventi di tipo non strutturale ivi elencati rivestono particolare interesse, per la loro ricaduta sulla pianificazione ed attuazione delle trasformazioni territoriali:

- L'invarianza idraulica delle trasformazioni d'uso del suolo (paragrafo 7 della Direttiva e LINEE GUIDA PER LA PROGETTAZIONE nel Regolamento di Polizia Idraulica) che prevede la predisposizione di volumi che devono essere riempiti prima che si verifichi deflusso dalle aree trasformate per garantire l'effettiva invarianza del picco di piena al corpo idrico recettore, fornendo numerosi esempi di realizzazione tecnico costruttiva a corredo.
- I Tiranti idrici di riferimento e relativi accorgimenti tecnico-costruttivi, di cui al paragrafo 6 della Direttiva, contenente indicazioni su come utilizzare l'informazione sui tiranti idrici di pianura (di cui il quadro conoscitivo qui aggiornato propone una revisione sostanziale) facendo salva espressamente la competenza dei Comuni a fornire le indicazioni specifiche nell'ambito dei propri regolamenti edilizi ed urbanistici.

È del tutto superfluo in questa sede replicare e sintetizzare le indicazioni tecnico operative per la predisposizione di efficaci misure di invarianza idraulica e di messa in sicurezza in base alla informazione sui tiranti idrici di riferimento, per le quali si rimanda alla lettura dei due documenti tecnici indicati, quale possibile approfondimento tecnico si possono citare inoltre le soluzioni offerte al tema invarianza dalla Regione Lombardia, che ha recentemente aggiornato la propria normativa tecnica in materia<sup>8</sup>.

- È utile ricordare come, per i corsi d'acqua arginati del reticolo principale, la Direttiva consideri una distanza di rispetto dai corsi d'acqua arginati (art. 10 delle norme del PAI e paragrafo 9 della Direttiva). Ancorché questa analisi non riguardi il Torrente Pisciatello né i corsi arginati di ordine

<sup>7</sup> REGOLAMENTO DI POLIZIA IDRAULICA per la conservazione e la polizia delle opere pubbliche di bonifica e loro pertinenze in attuazione del R.D. 08/05/1904 n. 368 approvato con Delibera Consiglio di Amministrazione n. 049 del 09/04/2015

<sup>8</sup> <https://www.regione.lombardia.it/wps/portal/istituzionale/HP/DettaglioServizio/servizi-e-informazioni/Enti-e-Operatori/Territorio/difesa-del-suolo/invarianza-idraulica-e-idrologica/invarianza-idraulica-e-idrologica>

| ° Documento:               | Foglio |    |    | Rev.: |  |  |    |    |    |
|----------------------------|--------|----|----|-------|--|--|----|----|----|
|                            |        | di |    |       |  |  |    |    |    |
| PUG pericolosità idraulica | 50     | di | 81 | 07    |  |  | 24 | 11 | 20 |



COMUNE DI  
CESENATICO

inferiore rimane l'opportunità, vista l'estrema semplicità di applicazione dello schema di calcolo proposto, di utilizzarla anche per la stima della distanza di rispetto minima da corsi d'acqua arginati secondari, a cui collocare previsioni insediative specifiche e singoli interventi, al fine di cautelarsi anche da possibili effetti di tipo dinamico, quando non si voglia ricorrere indicazioni più semplici quali distanze fisse convenzionali dal piede arginale

La pianificazione di bacino (PAI-PGRA), supportata dalla nuova Legge urbanistica regionale offre alla pianificazione comunale la possibilità di incentivare interventi non strutturali (essenzialmente una progettazione permeabile ed orientata alla gestione degli apporti idrici ) e perfezionare la mappatura delle condizioni attuali e future di pericolosità idraulica , come riassunto nel paragrafo seguente.

Altre misure non strutturali che possono mitigare gli effetti del rischio idraulico pluviale riguardano le Sustainable Urban Drainage Systems (SUDS<sup>9</sup>) le Infrastrutture Verdi (Green Based Infrastructures<sup>10</sup>)

Dove il pericolo idraulico non è mitigato da misure sia strutturali che non strutturali, occorre procedere con mitigazione dei danni e del rischio direttamente sugli edifici esposti.

In questo caso sono applicabili diverse misure di mitigazione ( si veda ad esempio <sup>11</sup> e <sup>12</sup>) che possono essere promosse tramite le norme urbanistiche.

## 6 CONCLUSIONI

L'attività condotta a supporto del Piano Urbanistico Generale ( il " Piano" ) ha permesso di aggiornare le principali mappature esistenti della pericolosità idraulica sul territorio comunale, ereditate dalla pianificazione di distretto (PAI -PGRA), in linea con le indicazioni operative della pianificazione stessa e della nuova legge urbanistica regionale e di svolgere importanti approfondimenti sul tema alla scala comunale.

<sup>9</sup> [https://www.ciria.org/Memberships/The\\_SuDs\\_Manual\\_C753\\_Chapters.aspx](https://www.ciria.org/Memberships/The_SuDs_Manual_C753_Chapters.aspx)

<sup>10</sup> <https://www.epa.gov/green-infrastructure/green-infrastructure-design-and-implementation>

<sup>11</sup> <http://www.bostonplans.org/getattachment/d1114318-1b95-487c-bc36-682f8594e8b2>

<sup>12</sup> [https://www.fema.gov/media-library-data/1404150030143-cd3760624f61032d097df173e7f18355/FEMA\\_P312\\_Chap\\_7.pdf](https://www.fema.gov/media-library-data/1404150030143-cd3760624f61032d097df173e7f18355/FEMA_P312_Chap_7.pdf)

| ° Documento:               | Foglio |    |    | Rev.: |  |  |    |    |    |
|----------------------------|--------|----|----|-------|--|--|----|----|----|
|                            |        | di |    |       |  |  |    |    |    |
| PUG pericolosità idraulica | 51     | di | 81 | 07    |  |  | 24 | 11 | 20 |



COMUNE DI  
CESENATICO

In particolare, si sono dettagliate, con metodi innovativi sviluppati in progetti di ricerca e topografia ad alta risoluzione, le condizioni di pericolosità sul territorio comunale legate a :

- Tiranti idrici per esondazione fluviale con tempi di ritorno 200 e 30 anni (pericolosità P2-P3)
- Tiranti idrici per esondazione pluviale con tempi di ritorno da 10 a 200 anni e durate di 0.5 e 1 ora (pericolosità da P2 a P3) e mappa delle aree a maggior contributo al *runoff* superficiale in caso di eventi intensi.
- Tiranti idrici per esondazione costiera con tempi di ritorno da 10 a 200 anni (pericolosità P1-P2-P3) anche in scenario di cambiamento climatico e con l'ipotesi di interventi di difesa lungo costa.

Questi approfondimenti, oltre a costituire una parte del quadro conoscitivo per la valutazione di sostenibilità ambientale del Piano, permettono alla Amministrazione di pianificare interventi strutturali ove ancora utile, di aggiornare le mappe ufficiali della pianificazione distrettuale sul proprio territorio, e di elaborare proposte normative per incentivare la riduzione della pericolosità e del danno atteso sia per nuovi interventi che in occasione della riqualificazione dell'esistente.

| ° Documento: | Foglio                     |    |    | Rev.: |    |  |  |    |    |
|--------------|----------------------------|----|----|-------|----|--|--|----|----|
|              | PUG pericolosità idraulica | 52 | di | 81    | 07 |  |  | 24 | 11 |





COMUNE DI  
CESENATICO

## 7 BIBLIOGRAFIA

- Bates, P. D., Horritt, M. S., and Fewtrell, T. J. (2010). A simple inertial formulation of the shallow water equations for efficient two-dimensional flood inundation modelling. *Journal of Hydrology*, 387(1):33 – 45. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2010.03.027>.
- Chow, V. T., Maidment, D. R., & Mays, L. W. (1988). *Applied hydrology*. New York: McGraw-Hill
- Dottori, F., Salamon, P., Bianchi, A., Alfieri, L., Hirpa, F. A., and Feyen, L. (2016). Development and evaluation of a framework for global flood hazard mapping. *Advances in Water Resources*, 94:87 – 102. <https://doi.org/10.1016/j.advwatres.2016.05.002>
- Giorgi G., *Analisi morfologica dei territori di pianura ai fini dell'individuazione del rischio idraulico, tratto da Le analisi idrologico idrauliche per la pianificazione di bacino-manuale operativo di caratterizzazione del rischio idraulico, a cura di Giorgi G., Pistocchi A., "Flood risk cartography in alluvial plains"; Proceedings of the IVth European Congress on Regional Geoscientific Cartography and Information Systems - Vol. II, Bologna, June 17th-20th, 2003,*
- Mazzoli P., Bacchini M., Rosetti P., Pistocchi A. *Pericolosità Idraulica Nei Territori Di Pianura. Una Proposta Metodologica Per La Pianificazione: Il Caso Della Provincia Di Ravenna, 2013, L'ACQUA, vol.3, pp. 9-18*
- Meyer, F., Beucher, S., 1990. Morphological segmentation. *J. Visual Commun. Image Represent.* 1 (1), 21–46, September.
- Soille, P., Ansault, M., 1990. Automated basin delineation from digital elevation models using mathematical morphology. *Signal Process.* 20, 171–182.
- Tomlin, C.D., 1990. *Geographic Information Systems and Cartographic Modeling*. Prentice Hall, Englewood Cliffs, NJ.
- Wicks J. M., Syme B., Hassan M. A. A. M., Lin B. And Tarrant O, 2004. 2d modelling of floodplains—is it worth the effort? *Proceedings of the 39th Defra Flood and Coastal Management Conference, York*, pp. 10.1.1–10.1.11.

| ° Documento:               | Foglio |    |    | Rev.: |  |  |    |    |    |
|----------------------------|--------|----|----|-------|--|--|----|----|----|
|                            |        | di |    |       |  |  |    |    |    |
| PUG pericolosità idraulica | 53     | di | 81 | 07    |  |  | 24 | 11 | 20 |