Unione Rubicone e Mare

Attività di supporto alla caratterizzazione della pericolosità idraulica nei Comuni di Savignano sul Rubicone, Gatteo e San Mauro Pascoli, Gambettola, Borghi, Longiano, Roncofreddo per il Piano Urbanistico Generale.

Relazione Tecnica

Approvato	Ing. Stefano Bagli		
Controllato	Ing. Paolo Mazzoli		
Redatto	Dott. Antonio Sartini Ing. Paolo Mazzoli Ing. Stefano Bagli		
Rev.	01	Data	09/07/21
Cod. Doc.		Pagine	**86**

www.gecosistema.com

SOMMARIO

1 INTRODUZIONE E OBIETTIVI 4

2 INQUADRAMENTO PIANIFICAZIONE ESISTENTE RISCHIO IDRAULICO 4

2.1 IL PIANO DI GESTIONE DEL RISCHIO ALLUVIONI 5

2.2 IL PIANO TERRITORIALE DI COORDINAMENTO PROVINCIALE DELLA PROVINCIA DI FORLÌ-CESENA 15

2.3 IL PIANO STRALCIO PER IL RISCHIO IDROGEOLOGICO 20

Ex-AdB Bacini Romagnoli 20

Ex AdB Marecchia-Conca 25

3 INDIRIZZI SPECIFICI NELLA PIANIFICAZIONE DI BACINO E REGIONALE SULLE AZIONI DA INTRAPRENERE E PR GLI APPROFONDIMENTI LOCALI 30

3.1.1 INVARIANZA IDRAULICA E CONTROLLO DEGLI APPORTI D'ACQUA 31

3.1.2 TIRANTI IDRICI DI RIFERIMENTO – ALLAGAMENTO PLUVIALE, FLUVIALE E COSTIERO 31

4 MAPPATURA AGGIORNATA DELLA PERICOLOSITÀ IDRAULICA 33

4.1 INTRODUZIONE 33

4.2 MODELLO INONDAZIONE COSTIERA 35

4.2.1 MODELLO SEMPLIFICATO SAFER_COAST 35

4.2.2 IPOTESI E LIMITI 36

4.2.3 DATI DI INPUT 37

4.2.4 RISULTATI E SCENARI MODELLO ALLAGAMENTO SAFER_COAST 44

4.3 MODELLO INONDAZIONE PLUVIALE SAFER_RAIN 55

4.3.1 DATI DI INPUT 57

4.3.1.1 LIDAR 57

4.3.1.2 USO DEL SUOLO 58

4.3.1.3 IDF - DATI DI PIOGGIA 65
4.3.2 RISULTATI DELLE SIMULAZIONI - SAFER_RAIN 66
4.4 MODELLO INONDAZIONE FLUVIALE SaFER_RIVER 68
4.4.1 Area di Pianura 68
4.4.1.1 SORGENTI E SCENARI DI ALLAGAMENTO FLUVIALE 69
4.4.1.2 RETICOLO IDROGRAFICO E BACINI 69
4.4.1.3 SCENARI DI ESONDAZIONE FLUVIALE 71
4.4.1.4 RISULTATI DELLE SIMULAZIONI 73
4.4.2 Area di COLLINA MONTAGNA 76
4.4.2.1 SCENARI DI ESONDAZIONE FLUVIALE e Risultati delle simulazioni 77
5 AZIONI DI MITIGAZIONE DEL RISCHIO IDRAULICO 78
5.1 INTERVENTI STRUTTURALI 78
5.2 INTERVENTI NON STRUTTURALI 82
6 CONCLUSIONI 85
7 BIBLIOGRAFIA 86

1 INTRODUZIONE E OBIETTIVI

Il presente studio è predisposto come aggiornamento del quadro conoscitivo della pericolosità idraulica per il redigendo Piano Urbanistico Generale dell'Unione Rubicone e Mare, per i Comuni che hanno trasferito in Unione la funzione urbanistica (Savignano sul Rubicone, Gatteo e San Mauro Pascoli, Gambettola, Borghi, Longiano, Roncofreddo), 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
- Analisi degli interventi di mitigazione strutturali attuati e indicazioni

2 INQUADRAMENTO PIANIFICAZIONE ESISTENTE RISCHIO IDRAULICO

Si inquadra nel seguito l'area di studio (territorio dei Comuni dell'Unione) riportando le considerazioni sul rischio idraulico fluviale e costiero contenute nella pianificazione sovraordinata settoriale vigente.

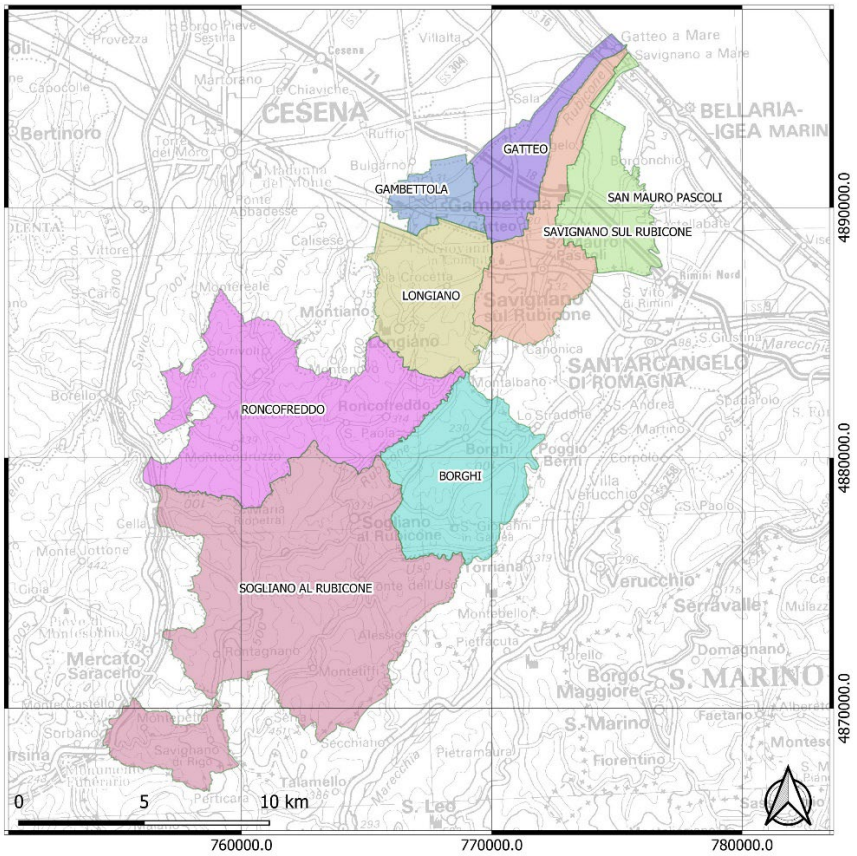


Figura 1 - inquadramento territoriale Unione su base CTR

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 ridurne le conseguenze negative nei confronti della vita e salute umana, dell'ambiente, del patrimonio culturale, delle attività economiche e delle infrastrutture strategiche.

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);
- 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 2.3 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 relative rispettivamente al Reticolo Principale (RP) ed al Reticolo Secondario Pianura (RSP).

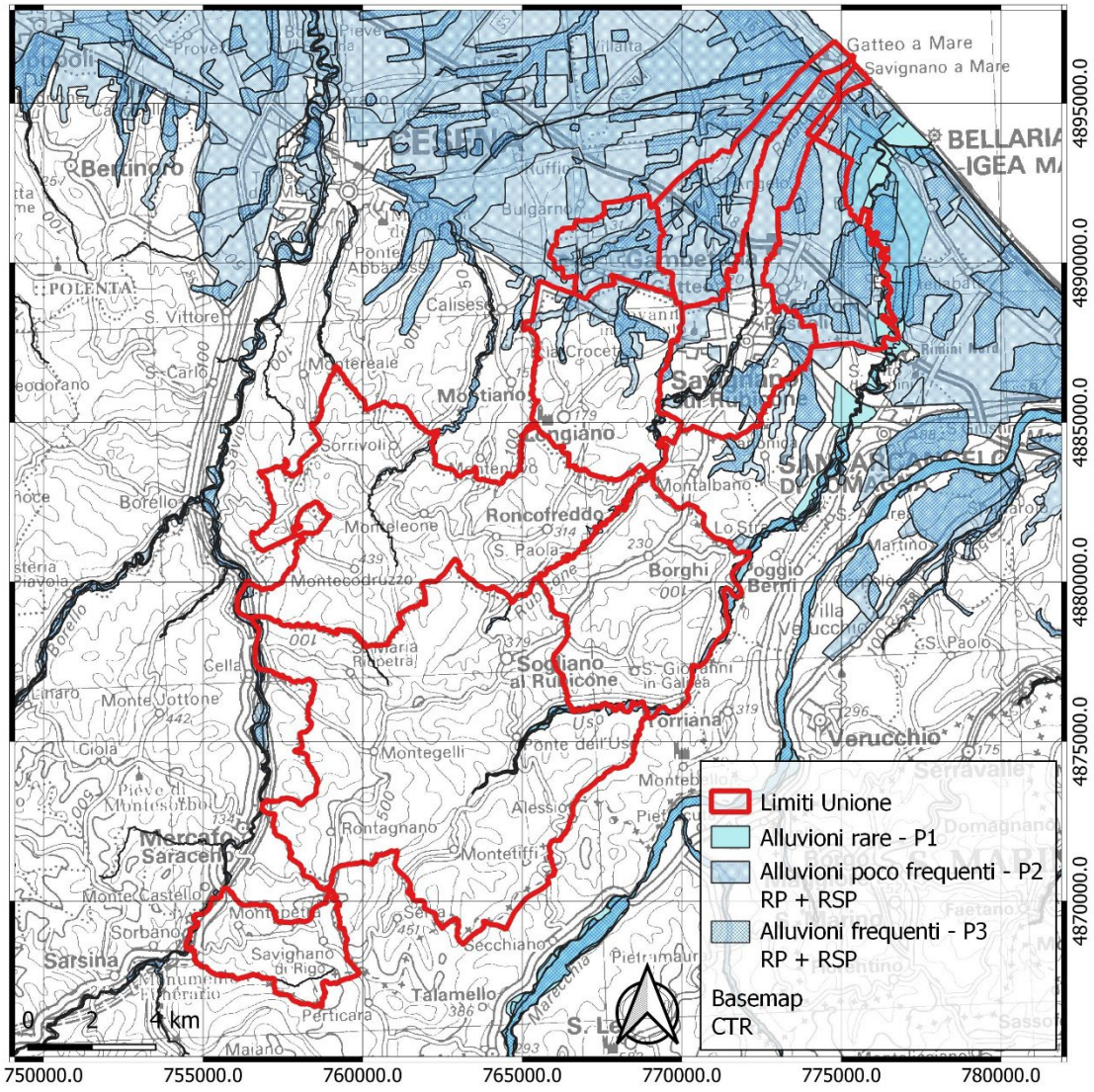


Figura 2 - mappa della pericolosità da Reticolo Principale (RP) e Reticolo Secondario di Pianura (RSP)

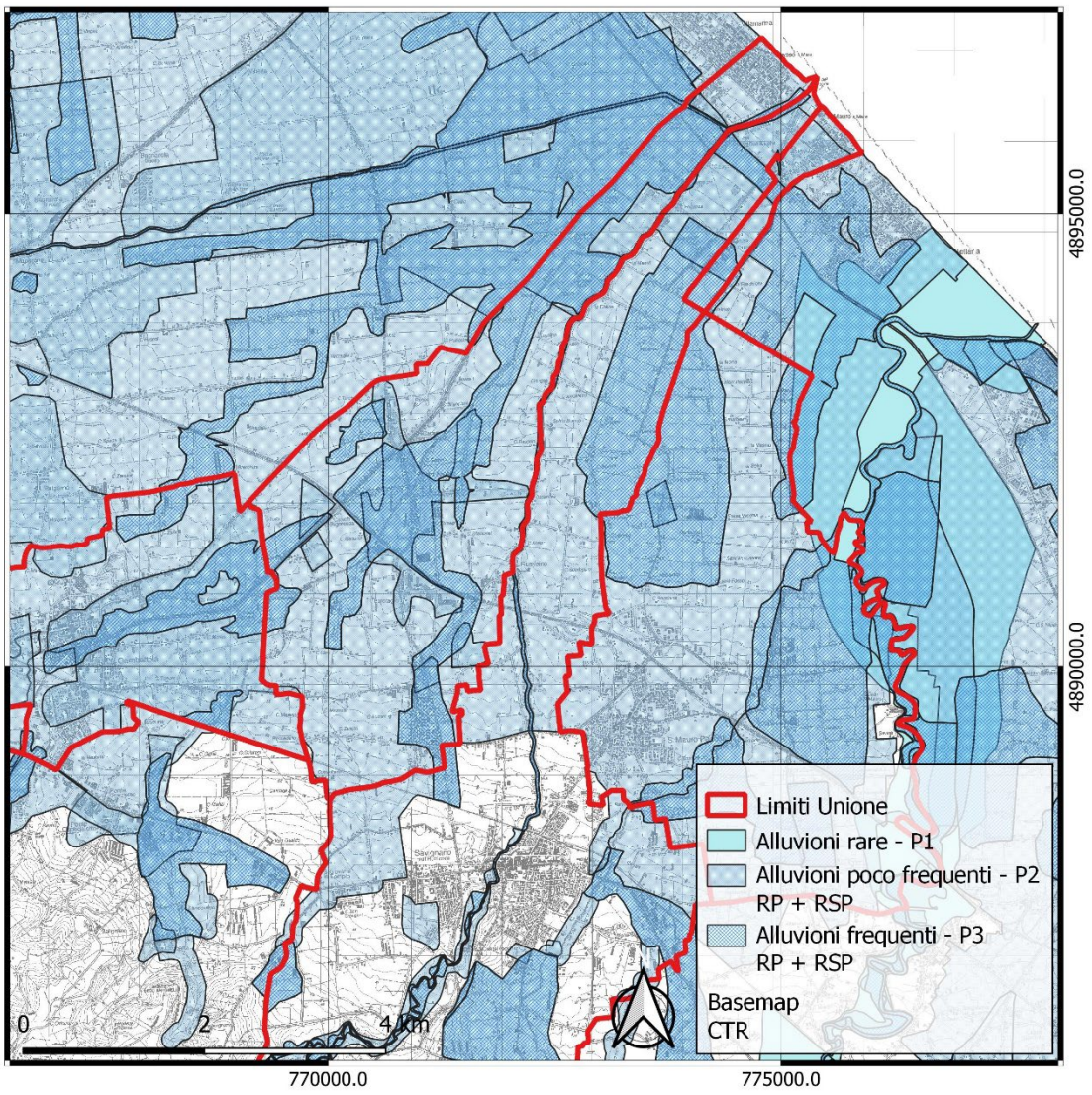


Figura 3 – Dettaglio della zona a mare, per i reticoli Principale e Secondario

La pericolosità derivante da potenziali alluvioni come vediamo in Figura 3 si concentra nelle aree di espansione dei fiumi Rubicone e Pisciatello. La parte Sud-Est a limite del confine comunale di San Mauro Pascoli invece, comprende le aree del bacino dell'Uso che delimitano naturalmente il comune.

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 (che sotto costa generano un rialzo cosiddetto "*wave set-up*"), l'acqua alta, data dalla marea astronomica (*tide*) e dal sovralzo 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 (Dato Piano costa RER '82)

Tabella 1 - Valori del sovralzo 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 4 si riporta la mappa di pericolosità per il territorio dell'Unione relativo all'Ambito Marino Costiero.

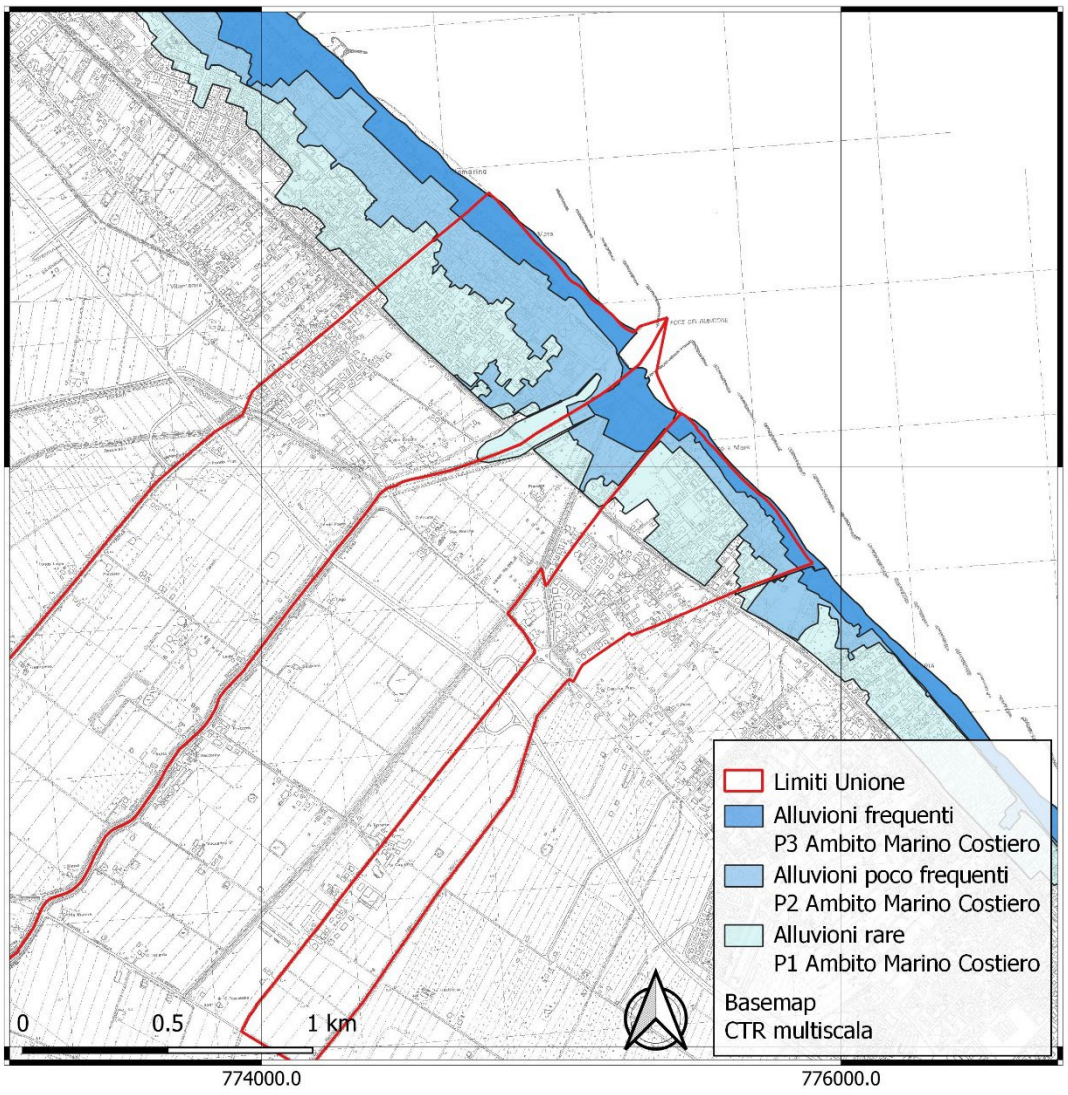


Figura 4 - mappa della pericolosità per l'Ambito Marino Costiero (AMC)

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;

- 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.

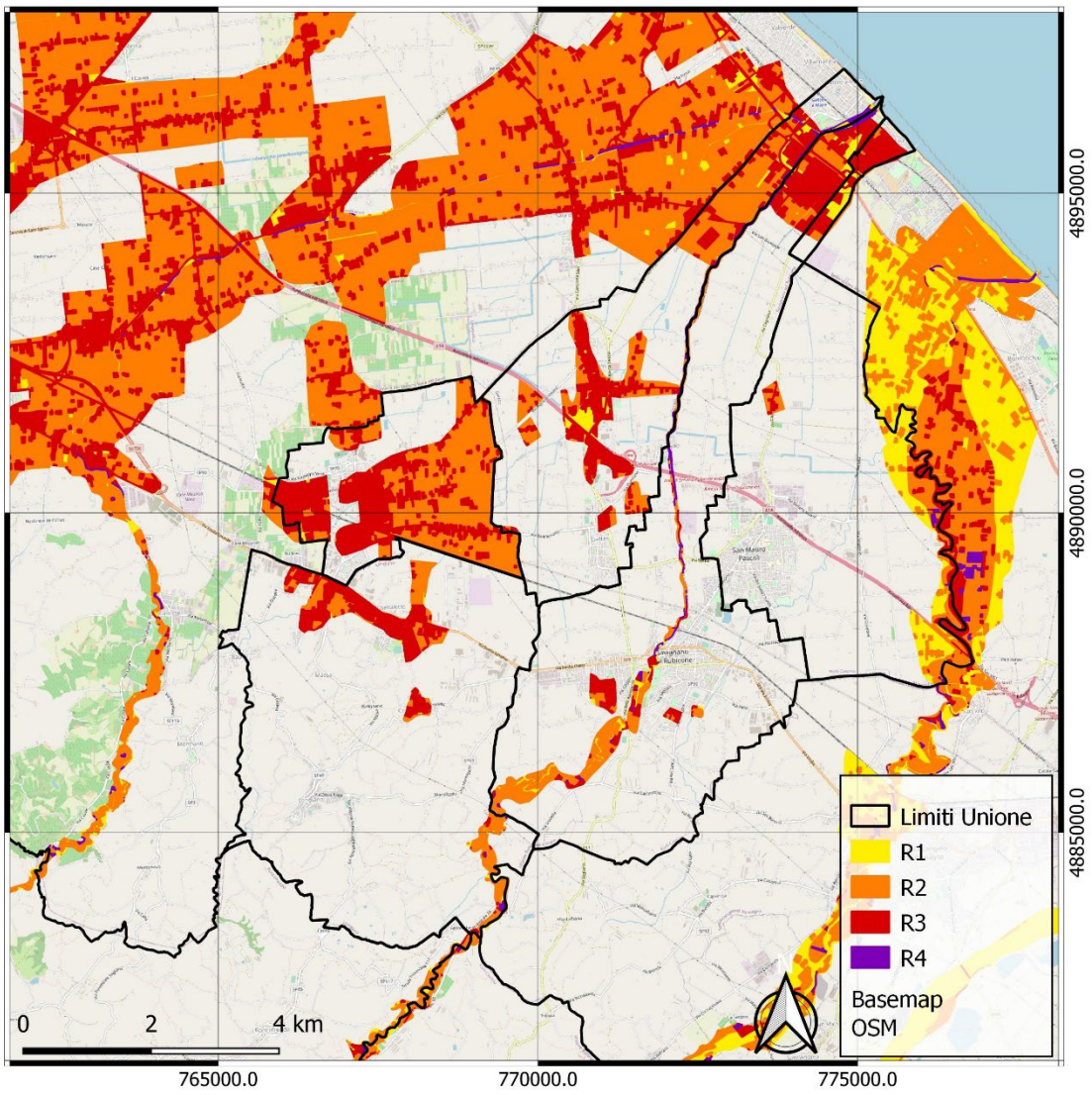


Figura 5 - mappa del rischio da Reticolo Principale (RP)

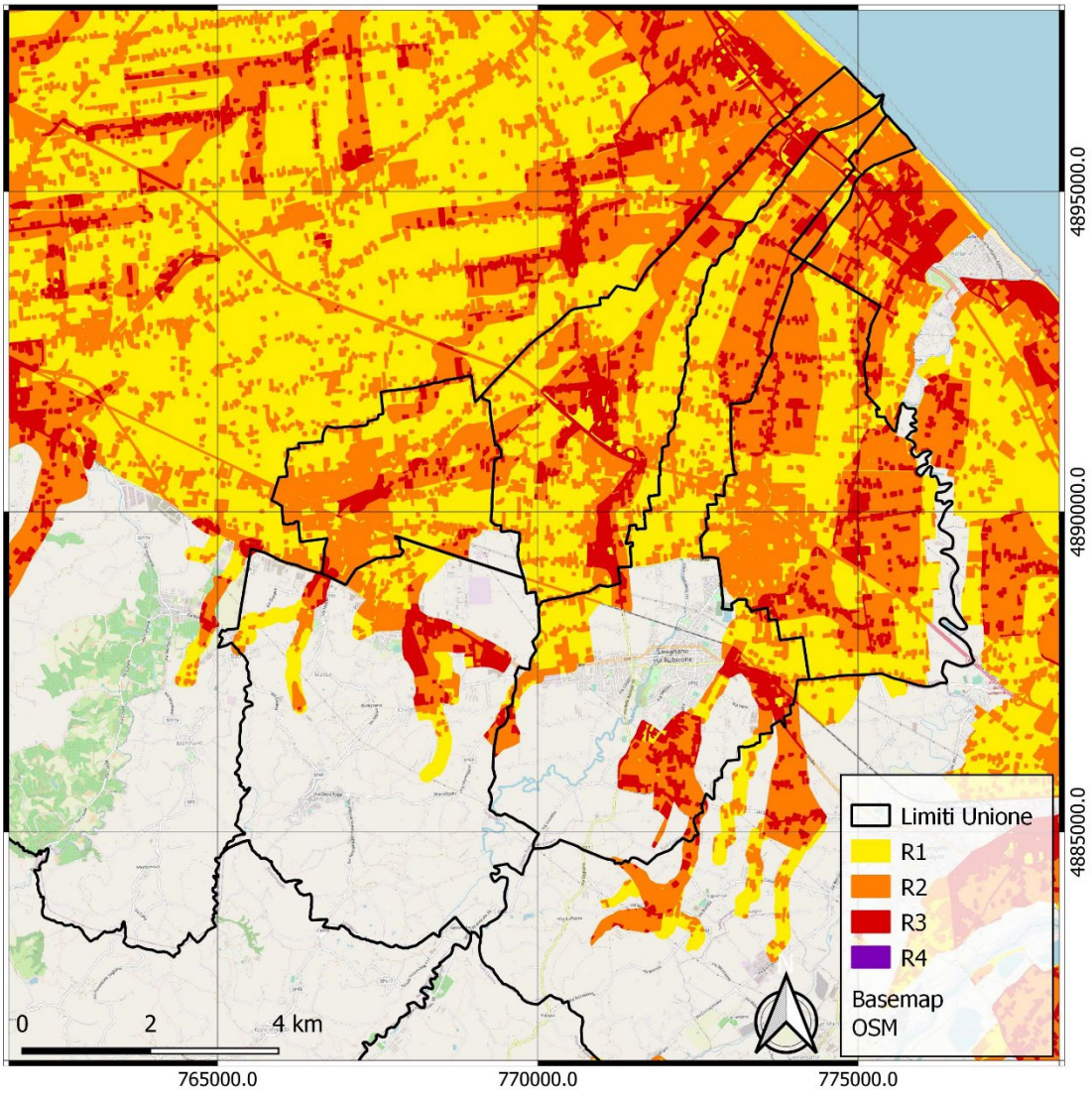


Figura 6 - mappa del rischio da Reticolo Secondario di Pianura (RSP)

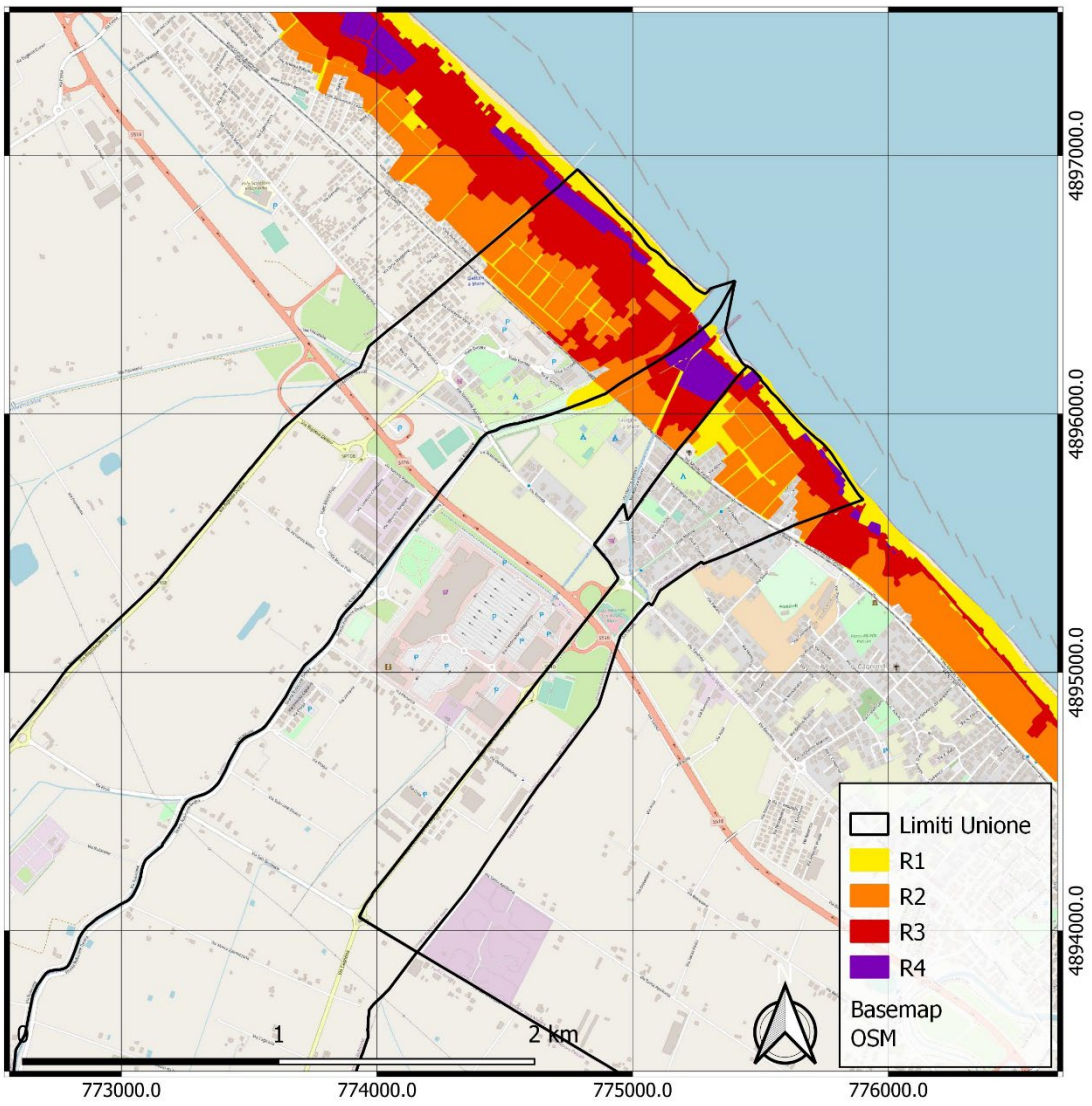


Figura 7 - mappa del rischio per l'Ambito Marino Costiero (AMC)

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 e Delibera CIP n.2 del 12/11/2019 di adozione della variante stessa (ex art. 8).

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.

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 s.m.i.., 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 dell'Unione.

La figura seguente riporta un estratto della tavola 2 del PTCP vigente, in cui sono riportate le perimetrazioni relative agli art. 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).

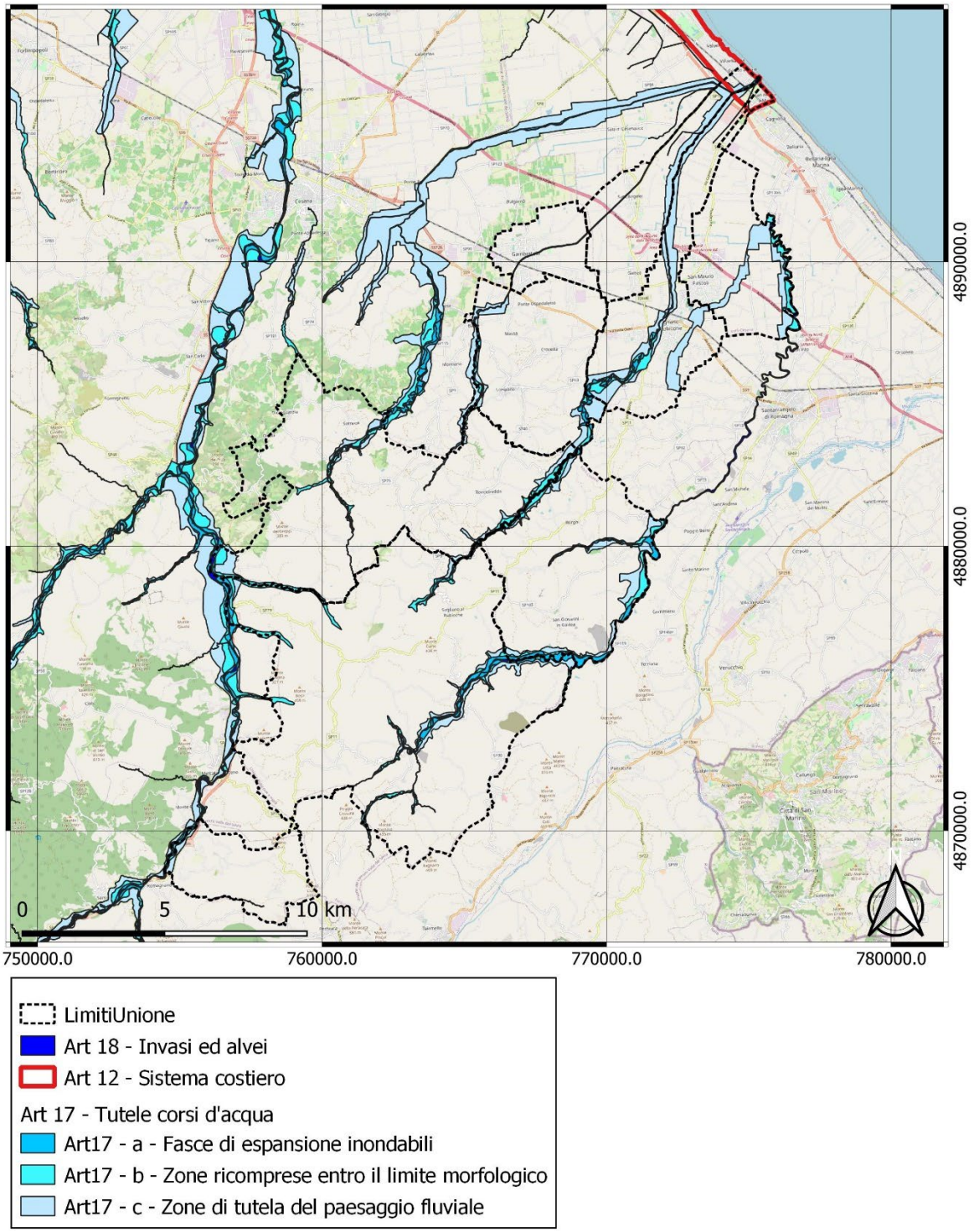


Figura 8 - estratto della tavola 2 del PTCP - Zonizzazione Paesistica

Il territorio indicato quale “sistema costiero” ricomprende i Comuni di Gatteo, Savignano e San Mauro Pascoli, i quali si trovano a ridosso della costa; per essi 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.

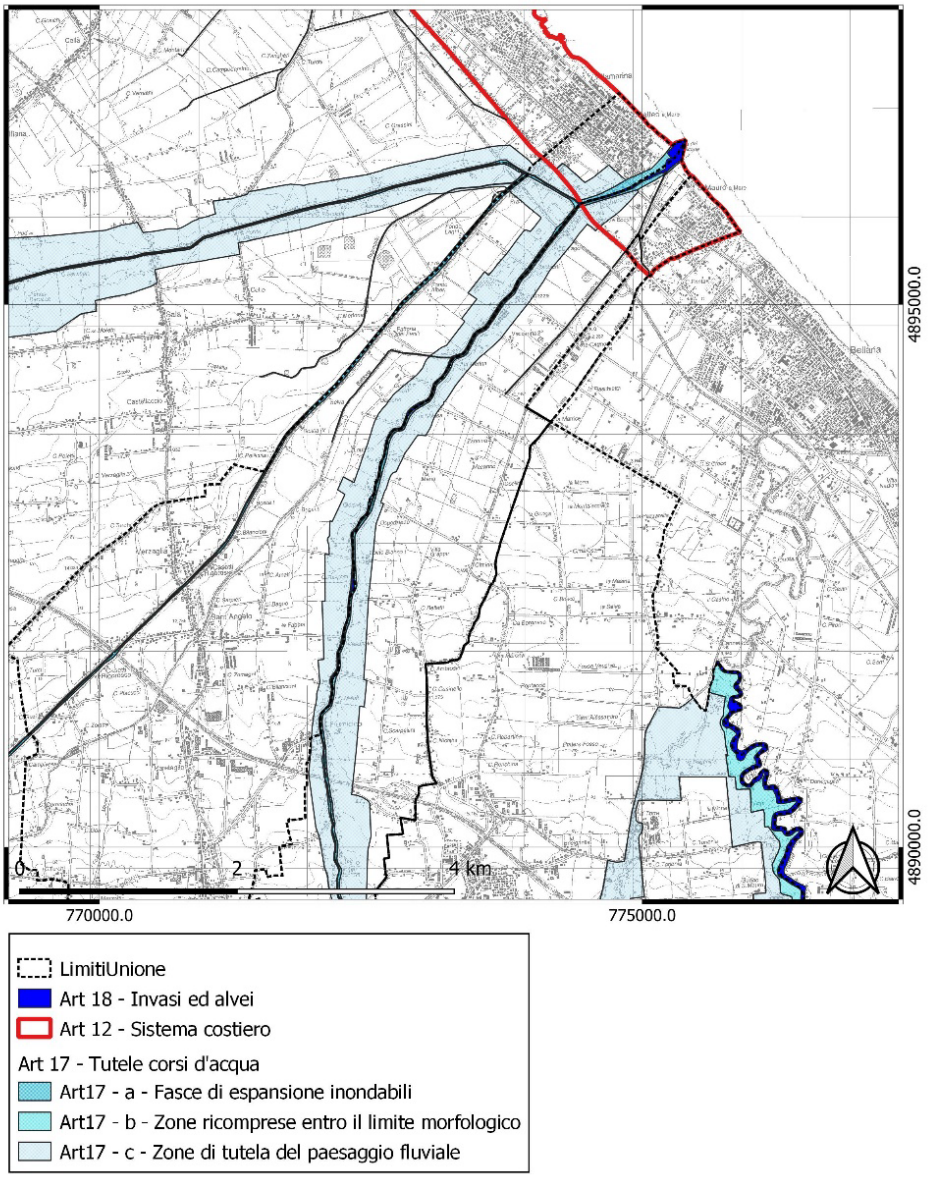


Figura 9 - estratto della tavola 2 del PTCP - Zonizzazione Paesistica - dettaglio dell’area di costa

Per quanto riguarda l'art. 17, il territorio dell'Unione risulta interessato in relazione al corso del Pisciatello per quanto riguarda il suo ultimo tratto con immissione nel fiume Rubicone, che ricade interamente nell'area soggetta ad analisi e infine due tratti del fiume Uso in corrispondenza dei Comuni di San Mauro Pascoli, Borghi e Sogliano al Rubicone. Fare riferimento alla Figura 8 per una immagine d'insieme.

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, Rubicone e Ausa, anche i canali di bonifica e scolo presenti all'interno del territorio (Figura 10).

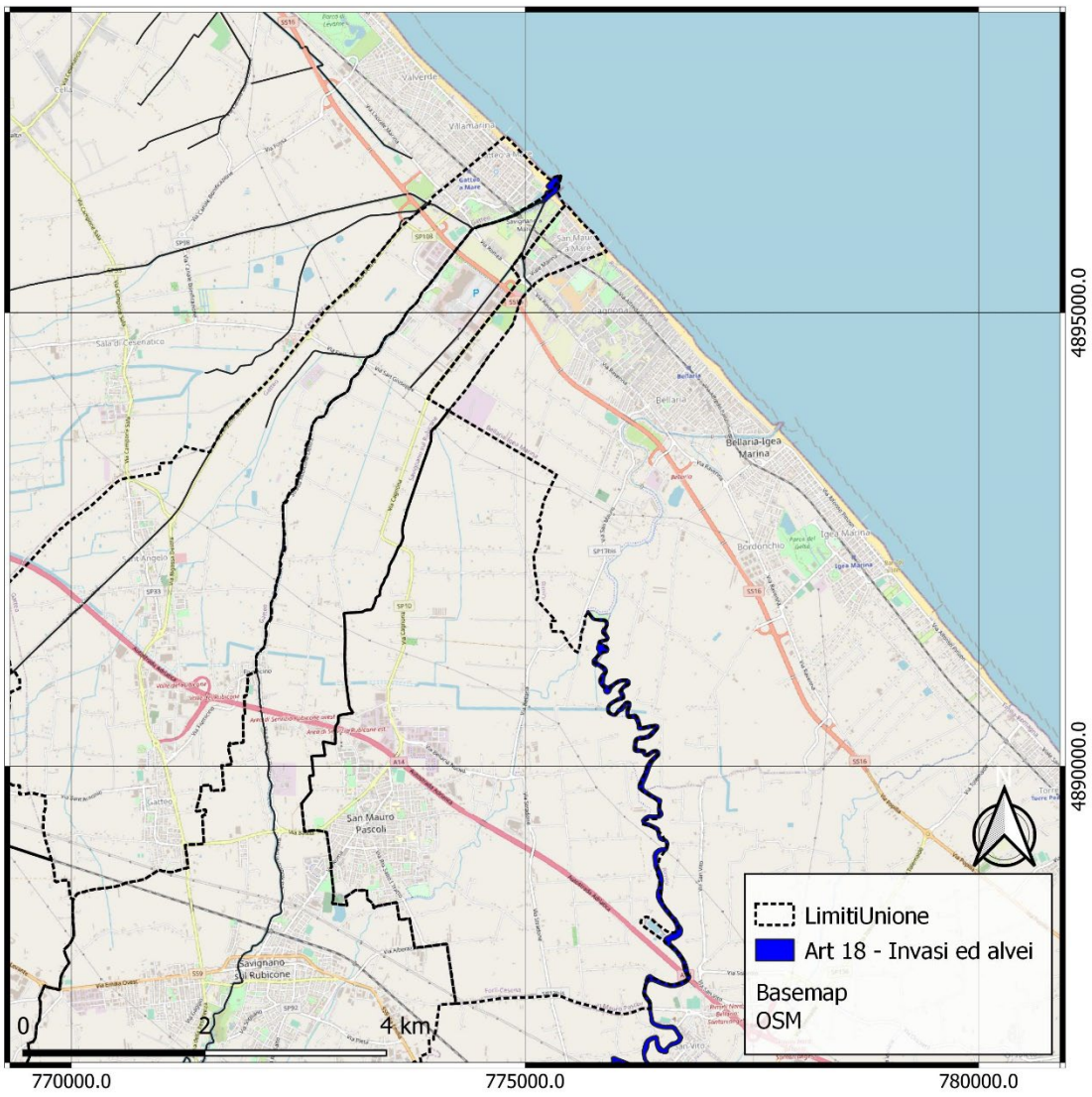


Figura 10 - estratto della tavola 2 del PTCP – Dettaglio Art. 18

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

EX-ADB BACINI ROMAGNOLI

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 dell'Unione Rubicone e Mare, 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, come vediamo in Figura 11 troviamo diversi comuni soggetti a potenziale allagamento ai sensi dell'Art. 6 (Figura 11), in particolare abbiamo Gambettola, Gatteo, Savignano al Rubicone, San Mauro Pascoli ed in maniera piuttosto limitata anche Longiano.

Per quanto riguarda gli Art. 3 e 4 troviamo indicazioni di rischio potenziale per quanto riguarda il corso del Rubicone.

Mentre all'interno dell'alveo del Torrente Pisciatello e del Fiume Rubicone sono vigenti i disposti dell'art. 2ter (alvei), per i quali si omette di riportare una disamina più approfondita dato il loro elevato livello di tutela rispetto alle trasformazioni urbanistico territoriali e la loro natura intrinsecamente allagabile:

L'area più prossima alla Costa è infine soggetta agli Art. 15 e 16, relativi ai diversi gradi di rischio costiero introdotti dalle analisi del Piano di Gestione del Rischio Alluvioni PGRA.

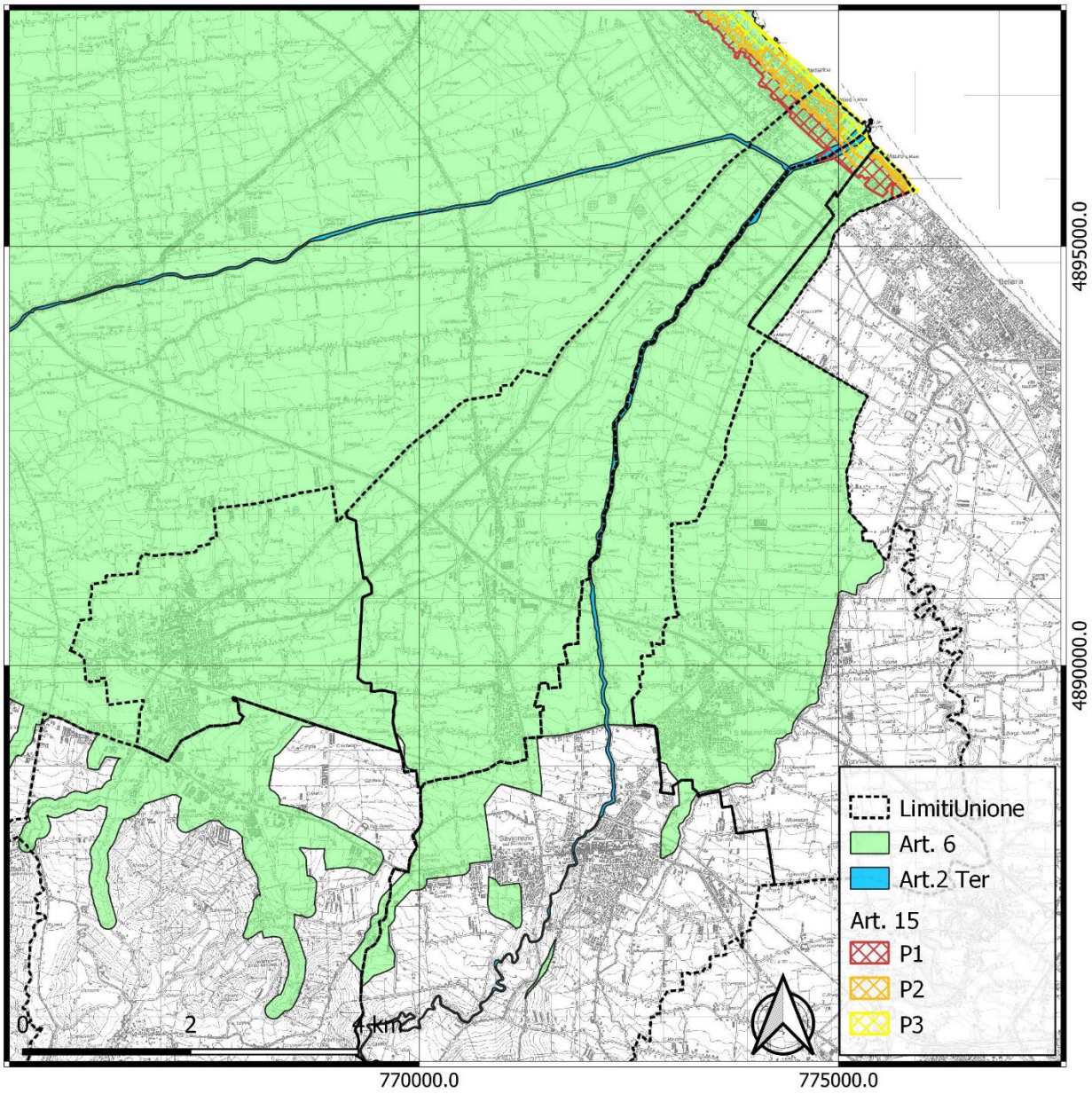


Figura 11 - perimetrazioni ai sensi del Piano Stralcio per il Rischio Idrogeologico

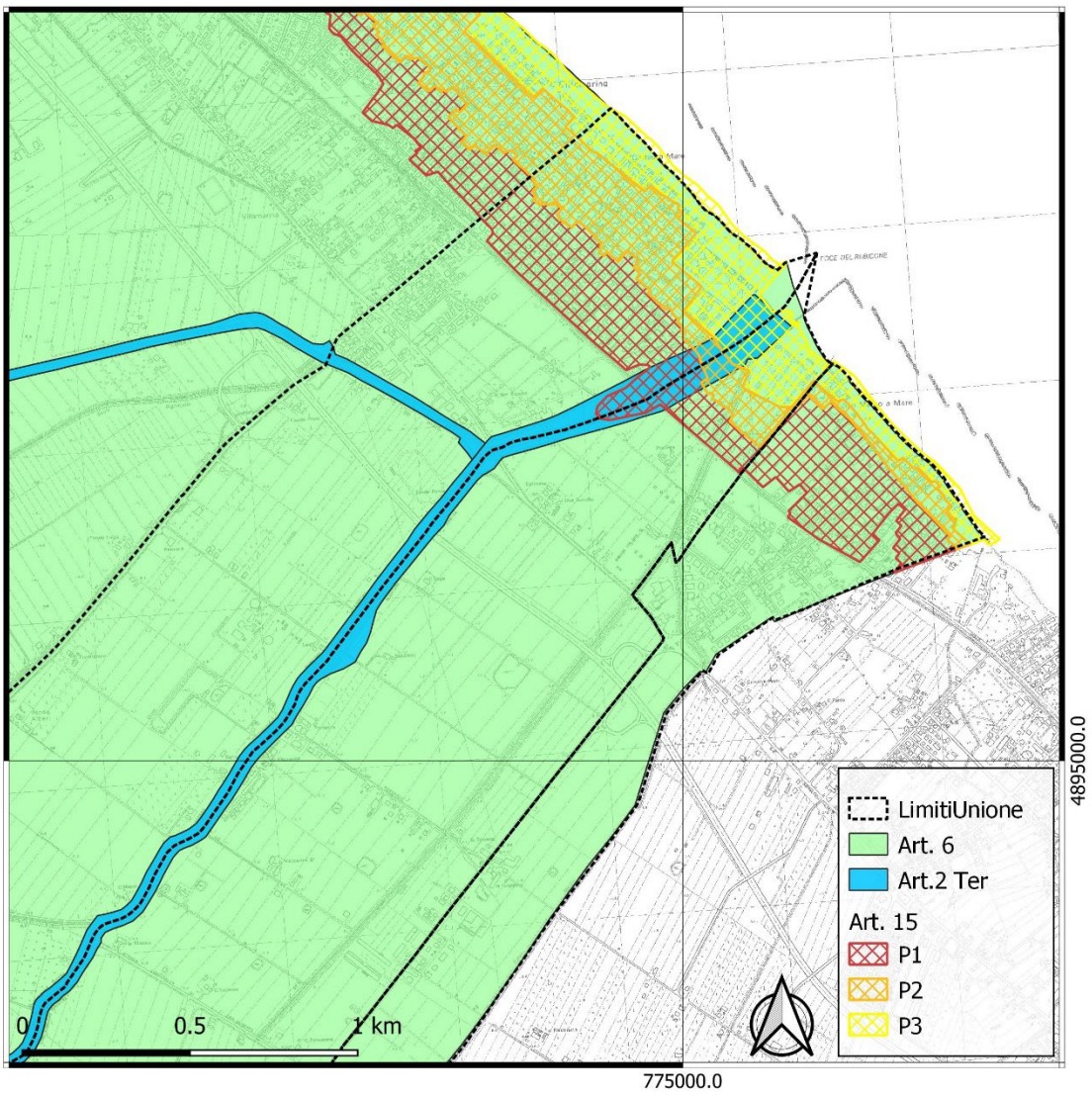


Figura 12 - perimetrazioni ai sensi del Piano Stralcio per il Rischio Idrogeologico - dettaglio della zona a mare

Per quanto riguarda l'articolo 2ter, relativo agli alvei dei corsi d'acqua presenti, 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 *"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 del dominio di calcolo troviamo tiranti valori tra 50cm e 1.7m nell'intorno della statale SS16 presso il centro commerciale Romagna Shopping Valley. Una seconda area è a sud di Gambettola lungo la linea della ferrovia, con un tirante stimato al valore massimo pari a 3.9m.

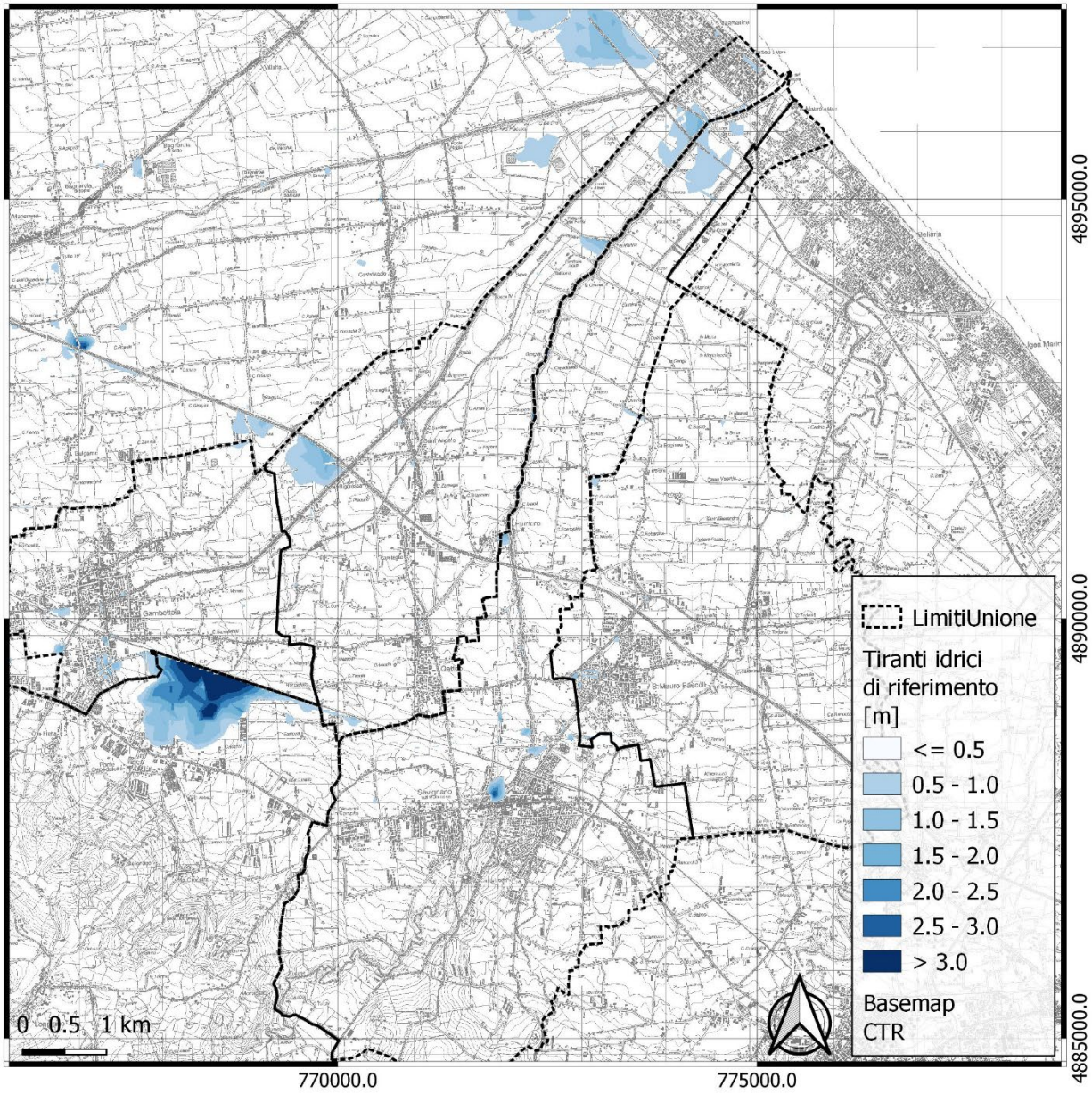


Figura 13 - tiranti idrici di riferimento per il territorio soggetto al calcolo dei tiranti di pianura

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.

EX ADB MARECCHIA-CONCA

Per quanto riguarda il territorio della Ex Autorità di Bacino del Marecchia – Conca, la *Variante 2016* al PAI Marecchia-Conca è stata adottata con Del. CIP, n.2, del 18/11/2019, essa supera la precedente pianificazione e costituisce il riferimento attuale per le norme PAI vigenti

Per quanto concerne la componente fluviale, troviamo al Titolo II il "piano stralcio delle fasce fluviali" che comprende (si omette di riportare la parte di pianificazione relativa gali alvei ex art. 8 dato il loro elevato livello di tutela rispetto alle trasformazioni urbanistico territoriali e la loro natura intrinsecamente allagabile):

- Art. 9 – Fasce di territorio di pertinenza dei corsi d'acqua:
    a) Fasce con probabilità di inondazione corrispondente a pieni con tempi di ritorno fino a 200 anni
    b) Fasce ad alta vulnerabilità idrologica
    c) Fasce ripariali
    d) Fasce arginali
- Art. 10 – Fasce di territorio con probabilità di inondazione corrispondente a piene con tempi di ritorno di 500 anni

Vengono altresì definite le aree demaniali (Art. 12) e le aree passibili di estrazione materiale fluviale (Art. 12bis), di minore interesse per la presente trattazione.
In immagine seguente troviamo le fasce con probabilità per inondazione a tempo di ritorno pari a 50, 200 e 500 anni (Figura 14).

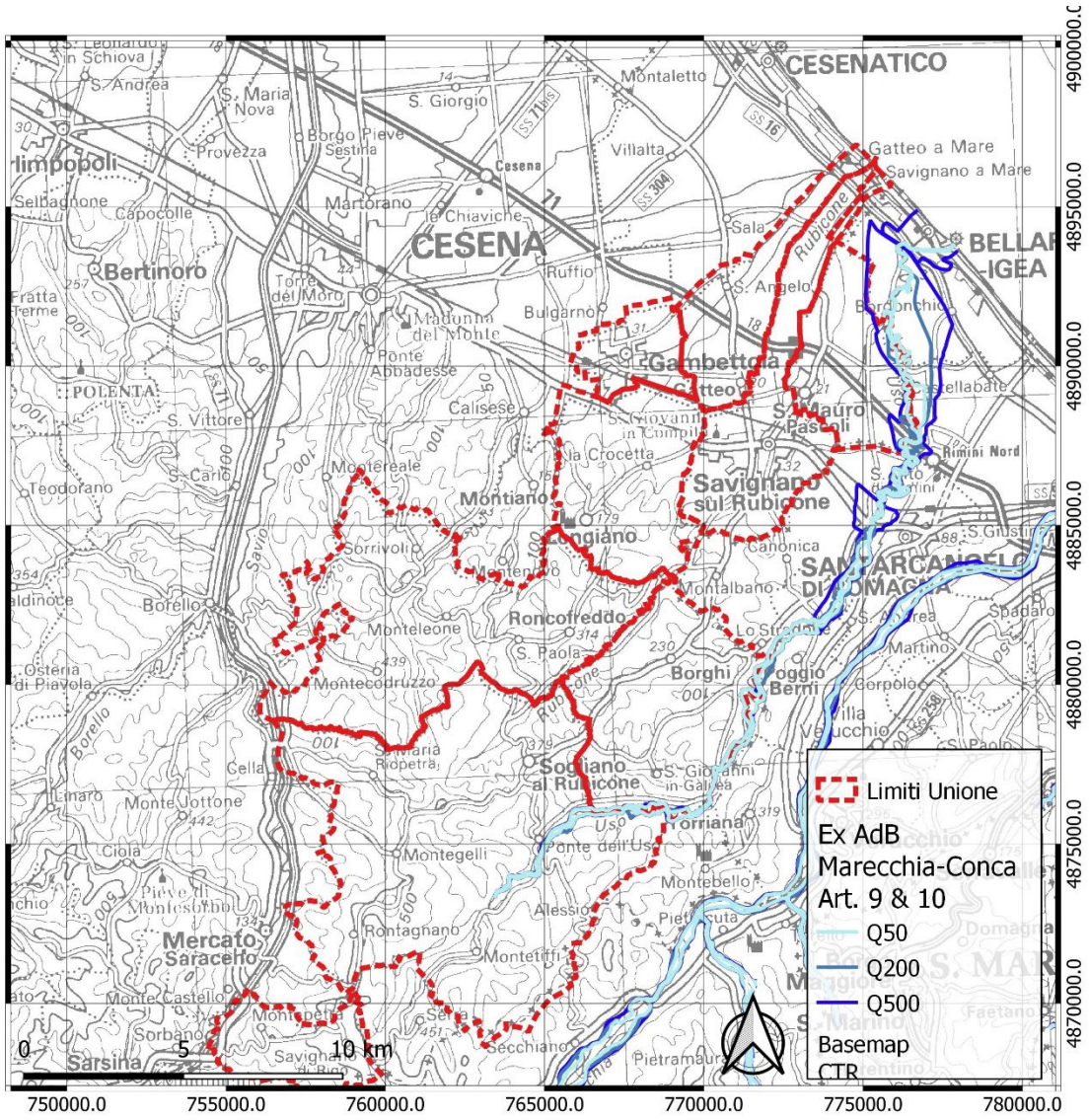


Figura 14 - Perimetrazioni fasce di allagamento potenziale Q50, 200 e 500, Art. 9/10 PAI Var 2016

Come possiamo osservare nella Figura 14 l'unico corso d'acqua principale di interesse per il territorio dell'Unione, in riferimento alle perimetrazioni per le fasce di allagamento, risulta essere l'Uso, che rientra nei territori comunali di San Mauro Pascoli, Borghi e Sogliano al Rubicone, seppur marginalmente.

L'Art.9 descrive in dettaglio le fasce di territorio soggette a potenziale inondazione per piene con Tempo di ritorno sino a 50 e 200 anni, con riferimento alle perimetrazioni vettoriali poi confluite nella mape del PGRA. Si indicano le *modalità di gestione,* gli interventi ammessi ed esclusi sia con titoli abilitativi che tramite pianificazione territoriale e la necessità di approfondimenti idraulici da sottoporre alla

Autorità idraulica competente. le prescrizioni ed i vincoli alle trasformazioni hanno natura via via decrescente allontanandosi dall'alveo.

L'unica direttiva fornita a supporto delle analisi di compatibilità idraulica e della scelta degli interventi riguarda "Disposizioni in merito alla costituzione, conservazione e gestione della vegetazione nelle aree di naturale espansione delle acque e nelle fasce ripariali e in merito a interventi di sistemazione del terreno secondo criteri di bassa artificialità e tecniche di ingegneria naturalistica".

L'art. 10- *Fasce di territorio con probabilità di inondazione corrispondente a piene con tempi di ritorno di 500 anni è* individuata per supportare la predisposizione, da parte degli organi della protezione civile, dei piani di emergenza, lasciando alla pianificazione territoriale la regolamentazione di attività e interventi edilizi.

All'Art. 11 troviamo invece indicazioni specifiche sugli interventi di mitigazione del rischio idraulico, distinti in interventi puntuali e diffusi previsti nel PAI.
I primi si suddividono a loro volta in interventi strutturali (opere di regimazione idraulica, difesa idraulica, adeguamento infrastrutture di attraversamento, …) e misure di tipo non strutturale (di allarme). L'attuazione di queste misure avviene attraverso i Programmi triennali di intervento di cui agli artt. 69 ss. del D.Lgs. n. 152/2006 e s.m.i.
Gli interventi diffusi sono elencati alle lettere a) e seguenti del medesimo articolo e riguardano il controllo della qualità delle acque meteoriche, dei reflui urbani, come anche l'apporto idrico/solido nei corsi d'acqua dai versanti collinari e montani ed infinite, alla lettera d) il controllo dei volumi d'acqua esondabili (Invarianza idraulica) con indicazioni di massima sui volumi di laminazione da ricavare

Al Titolo IV, "Norme in materia di coordinamento tra il piano stralcio di bacino per l'assetto idrogeologico (PAI) ed il piano di gestione dei rischi di alluvione (PGRA)", troviamo invece le informazioni riguardanti le mappe di pericolosità relative all'Ambito Costiero e Marino (Art.20 comma 4) e Ambito del Reticolo di Bonifica (comma 3) (Figura 15, Figura 16), oltre alle indicazioni su come le fasce fluviali precedenti siano state tradotte nelle aree P2,P2,P1 del PGRA.

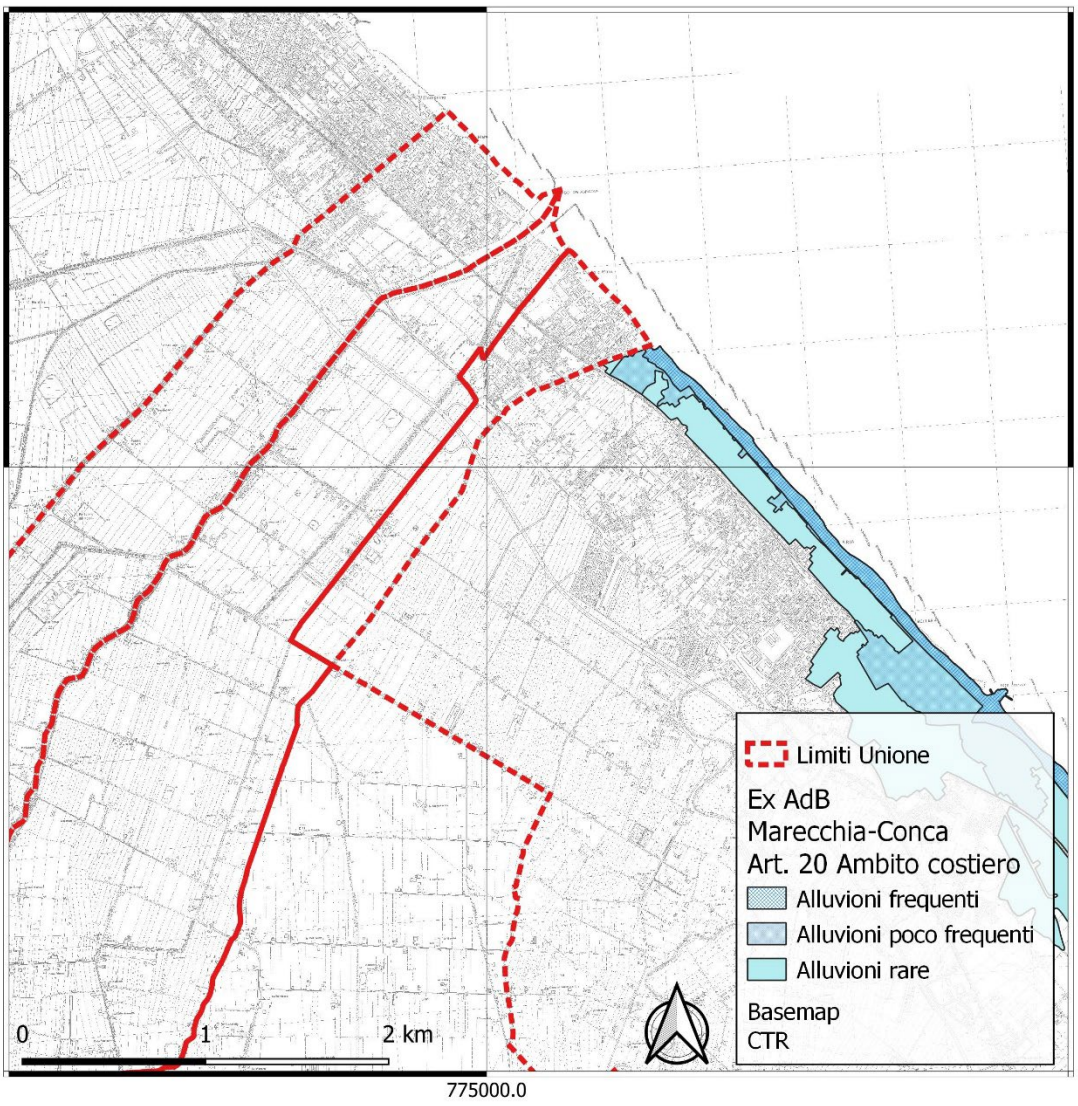


Figura 15 - Ex AdB Marecchia-Conca, perimetrazioni costiere (Art.20), Tavv 6.1 e 6.2 PAI variante 2016

L'Ambito costiero pur non riguardando direttamente il territorio dell'Unione permette di evidenziare una sostanziale continuità delle condizioni di pericolosità da alluvione costiera rispetto a quanto visto per la fascia costiera dell'Unione, ricompresa nel perimetro della ex AdBRR.

Nella seguente Figura 16, troviamo le aree di possibile allagamento da reticolo minore e di bonifica, generate con riferimento agli scenari H e M (tempi di ritorno fino 50 e 200 anni rispettivamente) e "*vista la complessità del sistema e della presenza di zone morfologicamente depresse, il metodo di individuazione delle aree […] è di tipo prevalentemente storico-inventariale […]. A questa tipologia si aggiungono zone individuate con modello idrologico-idraulico (metodo completo) e aree delimitate sulla*

base del giudizio esperto degli enti gestori (metodo conoscitivo) […]. Le aree così ottenute sono state controllate e completate sulla base di analisi geomorfologiche condotte attraverso l'utilizzo del DTM Lidar (MATTM, 2008) […]".

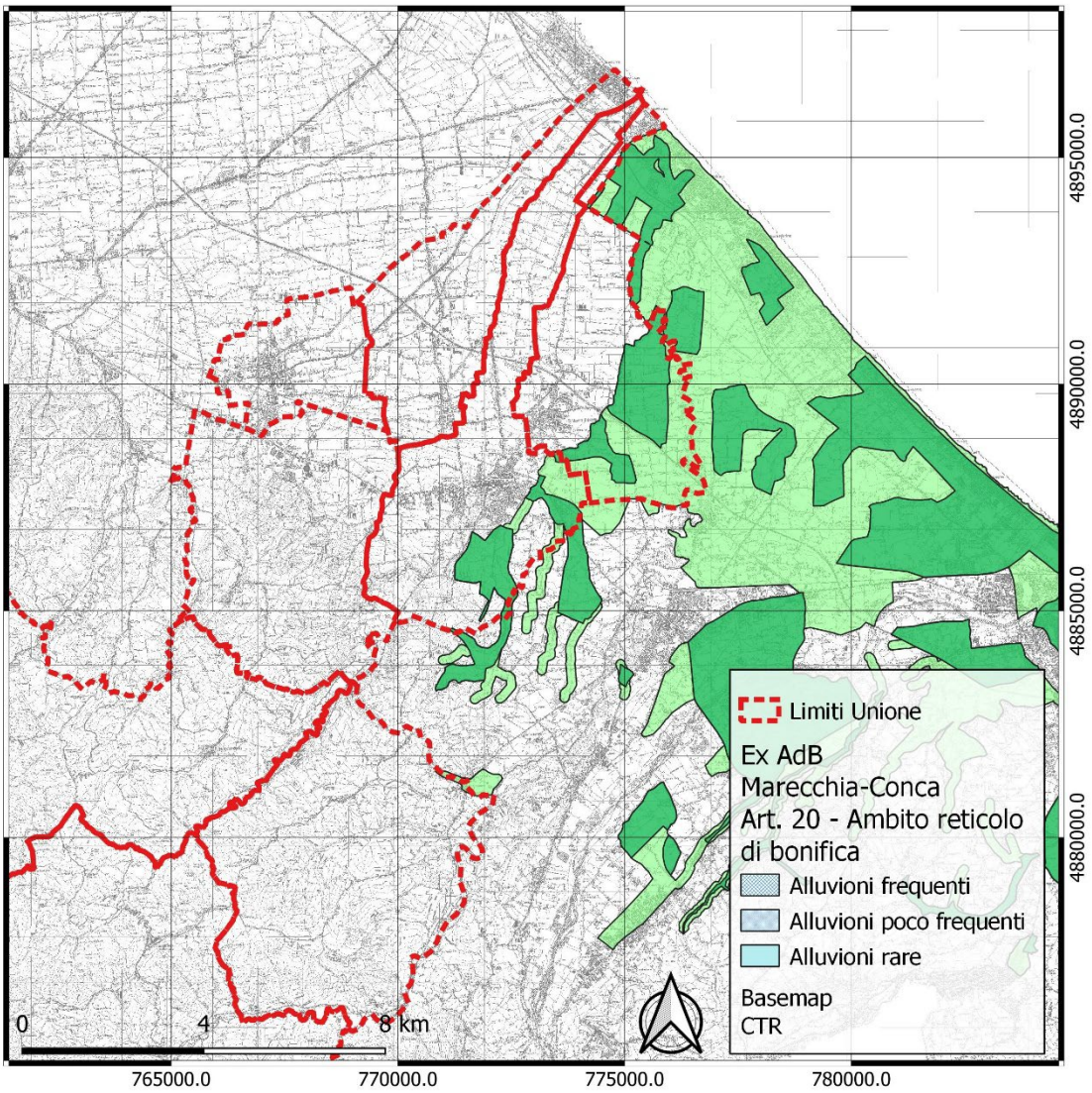


Figura 16 - Ex AdB Marecchia-Conca, perimetrazioni reticolo di bonifica (Art.20), Tavv 5.1, 5.2, 5.3 PAI variante 2016

È interessante notare, proprio nell'ambito del coordinamento tra PAI e PGRA (art. 21) che per previsione espressale norme i PAI (in particolare il citato art. 9 con vincoli alle trasformazioni territoriali ed edilizie) si applichino direttamene alle controparti P1, P2, P3 del PGRA delle fasce fluviali PAI.

Mentre relativamente alle aree alluvionali dell'Ambito territoriale del Reticolo di Bonifica gli Enti Locali *possono sviluppare approfondimenti del quadro conoscitivo, in accordo con i Consorzi di Bonifica competenti per territorio, con le Regioni per quanto di competenza e con l'Autorità di bacino Distrettuale, e regolamentano le attività consentite, i limiti e i divieti attraverso gli strumenti di pianificazione territoriale e urbanistica, in relazione alle misure indicate nel P.G.R.A.:*

Tali approfondimenti comporteranno aggiornamenti cartografici del PAI secondo procedura di variante.

In generale, dunque, anche la pianificazione della ex AdB Marecchia Conca lascia la possibilità di approfondimento alla pianificazione locale, sia pure entro margini di manovra ben definiti.

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 (disponibile solo per la Ex AdBRR) 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 relazionale rischio idraulico ovvero:

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

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 clange* (*…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), nella Direttiva idraulica dell'Ex ADBRR (capitoli 7 e 8) e per quanto riguarda l'ex AdB Marecchia-Conca, si menziona all'Art.21 comma 2 (In questo caso la "Predisposizione e attuazione di una direttiva idraulica in pianura in relazione al reticolo di bonifica" non ha trovato attuazione prima della chiusura della AdB).

In generale le norme indirizzano 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 forniscono una informazione utile a supporto degli interventi specifici, che l'Unione potrà introdurre in tale direzione, e della Val.S.A.T

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 tirati idrici di riferimento, la Direttiva idraulica dettaglia le indicazioni per la progettazione degli interventi offrendo però apprezzabili margini di miglioramento alla pianificazione comunale.

Nel territorio dell'Unione, per la parte compresa nella Ex Adb Romagnoli, vigono i disposti degli articoli:

- 6 sulle aree di potenziale allagamento descritte dai tiranti idrici di riferimento
- 3-4 (aree a moderata ed elevata probabilità di esondazione)

Ma non risulta essere presente una mappa dei tiranti idrici analogamente a quanto visto per l'Ex AdBRR (Figura 13).

L'argomento è trattato nelle NTA del PAI - PGRA (artt.3,4,6) e nella Direttiva idraulica al capitolo 6 (Art.6 comma 4), cui si rimanda.

La norma riconosce all'Unione la facoltà di perfezionare la mappatura esistente della pericolosità idraulica di pianura e nelle aree a moderata ed elevata probabilità di esondazione, 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. Tale mappatura è proposta nel territorio di pianura, interessabile

dai tiranti idraulici di riferimento (art.6 della Ex AdBR e porzione equivalente nel territorio Ex Adb Marecchia Conca), e permette 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.

L'analoga mappa non esiste per il terrirono della Ex Adb Marecchia Conca (art.20) e può essere introdotta per omogeneità di trattamento sul territorio dell'Unione.

Nel territorio di collina montagna l'analisi svolta permette essenzialmente di estendere a corsi d'acqua non trattati nei PAI-PGRA le mappature di aree a media ed elevata pericolosità (art. 3-4 AdBRR e 9 AdB Marecchia Conca).

Per quanto riguarda la pericolosità idraulica lungo la costa, infine, le NTA ella ex ADBRR la trattano all' articolo 16 (20 per AdB Marecchia Conca), cui si rimanda, prevendendo obblighi per la Amministrazione sia in relazione alla compatibilità dei propri piani, sia durante la autorizzazione 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 all' Unione 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

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.

Gli approcci modellistici numerici sono inoltre difficilmente inapplicabili in situazioni in cui si vogliano 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 vogliano analizzare ampie aree di studio mantenendo una elevata risoluzione spaziale.

L'approccio modellistico utilizzato per le analisi di allagamento costiero, fluviale e pluviale per l'analisi dello stato di fatto 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 al 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 dell'Unione

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 retrostante.

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 GECOsistema 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 P*ython* 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:

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

b. "four-side rulè": 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

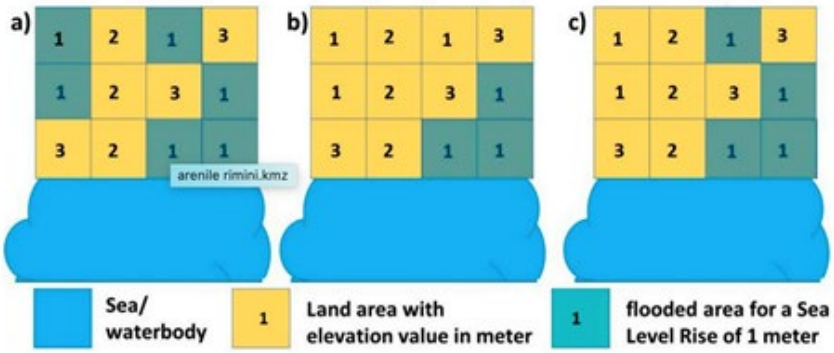


Figura 17 - regole di connessione idraulica nelle diverse direzioni

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
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 DTM/LIDAR

La topografia del territorio è stata ricostruita da diverse basi dati, data la carenza di un modello digitale del terreno ad alta risoluzione Lidar su buona parte dell'area. Le basi dati utilizzate sono:

- **Rilievo LIDAR** a passo 1 m (2m lungo la fascia costiera) effettuato dalla Regione e dal ministero dell'Ambiente nell'ambito del "Progetto piano straordinario di telerilevamento", avviato con la legge 179/2002 (anni 2008-2009) e Lidar 2019, realizzato dalla Autorità di Bacino Distrettuale del Fiume Po, con le stesse specifiche, lungo la fascia costiera (in presenza di duna invernale).
  Il DTM LIDAR presenta un'accuratezza altimetrica corrispondente a ± 15 cm, mentre per l'accuratezza planimetrica l'errore deve essere contenuto entro ± 30 cm, secondo le specifiche ministeriali.
- Modello digitale di superficie **DSM2018**, è uno dei tre prodotti derivati dall'acquisizione aerea svolta dalla società CGR di Parma nell'anno 2018, con la finalità di aggiornare il Database Topografico e per monitorare il consumo di suolo, risoluzione spaziale di 2m e accuratezza altimetrica pari a LE90z = 1.5m, precisione del dato metrica. Nel DSM sono rappresentati tutti gli andamenti morfologici, naturali e antropici rilevati durante l'acquisizione(Figura 18) è stato

quindi sottoposto a filtraggio ed esclusione degli edifici mediante la maschera vettoriale del DBTR (Figura 20, per pulire la superficie dagli ostacoli “off ground” e re interpolare il DTM finale (Figura 19), ulteriormente sottoposto a filtro di “smoothing” per interpolare un andamento medio della superficie, altrimenti caratterizzata da salti di quota artificiali per la precisione metrica del DSM di partenza, avendo cura di preservare gli elementi in rilevato.



Figura 18 - DSM 2018

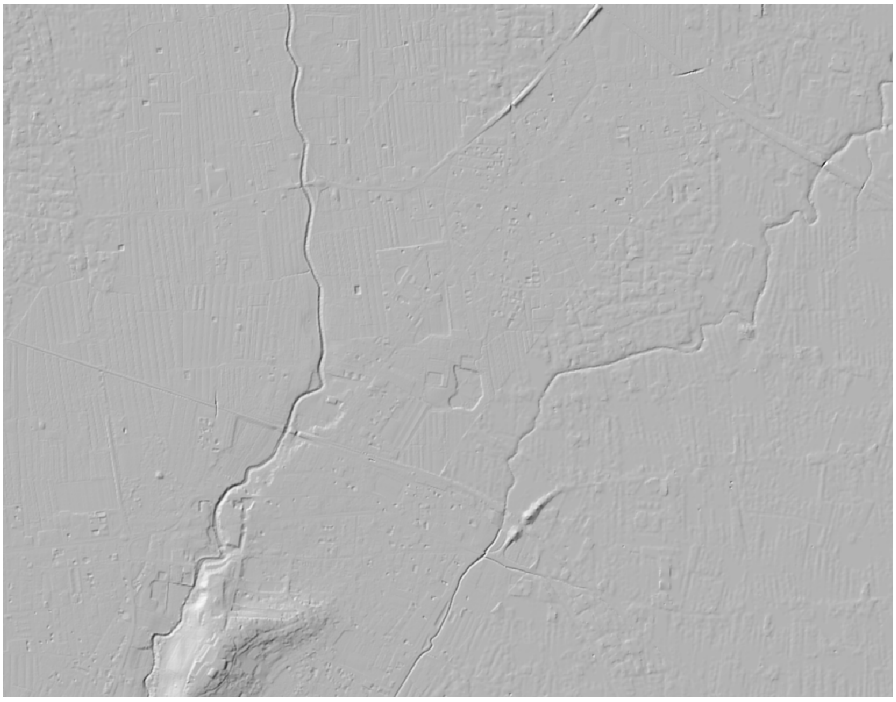


Figura 19 - DTM di derivazione DSM 2018

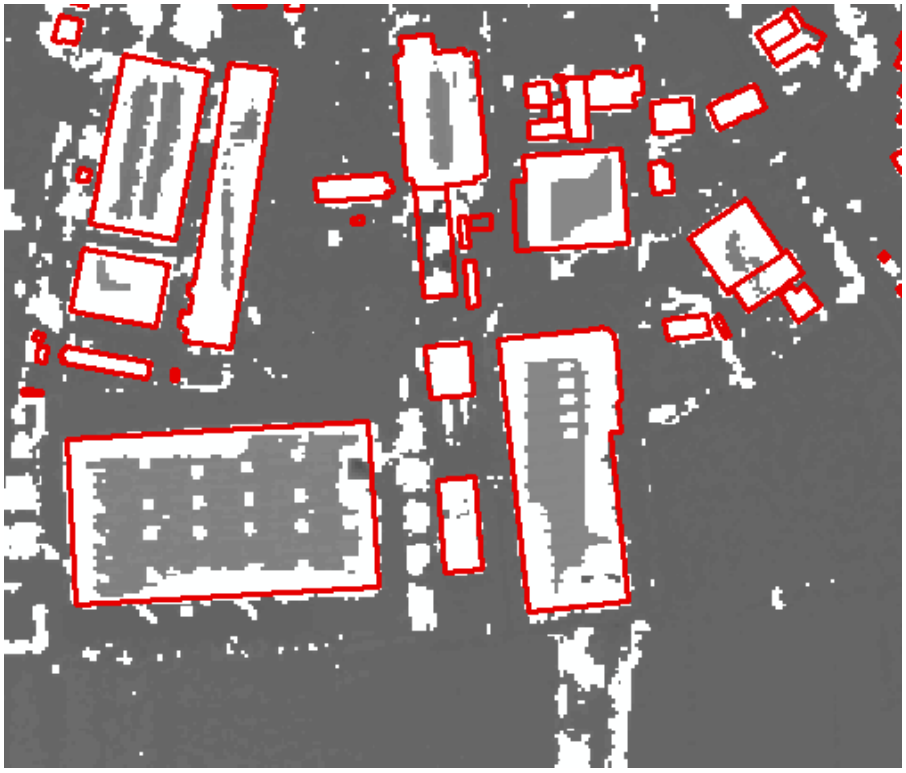


Figura 20 - Esempio area filtrata non completamente dai poligoni EDIFICATO 2018

Questo DSM filtrato è stato confrontato il DTM da CTR vettoriale (disponibile come curve di livello in collina montagna e punti quotati in pianura) dividendo il territorio in classi di uso del suolo (da dataset regionale vettoriale 2017), ovvero *TERRITORI MODELLATI ARTIFICIALMENTE, TERRITORI AGRICOLI, TERRITORI BOSCATI ED AMBIENTI SEMINATURALI, AMBIENTE DELLE ACQUE*

Dal confrontato con il LIDAR, ove presente, che vale come benchmark o "ground truth" risulta che il DTM da CTR prevale nelle AREE A BOSCATO/SEMINATURALE E AMBIENTE DELLE ACQUE, mentre il DSM filtrato prevale per le categorie di maggior interesse nello studio in esame, ovvero TERRITORI MODELLATI ARTIFICIALMENTE e TERRITORI AGRICOLI. Inoltre, il DSM filtrato ha il non trascurabile vantaggio, in pianura, di sopperire alla necessità di interpolare i punti singoli CTR in assenza di curve di livello per derivare la superficie topografica continua.

Il dato DTM finale consiste quindi nel mosaico del dato LIDAR ovunque disponibile, con il DSM filtrato nei ovvero TERRITORI MODELLATI ARTIFICIALMENTE e TERRITORI AGRICOLI, e con il DTM da CTR nel resto del territorio.

Il DTM così elaborato è stato successivamente oggetto delle seguenti operazioni:

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 ([1])
2. Controllo puntuale della continuità degli argini dei corsi d'acqua, integrando le indicazioni pervenute dal Consorzi di Bonifica della Romagna sugli eventuali interventi di adeguamento arginale intercorsi nell'ultimo decennio ed in fase di completamento, al fine di ottimizzare ulteriormente il reticolo finale.
3. Controllo delle informazioni fornite riferite allo stato di argini, sponde e ponti "critici", ovvero ritenuti in sicurezza per determinate portate, oppure, sponde soggette a erosione.
4. Completamento lungo la linea di costa della duna di protezione costiera, in modo da renderla una struttura continua, andando ad interpolare le piccole zone e varchi presenti.

<u>Quest'ultima ipotesi corrisponde a trattare lo stato di fatto come opportunamente presidiato, in quanto ipotizza una duna continua e ben manutenuta, situazione che si verifica nella stagione inverale.</u>

[1] http://geoportale.regione.emilia-romagna.it/it/download/it/contenuti/database-topografico-regionale

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).

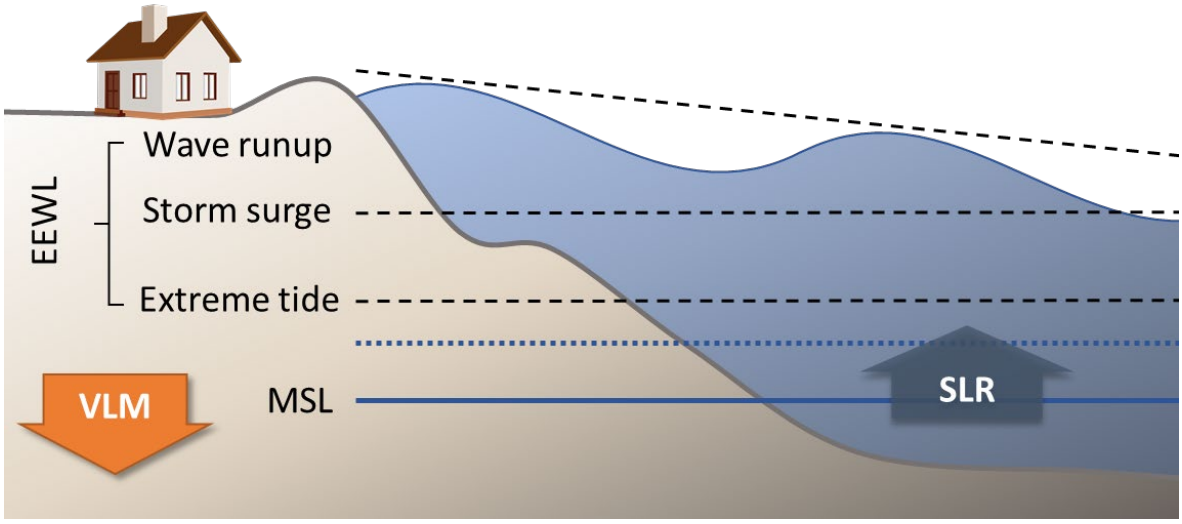


Figura 21 – Componenti per l'analisi degli eventi estremi di livello del mare (ESL)

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 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, Cesenatico e Rimini vedrebbero 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 [mm/yr]	GIA [mm/i]	VLM [mm/yr]	Observed [mm/yr]	ΔVLM 2050 [m]	ΔVLM 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

Le valutazioni seguenti sono state condotte adottando una velocità di subsidenza di 5 mm/ anno in linea con i dati discussi e le mappature di velocità media disponibili per il periodo 2011-2016 presso ARPA- ER.

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 (Tsimplis 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 (± 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).

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 dello stato di fatto.

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.

Si nota come il LiDAR del 2019 disponibile nel territorio dell'Unione include la presenza della duna artificiali 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 questo motivo si è ipotizzato come detto in precedenza, di interpolare delle catene di pixel per andare a chiudere di fatto questi varchi.

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 3.

Le mappe riportate in Tabella 4 e riportate in allegato rappresentano sia l'estensione che il battente idraulico associati agli scenari di ESL applicati alla condizione dello stato di fatto.

Numero	COASTAL	Scenario Stato di Fatto
1	P1	A_P1
2	P2	A_P2
3	P3	A_P3
4	P1_2050	**A_P1_2050**
5	P2_2050	**A_P2_2050**
6	P3_2050	**A_P3_2050**
7	P1_2100	A_P1_2100
8	P2_2100	A_P2_2100
9	P3_2100	A_P3_2100

Tabella 4 – elenco mappe scenari di allagamento costiero

Analizzando le mappe di allagamento dello stato di fatto, si osserva che per molti degli scenari, sia storici che di proiezione future, sia generino significative estensioni di allagamento costiero.

In particolare, grazie alla protezione data dalla duna artificiale costiera con quote variabili da 2.5 a oltre 3m e **ipotizzata realizzata con continuità lungo tutta la costa senza cedimenti o varchi,** si osserva come solo lo scenario storico P3 con tempo di ritorno 10 anni e ESL=1.5 m determini un allagamento contenuto e limitato alla sola zona dell'arenile.

Lo scenario P2 presenta una infiltrazione a sud del porto canale del Rubicone, con limitanti tiranti idrici dell'ordine dei 50cm, ad esclusione dell'area del Camping Villaggio Rubicone che presenta tiranti anche superiore al metro.

Lo scenario P1 invece, presenta area allagate che interessano tutta la fascia costiera del territorio dell'Unione.

Gli scenari futuri al 2050 e 2100, come ovvio aspettarsi vista la maggior severità degli eventi, vanno a determinare condizioni più impattanti dal punto di vista dell'estensione e dei battenti delle aree allagate.

Lo stato di fatto, pertanto, non raggiunge la sicurezza idraulica del territorio per P2, 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*.

Le mappe seguenti riportano i tiranti derivanti dalla simulazione degli scenari P1 (Figura 22Figura 22), P2 (Figura 23) e P3 (Figura 24), relativamente alla parte di territorio compresa fra linea di costa e la statale SS16.

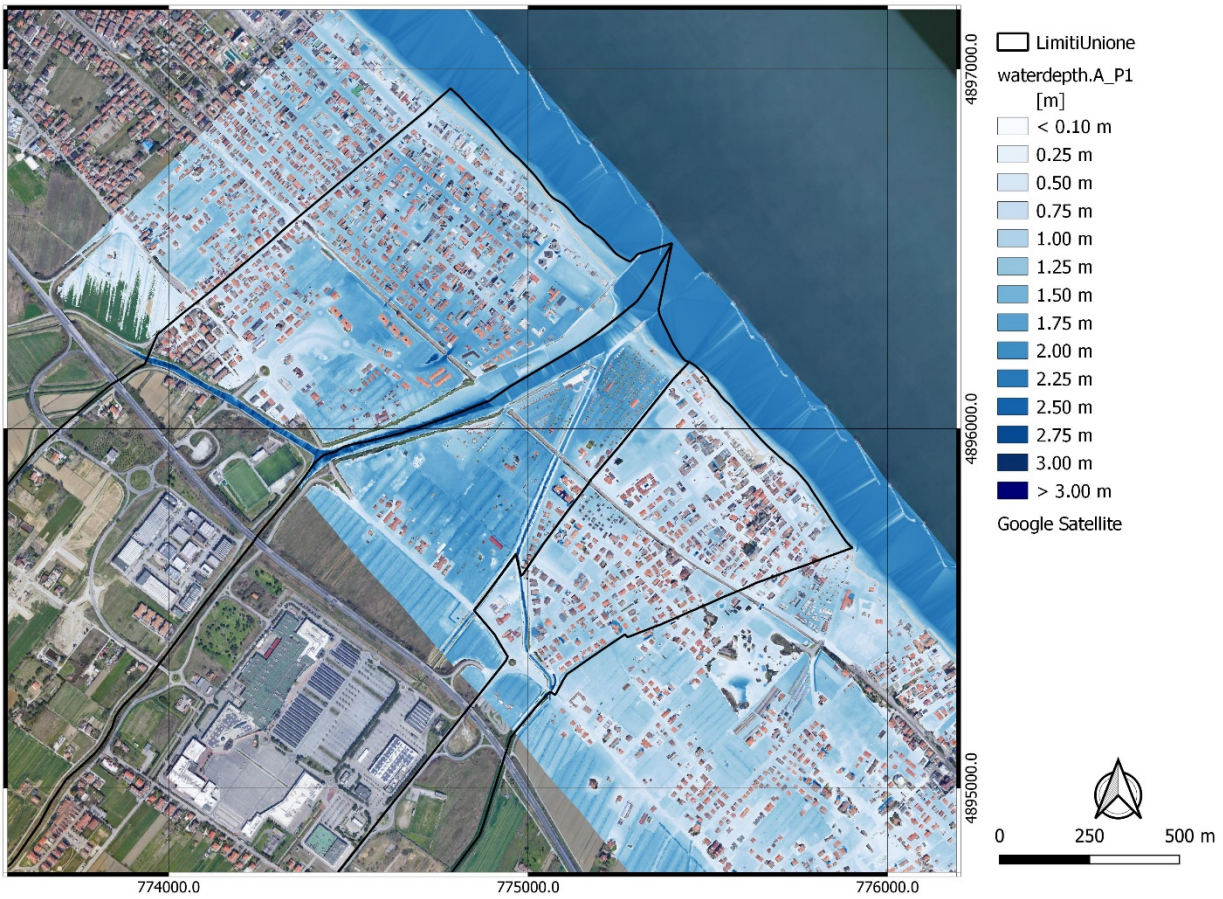


Figura 22 - Tiranti scenario P1 attuale stato di fatto

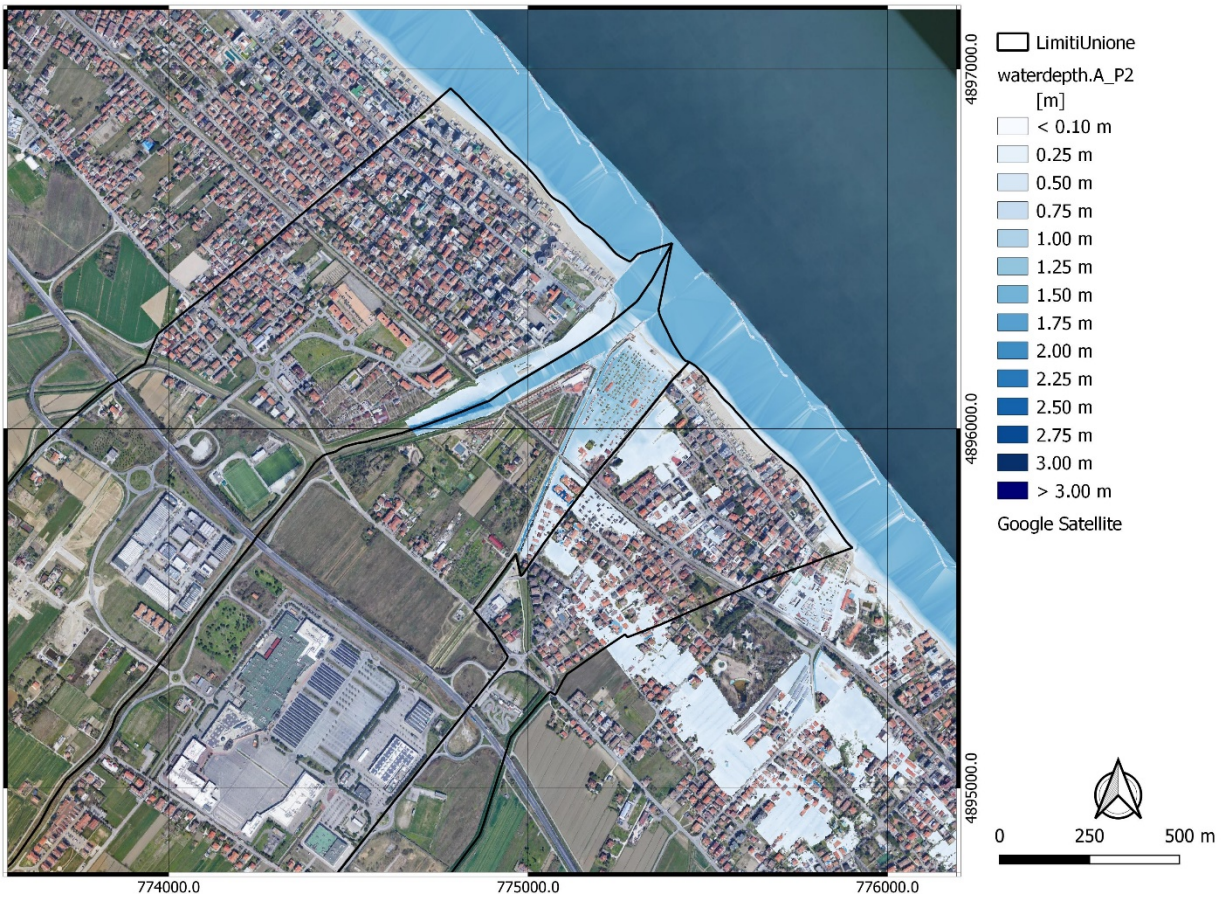


Figura 23 - Tiranti scenario P2 attuale stato di fatto

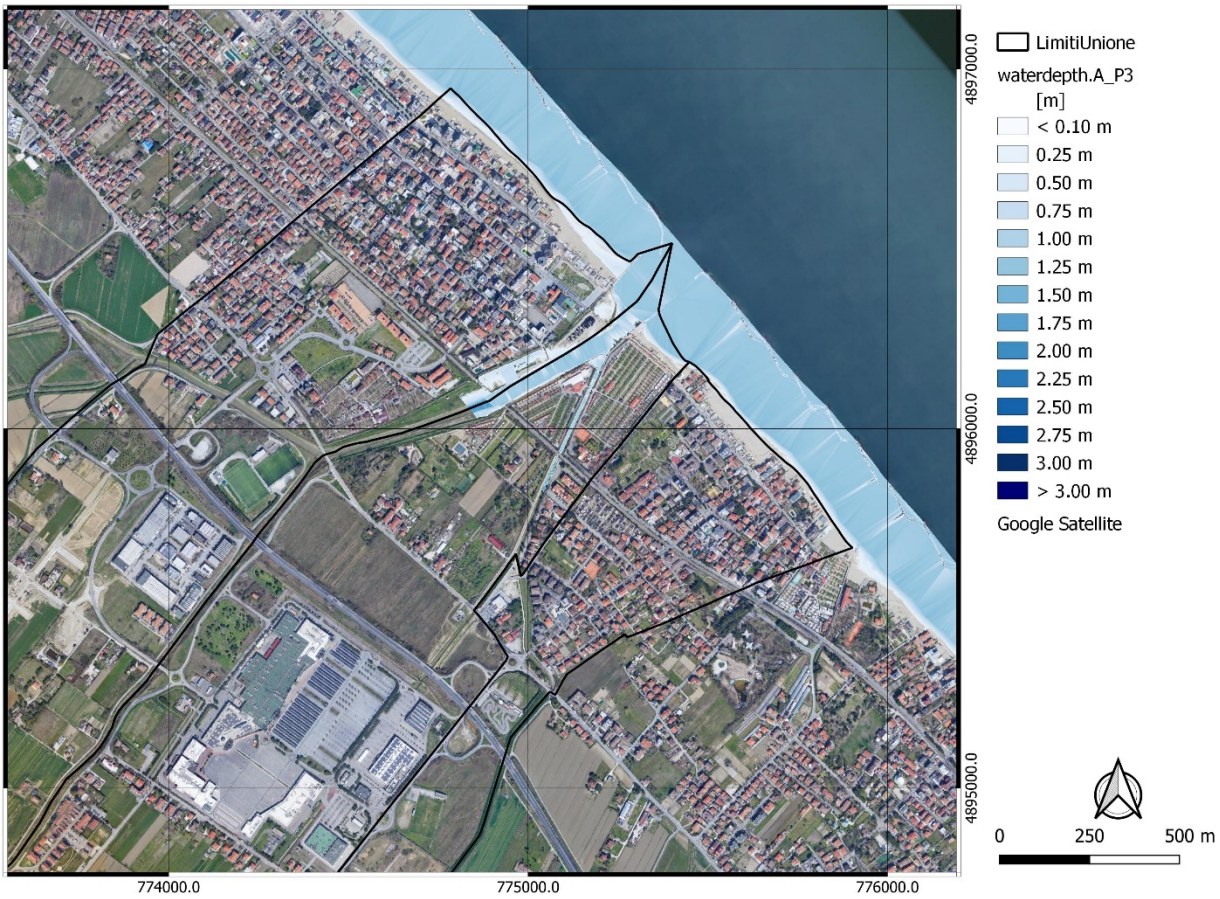


Figura 24 - Tiranti scenario P3 attuale stato di fatto

Le figure seguenti riportano rispettivamente i tiranti nello stato di fatto per gli scenari al 2050 (Figura 25 e seguenti).

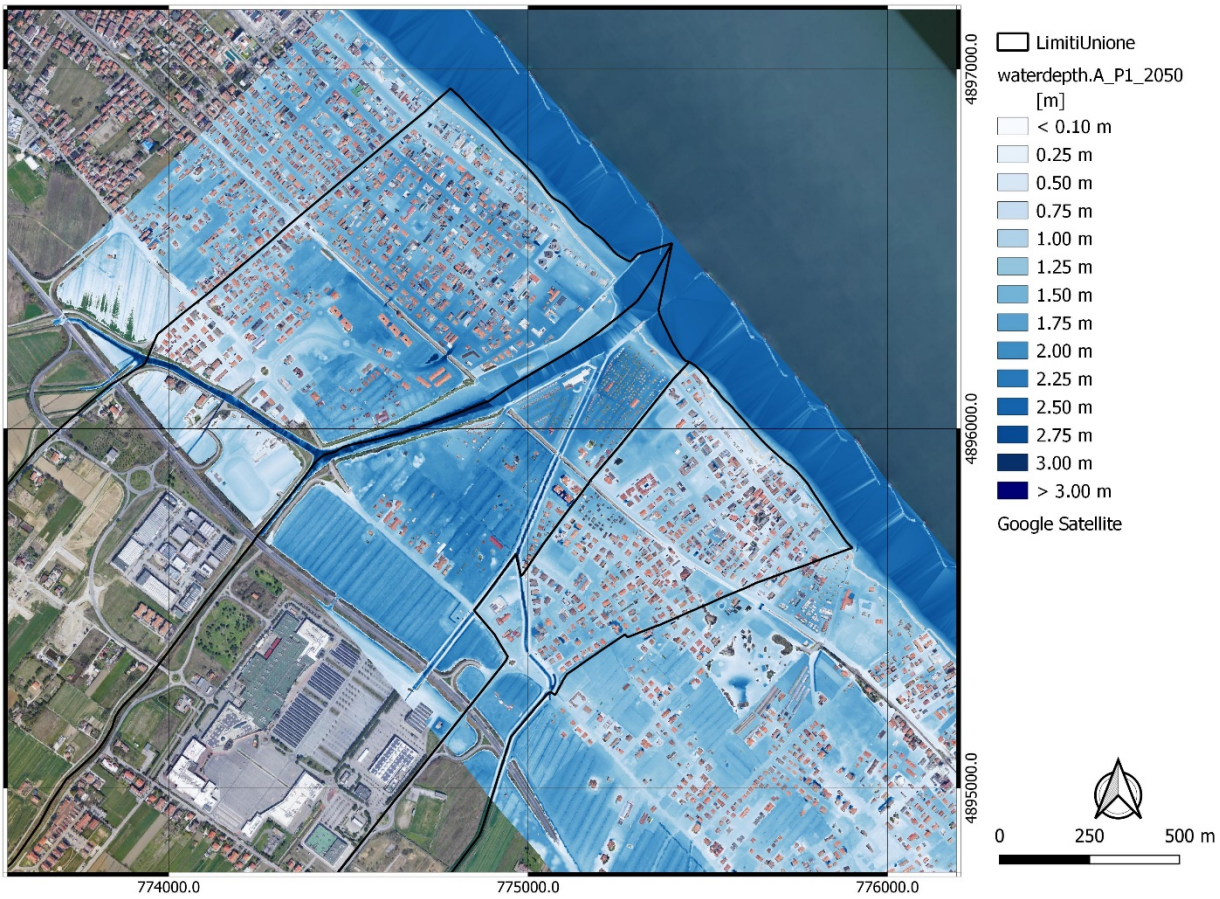


Figura 25 - Tiranti scenario P1 al 2050 stato di fatto

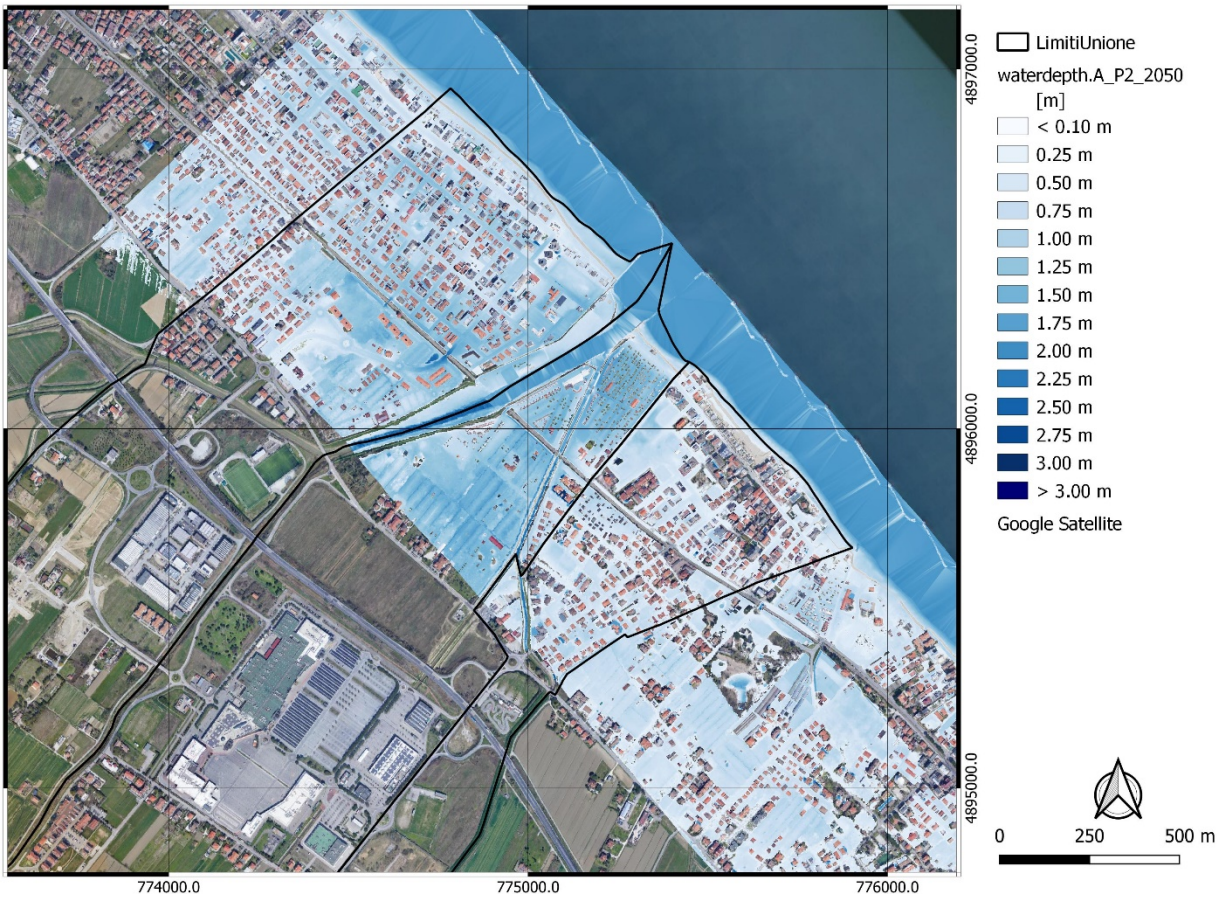


Figura 26 - Tiranti scenario P2 al 2050 stato di fatto

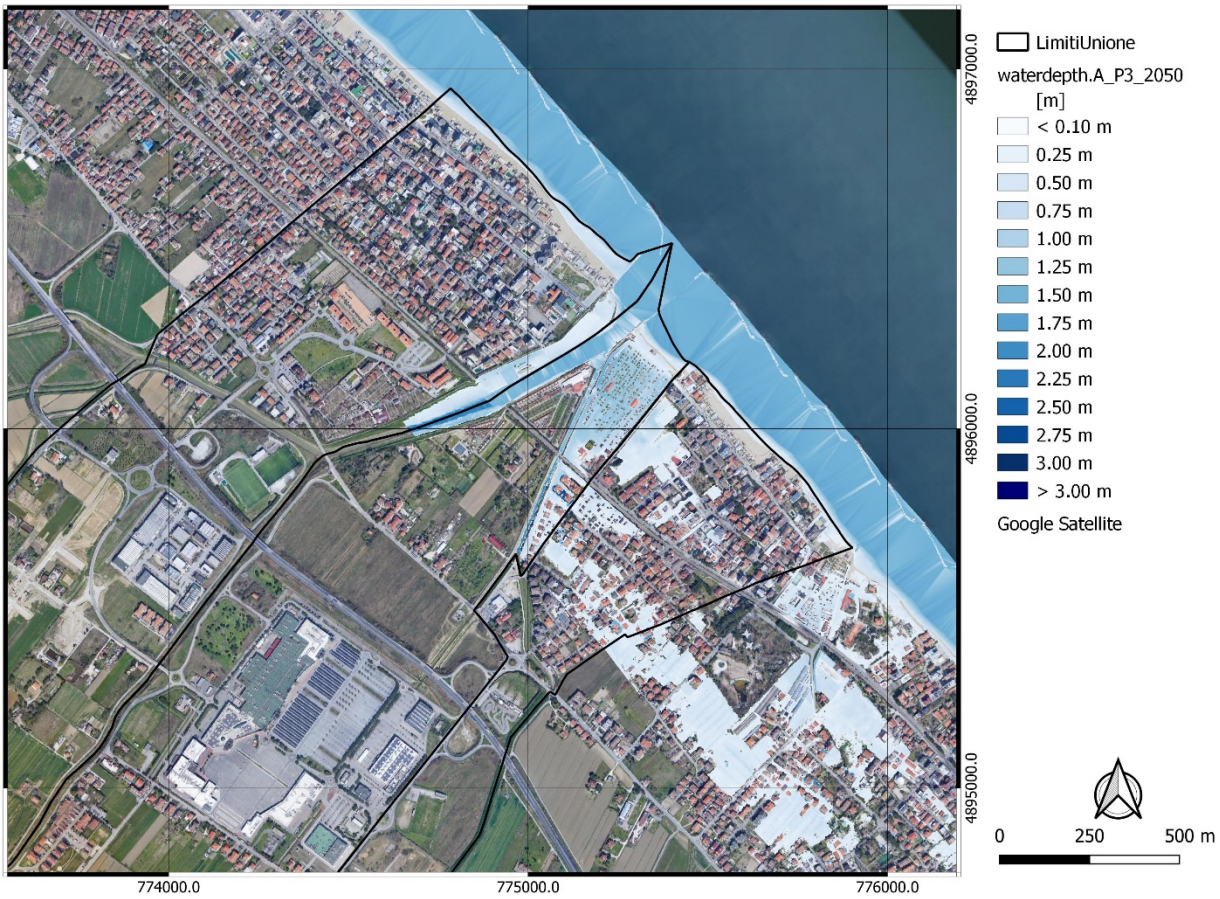


Figura 27 - Tiranti scenario P3 al 2050 stato di fatto

L'ultimo scenario rappresenta le situazioni previsionali più estreme, stimate come detto all'anno 2100, da Figura 28 e seguenti.

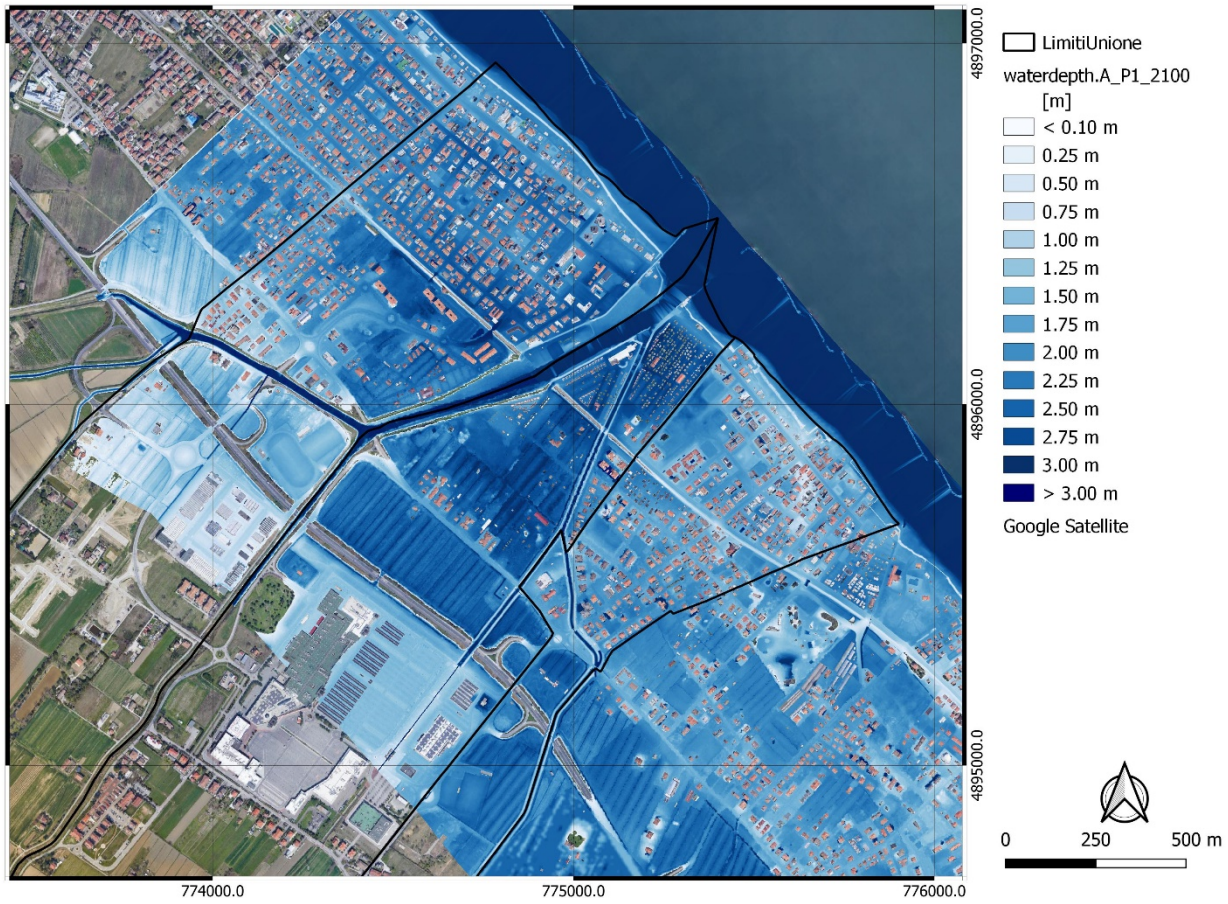


Figura 28 - Tiranti scenario P1 al 2100 stato di fatto

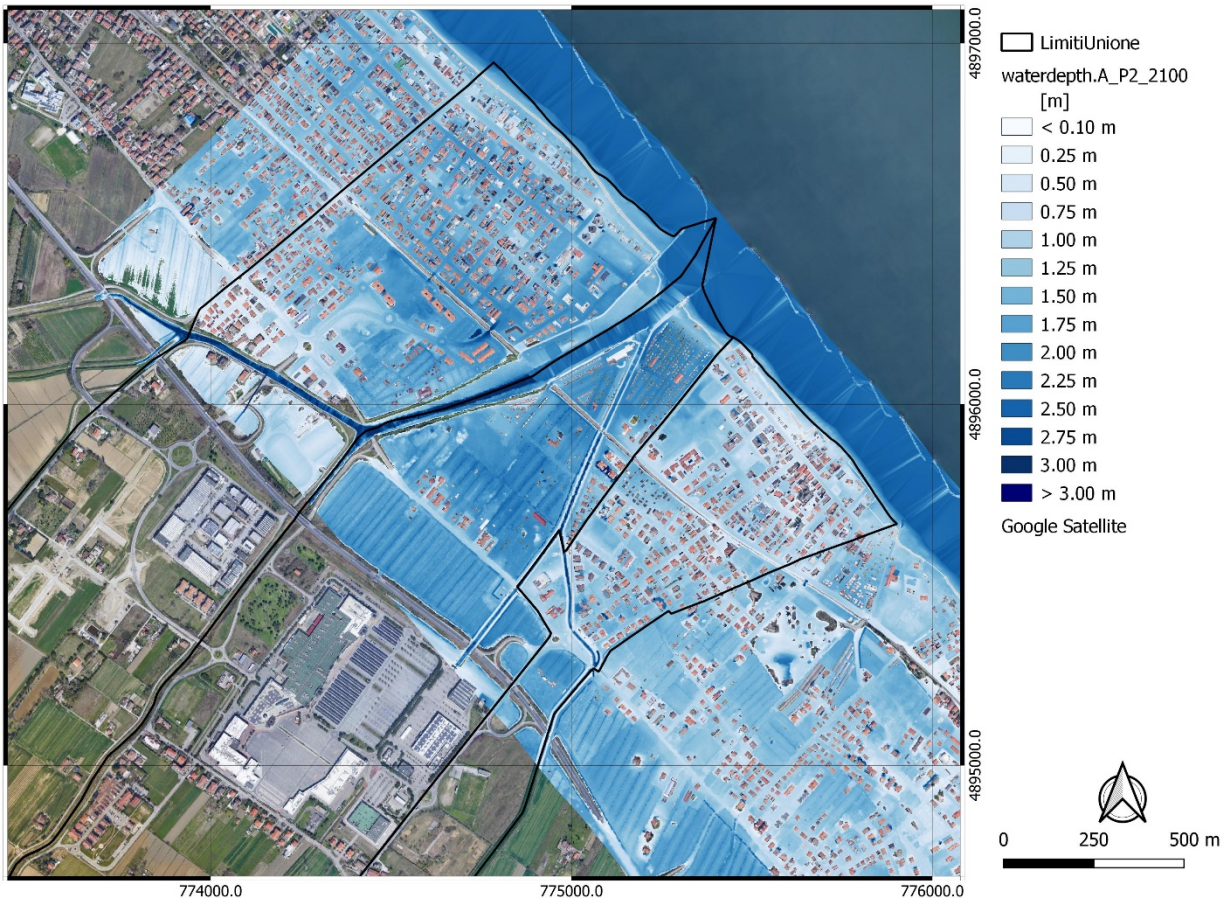


Figura 29 - Tiranti scenario P2 al 2100 stato di fatto

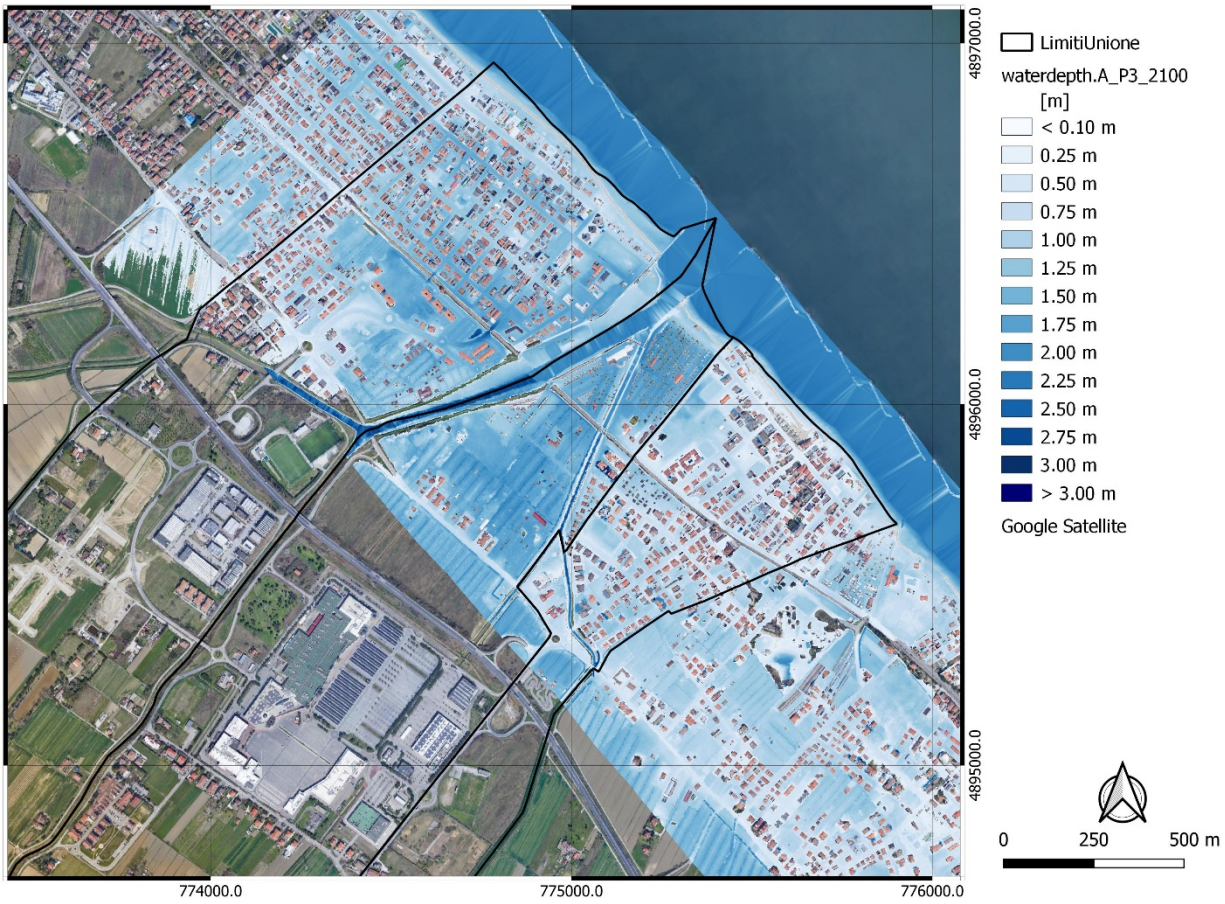


Figura 30 - Tiranti scenario P3 al 2100 stato di fatto

4.3 MODELLO INONDAZIONE PLUVIALE 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.

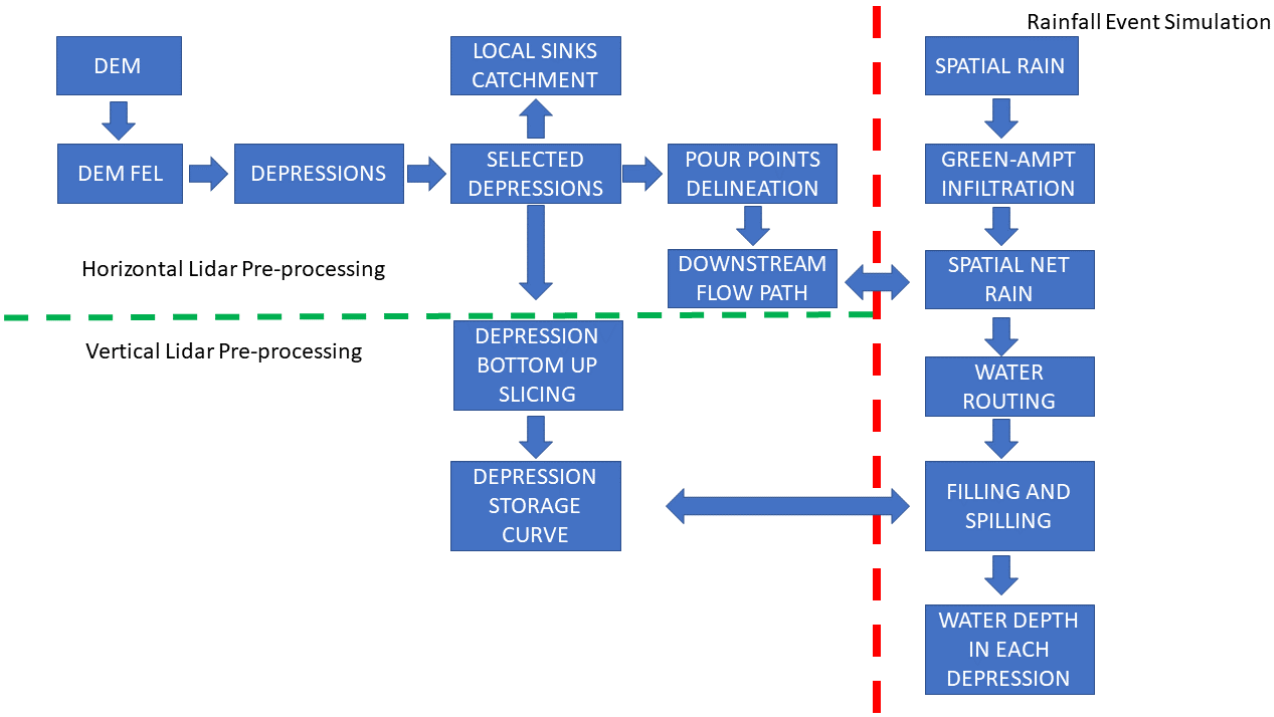


Figura 31 – schema a blocchi degli algoritmi di Safer_RAIN

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 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).

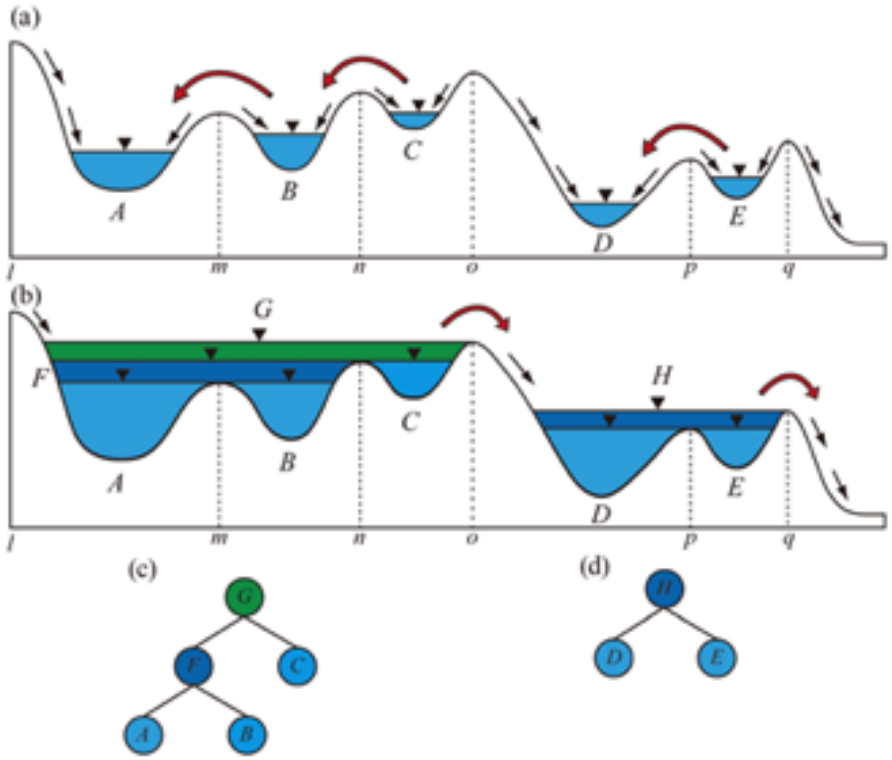


Figura 32 – schema semplificato del metodo del Filling&Spilling

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 4.2.3.1 precedente
2) Dati di uso e tipo di suolo
3) caratterizzazione degli eventi di pioggia IDF

4.3.1.1 LIDAR

Il rilievo Lidar utilizzato è compiutamente descritto al paragrafo 4.2.3.1

La porzione che interessa il calcolo illustrato è quella di pianura, definita come spiegato in precedenza a valle della curva di livello dei 70m s.l.m.

4.3.1.2 USO DEL SUOLO

L'uso del suolo all'interno dell'area di studio è stato ricavato dalla carta di uso del suolo a scala 1:50000 della regione Emilia-Romagna.

Per quanto riguarda l'impermeabilizzazione dei suoli invece, si è utilizzato l'Uso del suolo dettagliato 2017, per il quale sono state aggregate le classi di uso contenenti situazioni antropizzate e quindi impermeabili.

Nelle zone ritenute impermeabili non verranno di seguito considerati i contributi della infiltrazione naturale.

In Figura 33 sono riportate le zone impermeabili, che coprono principalmente i centri abitati e le reti stradali.

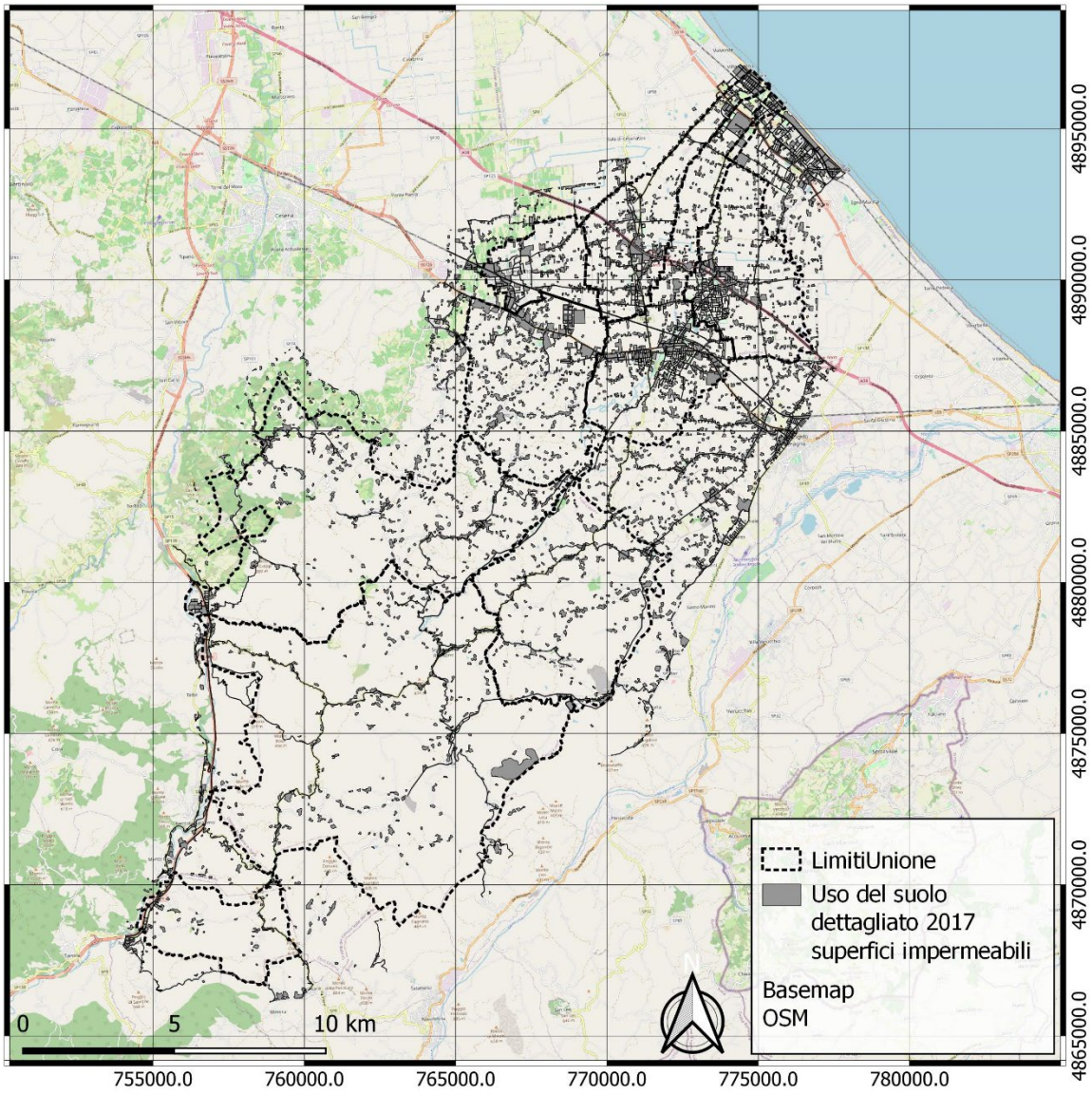


Figura 33 - carta delle zone impermeabili

Per quanto riguarda la tessitura dei suoli dell'area, la mappa seguente ne riporta la distribuzione come ricavata dalla Carta dei suoli della Regione Emilia-Romagna, la quale presenta un campo tabellare (SIGLA_UC) che permette di risalire alla tessitura della tipologia di terreno, avvalendosi del portale del Catalogo dei tipi di suolo (https://geo.regione.emilia-romagna.it/cartpedo/catalogo_tipi_suolo.jsp)

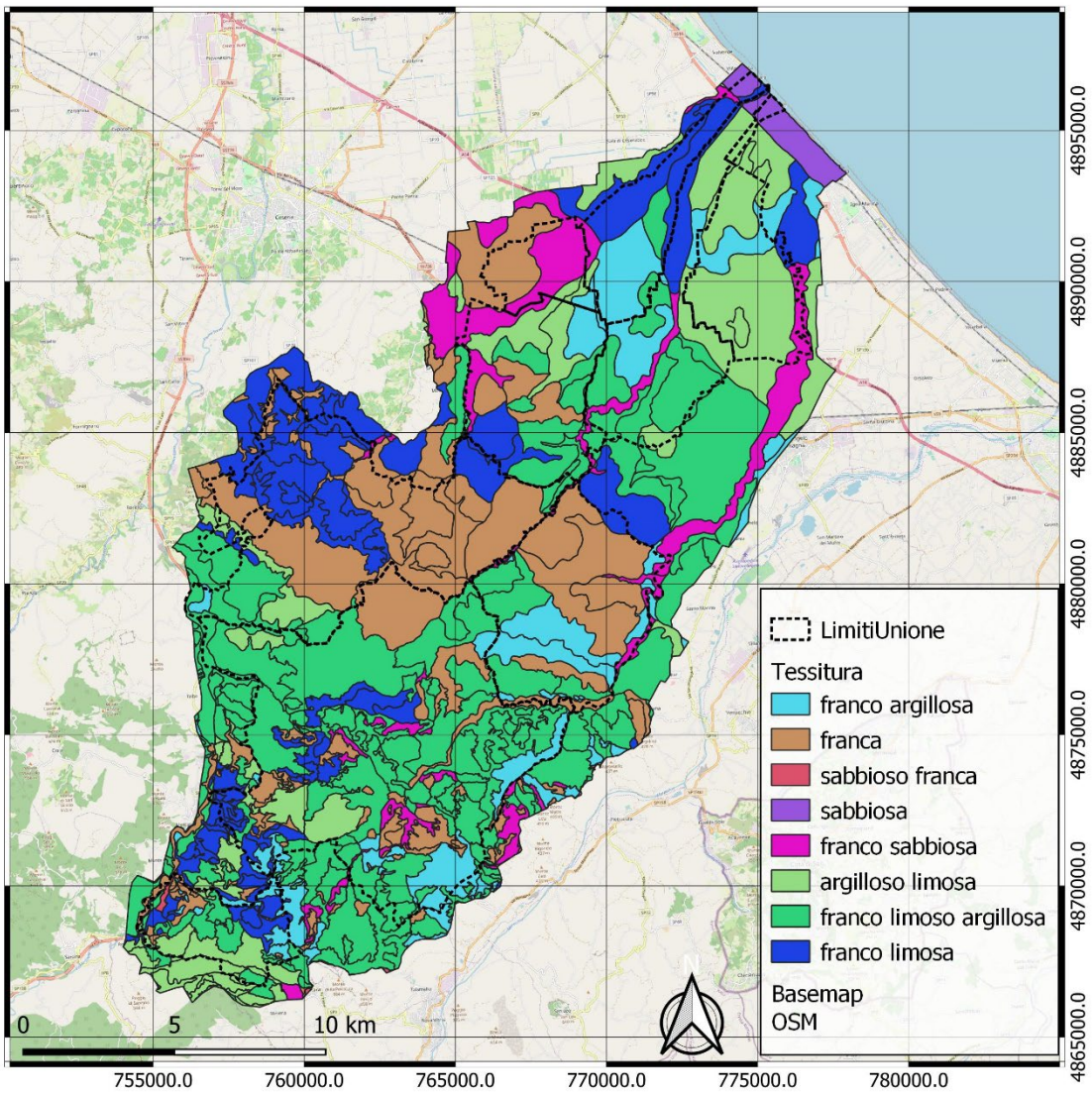


Figura 34 - Tessitura territorio Unione

Le tessiture all'interno del territorio comunale presentano, oltre ad una fascia sabbiosa a ridosso della costa, formazioni principalmente di tipo franco limoso argillosa con in intrusione di tessitura franca e franco limosa.

Sulla base delle tessiture di suolo 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), ψ (potenziale di ritenzione capillare del fronte umido) e θ_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.

Suolo	Capacità di immagazzinamento idrico (Porosità) C_s (n)	$\theta_e = C_s - \theta_r$	Potenziale di ritenzione capillare del fronte umido ψ (cm)	Conducibilità idraulica k (cm/h)
Sand	0.437 (0.374-0.500)	0.417 (0.354-0.480)	4.95 (0.97-25.36)	11.78
Loamy sand	0.437 (0.363-0.506)	0.401 (0.329-0.473)	6.13 (1.35-27.94)	2.99
Sandy loam	0.453 (0.351-0.555)	0.412 (0.283-0.541)	11.01 (2.67-45.47)	1.09
Loam	0.463 (0.375-0.551)	0.434 (0.334-0. 534)	8.89 (1.33-59.38)	0.34
Silt loam	0.501 (0.420-0.582)	0.486 (0.394-0.578)	16.68 (2.92-95.39)	0.65
Sandy clay Loam	0.398 (0.332-0.464)	0.330 (0.235-0.425)	21.85 (4.42-108.0)	0.15
Clay loam	0.464 (0.409-0.519)	0.309 (0.279-0.501)	20.88 (4.79-91.10)	0.10
Silty clay Loam	0.471 (0.418-0.524)	0.432 (0.347-0.517)	27.30 (5.67-131.50)	0.10
Sandy clay	0.430 (0.370-0.490)	0.321 (0.207-0.435)	23.90 (4.08-140.2)	0.06
Silty clay	0.479 (0.425-0.533)	0.423 (0.334-0.512)	29.22 (6.13-139.4)	0.05
Clay	0.475 (0.427-0.523)	0.385 (0.269-0.501)	31.63 (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 ± dev. standard)

Le figure seguenti riportano rispettivamente le distribuzioni dei parametri k, ψ e θ_e all'interno dell'area di studio.

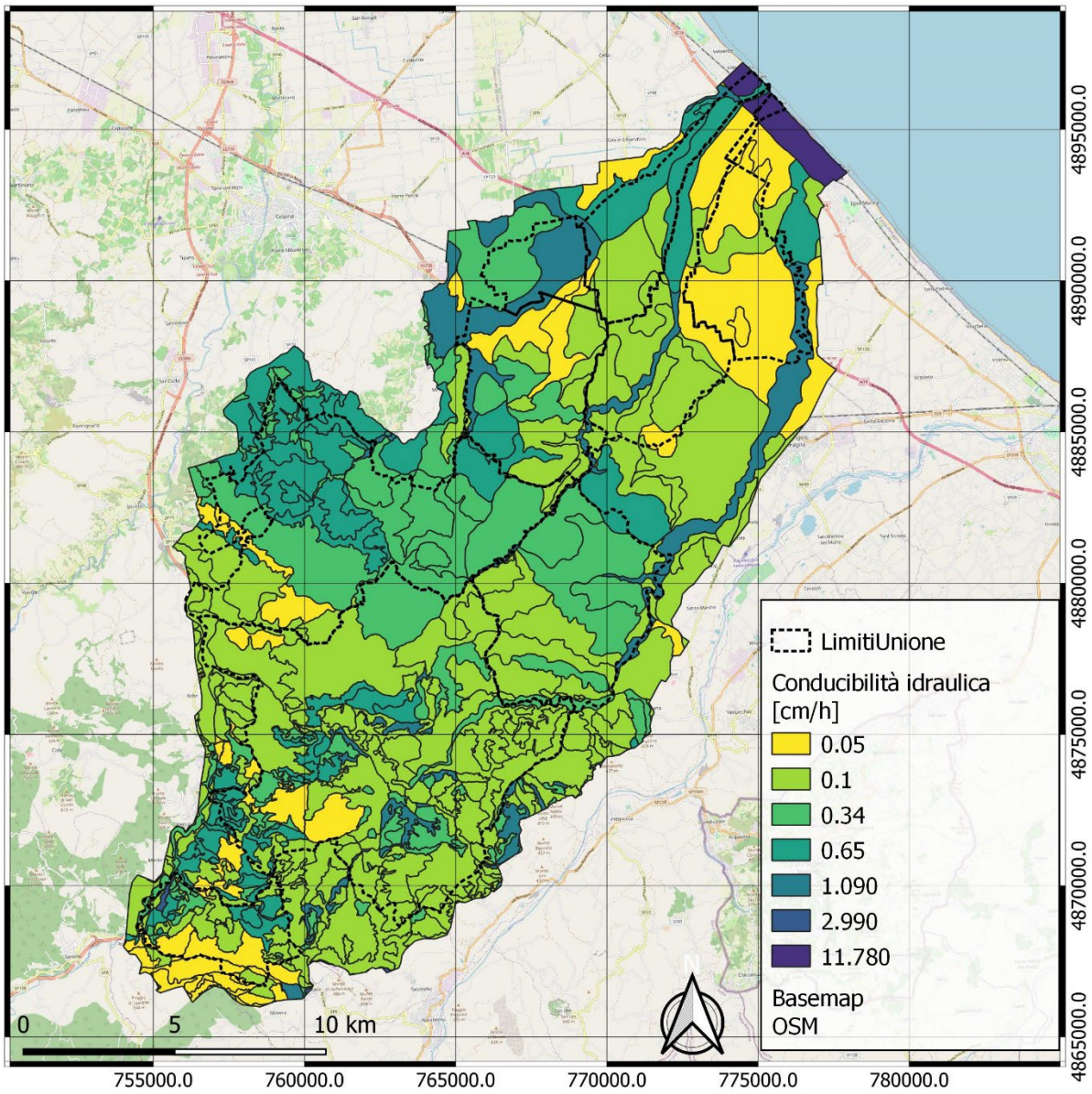


Figura 35 - conducibilità idraulica all'interno dell'area di studio

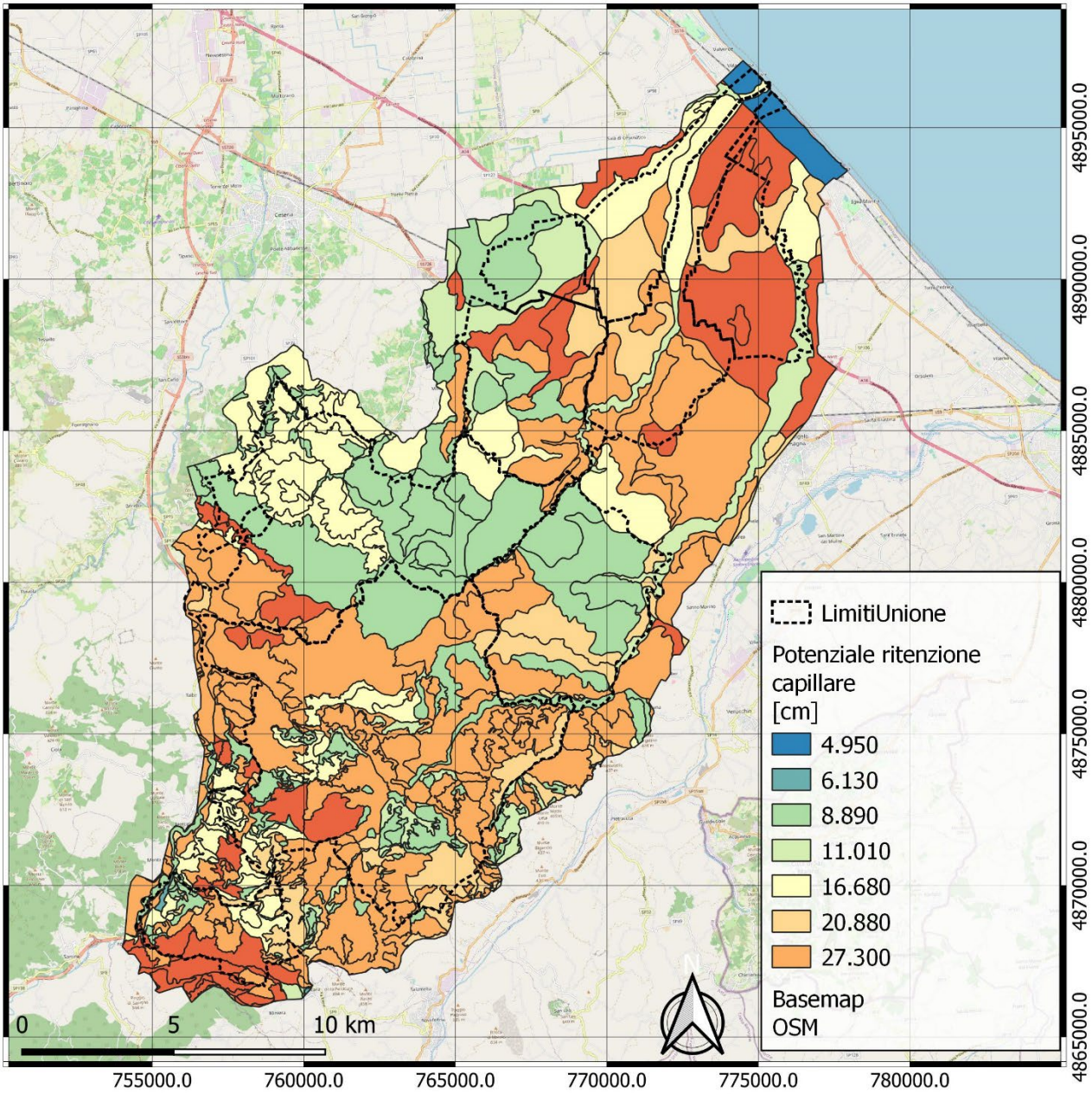


Figura 36 - potenziale di ritenzione capillare del fronte umido all'interno dell'area di studio

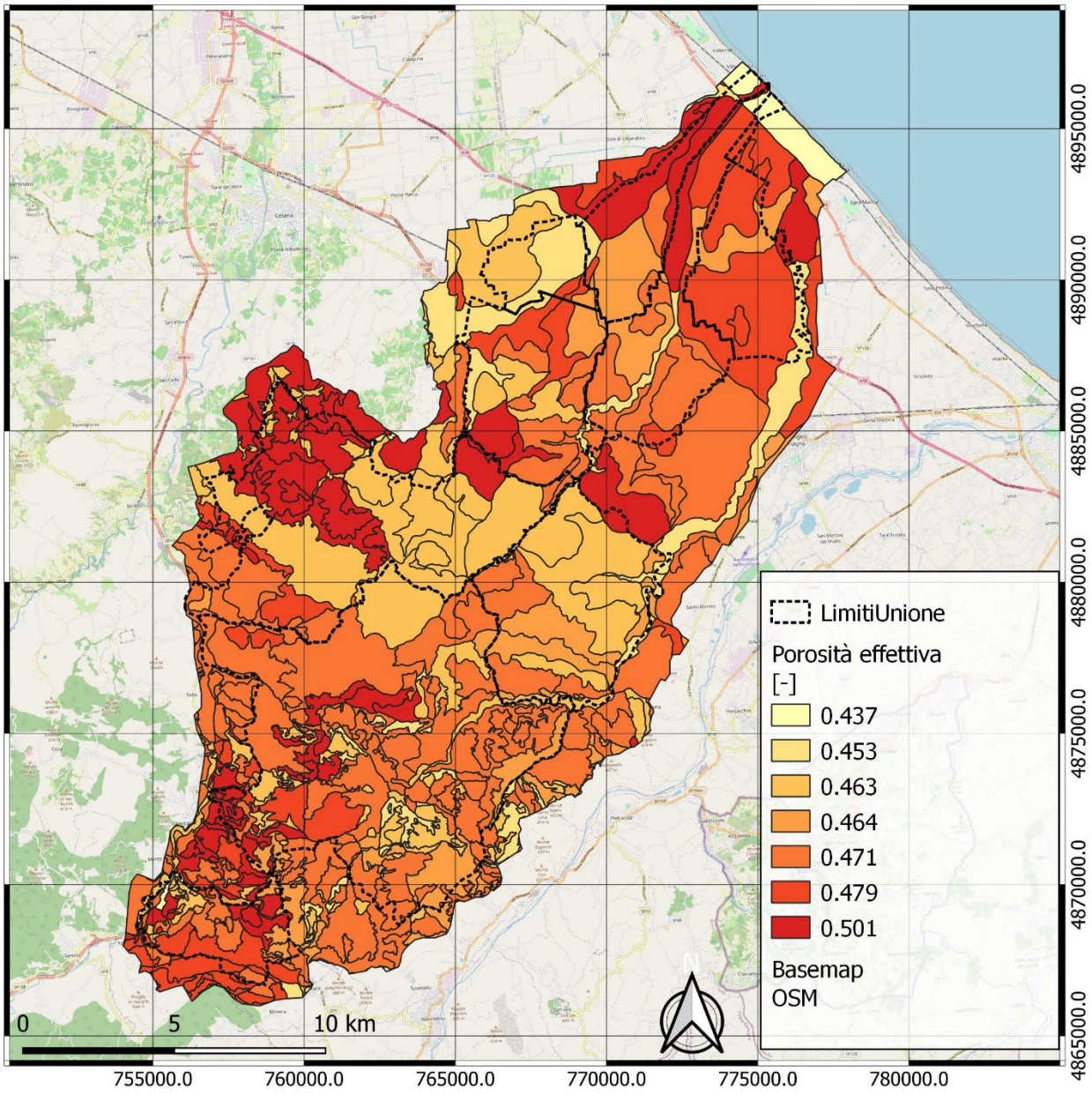


Figura 37 - porosità effettiva all'interno dell'area di studio

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 ([2]).

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

	h (d) [mm]							
TR anni	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

[2] *Direttiva inerente alle 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)

	i (d) [mm/h]							
TR anni	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 dell'Unione Rubicone e Mare

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	Pioggia totale [mm]	Tempo di Ritorno [anni]
A_1h_20	60 min.	49.0	20
A_1h_50	60 min.	59.4	50
A_1h_100	60 min.	67.9	100
A_1h_200	60 min.	76.8	200

Tabella 8 – scenari di allagamento simulati

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.

Analizzando lo stato di fatto, ad esempio la mappa per evento TR = 200 anni e durata 1 ora riportata nella immagine seguente (su base Google satellite per dare maggior risalto) si nota come abbiamo accumuli scarsi in presenza di tessuto urbanizzato in prossimità della costa.

A monte invece troviamo piccole zone di accumulo dovute presumibilmente a depressioni nel coltivo e anche in prossimità del ramo autostradale A14.

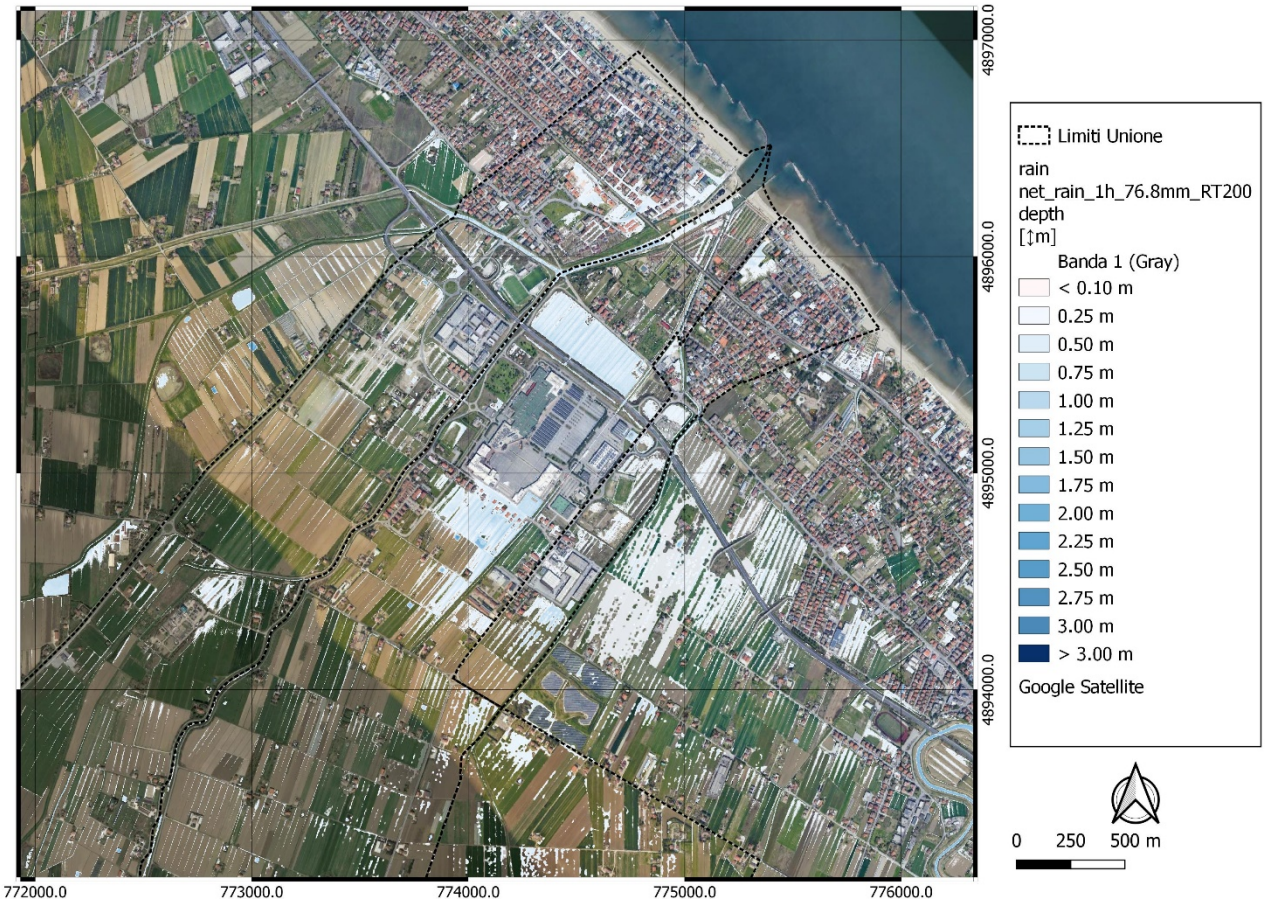


Figura 38 – mappa dei tiranti (m) per evento pluviale intenso di durata 1 ora e 200 anni di tempo di ritorno

Le mappe riportate in Tabella 9 e 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
1	1h_20	A_1h_20
2	1h_50	A_1h_50
3	1h_100	A_1h_100
4	1h_200	A_1h_200

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

4.4 MODELLO INONDAZIONE FLUVIALE SAFER_RIVER

4.4.1 AREA DI PIANURA

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 dell'Unione.

L'ambito di analisi è lo stesso descritto per la analisi della pericolosità di tipo pluviale, ovvero i territori di pianura a valle della Via Emilia.

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 GECOsistema e denominato Safer_RIVER, è un modello di mappatura dei tiranti idrici basato su dato Lidar ad alta risoluzione che rappresenta una significativa evoluzione della Mappa delle depressioni di pianura prodotta ad esempio 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 39). 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 si sfogo utile verso valle, e non considera quindi i volumi effettivamente accumulabili per uno specifico evento.

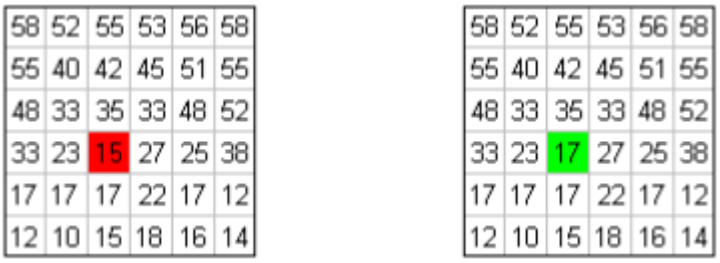


Figura 39 - esempio di *sink* e modifica della quota della cella con l'algoritmo di *fillsink*

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 rilevato, 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 assegnandoli ai *watersheds* connessi.

La sorgente di allagamento fluviale è descritta nei paragrafi seguenti.

4.4.1.1 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.

4.4.1.2 RETICOLO IDROGRAFICO E BACINI

Il reticolo idrografico è piuttosto articolato, comprendendo diversi corsi naturali, tra cui ricordiamo il Rubicone e tutta la rete di canali di bonifica che risulta estremamente strutturata.

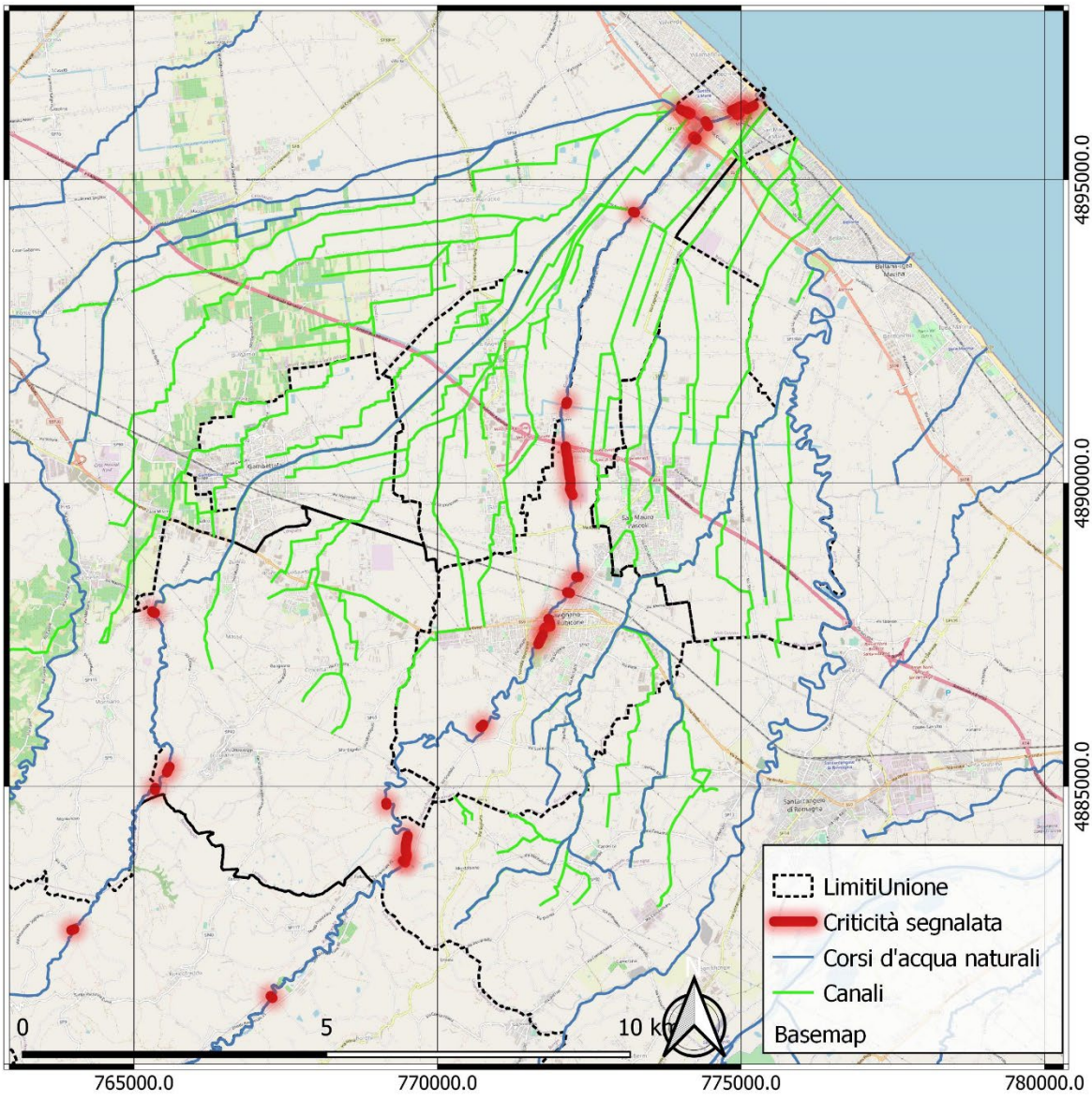


Figura 40 – reticolo idrografico naturale e artificiale

Il reticolo idrografico aggiornato è stato reperito presso il Consorzio di Bonifica della Romagna e il Database topografico regionale (corsi d'acqua principali). Per quanto riguarda quest' ultimo, si è definito, di concerto con l'Agenzia di Protezione Civile (Sede territoriale di Forlì - Cesena) un 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 di analisi i tratti specifici ritenuti a maggior criticità, che

riguardano principalmente alcune carenze arginali dovute a scarsa consistenza o erosione ed inofficiosità di alcuni ponti.

Per quanto riguarda la rete dei canali di bonifica, essa è stata consegnata dal Consorzio in formato vettoriale insieme a diverse monografie in formato pdf riguardante i calcoli di portata di progetto e l'estensione del bacino idrografico per i seguenti canali:

- Lupara
- Fossetta
- Matrice vecchia
- Rigoncello
- Rigossa
- Salto
- Vena grande

Per i cavi di bonifica si è recuperato presso il Consorzio di Bonifica uno studio idraulico relativo a buona parte della rete[3] 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.

In generale assumere un livello omogeneo di officiosità pari a TR = 30 anni, ove non sussistano evidenze o calcoli di dettaglio, risponde ad una esigenza di pianificazione territoriale, e non di progetto locale di interventi che richiederebbe verifiche di maggior dettaglio.

In tal modo, e previa opportuna verifica della ragionevolezza di tale ipotesi con l'autorità idraulica che gestisce il corso d'acqua, è possibile stimare velocemente il volume esondabile e mappare le aree allagabili conseguenti.

4.4.1.3 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 (Tc) ed un esaurimento pari a 2*Tc (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

[3] "DOCUMENTO QUADRO DEI RISCHI IDRAULICI E STRATEGIE DI INTERVENTO" a cura di ing. Massimo Plazzi, LUGLIO 2006

ipotesi è alla base delle stime sui volumi esondabili nello studio citato datato 2006 per il Consorzio di Bonifica.

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.

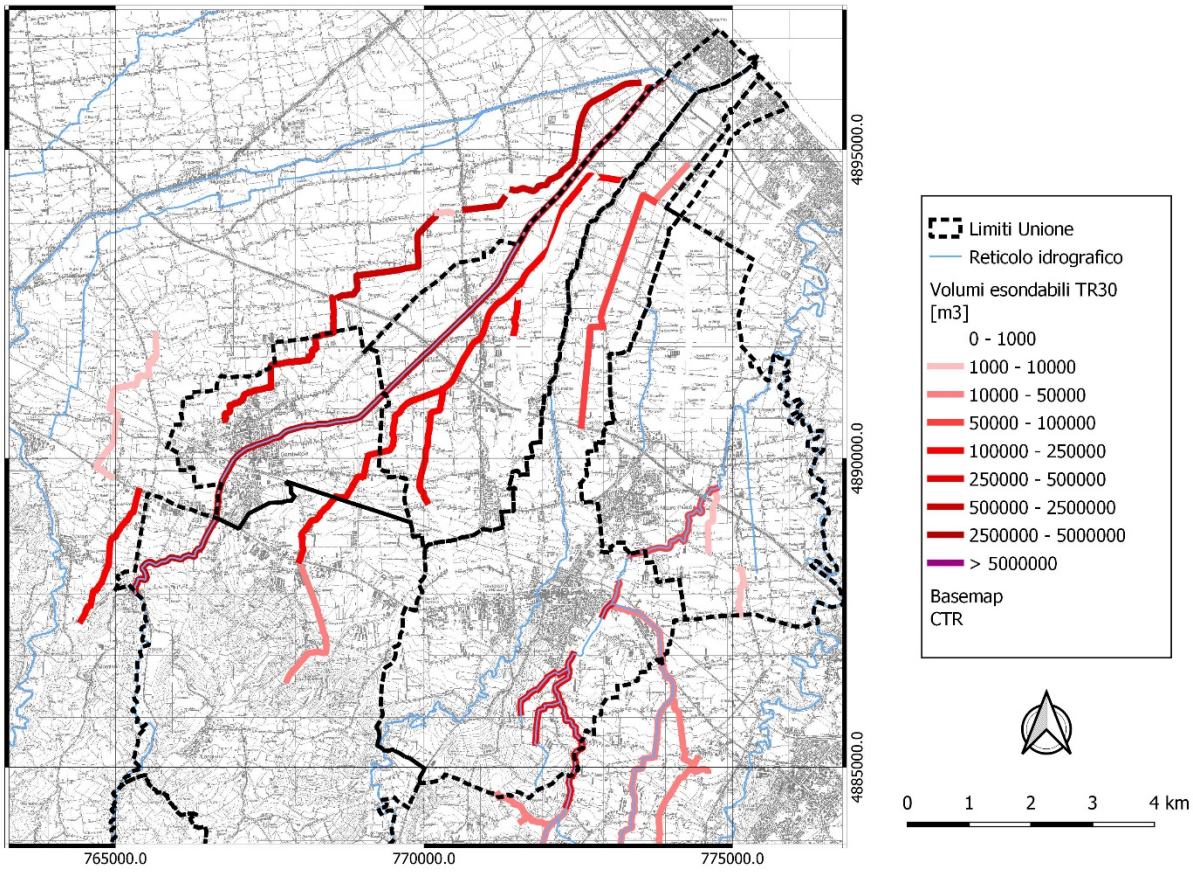


Figura 41 - volumi esondabili dal reticolo idrografico - TR = 30 anni

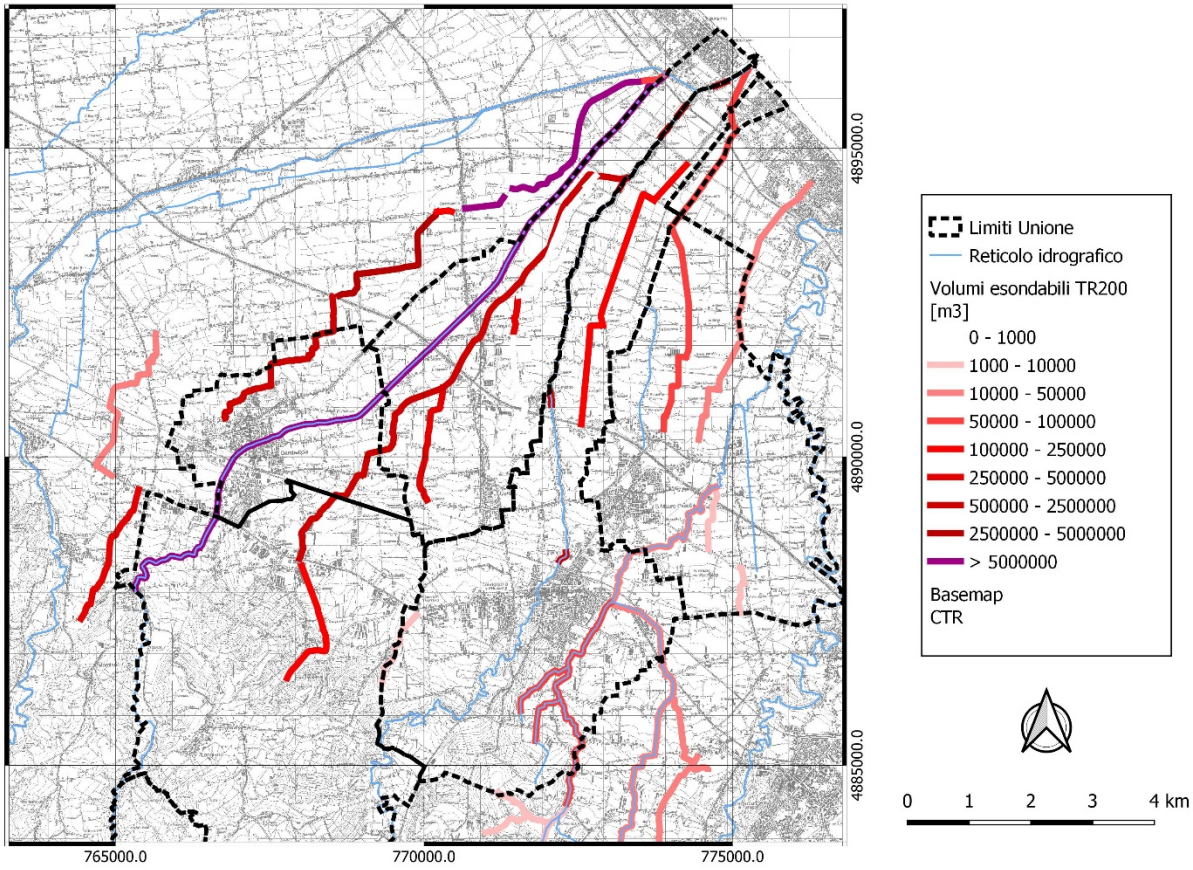


Figura 42 - volumi esondabili dal reticolo idrografico - TR = 200 anni

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.

4.4.1.4 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 per lo scenario di stato attuale

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

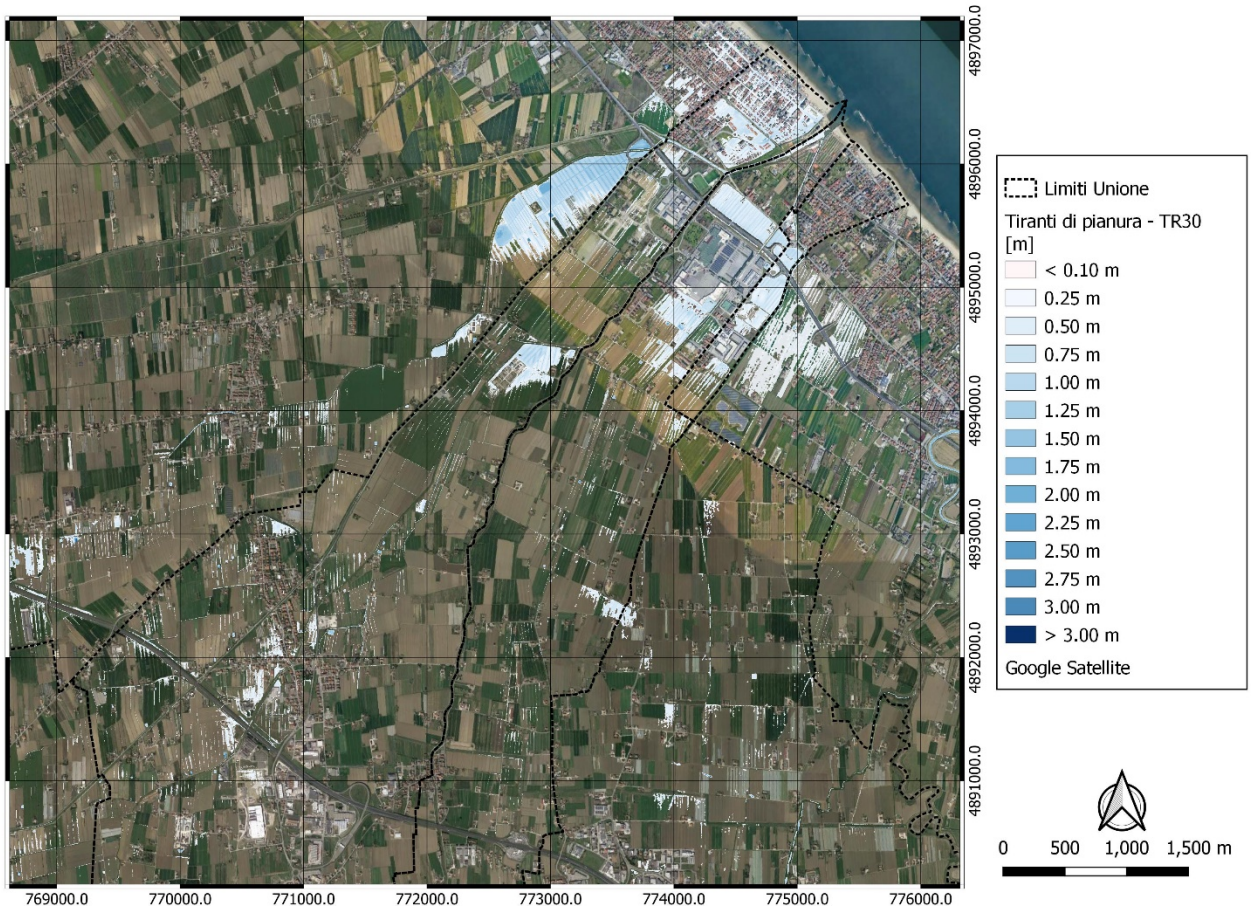


Figura 43 - tiranti idrici di pianura per tempo di ritorno pari a 30 anni

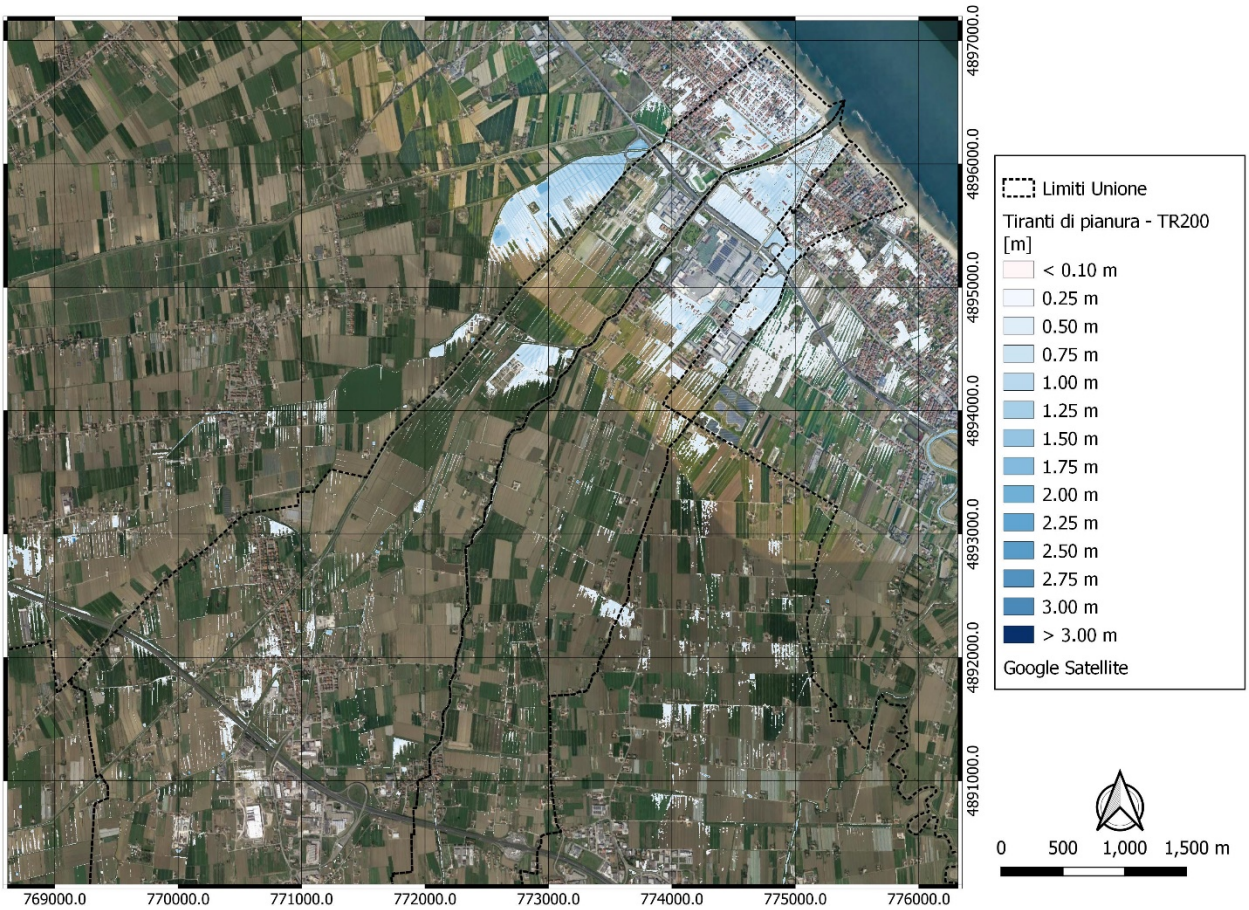


Figura 44 - tiranti idrici di pianura per tempo di ritorno pari a 200 anni

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

Numero	FLUVIAL	Scenario Stato di Fatto
1	P3	rain(watersheds_volumi_tr30). depth
2	P2	rain(watersheds_volumi_tr200). depth

Tabella 10 – elenco mappe scenari di allagamento fluviale, ambito di Pianura

4.4.2 AREA DI COLLINA MONTAGNA

L'analisi proposta si basa sull'applicazione dell'indice geomorfologico GFI descritto in (Tavares et.al, 2019[4]). Si tratta di un descrittore morfologico utilizzato con funzione di classificazione binaria lineare per distinguere tra aree allagabili e non secondo lo schema di Figura 45.

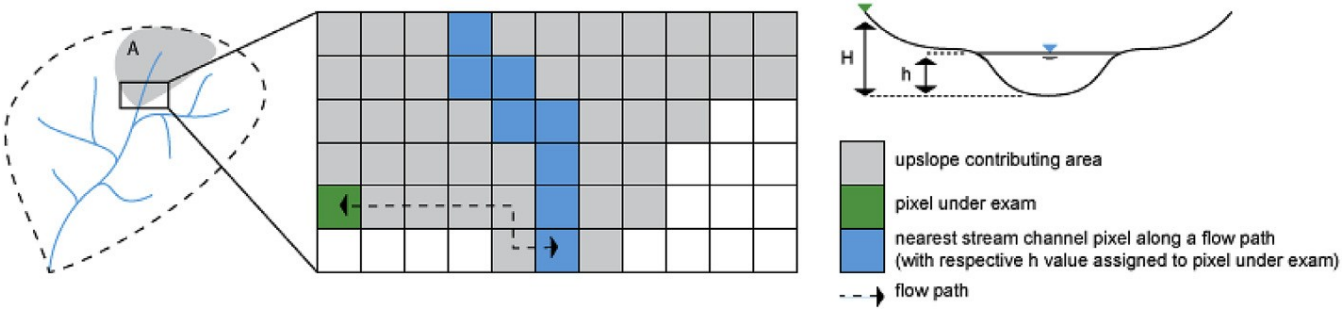


Figura 45 - Descrizione dell'indice geomorfologico (GFI), tratta da Tavares et. al ,2019. A sinistra una rappresentazione schematica del bacino idrografico, con A l'area contribuente a monte di un punto generico del reticolo; al centro, la rappresentazione raster di una sezione di bacino fluviale ingrandito; e, sul lato destro una vista trasversale della sezione di fiume corrispondente inclusa l'area allagabile circostante. (immagine di raccordo a 2 colonne).

Il flusso di lavoro inizia con l'analisi del DTM, derivando pendenza, direzione di scorrimento ed area contribuente per ogni pixel del dominio. Parallelamente vengono rasterizzate le mappe di allagamento ufficiali (aree P3, P2 del PAI – PGRA) ove disponibili. Attorno a tali aree si assegna un buffer di incertezza (per derivare l'area di classificazione), in questo caso fissato a 500 m oltre l'estensione ufficiale delle aree P3, P2.

La classificazione del descrittore morfologico GFI viene quindi eseguita all'interno dell'area di classificazione separatamente per aree P3 e P2 cercando la soglia ottimale che meglio approssimi le mappe di riferimento ufficiali, i dettagli dell'algoritmo di ottimizzazione implementato sono contenuti in (Tavares et.al, 2019[5]). La soglia ottimale viene successivamente utilizzata per segmentare il

[4] A web application for hydrogeomorphic flood hazard mapping
Ricardo. Tavares da Costa, Salvatore Manfreda, Valerio Luzzi, CaterinaSamela, PaoloMazzoli, AttilioCastellarin, Stefano Bagli.
Environmental Modelling & Software Volume 118, August 2019, Pages 172-186
https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2019.04.010

[5] A web application for hydrogeomorphic flood hazard mapping
Ricardo. Tavares da Costa, Salvatore Manfreda, Valerio Luzzi, Caterina Samela, Paolo Mazzoli, Attilio Castellarin, Stefano Bagli.
Environmental Modelling & Software Volume 118, August 2019, Pages 172-186
https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2019.04.010

descrittore morfologico, segnalando tutti i valori superiori o uguali alla soglia come allagati, mentre quelli inferiori come non allagati, estendendo così all'intero territorio la mappatura delle aree allagabili.

L'indicatore GFI è così derivato, con riferimento alla Figura 45:

$$GFI_{ij} = \ln(h_{ij}^{ch}/H_{ij})$$

$$h_{ij}^{ch} = a(A_{kh}^{ch})^{n}$$

$$H_{ij} = z_{ij}\text{-}z_{kh}^{ch}$$

Con A_{kh}^{ch} area contribuente a monte del generico pixel ij situato lungo il reticolo fluviale, a ed n parametri della legge di potenza da letteratura a=0.1035 and n=0.4057 (Samela et. Al, 2015[6]), H è la differenza di quota z_{ij} tra un pixel generico idrologicamente connesso al fiume e la quota del fiume nel punto di connessione z_{kh}^{ch}

L'indicatore così derivato viene normalizzato, prima di ricercare il valore ottimo, secondo la seguente:

$$GFI_{ij}^{*} = (GFI_{ij}\text{-}GFI^{min})/(GFI^{max}\text{-}GFI^{min})$$

4.4.2.1 SCENARI DI ESONDAZIONE FLUVIALE E RISULTATI DELLE SIMULAZIONI

A partire dalla calibrazione sulle mappe di riferimento PAI P3 e P2 si sono ottenute le mappe di allagamento estese mostrate nelle immagini seguenti, analisi è stata estesa sino a bacini contribuenti minimi di 1 km^2.

Le analisi sono state ripetute, per ridurre l'onere computazionale dato l'output di tipo binario (senza informazione sul tirante idrico locale), su una versione del DTM a risoluzione 5 X 5 m.

Numero	FLUVIAL	Scenario Stato di Fatto
1	P3	GFI_P3_500m
2	P2	GFI_P2_500m

Tabella 11 – elenco mappe scenari di allagamento fluviale, ambito di collina-montagna

[6] Samela, C. (2015). Flood hazard mapping over large regions using geomorphic procedures (Doctoral dissertation, Università degli Studi della Basilicata, Italy)

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**, di seguito si andranno ad indicare queste misure per il territorio dell'Unione, prelevate dai documenti PAI delle ex-AdB Bacini Romagnoli e Marecchia-Conca.

<u>Interventi ex-AdB Bacini Romagnoli</u>

Al capitolo 5.6 sono indicate le misure strutturali per l'intera area di competenza, di seguito quelle di pertinenza per l'area di interesse.

- Torrente Rubicone. Sistemazione e messa in quota argini in loc. Fiumicino anche con muretti in c.a. Sistemazione e risezionamenti nei tratti cittadini di Savignano e della foce, con opere di riqualificazione fluviale. Savignano sul R. Gatteo Mare
- Torrente Rubicone. Ripristino erosioni di scarpata e di franamenti della sommità arginale con ricostruzione della sottobanca. Torrente Pisciatello e Fiume Rubicone - Cesena, Cesenatico e Savignano sul Rubicone

Gli interventi sono tutt'ora in corso di realizzazione

Sono poi state reperite presso la Protezione Civile ulteriori informazioni sugli interventi in corso, da cui risulta, per il fiume Rubicone, una attività di "*Rilievi e modelli idraulici del fiume Rubicone con finalità di progettazione aree di laminazione e sistemazioni fluviali - Comuni vari*" quale supporto tecnico all'aggiornamento della progettazione preliminare, ed al proseguimento della definitiva ed esecutiva di un primo lotto di interventi. Questo nell'ambito della scheda Rendis 08IR172/G1 del Piano Nazionale contro il Rischio Idrogeologico, che rappresenta un primo lotto funzionale di un progetto generale suddiviso in 5 lotti funzionali:

1) Foce - chiusa

2) chiusa - Ponte A14

3) Ponte A14 – ponte ferroviario

4) Ponte ferroviario – Loc. Castelluccio

5) Loc. Castelluccio – Loc. Montigallo

Interventi ex-AdB Marecchia-Conca

Al capitolo 1.3.7 del documento viene indicata per il torrente Uso (di pertinenza con il territorio dell'Unione) "*Considerato che lo studio idraulico e le analisi condotte non hanno evidenziato aree di rischio idraulico molto elevato (R4) ed elevato (R3) nel tratto di T. Uso preso in esame, non si prevedono interventi strutturali […]".*

In abbinamento alle informazioni appena indicate da fonte PAI, riportiamo di seguito delle segnalazioni di criticità fornite dal Consorzio di Bonifica della Romagna riguardanti interventi fatti, di progetto e necessari, nonché lo stato delle criticità e la stima di massima portata officiosa per diversi corsi d'acqua non modellati e ricadenti nell'area di studio.

- Rigossa – sistemazione con rialzi arginali presso il ponte in via Pascucci, Gambettola (Figura 46); briglie collinari in corso di progetto di fattibilità insieme a casse di laminazione.

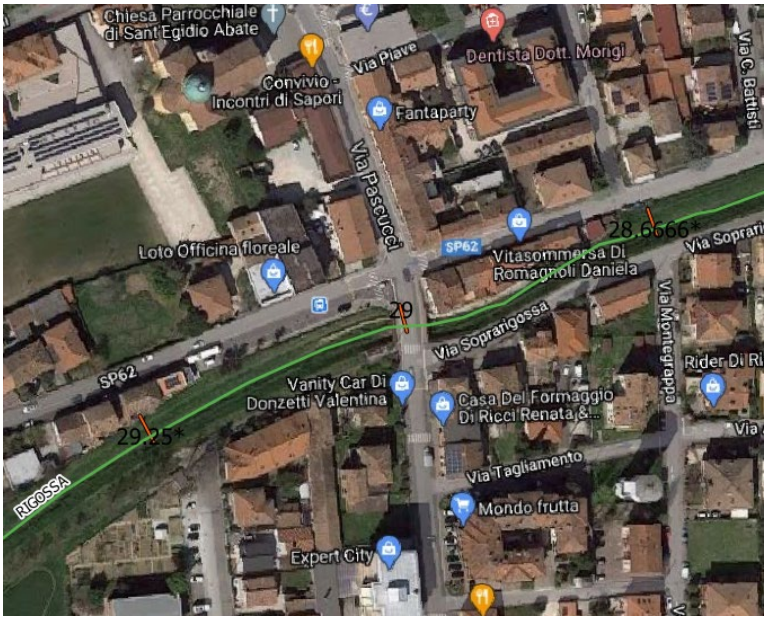


Figura 46 - Punto indicato per Canale Rigossa, tratto sezioni 27-30 Plazzi

- Fossatone della matrice\Matrice vecchia – Ponte ex SS16 lato monte, ponte per passerella ciclopedonale e ponte per idrovora Cagnona, officiosità TR30 per bacini Matrice vecchia (Figura 47)



Figura 47 - Bacino Matrice vecchia officioso TR30 (giallo)

- Matrice nuova – immissione a mare a San Mauro Pascoli, problematico per allagamento urbano. Problema di scarico reflui urbani in Matrice nuova, attualmente progetto per riadattare il sollevamento delle acque nere.
- Vena piccola\ prati 1^ - dimensionamento insufficiente.
- Fossetta – potenziamento dell'idrovora, officioso TR30.
- Olca\Maceri\Lupara – criticità alta, specialmente per canale Lupara presso ponte via fiume intersezione cupa per tombinatura.
- Rio salto – officiosità ma argini franosi in località Villa Torlonia (San Mauro Pascoli).

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 4.4 si può desumere un quadro di rischio idraulico fluviale di ancora non completamente risolto, con interventi programmati o in corso di realizzazione per le criticità strutturali note.

Le ulteriori misure di protezione perseguibili dagli Enti locali sono essenzialmente di tipo non strutturale, volte a mitigare e a non amplificare gli effetti delle alluvioni.

Per quanto riguarda il rischio di allagamento **costiero** il PAI riporta 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/Gatteo a Mare) ed il ripascimento annuale degli arenili in erosione vengono periodicamente programmati dalla Regione Emilia-Romagna, progettati dall'Agenzia di Protezione civile in coordinamento con le Amministrazioni comunali e le realtà locali.

Tra gli interventi strutturali e temporanei riveste un certo interesse la duna invernale, 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. Per la finalità di questo studio e come detto in precedenza, questa opera di difesa ben visibile sui dati LIDAR è stata integrata nei punti necessari, al fine di renderla effettivamente una struttura continua.

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

Inoltre: rendere cogenti le linee guida GIZC (Delibera del Consiglio Regionale 20 gennaio 2005, n.645).

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 4.3 si sono analizzati gli scenari legati agli eventi intensi sul territorio, 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 l'Unione 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 è necessaria, per ovvie ragioni di costi e di risparmi conseguibile su tale scala di acquisizione, anche su istanza delle amministrazioni locali, evitando il ricorso a complesse operazioni di *merging* tra basi dati di epoca ed affidabilità diverse come mostrato nella presente analisi.

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 l'Unione 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[7] .

Per quanto riguarda la Ex ADB Marecchia-Conca, troviamo le misure non strutturali (art. 11, comma 2) nelle tavole di piano (allegato 4) e descrizioni nella tabella 1 delle norme, inoltre si sono integrate le Norme di Piano del PAI con l'aggiunta del Titolo IV "Norme in materia di coordinamento tra il piano Stralcio di Bacino per l'Assetto idrogeologico (PAI) ed il Piano di Gestione dei Rischi di Alluvione (PGRA)" formato da disposizioni aggiuntive specifiche per le suddette mappe di pericolosità e di rischio, in coerenza ai contenuti e misure del PGRA.

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 idraulica della Ex ADBRR
  - Art 11 comma 3 lettera (d) delle norme PAI var 2016 Ex AdB Marecchia-Conca
  - LINEE GUIDA PER LA PROGETTAZIONE nel Regolamento di Polizia Idraulica

  Che prevedono 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 idraulica della Ex ADBRR, 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. La mappatura realizzata permette di valutare le misure di mitigazione con interventi non strutturali e gli approfondimenti idraulici locali anche alle aree ricadenti nel territorio della Ex Adb Marecchia-Conca, per uniformità su tutto il territorio dell'Unione.

[7] 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

- Gli approfondimenti e le misure di mitigazione locali che possono essere richiesti dalla pianificazione dell'Unione nelle aree ulteriori mappate anche al di fuori dei perimetri PAI- PGRA prima di autorizzare un intervento locale

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 o sulla allagabilità di un'area, 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[8].

- 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 Rubicone né i corsi arginati di ordine inferiore, ne vi sia una controparte nel territorio della Ex AdB Marecchia-Conca , 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 locale 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[9]) le Infrastrutture Verdi (Green Based Infrastructures[10])

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.

[8] 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
[9] https://www.ciria.org/Memberships/The_SuDs_Manual_C753_Chapters.aspx
[10] https://www.epa.gov/green-infrastructure/green-infrastructure-design-and-implementation

In questo caso sono applicabili diverse misure di mitigazione (si veda ad esempio [11] e [12]) 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 dell'Unione, 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 locale.

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 durata 1 ora (pericolosità da P2 a P3).
- Tiranti idrici per esondazione costiera con tempi di ritorno da 10 a 200 anni (pericolosità P1-P2-P3) anche in scenario di cambiamento climatico.
- Mappatura delle aree allagabili in collina montagna per pericolosità P3 e P2 (tempi di ritorno 30-50 anni e 200 anni rispettivamente) estesa ai corsi d'acqua secondari.

Questi approfondimenti, oltre a costituire una parte del quadro conoscitivo per la valutazione di sostenibilità ambientale del Piano, permettono alla Unione 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.

[11] http://www.bostonplans.org/getattachment/d1114318-1b95-487c-bc36-682f8594e8b2
[12] https://www.fema.gov/media-library-data/1404150030143-cd3760624f61032d097df173e7f18355/FEMA_P312_Chap_7.pdf

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.20 16.05.002
- 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., Ansoult, 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.