



Comune di Rimini

DIREZIONE GENERALE
Settore Infrastrutture e Qualità Ambientale

AVAMPORTO DI RIMINI

COMPLETAMENTO OPERE DI DIFESA FORANEE

“Fondo per la progettazione di fattibilità delle infrastrutture e degli insediamenti prioritari per lo sviluppo del Paese, nonché per la project review delle infrastrutture già finanziate - secondo l'art. 202 del Codice dei Contratti Pubblici (Dlgs 50/2016 e s.m.i.), definito dal Decreto del Ministro delle infrastrutture e dei trasporti n. 171 del 10 maggio 2019 e dal Decreto direttoriale n. 8060 dell'8 agosto 2019”

PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICO- ECONOMICA



ELABORATO 3: STUDIO DI PROPAGAZIONE DEL MOTO ONDOSI

Codice elaborato: S20162-P1-RE-03-0

MODELLAZIONE

Ing. Stefano Bagli

Ing. Paolo Mazzoli

Ing. Antonio Sartini



PROGETTAZIONE



RESPONSABILE DEL PROCEDIMENTO:

Ing. Alberto Dellavalle

SUPPORTO AL RUP:

Ing. Massimo Paganelli

Ing. Enrico Miani

Dott. ssa Elena Favi

RIMINI

INDICE

1	PREMESSA	9
2	DOCUMENTAZIONE TECNICA DI RIFERIMENTO	10
3	MODELLO IDRAULICO	11
3.1	Dominio di calcolo	11
3.1.1	Scenario <i>ante-operam</i>	12
3.1.2	Scenari <i>post-operam</i>	14
3.2	Batimetria	18
3.2.1	Scenario <i>ante-operam</i>	18
3.2.2	Scenari <i>post-operam</i>	20
3.3	Condizioni iniziali	24
3.4	Condizioni al contorno	24
3.4.1	Liquid boundary	25
3.4.2	Solid boundary	28
3.5	Frangimento	31
4	RISULTATI DELLE SIMULAZIONI	32
4.1	Assetto Geologico	32
4.2	Scenario <i>Ante-Operam</i> – TR 5 anni	33
4.3	Scenario <i>Ante-Operam</i> – TR 10 anni	38
4.4	Scenario <i>Ante-Operam</i> – TR 50 anni	43
4.5	Scenario <i>Post-Operam Ipotesi A</i> – TR 5 anni	48
4.6	Scenario <i>Post-Operam Ipotesi A</i> – TR 10 anni	55
4.7	Scenario <i>Post-Operam Ipotesi A</i> – TR 50 anni	63
4.8	Scenario <i>Post-Operam Ipotesi B</i> – TR 5 anni	72
4.9	Scenario <i>Post-Operam Ipotesi B</i> – TR 10 anni	79
4.10	Scenario <i>Post-Operam Ipotesi B</i> – TR 50 anni	88
5	ANALISI DEI RISULTATI E CONCLUSIONI	100
6	modellazione per successivi stralci	101
6.1	Impostazioni del modello	101
6.2	Risultati delle simulazioni	102
6.2.1	SCENARIO ANTE OPERAM	102

6.2.2 SCENARIO POST OPERAM LOTTO 1	107
6.2.3 CONCLUSIONI	112

ALLEGATO 1 Planimetria di intervento – Ipotesi A

ALLEGATO 2 Planimetria di intervento – Ipotesi B

FIGURE

FIGURA 1 INQUADRAMENTO GEOGRAFICO DELL'AREA DI STUDIO, OTTENUTO DA ORTOFOTO RER 2017, SCALA GRAFICA.....	8
FIGURA 2: DOMINIO DI CALCOLO NELLO SCENARIO ANTE-OPERAM SU BASE ORTOFOTO (FONTE: HTTP://SERVIZIGIS.REGIONE.EMILIA-ROMAGNA.IT/WMS/CGR2018_RGB?).....	11
FIGURA 3: MESH DI CALCOLO NELLO SCENARIO ANTE-OPERAM SU BASE CTR (FONTE: HTTP://SERVIZIGIS.REGIONE.EMILIA-ROMAGNA.IT/WMS/DBTR_CTRMULTISCALA?).....	12
FIGURA 4: MESH DI CALCOLO NELLO SCENARIO ANTE-OPERAM – DETTAGLIO DELL'AREA PORTUALE SU BASE CTR (FONTE: HTTP://SERVIZIGIS.REGIONE.EMILIA-ROMAGNA.IT/WMS/DBTR_CTRMULTISCALA?).....	13
FIGURA 5: MESH DI CALCOLO NELLO SCENARIO POST-OPERAM IPOTESI A SU BASE CTR (FONTE: HTTP://SERVIZIGIS.REGIONE.EMILIA-ROMAGNA.IT/WMS/DBTR_CTRMULTISCALA?).....	14
FIGURA 6: MESH DI CALCOLO NELLO SCENARIO POST-OPERAM IPOTESI A – DETTAGLIO DELL'AREA PORTUALE SU BASE CTR (FONTE: HTTP://SERVIZIGIS.REGIONE.EMILIA-ROMAGNA.IT/WMS/DBTR_CTRMULTISCALA?).....	15
FIGURA 7: MESH DI CALCOLO NELLO SCENARIO POST-OPERAM IPOTESI B SU BASE CTR (FONTE: HTTP://SERVIZIGIS.REGIONE.EMILIA-ROMAGNA.IT/WMS/DBTR_CTRMULTISCALA?).....	16
FIGURA 8: MESH DI CALCOLO NELLO SCENARIO POST-OPERAM IPOTESI B – DETTAGLIO DELL'AREA PORTUALE SU BASE CTR (FONTE: HTTP://SERVIZIGIS.REGIONE.EMILIA-ROMAGNA.IT/WMS/DBTR_CTRMULTISCALA?).....	17
FIGURA 9: MODELLO DIGITALE BATIMETRICO NELLO SCENARIO ANTE-OPERAM, QUOTE IN M S.L.M.M. SU BASE CTR (FONTE: HTTP://SERVIZIGIS.REGIONE.EMILIA-ROMAGNA.IT/WMS/DBTR_CTRMULTISCALA?).....	18
FIGURA 10: MODELLO DIGITALE BATIMETRICO NELLO SCENARIO ANTE-OPERAM, DETTAGLIO DELL'AREA DEL PORTO, QUOTE IN M S.L.M.M. SU BASE CTR (FONTE: HTTP://SERVIZIGIS.REGIONE.EMILIA-ROMAGNA.IT/WMS/DBTR_CTRMULTISCALA?).....	19
FIGURA 11: MODELLO DIGITALE BATIMETRICO NELLO SCENARIO POST-OPERAM IPOTESI A, QUOTE IN M S.L.M.M. SU BASE CTR (FONTE: HTTP://SERVIZIGIS.REGIONE.EMILIA-ROMAGNA.IT/WMS/DBTR_CTRMULTISCALA?).....	20
FIGURA 12: MODELLO DIGITALE BATIMETRICO NELLO SCENARIO POST-OPERAM IPOTESI A, DETTAGLIO DELL'AREA DEL PORTO, QUOTE IN M S.L.M.M. SU BASE CTR (FONTE: HTTP://SERVIZIGIS.REGIONE.EMILIA-ROMAGNA.IT/WMS/DBTR_CTRMULTISCALA?).....	21
FIGURA 13: MODELLO DIGITALE BATIMETRICO NELLO SCENARIO POST-OPERAM IPOTESI B, QUOTE IN M S.L.M.M. SU BASE CTR (FONTE: HTTP://SERVIZIGIS.REGIONE.EMILIA-ROMAGNA.IT/WMS/DBTR_CTRMULTISCALA?).....	22
FIGURA 14: MODELLO DIGITALE BATIMETRICO NELLO SCENARIO POST-OPERAM IPOTESI B, DETTAGLIO DELL'AREA DEL PORTO, QUOTE IN M S.L.M.M. SU BASE CTR (FONTE: HTTP://SERVIZIGIS.REGIONE.EMILIA-ROMAGNA.IT/WMS/DBTR_CTRMULTISCALA?).....	23
FIGURA 15: LOCALIZZAZIONE DEL PUNTO P IN CUI SONO DEFINITE LE SERIE TEMPORALI DI INPUT.....	25
FIGURA 16: CONFRONTO, RELATIVO ALL'ANNO 2019, FRA I VALORI DI ALTEZZA D'ONDA SIGNIFICATIVA MISURATI DALLA BOA NAUSICAA ED I VALORI CALCOLATI DAL MODELLO CMEMS NEL PUNTO P.....	25
FIGURA 17: CONDIZIONI AL CONTORNO – SCENARIO ANTE-OPERAM SU BASE CTR (FONTE: HTTP://SERVIZIGIS.REGIONE.EMILIA-ROMAGNA.IT/WMS/DBTR_CTRMULTISCALA?).....	28
FIGURA 18: CONDIZIONI AL CONTORNO – SCENARIO POST-OPERAM IPOTESI A SU BASE CTR (FONTE: HTTP://SERVIZIGIS.REGIONE.EMILIA-ROMAGNA.IT/WMS/DBTR_CTRMULTISCALA?).....	29
FIGURA 19: CONDIZIONI AL CONTORNO – SCENARIO POST-OPERAM IPOTESI B SU BASE CTR (FONTE: HTTP://SERVIZIGIS.REGIONE.EMILIA-ROMAGNA.IT/WMS/DBTR_CTRMULTISCALA?).....	30
FIGURA 20: RISULTATO SIMULAZIONE ONDA DA NO - SCENARIO ANTE-OPERAM – ALTEZZA ONDA IN M.....	32

FIGURA 21: RISULTATO SIMULAZIONE ONDA DA N - SCENARIO ANTE-OPERAM – ALTEZZA ONDA IN M	33
FIGURA 22: RISULTATO SIMULAZIONE ONDA DA NE - SCENARIO ANTE-OPERAM – ALTEZZA ONDA IN M	34
FIGURA 23: RISULTATO SIMULAZIONE ONDA DA E - SCENARIO ANTE-OPERAM – ALTEZZA ONDA IN M.....	35
FIGURA 24: RISULTATO SIMULAZIONE ONDA DA SE - SCENARIO ANTE-OPERAM – ALTEZZA ONDA IN M	36
FIGURA 25: RISULTATO SIMULAZIONE ONDA DA NO - SCENARIO ANTE-OPERAM – ALTEZZA ONDA IN M	37
FIGURA 26: RISULTATO SIMULAZIONE ONDA DA N - SCENARIO ANTE-OPERAM – ALTEZZA ONDA IN M	38
FIGURA 27: RISULTATO SIMULAZIONE ONDA DA NE - SCENARIO ANTE-OPERAM – ALTEZZA ONDA IN M	39
FIGURA 28: RISULTATO SIMULAZIONE ONDA DA E - SCENARIO ANTE-OPERAM – ALTEZZA ONDA IN M.....	40
FIGURA 29: RISULTATO SIMULAZIONE ONDA DA SE - SCENARIO ANTE-OPERAM – ALTEZZA ONDA IN M	41
FIGURA 30: RISULTATO SIMULAZIONE ONDA DA NO - SCENARIO ANTE-OPERAM – ALTEZZA ONDA IN M	42
FIGURA 31: RISULTATO SIMULAZIONE ONDA DA N - SCENARIO ANTE-OPERAM – ALTEZZA ONDA IN M	43
FIGURA 32: RISULTATO SIMULAZIONE ONDA DA NE - SCENARIO ANTE-OPERAM – ALTEZZA ONDA IN M	44
FIGURA 33: RISULTATO SIMULAZIONE ONDA DA E - SCENARIO ANTE-OPERAM – ALTEZZA ONDA IN M.....	45
FIGURA 34: RISULTATO SIMULAZIONE ONDA DA SE - SCENARIO ANTE-OPERAM – ALTEZZA ONDA IN M.....	46
FIGURA 35: RISULTATO SIMULAZIONE ONDA DA NO – SCENARIO POST-OPERAM IPOTESI A – ALTEZZA ONDA IN M.....	47
FIGURA 36: RISULTATO SIMULAZIONE ONDA DA NO – SCENARIO POST-OPERAM IPOTESI A, DETTAGLIO DELL’AREA DI INTERVENTO – ALTEZZA ONDA IN M	48
FIGURA 37: RISULTATO SIMULAZIONE ONDA DA N – SCENARIO POST-OPERAM IPOTESI A – ALTEZZA ONDA IN M.....	49
FIGURA 38: RISULTATO SIMULAZIONE ONDA DA NO – SCENARIO POST-OPERAM IPOTESI A, DETTAGLIO DELL’AREA DI INTERVENTO – ALTEZZA ONDA IN M	49
FIGURA 39: RISULTATO SIMULAZIONE ONDA DA NE – SCENARIO POST-OPERAM IPOTESI A – ALTEZZA ONDA IN M.....	50
FIGURA 40: RISULTATO SIMULAZIONE ONDA DA NE - SCENARIO POST-OPERAM IPOTESI A, DETTAGLIO DELL’AREA DI INTERVENTO – ALTEZZA ONDA IN M	51
FIGURA 41: RISULTATO SIMULAZIONE ONDA DA E - SCENARIO POST-OPERAM IPOTESI A – ALTEZZA ONDA IN M.....	52
FIGURA 42: RISULTATO SIMULAZIONE ONDA DA E - SCENARIO POST-OPERAM IPOTESI A, DETTAGLIO DELL’AREA DI INTERVENTO – ALTEZZA ONDA IN M	52
FIGURA 43: RISULTATO SIMULAZIONE ONDA DA SE – SCENARIO POST-OPERAM IPOTESI A – ALTEZZA ONDA IN M	53
FIGURA 44: RISULTATO SIMULAZIONE ONDA DA SE - SCENARIO POST-OPERAM IPOTESI A, DETTAGLIO DELL’AREA DI INTERVENTO – ALTEZZA ONDA IN M	54
FIGURA 45: RISULTATO SIMULAZIONE ONDA DA NO - SCENARIO POST-OPERAM IPOTESI A – ALTEZZA ONDA IN M.....	55
FIGURA 46: RISULTATO SIMULAZIONE ONDA DA NO - SCENARIO POST-OPERAM IPOTESI A, DETTAGLIO DELL’AREA DI INTERVENTO – ALTEZZA ONDA IN M	55
FIGURA 47: RISULTATO SIMULAZIONE ONDA DA N - SCENARIO POST-OPERAM IPOTESI A – ALTEZZA ONDA IN M	56
FIGURA 48 : RISULTATO SIMULAZIONE ONDA DA N - SCENARIO POST-OPERAM IPOTESI A, DETTAGLIO DELL’AREA DI INTERVENTO – ALTEZZA ONDA IN M	57
FIGURA 49: RISULTATO SIMULAZIONE ONDA DA NE - SCENARIO POST-OPERAM IPOTESI A – ALTEZZA ONDA IN M	58

FIGURA 50 : RISULTATO SIMULAZIONE ONDA DA NE - SCENARIO <i>POST-OPERAM IPOTESI A</i> , DETTAGLIO DELL'AREA DI INTERVENTO – ALTEZZA ONDA IN M	58
FIGURA 51: RISULTATO SIMULAZIONE ONDA DA E - SCENARIO <i>POST-OPERAM IPOTESI A</i> – ALTEZZA ONDA IN M	59
FIGURA 52: RISULTATO SIMULAZIONE ONDA DA E - SCENARIO <i>POST-OPERAM IPOTESI A</i> , DETTAGLIO DELL'AREA DI INTERVENTO – ALTEZZA ONDA IN M	60
FIGURA 53: RISULTATO SIMULAZIONE ONDA DA SE - SCENARIO <i>POST-OPERAM IPOTESI A</i> – ALTEZZA ONDA IN M	61
FIGURA 54 : RISULTATO SIMULAZIONE ONDA DA SE - SCENARIO <i>POST-OPERAM IPOTESI A</i> , DETTAGLIO DELL'AREA DI INTERVENTO – ALTEZZA ONDA IN M	61
FIGURA 55: RISULTATO SIMULAZIONE ONDA DA NO - SCENARIO <i>POST-OPERAM IPOTESI A</i> – ALTEZZA ONDA IN M.....	62
FIGURA 56 : RISULTATO SIMULAZIONE ONDA DA NO - SCENARIO <i>POST-OPERAM IPOTESI A</i> , DETTAGLIO DELL'AREA DI INTERVENTO – ALTEZZA ONDA IN M	63
FIGURA 57: RISULTATO SIMULAZIONE ONDA DA N - SCENARIO <i>POST-OPERAM IPOTESI A</i> – ALTEZZA ONDA IN M	64
FIGURA 58 : RISULTATO SIMULAZIONE ONDA DA N - SCENARIO <i>POST-OPERAM IPOTESI A</i> , DETTAGLIO DELL'AREA DI INTERVENTO – ALTEZZA ONDA IN M	64
FIGURA 59: RISULTATO SIMULAZIONE ONDA DA N - SCENARIO <i>POST-OPERAM IPOTESI A</i> , DETTAGLIO DELL'AREA DI INTERVENTO – ALTEZZA ONDA IN M	65
FIGURA 60: RISULTATO SIMULAZIONE ONDA DA NE - SCENARIO <i>POST-OPERAM IPOTESI A</i> – ALTEZZA ONDA IN M	66
FIGURA 61: RISULTATO SIMULAZIONE ONDA DA NE - SCENARIO <i>POST-OPERAM IPOTESI A</i> , DETTAGLIO DELL'AREA DI INTERVENTO – ALTEZZA ONDA IN M	66
FIGURA 62: RISULTATO SIMULAZIONE ONDA DA NE - SCENARIO <i>POST-OPERAM IPOTESI A</i> , DETTAGLIO DELL'AREA DI INTERVENTO – ALTEZZA ONDA IN M	67
FIGURA 63: RISULTATO SIMULAZIONE ONDA DA E - SCENARIO <i>POST-OPERAM IPOTESI A</i> – ALTEZZA ONDA IN M	68
FIGURA 64: RISULTATO SIMULAZIONE ONDA DA E - SCENARIO <i>POST-OPERAM IPOTESI A</i> , DETTAGLIO DELL'AREA DI INTERVENTO – ALTEZZA ONDA IN M	68
FIGURA 65: RISULTATO SIMULAZIONE ONDA DA E - SCENARIO <i>POST-OPERAM IPOTESI A</i> , DETTAGLIO DELL'AREA DI INTERVENTO – ALTEZZA ONDA IN M	69
FIGURA 66: RISULTATO SIMULAZIONE ONDA DA SE - SCENARIO <i>POST-OPERAM IPOTESI A</i> – ALTEZZA ONDA IN M	70
FIGURA 67: RISULTATO SIMULAZIONE ONDA DA SE - SCENARIO <i>POST-OPERAM IPOTESI A</i> , DETTAGLIO DELL'AREA DI INTERVENTO – ALTEZZA ONDA IN M	70
FIGURA 68: RISULTATO SIMULAZIONE ONDA DA NO – SCENARIO <i>POST-OPERAM IPOTESI B</i> – ALTEZZA ONDA IN M.....	71
FIGURA 69: RISULTATO SIMULAZIONE ONDA DA NO – SCENARIO <i>POST-OPERAM IPOTESI B</i> , DETTAGLIO DELL'AREA DI INTERVENTO – ALTEZZA ONDA IN M	72
FIGURA 70: RISULTATO SIMULAZIONE ONDA DA N – SCENARIO <i>POST-OPERAM IPOTESI B</i> – ALTEZZA ONDA IN M.....	73
FIGURA 71: RISULTATO SIMULAZIONE ONDA DA NO – SCENARIO <i>POST-OPERAM IPOTESI B</i> , DETTAGLIO DELL'AREA DI INTERVENTO – ALTEZZA ONDA IN M	73
FIGURA 72: RISULTATO SIMULAZIONE ONDA DA NE – SCENARIO <i>POST-OPERAM IPOTESI B</i> – ALTEZZA ONDA IN M.....	74
FIGURA 73: RISULTATO SIMULAZIONE ONDA DA NE - SCENARIO <i>POST-OPERAM IPOTESI B</i> , DETTAGLIO DELL'AREA DI INTERVENTO – ALTEZZA ONDA IN M	75

FIGURA 74: RISULTATO SIMULAZIONE ONDA DA E - SCENARIO <i>POST-OPERAM IPOTESI B</i> – ALTEZZA ONDA IN M	76
FIGURA 75: RISULTATO SIMULAZIONE ONDA DA E - SCENARIO <i>POST-OPERAM IPOTESI B</i> , DETTAGLIO DELL'AREA DI INTERVENTO – ALTEZZA ONDA IN M	76
FIGURA 76: RISULTATO SIMULAZIONE ONDA DA SE – SCENARIO <i>POST-OPERAM IPOTESI B</i> – ALTEZZA ONDA IN M	77
FIGURA 77: RISULTATO SIMULAZIONE ONDA DA SE - SCENARIO <i>POST-OPERAM IPOTESI B</i> , DETTAGLIO DELL'AREA DI INTERVENTO – ALTEZZA ONDA IN M	78
FIGURA 78: RISULTATO SIMULAZIONE ONDA DA NO - SCENARIO <i>POST-OPERAM IPOTESI B</i> – ALTEZZA ONDA IN M.....	79
FIGURA 79: RISULTATO SIMULAZIONE ONDA DA NO - SCENARIO <i>POST-OPERAM IPOTESI A</i> , DETTAGLIO DELL'AREA DI INTERVENTO – ALTEZZA ONDA IN M	79
FIGURA 80: RISULTATO SIMULAZIONE ONDA DA N - SCENARIO <i>POST-OPERAM IPOTESI B</i> – ALTEZZA ONDA IN M	80
FIGURA 81 : RISULTATO SIMULAZIONE ONDA DA N - SCENARIO <i>POST-OPERAM IPOTESI B</i> , DETTAGLIO DELL'AREA DI INTERVENTO – ALTEZZA ONDA IN M	81
FIGURA 82: RISULTATO SIMULAZIONE ONDA DA NE - SCENARIO <i>POST-OPERAM IPOTESI B</i> – ALTEZZA ONDA IN M	82
FIGURA 83 : RISULTATO SIMULAZIONE ONDA DA NE – SCENARIO <i>POST-OPERAM IPOTESI B</i> , DETTAGLIO DELL'AREA DI INTERVENTO – ALTEZZA ONDA IN M	83
FIGURA 84: RISULTATO SIMULAZIONE ONDA DA E - SCENARIO <i>POST-OPERAM IPOTESI B</i> – ALTEZZA ONDA IN M	84
FIGURA 85: RISULTATO SIMULAZIONE ONDA DA E - SCENARIO <i>POST-OPERAM IPOTESI B</i> , DETTAGLIO DELL'AREA DI INTERVENTO – ALTEZZA ONDA IN M	84
FIGURA 86: RISULTATO SIMULAZIONE ONDA DA SE - SCENARIO <i>POST-OPERAM IPOTESI B</i> – ALTEZZA ONDA IN M	85
FIGURA 87 : RISULTATO SIMULAZIONE ONDA DA SE - SCENARIO <i>POST-OPERAM IPOTESI B</i> , DETTAGLIO DELL'AREA DI INTERVENTO – ALTEZZA ONDA IN M	86
FIGURA 88: RISULTATO SIMULAZIONE ONDA DA NO - SCENARIO <i>POST-OPERAM IPOTESI B</i> – ALTEZZA ONDA IN M.....	87
FIGURA 89 : RISULTATO SIMULAZIONE ONDA DA NO - SCENARIO <i>POST-OPERAM IPOTESI B</i> , DETTAGLIO DELL'AREA DI INTERVENTO – ALTEZZA ONDA IN M	88
FIGURA 90: RISULTATO SIMULAZIONE ONDA DA N - SCENARIO <i>POST-OPERAM IPOTESI B</i> – ALTEZZA ONDA IN M	89
FIGURA 91 : RISULTATO SIMULAZIONE ONDA DA N - SCENARIO <i>POST-OPERAM IPOTESI B</i> , DETTAGLIO DELL'AREA DI INTERVENTO – ALTEZZA ONDA IN M	89
FIGURA 92: RISULTATO SIMULAZIONE ONDA DA N - SCENARIO <i>POST-OPERAM IPOTESI B</i> , DETTAGLIO DELL'AREA DI INTERVENTO – ALTEZZA ONDA IN M	90
FIGURA 93: DIFFERENZIALE FRA LE MASSIME ALTEZZE D'ONDA FRA GLI SCENARI <i>POST-OPERAM IPOTESI B</i> E <i>POST-OPERAM IPOTESI A</i> , SIMULAZIONE ONDA DA N, DETTAGLIO DELL'AREA DI INTERVENTO – ALTEZZA ONDA IN M.....	91
FIGURA 94: RISULTATO SIMULAZIONE ONDA DA NE - SCENARIO <i>POST-OPERAM IPOTESI B</i> – ALTEZZA ONDA IN M	92
FIGURA 95: RISULTATO SIMULAZIONE ONDA DA NE - SCENARIO <i>POST-OPERAM IPOTESI B</i> , DETTAGLIO DELL'AREA DI INTERVENTO – ALTEZZA ONDA IN M	92
FIGURA 96: RISULTATO SIMULAZIONE ONDA DA NE - SCENARIO <i>POST-OPERAM IPOTESI B</i> , DETTAGLIO DELL'AREA DI INTERVENTO – ALTEZZA ONDA IN M	93
FIGURA 97: DIFFERENZIALE FRA LE MASSIME ALTEZZE D'ONDA FRA GLI SCENARI <i>POST-OPERAM IPOTESI B</i> E <i>POST-OPERAM IPOTESI A</i> , SIMULAZIONE ONDA DA NE, DETTAGLIO DELL'AREA DI INTERVENTO – ALTEZZA ONDA IN M.....	94

FIGURA 98: RISULTATO SIMULAZIONE ONDA DA E - SCENARIO <i>POST-OPERAM IPOTESI B</i> – ALTEZZA ONDA IN M	95
FIGURA 99: RISULTATO SIMULAZIONE ONDA DA E - SCENARIO <i>POST-OPERAM IPOTESI B</i> , DETTAGLIO DELL'AREA DI INTERVENTO – ALTEZZA ONDA IN M	95
FIGURA 100: RISULTATO SIMULAZIONE ONDA DA E - SCENARIO <i>POST-OPERAM IPOTESI B</i> , DETTAGLIO DELL'AREA DI INTERVENTO – ALTEZZA ONDA IN M	96
FIGURA 101: DIFFERENZIALE FRA LE MASSIME ALTEZZE D'ONDA FRA GLI SCENARI <i>POST-OPERAM IPOTESI B</i> E <i>POST-OPERAM IPOTESI A</i> , SIMULAZIONE ONDA DA E, DETTAGLIO DELL'AREA DI INTERVENTO – ALTEZZA ONDA IN M	97
FIGURA 102: RISULTATO SIMULAZIONE ONDA DA SE - SCENARIO <i>POST-OPERAM IPOTESI B</i> – ALTEZZA ONDA IN M	98
FIGURA 103: RISULTATO SIMULAZIONE ONDA DA SE - SCENARIO <i>POST-OPERAM IPOTESI B</i> , DETTAGLIO DELL'AREA DI INTERVENTO – ALTEZZA ONDA IN M	98

TABELLE

TABELLA 1: CARATTERISTICHE ONDA INCIDENTE PER GLI SCENARI SIMULATI – TR=5 ANNI²⁷

TABELLA 2: CARATTERISTICHE ONDA INCIDENTE PER GLI SCENARI SIMULATI – TR=10 ANNI²⁷

TABELLA 3: CARATTERISTICHE ONDA INCIDENTE PER GLI SCENARI SIMULATI – TR=50 ANNI²⁷

1 PREMESSA

La presente relazione descrive le attività di modellistica numerica di propagazione del moto ondoso a supporto della Progettazione di Fattibilità Tecnico-Economica del nuovo avamposto di Rimini.

Con il codice numerico ARTEMIS sono state simulate, a partire da diverse condizioni di onda incidente al largo, le massime altezze d'onda nell'area prospiciente l'attuale imbocco del porto di Rimini nella configurazione attuale (*ante-operam*) e nelle 2 alternative progettuali di prolungamento delle scogliere (*scenario post-operam ipotesi A* e *scenario post-operam ipotesi B*, riportati in allegato alla presente relazione) che differiscono fra di loro per la diversa configurazione delle scogliere e dell'imbocco dell'avamposto.

Considerato che nell'ambito della progettazione la soluzione individuata per la configurazione dell'avamposto di Rimini risulta la 1^a alternativa progettuale, per questa configurazione progettuale è stato effettuato un ulteriore approfondimento, simulando il comportamento delle opere nell'ipotesi di un'esecuzione per stralci:

- situazione post-operam relativa all'esecuzione del 1^o lotto dell'intervento Molo di Levante;
- situazione post-operam relativa all'esecuzione del 2^o lotto dell'intervento Molo di Ponente.

Nei capitoli seguenti sono illustrate le caratteristiche del modello ARTEMIS, le ipotesi di base della modellazione, le condizioni al contorno e le caratteristiche geometriche dello scenario attuale e degli scenari progettuali.

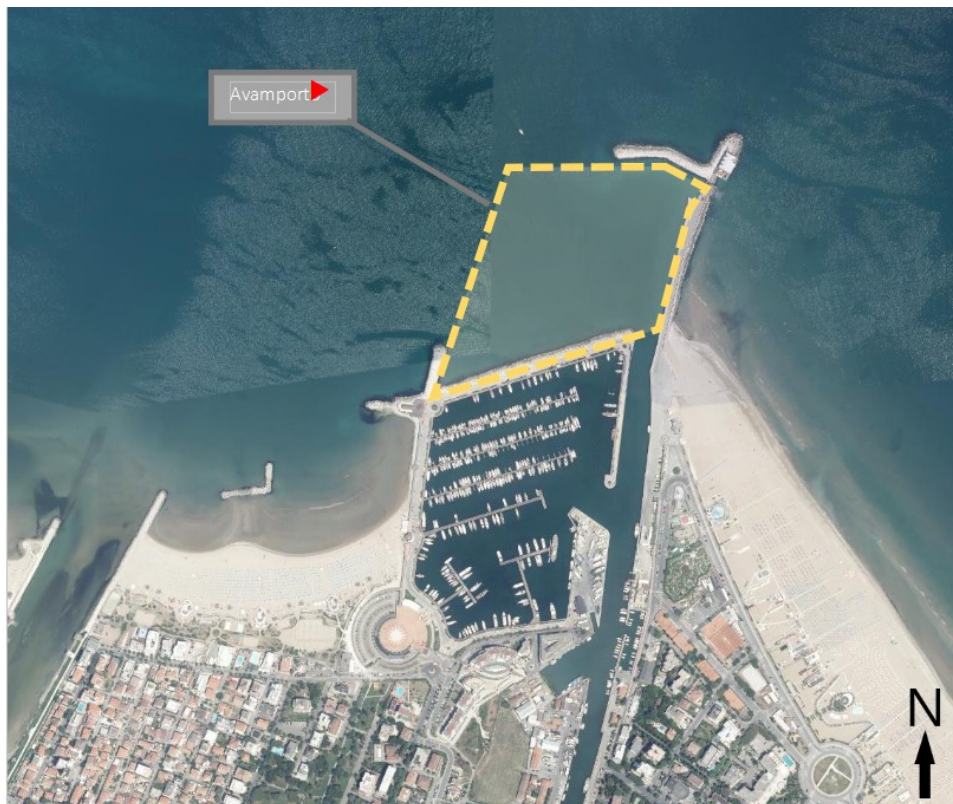


Figura 1 Inquadramento geografico dell'area di studio, ottenuto da ortofoto RER 2017, scala grafica

2 DOCUMENTAZIONE TECNICA DI RIFERIMENTO

- Rif [1] <http://www.opentelemac.org>
- Rif [2] Jean-Michel Hervouet (2007), Hydrodynamics of free surface flows, Wiley
- Rif [3] Artemis, User Manual, Version v8p2 December 1, 2020
- Rif [4] Goda Y. (1995), Random seas and design of maritime structures, University of Tokyo Press, Tokyo, Japan.
- Rif [5] Hasselmann K. et al. (1973), Measurement of wind-wave growth and swell decay during the Joint North Sea Wave Project (JONSWAP), *Erganzungsheft zur Deutschen Hydrographischen Zeitschrift, Reihe A*, n.12.
- Rif [6] U.S. Army Corps of Engineers (1984), Shore Protection Manual (SPM), Vicksburg, Mississippi.
- Rif [7] Longo S. e Chiapponi L. (2015), Studio Meteomarinario ad integrazione del progetto preliminare e dello Studio di Impatto Ambientale (SIA) per la presentazione dell'istanza di VIA relativa al progetto Venis Cruise 2.0 - Realizzazione di un Nuovo Terminal per l'ormeggio delle grandi navi da crociera alla Bocca di Lido di Venezia. Università degli studi di Parma, Dipartimento di Ingegneria Civile, dell'Ambiente, del Territorio e Architettura – DICATeA, marzo 2015
- Rif [8] J.A. Battjes and J.P.F.M. Janssen. Energy loss and set-up due to breaking of random waves. In Proc. 16th Int. Conf. Coastal Eng., pages 569–587., 1978.

3 MODELLO IDRAULICO

Le simulazioni sono state implementate con il software ARTEMIS sviluppato all'interno del codice TELEMAR-MASCARET, software *open-source* che permette la risoluzione delle equazioni del moto di fluidi a pelo libero e che consente diverse applicazioni nel campo dell'idraulica fluviale e marittima. TELEMAR-MASCARET è stato sviluppato da EDF (Electricité de France) ed usato internamente dal 1987 e successivamente dal 2009 è diventato freeware, gestito e sviluppato da un consorzio di enti di ricerca ed università.

Il codice ARTEMIS (Agitation and Refraction with TELEMAR on a Mild Slope) risolve, all'interno dell'ambiente di modellazione TELEMAR, l'equazione del moto ondoso di Navier-Stokes nelle ipotesi di basso valore della pendenza dell'onda e basso valore della pendenza del fondale con la tecnica agli elementi finiti, simulando i fenomeni di rifrazione e diffusione del moto ondoso. I risultati principali per ciascun nodo della *mesh* di calcolo sono l'altezza, la fase e la direzione dell'onda. L'applicazione principale di ARTEMIS riguarda la simulazione di fronti di onda in porti o piccole baie.

ARTEMIS è in grado di tenere conto dei seguenti fenomeni:

- Riflessione delle onde da un ostacolo;
- Diffrazione delle onde dietro un ostacolo;
- Rifrazione delle onde per variazione del fondale;
- Onda regolare;
- Onda casuale monodirezionale o multidirezionale;
- Attrito sul fondale;
- Brusche variazioni nella batimetria;
- Dissipazione per rottura del fronte di onda e/o attrito del fondo.

Le condizioni al contorno sono definite tenendo conto dell'angolo di incidenza su un confine di tipo solido e dell'angolo di ingresso/uscita su un confine di tipo liquido.

Per una descrizione completa delle basi teoriche del modello si rimanda a Hervouet (2007).

3.1 DOMINIO DI CALCOLO

Il dominio di calcolo è stato definito sulla base della attuale batimetria nell'intorno dell'area portuale di Rimini, identificando quale dominio di riferimento per tutte le modellazioni l'area compresa fra la linea di costa (definita come isobata a 0 m s.l.m.m. sulla base della batimetria, ricostruita come descritto al par. 3.2, rispettivamente negli scenari *ante-operam* e *post-operam*) e l'isobata a -8 m s.l.m.m., e sufficientemente estesa a NordOvest e SudEst per la rappresentazione adeguata del fronte d'onda incidente. Le altre aree non di interesse per la presente modellazione, quali *in primis* l'area interna alla darsena e il corso del fiume Marecchia, sono state escluse dal dominio di calcolo. I paragrafi seguenti riportano l'estensione e la discretizzazione del dominio di calcolo relativo ad ogni scenario simulato.

3.1.1 SCENARIO ANTE-OPERAM

La figura seguente riporta l'estensione del dominio individuato nello scenario *ante-operam*.



Figura 2: dominio di calcolo nello scenario *ante-operam* su base ortofoto (fonte: http://servizigis.regione.emilia-romagna.it/wms/CGR2018_rgb?)

La *mesh* di calcolo, a base triangolare e con lunghezze comprese fra 0.5 m nella fascia a più a ridosso della linea di costa (50 m) e 10 m nel resto del dominio, è composta da 1146995 nodi (2282240 elementi); l'area complessiva del dominio è pari a circa 2.927 km².

Le figure seguenti riportano la *mesh* di calcolo all'interno del dominio di modellazione e con un dettaglio relativo all'area portuale nello scenario *ante-operam*.

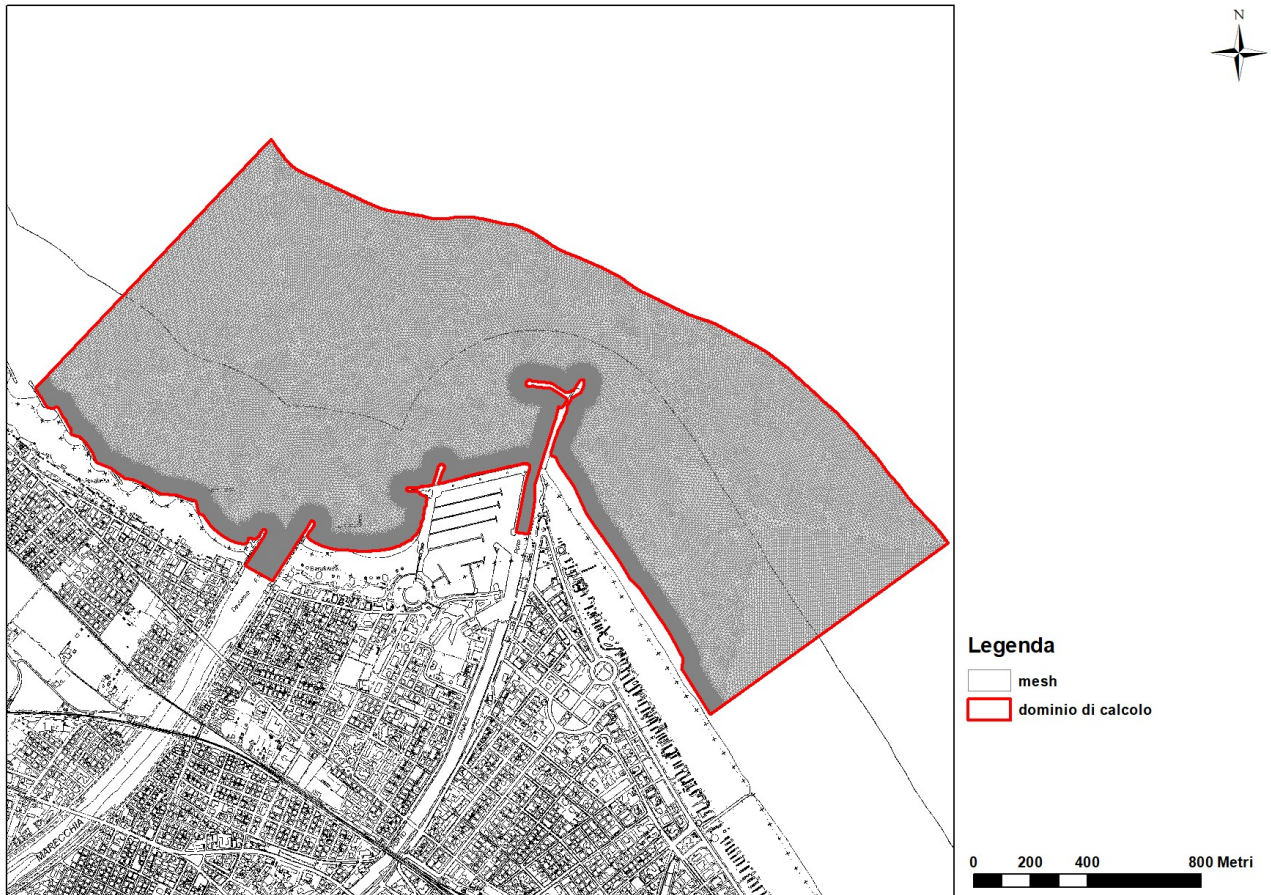


Figura 3: *mesh* di calcolo nello scenario *ante-operam* su base ctr (fonte: http://servizigis.regione.emilia-romagna.it/wms/dbtr_ctrmultiscala?)

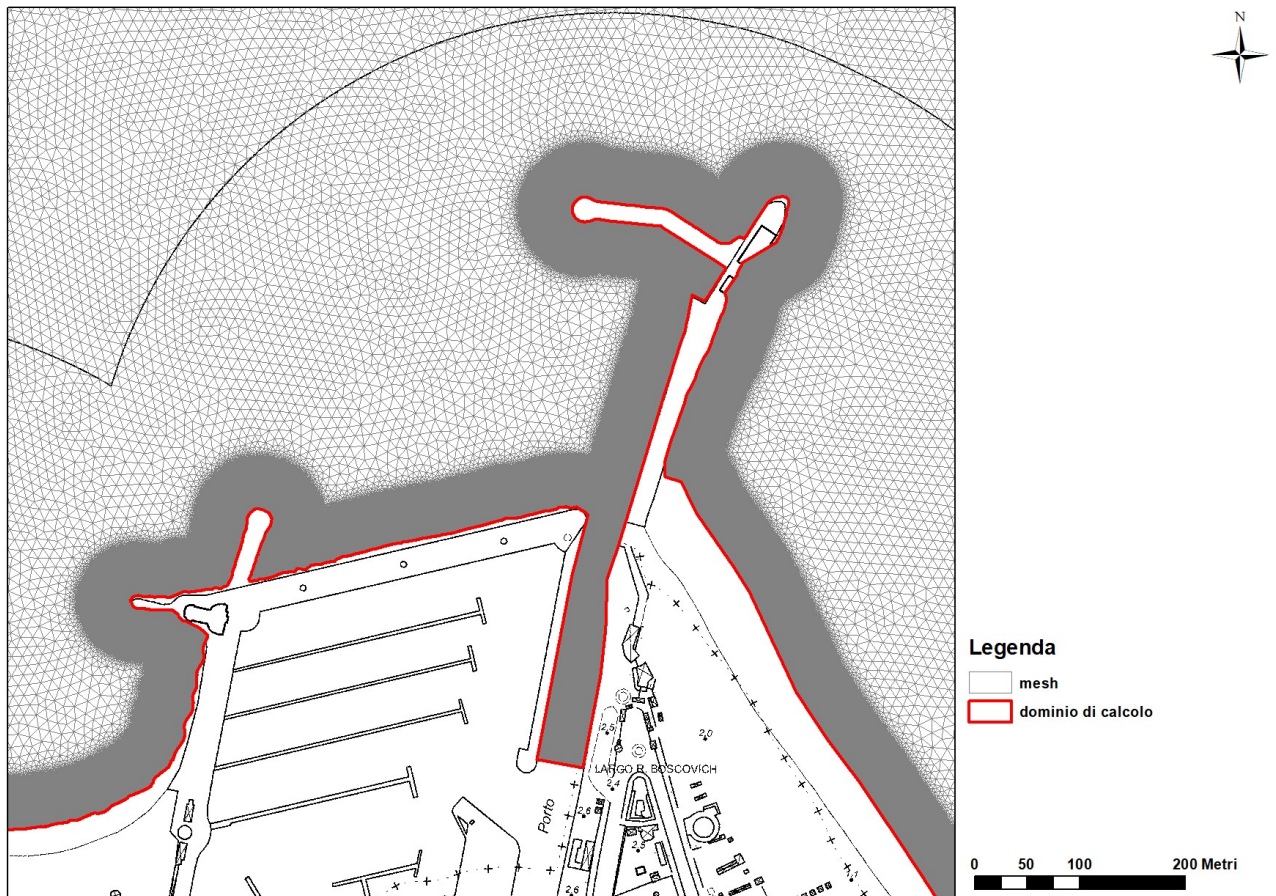


Figura 4: *mesh* di calcolo nello scenario *ante-operam* – dettaglio dell'area portuale su base ctr (fonte: http://servizigis.regione.emilia-romagna.it/wms/dbtr_ctrmultiscala?)

3.1.2 SCENARI *POST-OPERAM*

Per quanto riguarda la configurazione *post-operam*, sono stati identificati due scenari progettuali (denominati rispettivamente "ipotesi A" e "ipotesi B") che differiscono fra di loro per la diversa configurazione delle scogliere e dell'imbocco dell'avamposto.

L'ipotesi A prevede il prolungamento delle scogliere a nord e a ovest dell'avamposto e la creazione di un pennello interno nella parte interna della scogliera ovest. Le caratteristiche geometriche delle opere in progetto sono riportate nei relativi elaborati grafici progettuali.

La *mesh* di calcolo per lo scenario *post-operam ipotesi A*, a base triangolare e con lunghezze comprese fra 0.5 m nella fascia a più a ridosso della linea di costa (50 m) e 10 m nel resto del dominio, è composta da 1483528 nodi (2953467 elementi) ed è riportata nelle figure seguenti; l'area complessiva del dominio è pari a circa 2.920 km².

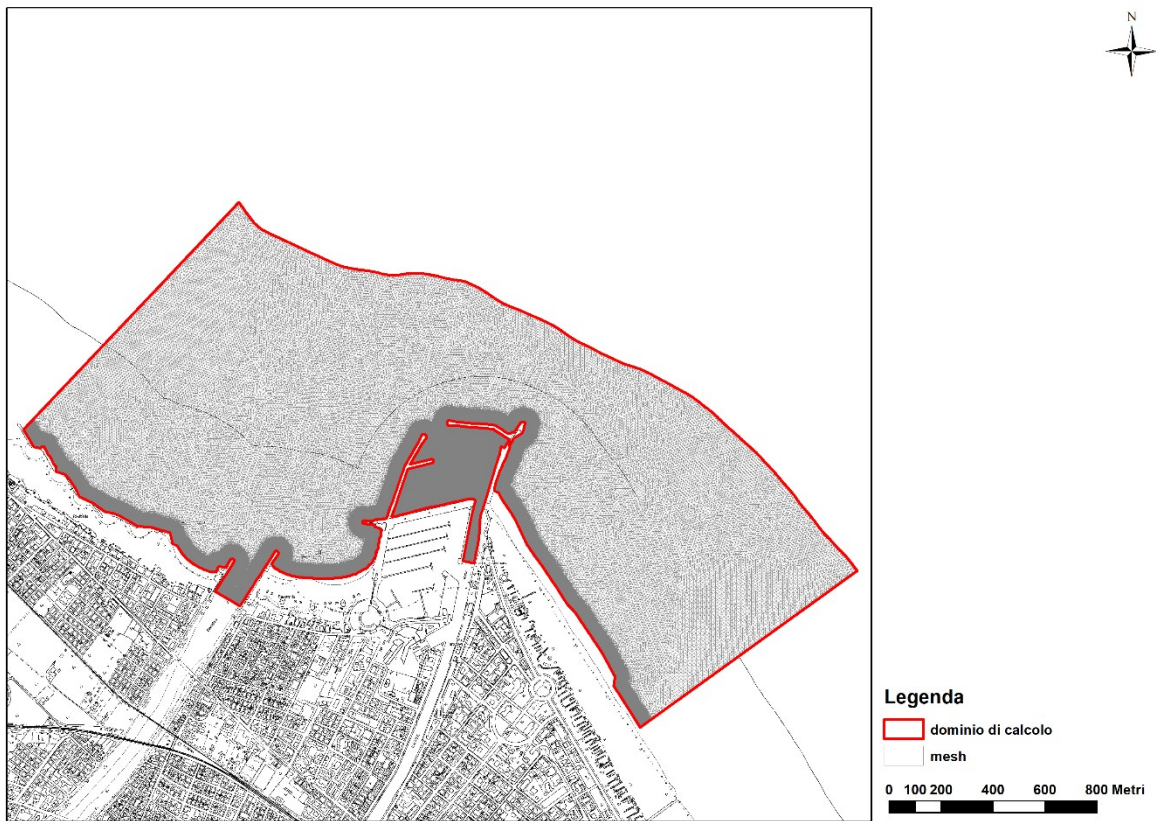


Figura 5: *mesh* di calcolo nello scenario *post-operam ipotesi A* su base ctr (fonte: http://servizigis.regione.emilia-romagna.it/wms/dbtr_ctrmultiscala?)

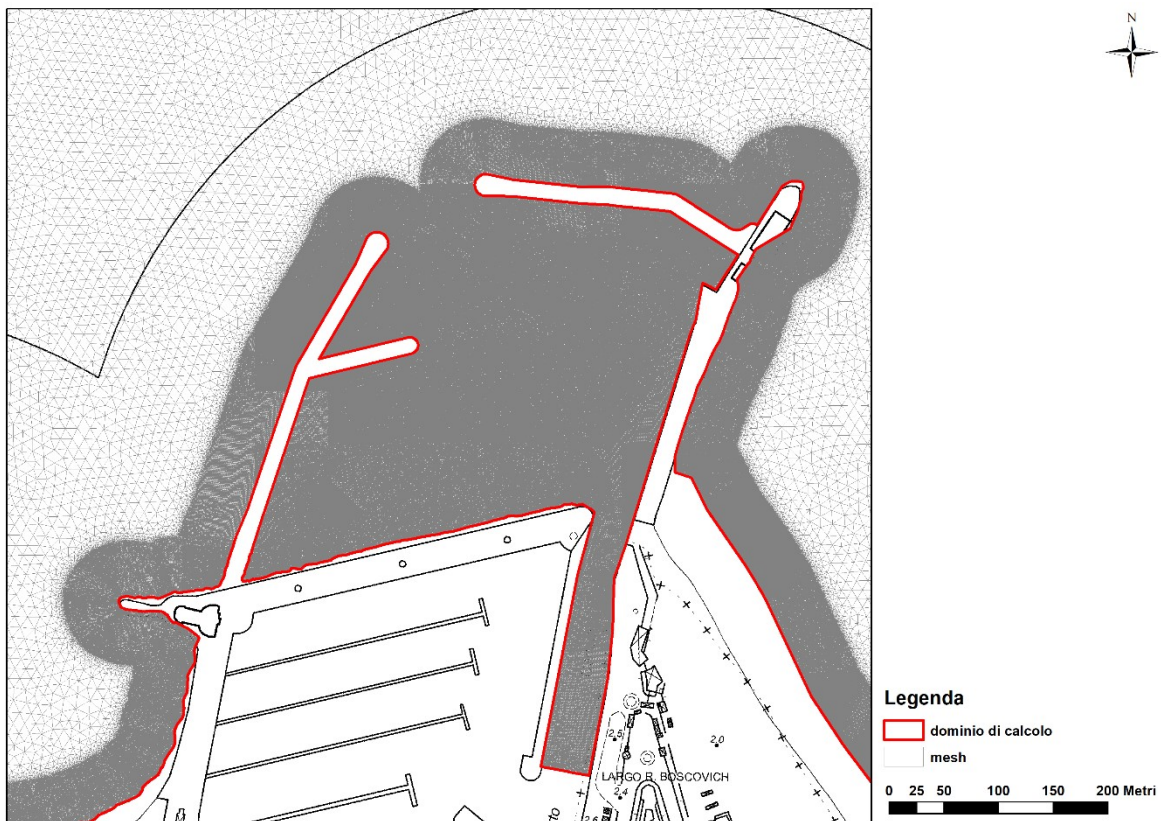


Figura 6: *mesh* di calcolo nello scenario *post-operam ipotesi A* – dettaglio dell'area portuale su base ctr
 (fonte: http://servizigis.regione.emilia-romagna.it/wms/dbtr_ctrmultiscala?)

L'ipotesi B prevede, rispetto all'ipotesi A, una diversa configurazione delle scogliere con un allungamento della scogliera Nord ed una contestuale riduzione della scogliera ovest, oltre all'eliminazione del pennello interno.

La *mesh* di calcolo nello scenario *post-operam ipotesi B*, a base triangolare e con lunghezze comprese fra 0.5 m nella fascia a più a ridosso della linea di costa (50 m) e 10 m nel resto del dominio, è composta da 1516120 nodi (3018789 elementi) ed è riportata nelle figure seguenti; l'area complessiva del dominio è pari a circa 2.921 km².

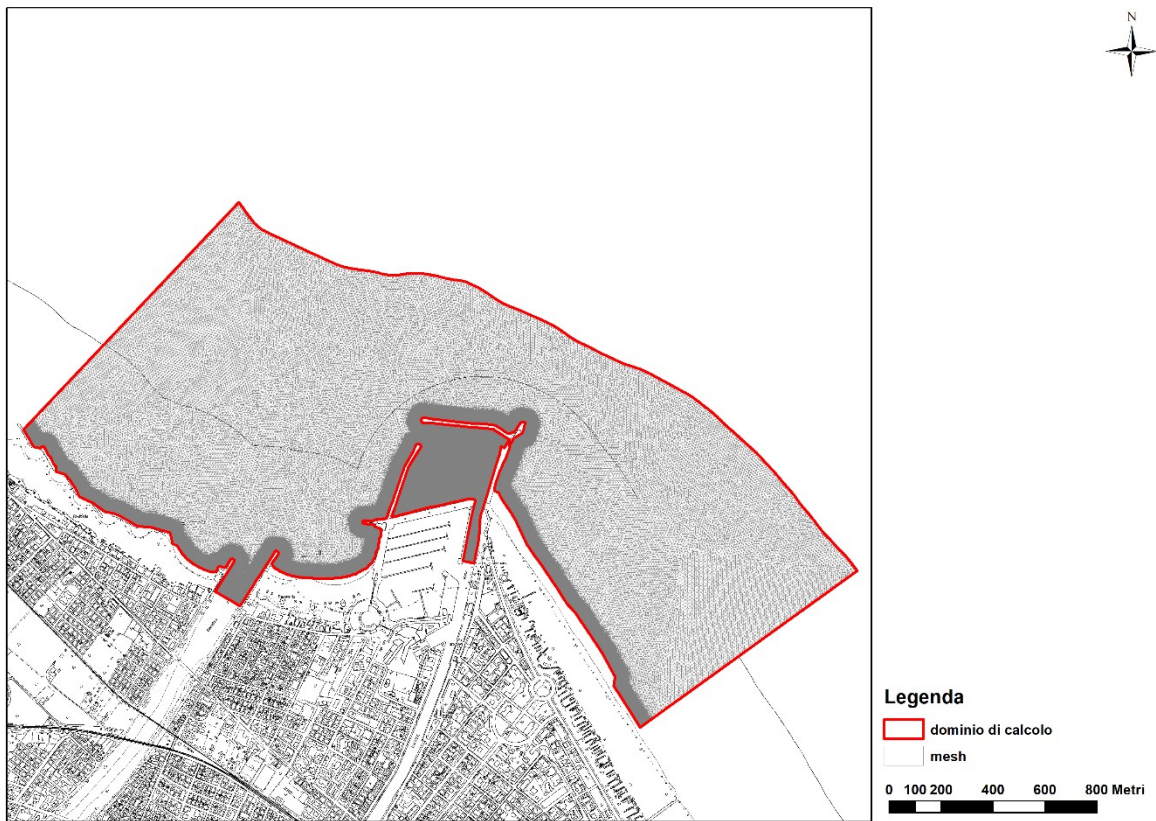


Figura 7: *mesh* di calcolo nello scenario *post-operam ipotesi B* su base ctr (fonte: http://servizigis.regione.emilia-romagna.it/wms/dbtr_ctrmultiscala?)

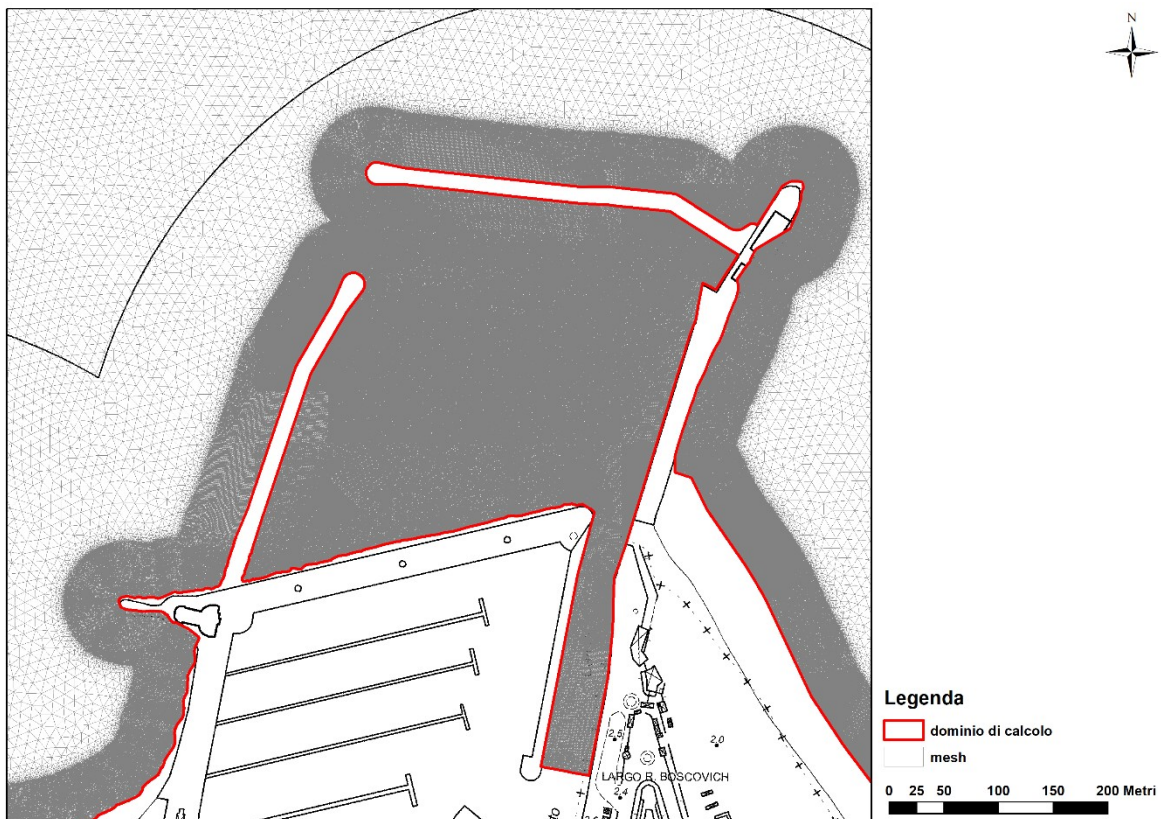


Figura 8: *mesh* di calcolo nello scenario *post-operam ipotesi B* – dettaglio dell’area portuale su base ctr (fonte: http://servizigis.regione.emilia-romagna.it/wms/dbtr_ctrmultiscala?)

3.2 BATIMETRIA

3.2.1 SCENARIO ANTE-OPERAM

La batimetria aggiornata per l’area di studio nello scenario *ante-operam* è stata ottenuta integrando le seguenti basi dati:

- Rilievo topo-batimetrico morfologico di dettaglio con tecnologia SBES per l’area prospiciente il porto, eseguito da AdriaRilievi in data 16/04/2021;
- Planimetria “as built” delle scogliere del porto di Rimini degli anni 2012-2015, fornite dal Comune di Rimini;
- DBM 2012 fornito dal Servizio Geologico, Sismico e dei Suoli della Regione Emilia-Romagna.

I dati batimetrici sono stati integrati e mosaicati fra loro privilegiando quelli più recenti ed infine ricampionati a passo 0.5 m, ottenendo il modello digitale batimetrico per l’area in esame riportato in Figura 9 ed in Figura 10.

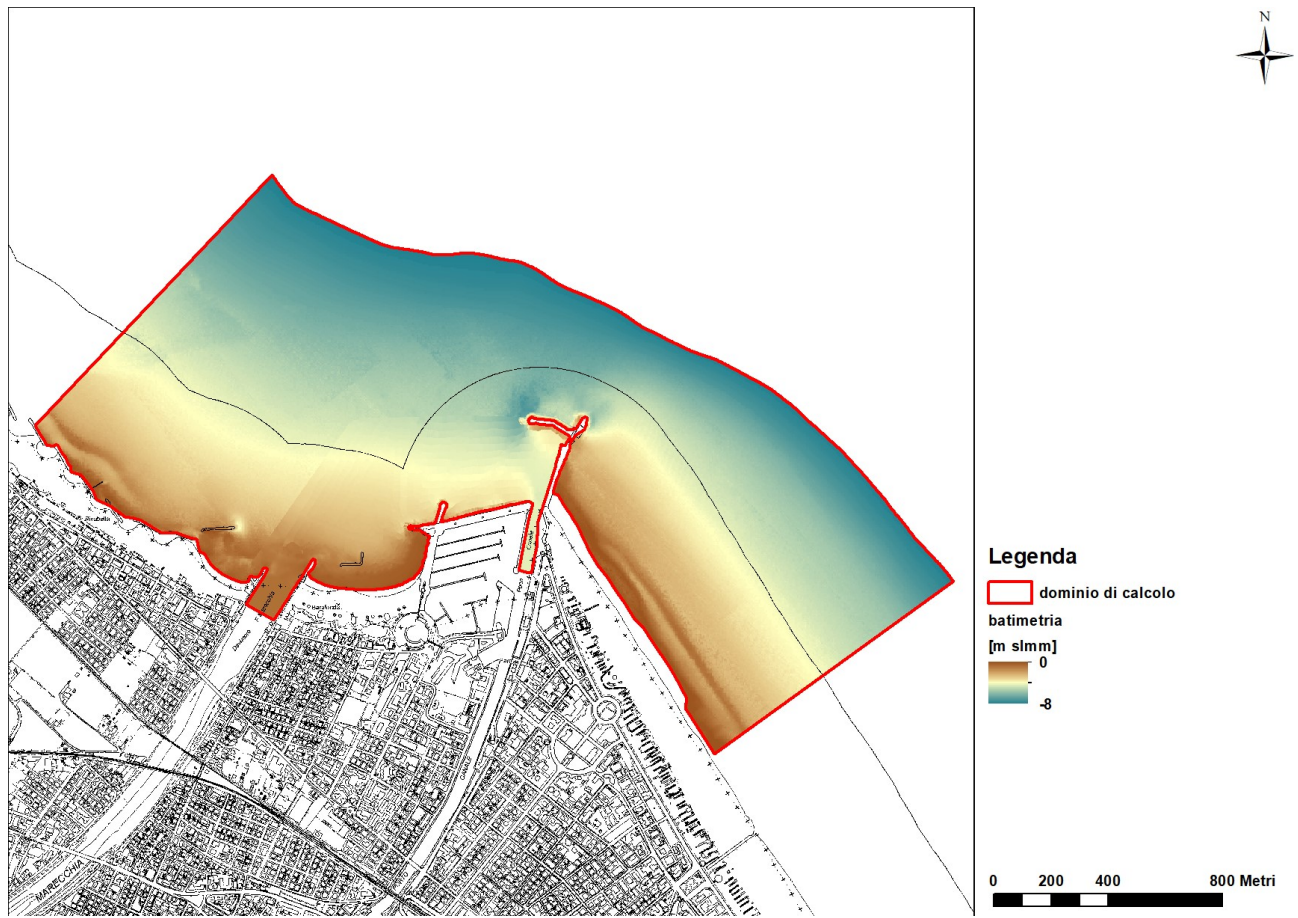


Figura 9: modello digitale batimetrico nello scenario *ante-operam*, quote in m s.l.m.m. su base ctr (fonte: http://servizigis.regione.emilia-romagna.it/wms/dbtr_ctrmultiscala?)

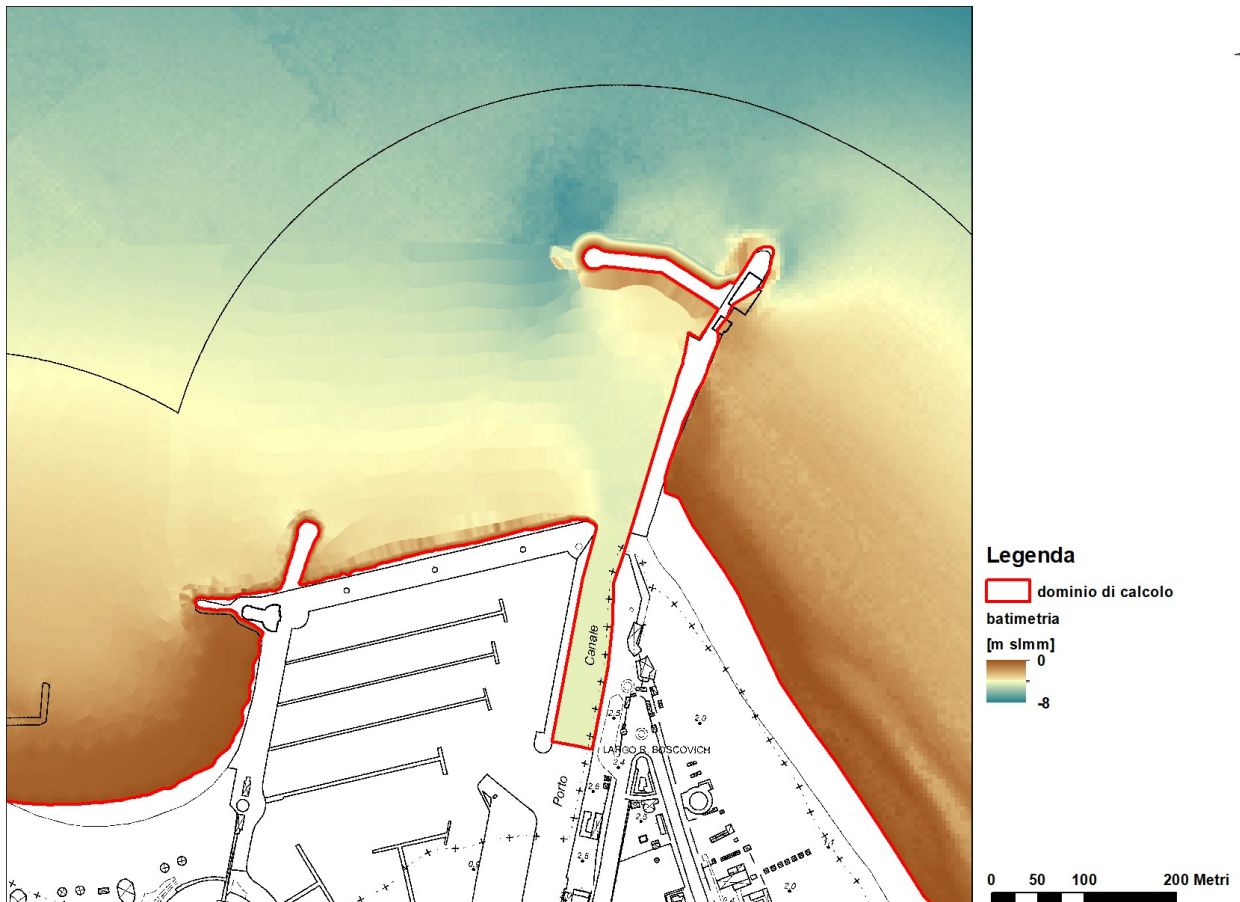


Figura 10: modello digitale batimetrico nello scenario *ante-operam*, dettaglio dell'area del porto, quote in m s.l.m.m. su base ctr (fonte: http://servizigis.regione.emilia-romagna.it/wms/dbtr_ctrmultiscala?)

3.2.2 SCENARI POST-OPERAM

La batimetria negli scenari *post-operam* è stata costruita a partire dalla condizione attuale (descritta nel paragrafo 3.2.1), inserendo le scogliere di progetto relative ad entrambi gli scenari opportunamente raccordate a quelle esistenti e modificando la batimetria nell'area di intervento con le aree navigabili dragate alla quota di -5 m s.l.m.m. e raccordi con pendenza 1:10 alla batimetria esistente nell'area prospiciente il dragaggio.

Nelle figure seguenti si riporta il modello digitale batimetrico nello scenario *post-operam ipotesi A*.

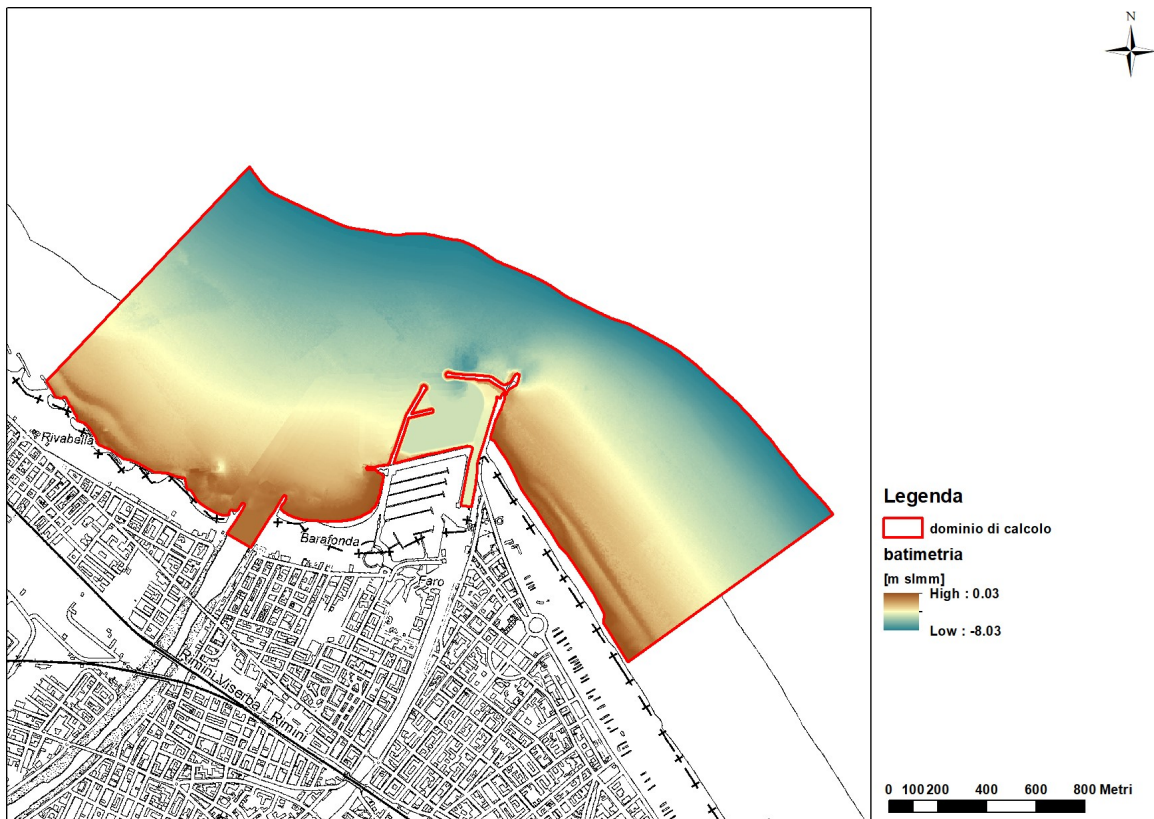


Figura 11: modello digitale batimetrico nello scenario *post-operam ipotesi A*, quote in m s.l.m.m. su base ctr (fonte: http://servizigiis.regione.emilia-romagna.it/wms/dbtr_ctrmultiscala?)

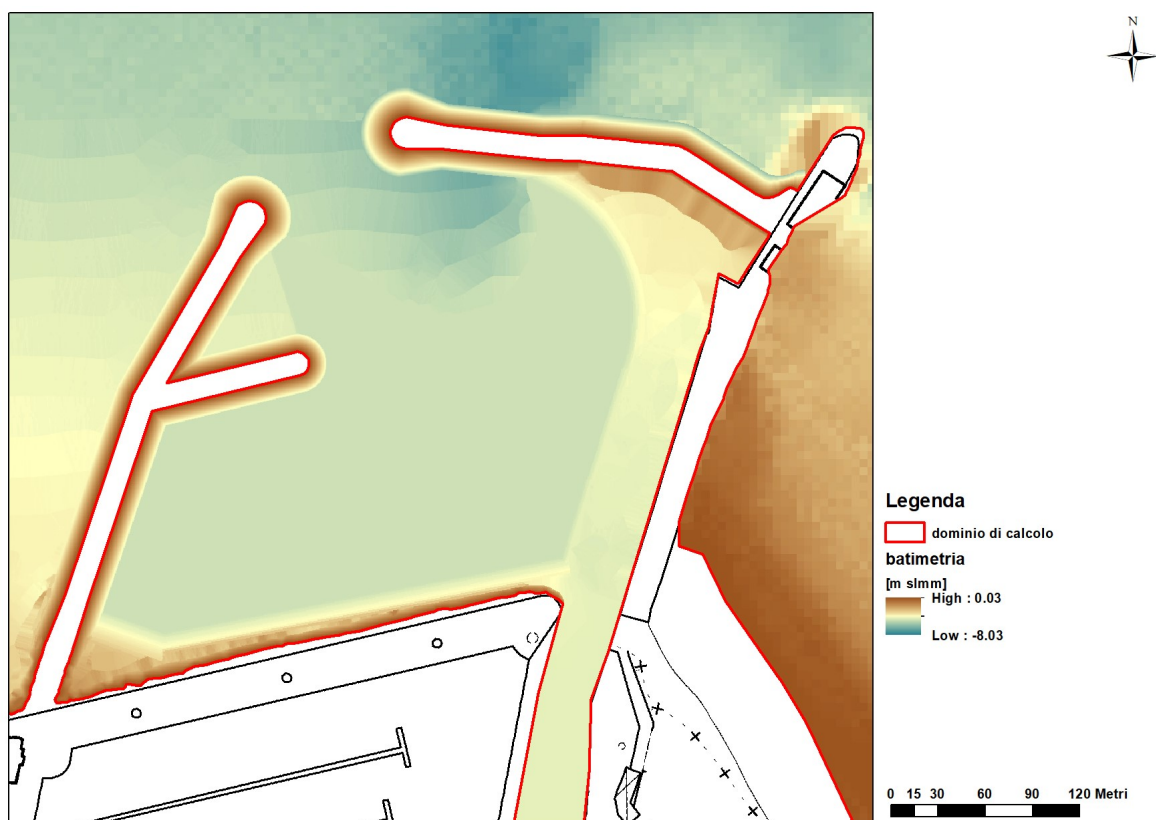


Figura 12: modello digitale batimetrico nello scenario *post-operam ipotesi A*, dettaglio dell'area del porto, quote in m s.l.m.m. su base ctr (fonte: http://servizigis.regione.emilia-romagna.it/wms/dbtr_ctrmultiscala?)

Nelle figure seguenti è riportato il modello digitale batimetrico nello scenario *post-operam ipotesi B*.

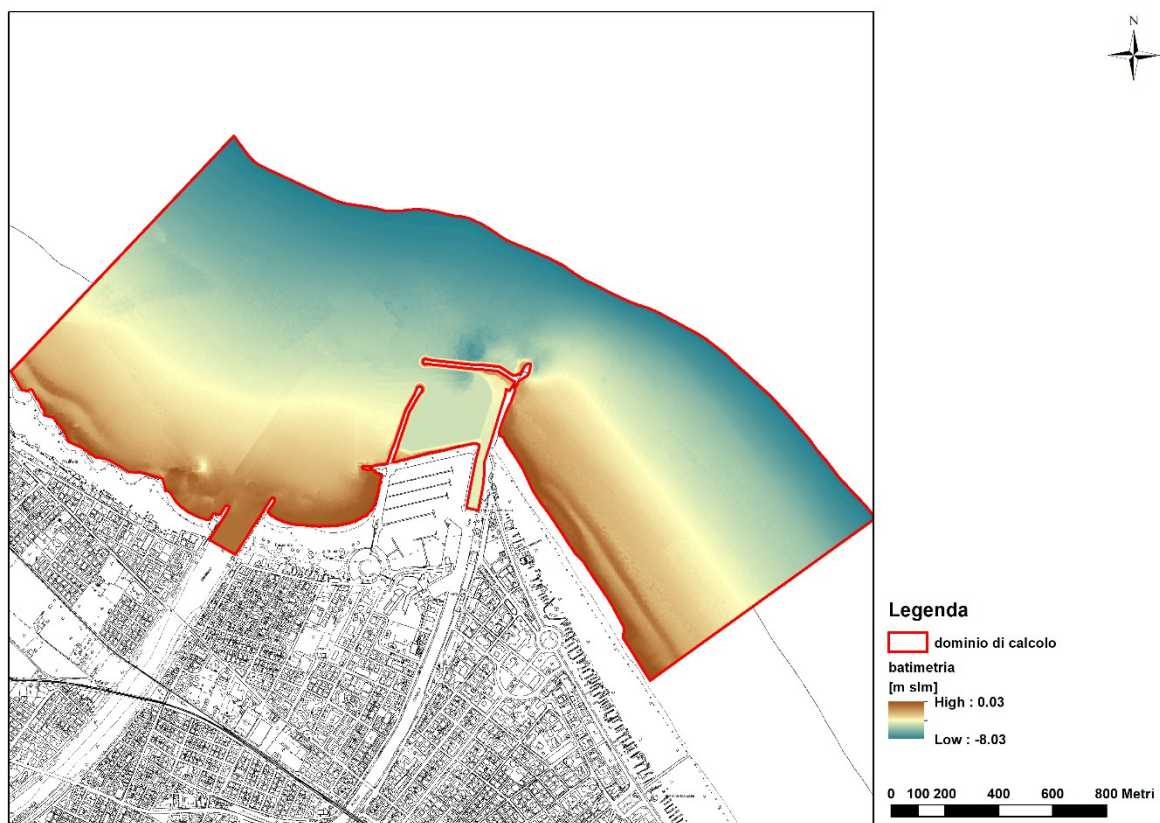


Figura 13: modello digitale batimetrico nello scenario *post-operam ipotesi B*, quote in m s.l.m.m. su base ctr (fonte: http://servizigis.regione.emilia-romagna.it/wms/dbtr_ctrmultiscala?)



Figura 14: modello digitale batimetrico nello scenario *post-operam ipotesi B*, dettaglio dell'area del porto, quote in m s.l.m.m. su base ctr (fonte: http://servizigis.regione.emilia-romagna.it/wms/dbtr_ctrmultiscala?)

3.3 CONDIZIONI INIZIALI

Come condizione iniziale è imposta al modello una condizione di tipo “*constant elevation*” ed un livello idrico costante su tutto il dominio e pari a 0.1 m. s.l.m.m.

3.4 CONDIZIONI AL CONTORNO

Le condizioni al contorno sono imposte in ogni nodo del confine esterno del dominio di calcolo. Dal punto di vista fisico, le condizioni possono essere relative ad un *boundary* di tipo “solido” (spiagge, moli, scogliere ed ogni altra superficie in grado di riflettere l’onda) o di tipo “liquido” (limite a mare ed ogni altra superficie liquida in cui l’onda può impattare o da cui può uscire).

Nei paragrafi seguenti si descrivono in dettaglio le diverse condizioni al contorno per gli scenari simulati.

3.4.1 LIQUID BOUNDARY

La condizione al contorno di tipo “liquid” permette di distinguere i nodi del *boundary* da cui l’onda può entrare all’interno del dominio (*incident wave*) o al contrario uscire (*free exit*).

La condizione di onda incidente è stata imposta lungo il confine a mare e per circa 100 m circa lungo i limiti laterali NordOvest e SudEst.

Le caratteristiche dell’onda incidente di progetto sono state definite, in funzione del tempo di ritorno, mediante un’analisi statistica basata su una serie temporale di valori relativi ad un periodo di 27 anni (1993-2019). I dati di input sono stati ottenuti dal Copernicus Marine Environment Monitoring Service (CMEMS, <https://marine.copernicus.eu/>), e rappresentano i valori simulati da un modello numerico esteso al bacino del Mediterraneo costantemente aggiornato e validato sulla base di valori misurati.

La serie temporale utilizzata è riferita al punto P di coordinate 44.10417°N, 12.54167°E situato pochi km a NordEst del porto di Rimini (vedi Figura 15), dove il fondale è alla quota di -8m s.l.m.m. che è stata conseguentemente scelta come confine del dominio di calcolo del modello creato nell’ambito del presente studio. Come mostrato in Figura 16, la serie temporale di input concorda con i dati misurati dalla boa Nausicaa posizionata circa 8km al largo di Cesenatico: entrambe le serie mostrano le stesse mareggiate significative, mentre la maggiore altezza d’onda misurata in generale da Nausicaa è spiegabile dalla posizione della boa su un fondale maggiore rispetto al punto P.

Con riferimento ai parametri dell’onda incidente H_s (altezza significativa), T_m (periodo medio) e T_p (periodo di picco), l’analisi statistica è consistita nelle seguenti attività:

- Individuazione dei 27 valori massimi annuali per ognuno degli 8 settori direzionali principali di provenienza (classi di 45°);
- Per ognuna delle 8 direzioni principali, ai fini della definizione di valori estremi i massimi annuali sono interpolati con una distribuzione di Gumbel a 2 parametri del tipo:

$$F(x)=\exp(-\exp(-(x-u)/a))$$

in cui:

$a = \text{parametro di scala} = 0.78 * \sigma$

$u = \mu - 0.45 * \sigma$

$\mu = \text{media dei 27 valori considerati}$

$\sigma = \text{scarto quadratico medio dei 27 valori considerati}$

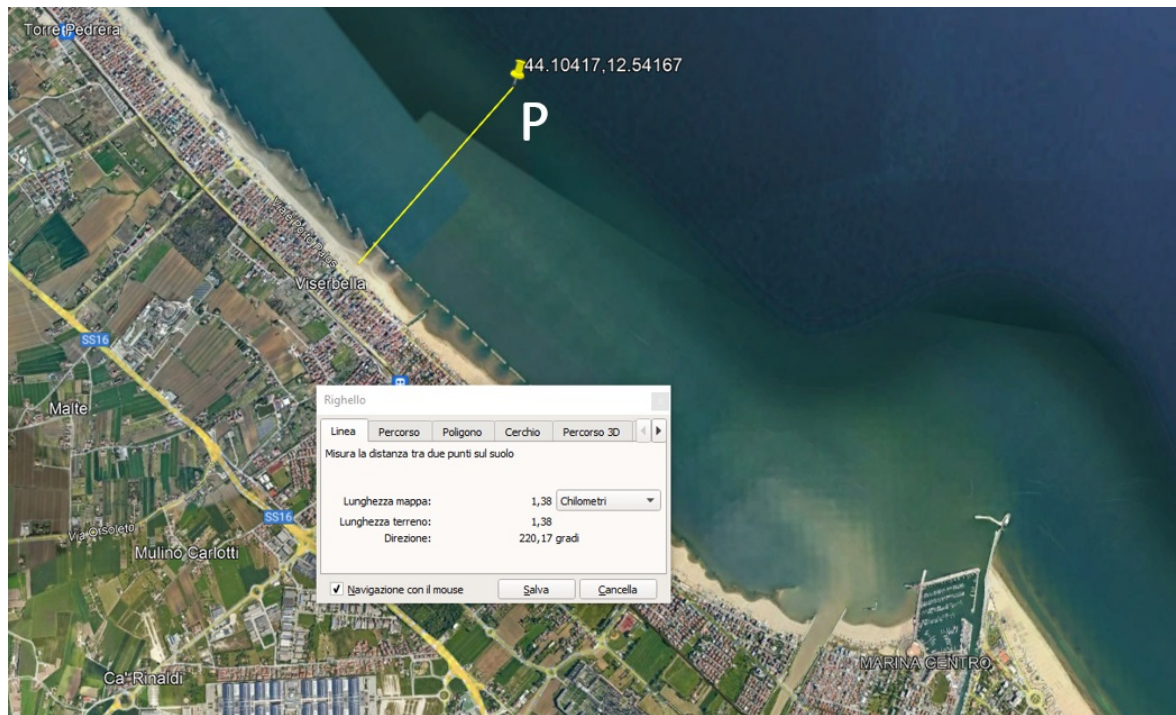


Figura 15: localizzazione del punto P in cui sono definite le serie temporali di input

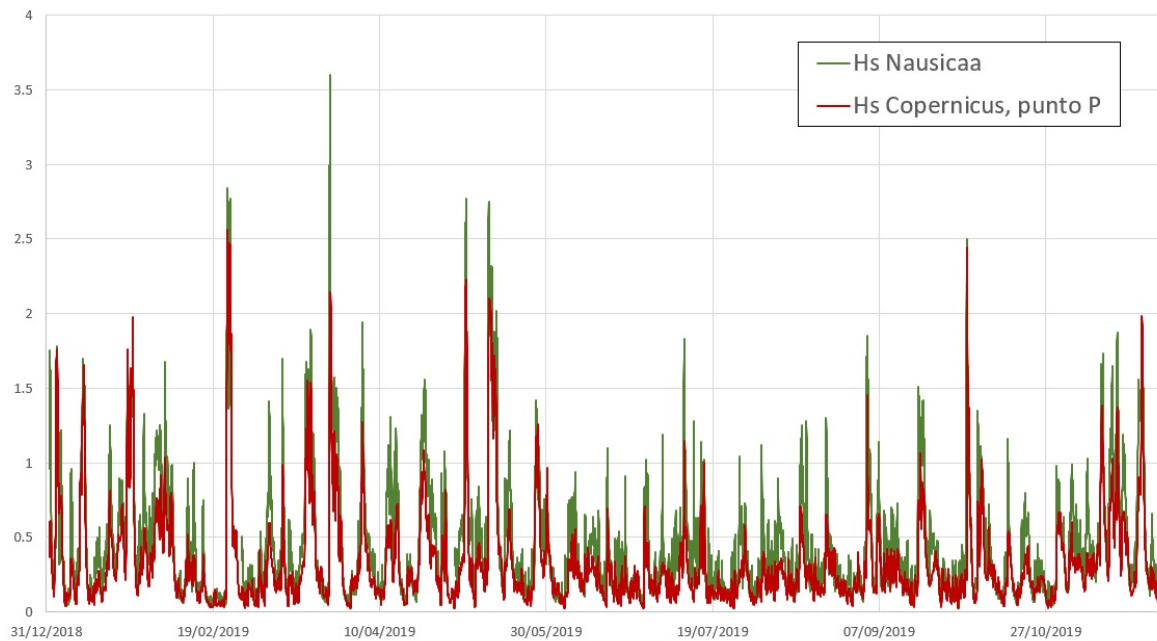


Figura 16: confronto, relativo all'anno 2019, fra i valori di altezza d'onda significativa misurati dalla boa Nausicaa ed i valori calcolati dal modello CMEMS nel punto P

Le caratteristiche dell'onda incidente definite a seguito dell'analisi statistica sono riportate, rispettivamente per TR=5anni, TR=10anni e TR=50anni, nelle tabelle seguenti.

Tempo di ritorno 5 anni			
Dir [°]	Hs [m]	Tm [s]	Tp [s]
N-O (292.5° ÷ 337.5°)	0.8	3.8	8.3
N (-22.5° ÷ 22.5°)	1.5	5.3	10.4
N-E (22.5° ÷ 67.5°)	3.0	7.4	11.1
E (67.5° ÷ 112.5°)	2.3	8.8	11.6
S-E (112.5° ÷ 157.5°)	0.7	5.6	10.6

Tabella 1: caratteristiche onda incidente per gli scenari simulati – TR=5 anni

Tempo di ritorno 10 anni			
Dir [°]	Hs [m]	Tm [s]	Tp [s]
N-O (292.5° ÷ 337.5°)	0.9	4.0	9.1
N (-22.5° ÷ 22.5°)	1.7	5.5	11.2
N-E (22.5° ÷ 67.5°)	3.2	7.6	11.7
E (67.5° ÷ 112.5°)	2.5	9.1	12.3
S-E (112.5° ÷ 157.5°)	0.8	6.0	11.4

Tabella 2: caratteristiche onda incidente per gli scenari simulati – TR=10 anni

Tempo di ritorno 50 anni			
Dir [°]	Hs [m]	Tm [s]	Tp [s]
N-O (292.5° ÷ 337.5°)	1.0	4.5	11.0
N (-22.5° ÷ 22.5°)	2.1	5.9	12.8
N-E (22.5° ÷ 67.5°)	3.6	8.1	13.0
E (67.5° ÷ 112.5°)	3.1	9.9	14.0
S-E (112.5° ÷ 157.5°)	1.0	6.8	13.3

Tabella 3: caratteristiche onda incidente per gli scenari simulati – TR=50 anni

Si è assunta per ogni scenario una distribuzione in frequenza al largo di tipo JONSWAP (Hasselmann et al. 1973).

La condizione di uscita dell'onda (*free exit*) è stata imposta lungo i limiti laterali NordOvest e SudEst del dominio di calcolo ed in corrispondenza della Darsena e del fiume Marecchia.

Le condizioni al contorno del tipo "*liquid boundary*" sono le medesime negli scenari *ante-operam* e *post-operam*, e sono riportate nelle successive Figura 17, Figura 18 e Figura 19.

3.4.2 SOLID BOUNDARY

La condizione al contorno di tipo “*solid boundary*” è relativa a tutte quelle strutture in grado di riflettere, in modo più o meno attenuato, l’onda incidente.

La riflettenza delle strutture è un parametro che influenza in misura determinante il livello di agitazione ondosa residua nei bacini ed è quantificata da un coefficiente di riflessione che rappresenta una misura della dissipazione di energia dovuta al frangimento delle onde sulla struttura, al distacco di vortici, a brusche espansioni della corrente.

Il coefficiente di riflessione RP è definito come il rapporto fra l’altezza dell’onda riflessa H_r e l’altezza dell’onda incidente H_i :

$$RP = \frac{H_r}{H_i}$$

Solo strutture a parete verticale per angolo di incidenza delle onde prossimo a 90° hanno un coefficiente di riflessione prossimo all’unità mentre un coefficiente $RP=0$ indica nessuna riflessione e totale assorbimento dell’onda; per tutte le altre strutture e per angolo di incidenza delle onde generico il coefficiente di riflessione andrebbe teoricamente determinato in funzione del periodo, dell’altezza e della direzione dell’onda.

Nel presente studio si assumono per tutte le strutture valori del coefficiente di riflessione indipendenti dalle caratteristiche dell’onda incidente (altezza, periodo, angolo di attacco), sulla base di alcune indicazioni di letteratura (USACE (1984), Goda (1995), Longo e Chiapponi (2015)). Nei paragrafi seguenti si riportano le condizioni al contorno del tipo *solid boundary* imposte al modello negli scenari *ante-operam* e *post-operam*.

3.4.2.1 SCENARIO ANTE-OPERAM

Le condizioni al contorno di tipo *solid boundary* sono riportate in Figura 17; in particolare:

- Per le scogliere sulla parte esterna della darsena, caratterizzate da forme regolari e massi di grosse dimensioni si assume un coefficiente di riflessione $R=0.6$;
- per le scogliere sulle restanti parti di costa si assume un coefficiente di riflessione $R=0.4$;
- Per le spiagge si assume un coefficiente di riflessione $R=0.25$;
- Per i muri del molo ed all’imbocco della darsena si assume un coefficiente di riflessione $R=0.90$.

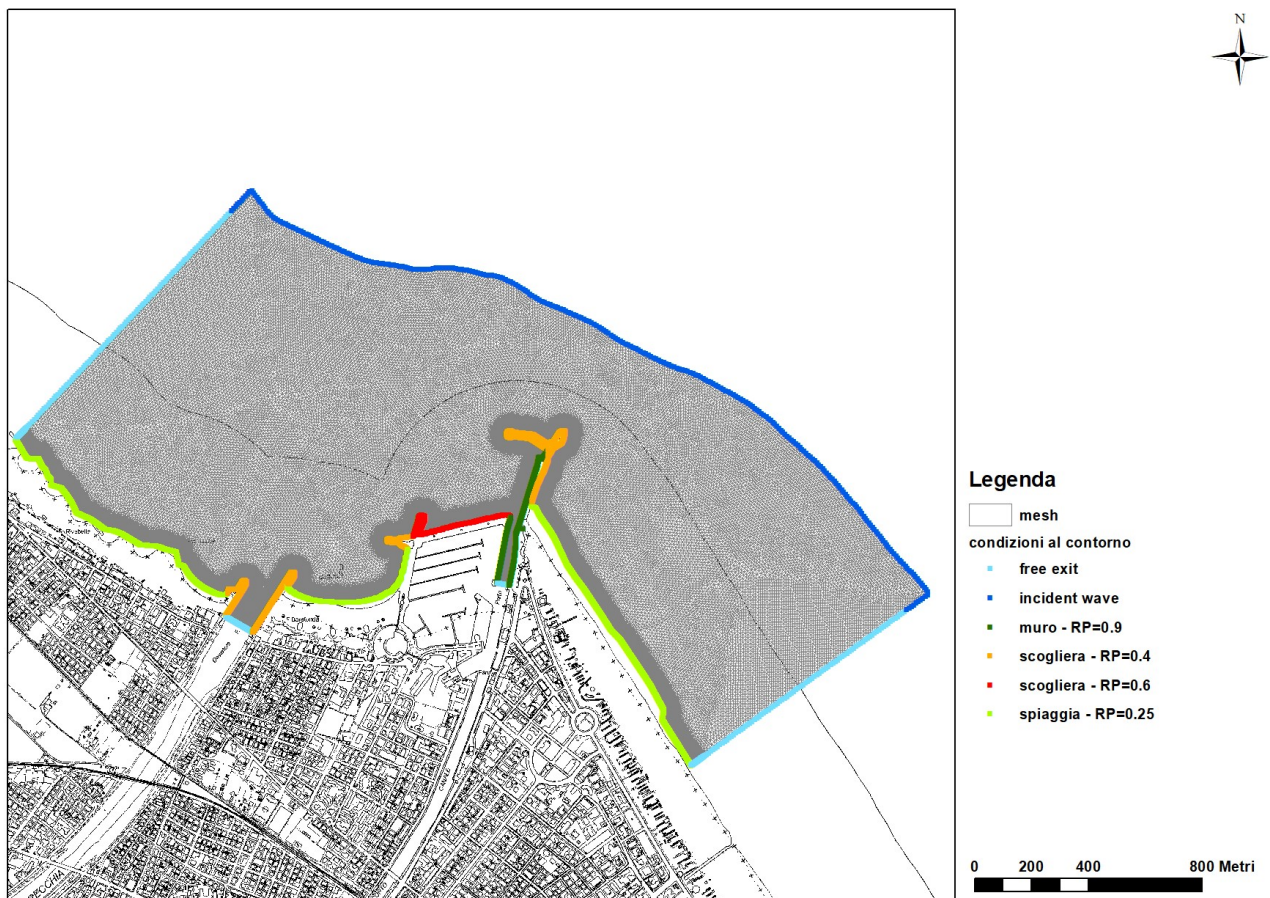


Figura 17: condizioni al contorno – scenario ante-operam su base ctr (fonte: http://servizigis.regione.emilia-romagna.it/wms/dbtr_ctrmultiscala?)

3.4.2.2 SCENARI POST-OPERAM

Le condizioni al contorno di tipo *solid boundary* per lo scenario *post-operam ipotesi A* sono riportate in Figura 18; in particolare:

- Per le scogliere sulla parte esterna della darsena, caratterizzate da forme regolari e massi di grosse dimensioni si assume un coefficiente di riflessione $R = 0.6$;
- per le scogliere sulle restanti parti di costa e per quelle di nuova realizzazione si assume un coefficiente di riflessione $R = 0.4$;
- Per le spiagge si assume un coefficiente di riflessione $R = 0.25$;
- Per i muri del molo ed all'imbocco della darsena si assume un coefficiente di riflessione $R = 0.90$.

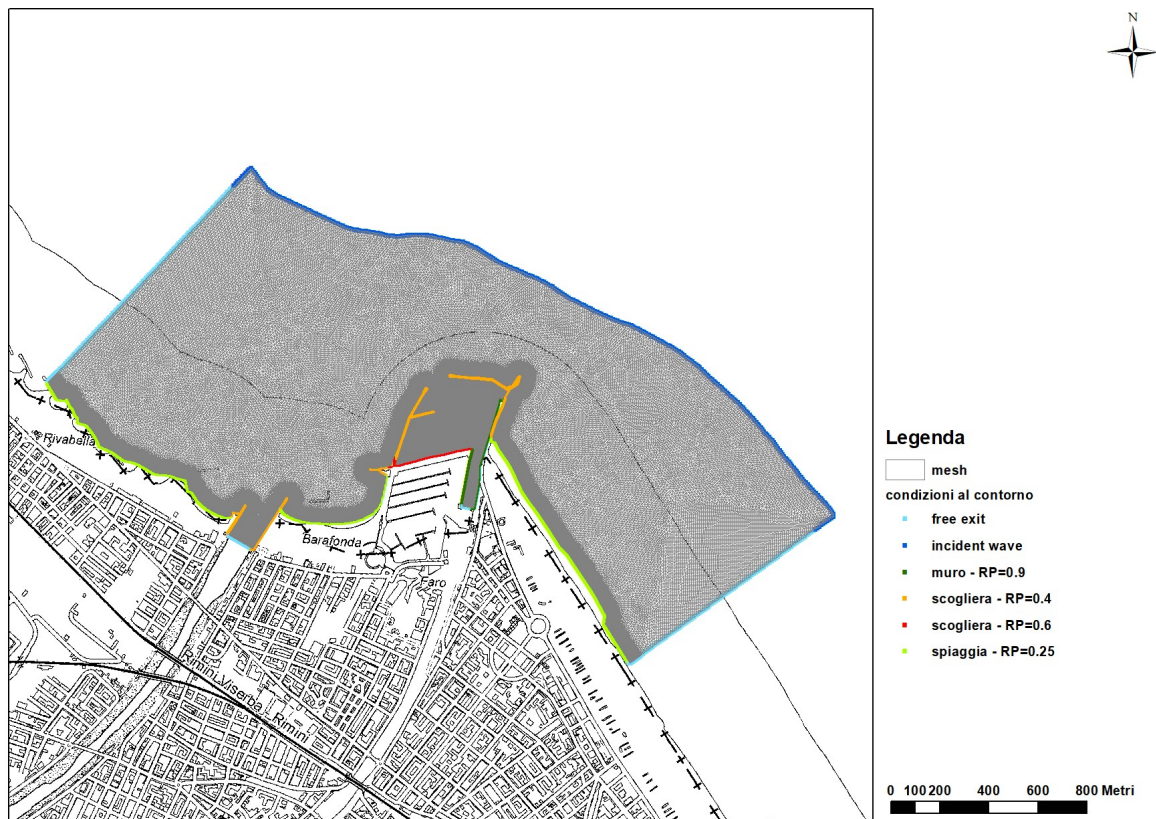


Figura 18: condizioni al contorno – scenario *post-operam ipotesi A* su base ctr (fonte: http://servizigis.regione.emilia-romagna.it/wms/dbtr_ctrmultiscala?)

La Figura 19 riporta le condizioni al contorno di tipo *solid boundary* per lo scenario *post-operam ipotesi B*; le condizioni sono le medesime dello scenario ipotesi A, ovviamente con le modifiche legate alla diversa geometria delle opere in progetto. In particolare, anche per questo scenario:

- Per le scogliere sulla parte esterna della darsena, caratterizzate da forme regolari e massi di grosse dimensioni si assume un coefficiente di riflessione $R=0.6$;
- per le scogliere sulle restanti parti di costa e per quelle di nuova realizzazione si assume un coefficiente di riflessione $R=0.4$;
- Per le spiagge si assume un coefficiente di riflessione $R=0.25$;
- Per i muri del molo ed all'imbocco della darsena si assume un coefficiente di riflessione $R=0.90$.

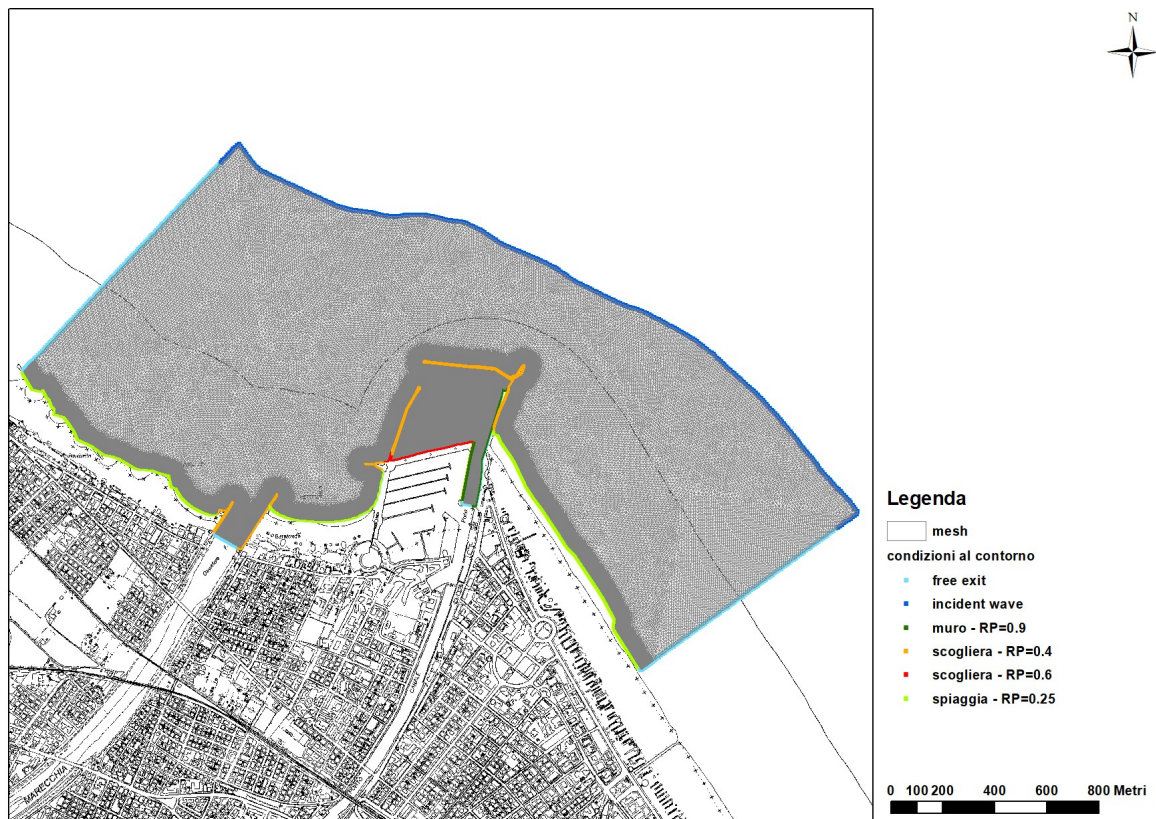


Figura 19: condizioni al contorno – scenario *post-operam ipotesi B* su base ctr (fonte: http://servizigis.regione.emilia-romagna.it/wms/dbtr_ctrmultiscala?)

3.5 FRANGIMENTO

Il fenomeno del *breaking* (frangimento) si verifica quando la velocità delle particelle d'acqua sul pelo libero eccede la velocità di propagazione del fronte d'onda ed avviene la rottura del fronte d'onda con una forte dissipazione energetica.

ARTEMIS simula il *breaking* seguendo l'approccio proposto da Battjes & Janssen (1978) che si basa sull'analogia fra rottura del fronte d'onda e salto idraulico per la stima dell'energia dissipata.

L'unico parametro richiesto è il coefficiente γ_s , da cui dipende la stima dell'altezza critica di rottura dell'onda, e per il quale viene proposto il valore di *default* di 0.88.

4 RISULTATI DELLE SIMULAZIONI

4.1 ASSETTO GEOLOGICO

Il modello ARTEMIS risolve l'equazione di Berkhoff che descrive l'effetto combinato di diffrazione e rifrazione delle onde marine nell'ipotesi di ridotte variazioni nella pendenza del fondale, la cosiddetta Mild Slope Equation; in tale caso particolare la soluzione numerica dell'equazione differenziale risulta indipendente dal tempo e pertanto del tipo "steady state" ovvero stazionario.

Il risultato della simulazione dei diversi scenari d'onda con ARTEMIS si riferisce quindi ai massimi livelli raggiunti nei diversi nodi della mesh di calcolo a seguito dell'azione dell'onda incidente imposta sul *boundary*, indipendentemente dal tempo effettivo di propagazione dal largo alla linea di costa.

Nei paragrafi seguenti si riportano i risultati delle simulazioni, sotto forma di zone di equiagitazione, per ognuno degli scenari di onda incidente simulati.

4.2 SCENARIO ANTE-OPERAM – TR 5 ANNI

Onda da NO

Questo scenario prevede un'altezza d'onda significativa $H_s = 0.8$ m e periodo di picco $T_p = 8.3$ s, proveniente da 315° N, discretizzata in frequenza con 5 componenti, con spettro di tipo JONSWAP.

Il risultato della simulazione, in forma di zone di equiagitazione, è riportato in Figura 20.

Tempo di ritorno 5 anni			
Dir [°]	Hs [m]	Tm [s]	Tp [s]
N-O ($292.5^\circ \div 337.5^\circ$)	0.8	3.8	8.3

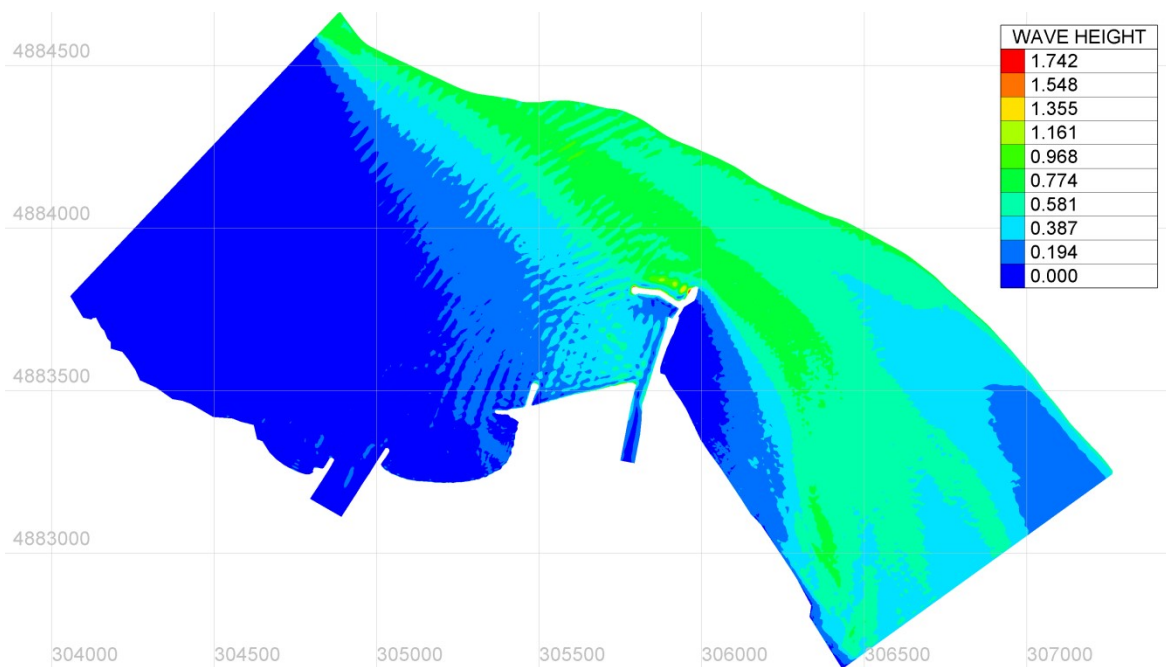


Figura 20: risultato simulazione onda da NO - scenario *ante-operam* – altezza onda in m

Onda da N

Questo scenario prevede un'altezza d'onda significativa $H_s = 1.5$ m e periodo di picco $T_p = 10.4$ s, proveniente da $0^\circ N$, discretizzata in frequenza con 5 componenti, con spettro di tipo JONSWAP.

Il risultato della simulazione, in forma di zone di equiagitazione, è riportato in Figura 21.

Tempo di ritorno 5 anni			
Dir [°]	Hs [m]	Tm [s]	Tp [s]
N (-22.5° ÷ 22.5°)	1.5	5.3	10.4

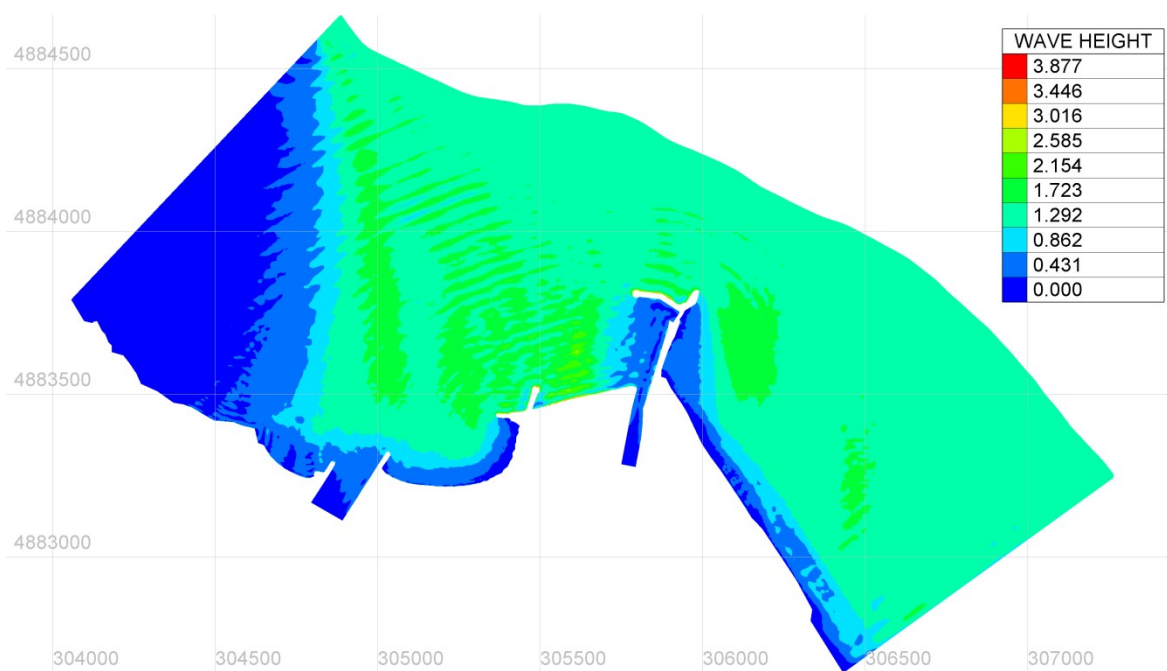


Figura 21: risultato simulazione onda da N - scenario *ante-operam* – altezza onda in m

Onda da NE

Questo scenario prevede un'altezza d'onda significativa $H_s = 3.0$ m e periodo di picco $T_p = 11.1$ s, proveniente da $45^\circ N$, discretizzata in frequenza con 5 componenti, con spettro di tipo JONSWAP.

Il risultato della simulazione, in forma di zone di equiagitazione, è riportato in Figura 22.

Tempo di ritorno 5 anni			
Dir [°]	Hs [m]	Tm [s]	Tp [s]
N-E ($22.5^\circ \div 67.5^\circ$)	3.0	7.4	11.1

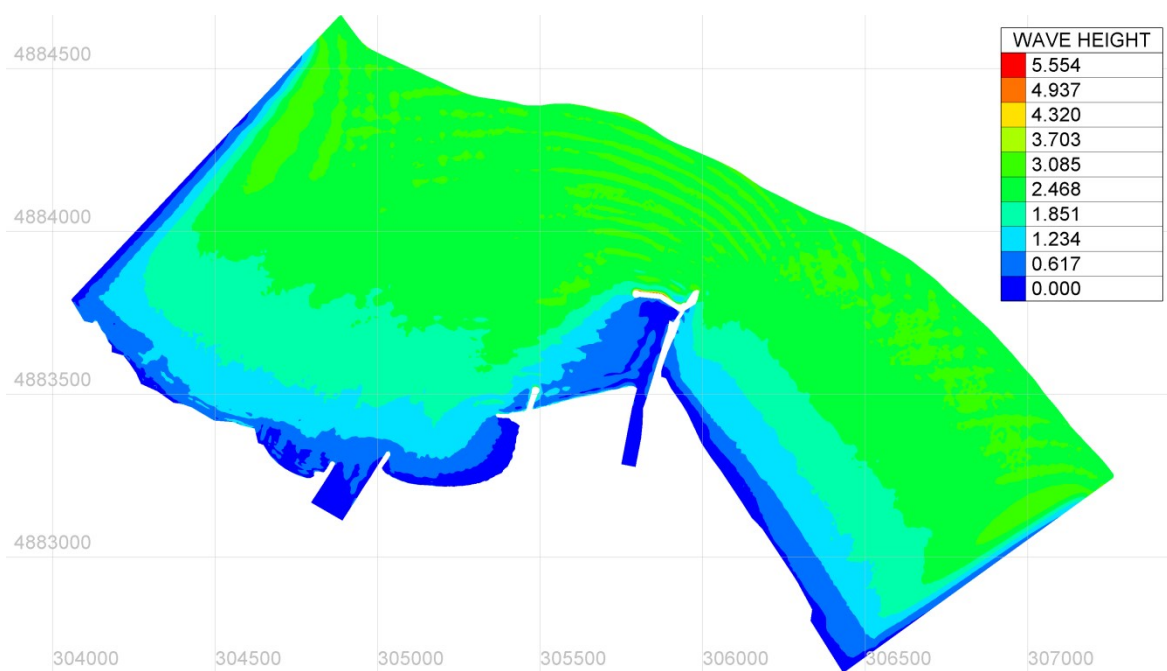


Figura 22: risultato simulazione onda da NE - scenario *ante-operam* – altezza onda in m

Onda da E

Questo scenario prevede un'altezza d'onda significativa $H_s = 2.3$ m e periodo di picco $T_p = 11.6$ s, proveniente da $90^\circ N$, discretizzata in frequenza con 5 componenti, con spettro di tipo JONSWAP.

Il risultato della simulazione, in forma di zone di equiagitazione, è riportato in Figura 23.

Tempo di ritorno 5 anni			
Dir [°]	Hs [m]	Tm [s]	Tp [s]
E ($67.5^\circ \div 112.5^\circ$)	2.3	8.8	11.6

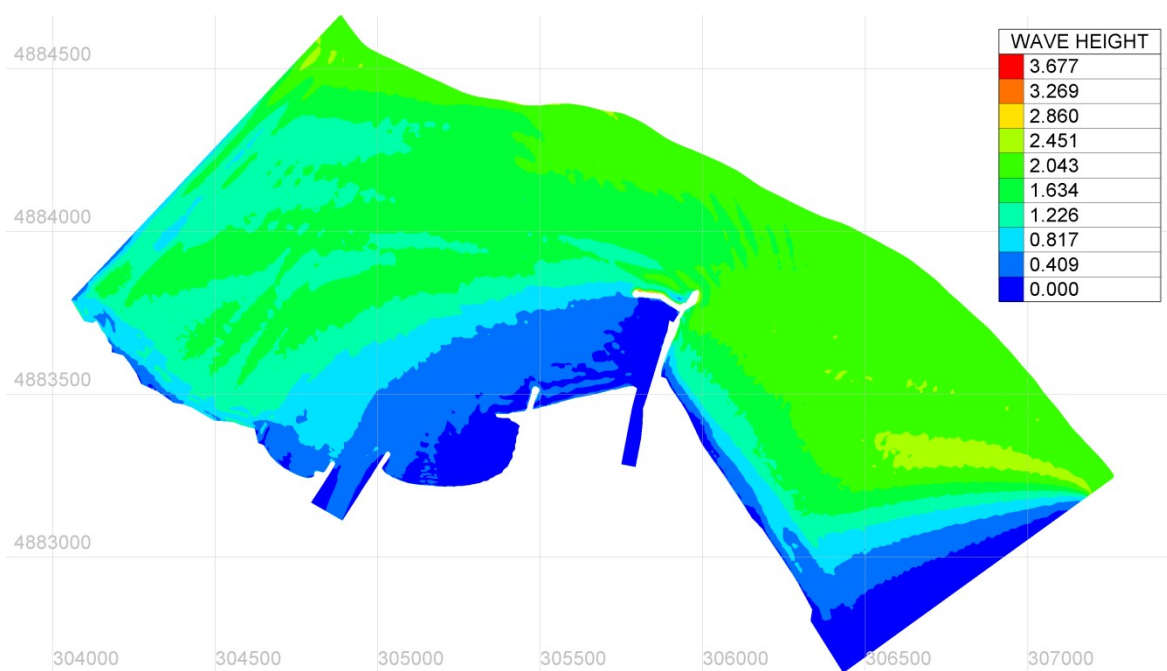


Figura 23: risultato simulazione onda da E - scenario *ante-operam* – altezza onda in m

Onda da SE

Questo scenario prevede un'altezza d'onda significativa $H_s = 0.7$ m e periodo di picco $T_p = 10.6$ s, proveniente da $135^\circ N$, discretizzata in frequenza con 5 componenti, con spettro di tipo JONSWAP.

Il risultato della simulazione, in forma di zone di equiagitazione, è riportato in Figura 24.

Tempo di ritorno 5 anni			
Dir [°]	Hs [m]	Tm [s]	Tp [s]
S-E ($112.5^\circ \div 157.5^\circ$)	0.7	5.6	10.6

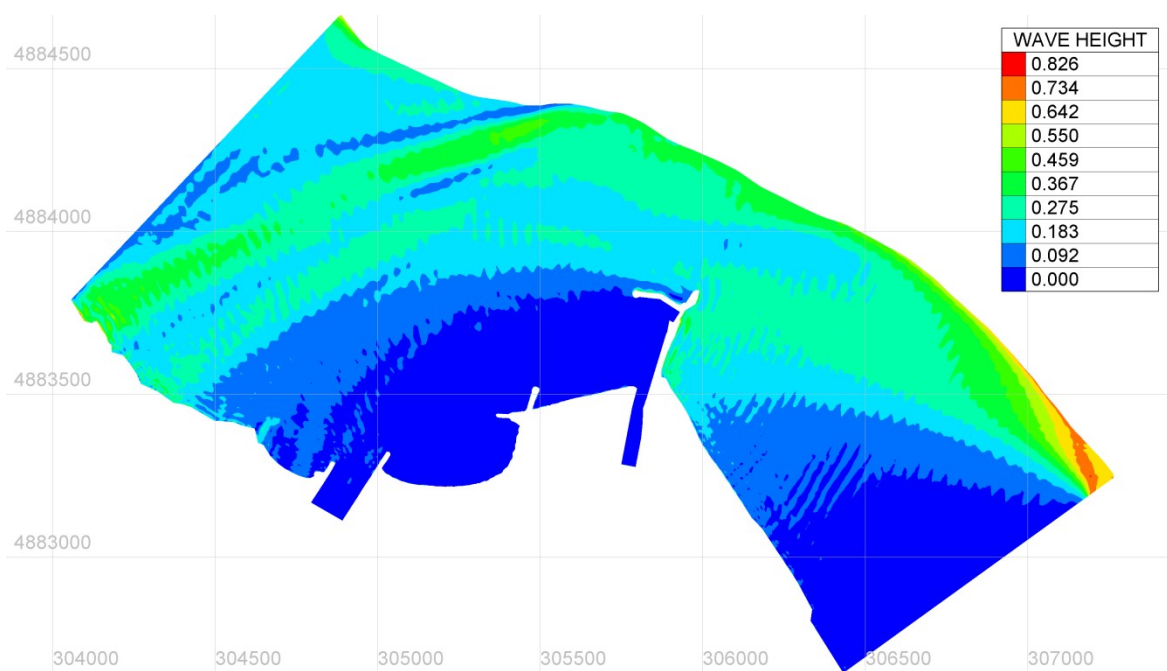


Figura 24: risultato simulazione onda da SE - scenario *ante-operam* – altezza onda in m

4.3 SCENARIO ANTE-OPERAM – TR 10 ANNI

Onda da NO

Questo scenario prevede un'altezza d'onda significativa $H_s = 0.9$ m e periodo di picco $T_p = 9.1$ s, proveniente da $315^\circ N$, discretizzata in frequenza con 5 componenti, con spettro di tipo JONSWAP.

Il risultato della simulazione, in forma di zone di equiagitazione, è riportato in Figura 25.

Tempo di ritorno 10 anni			
Dir [°]	Hs [m]	Tm [s]	Tp [s]
N-O ($292.5^\circ \div 337.5^\circ$)	0.9	4.0	9.1

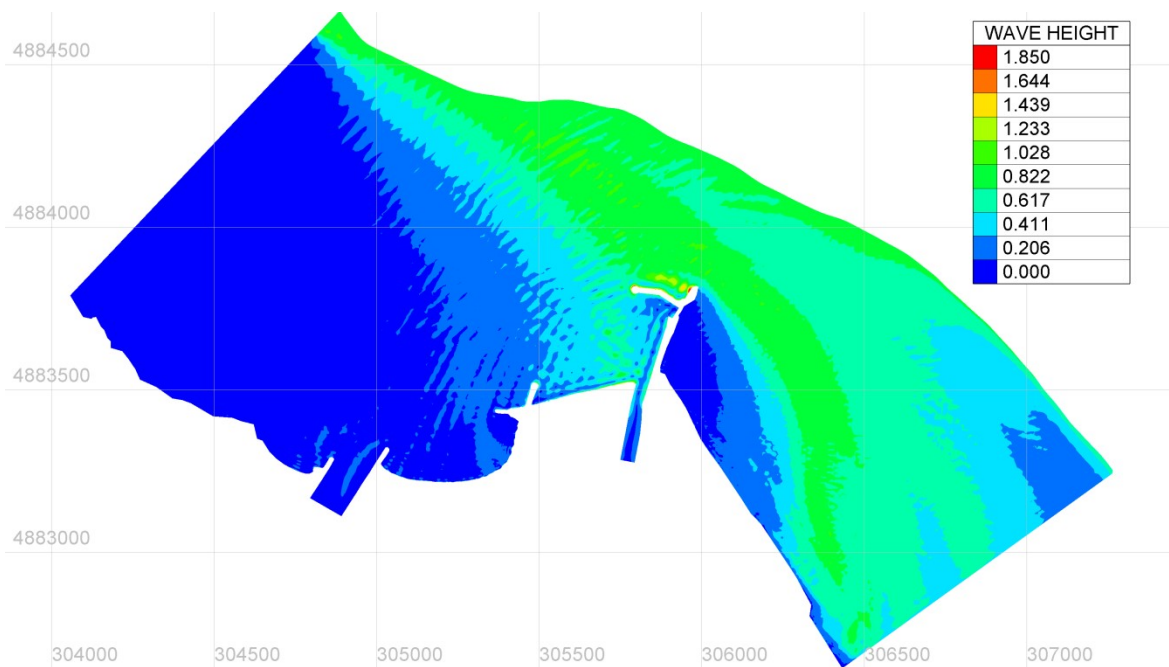


Figura 25: risultato simulazione onda da NO - scenario *ante-operam* – altezza onda in m

Onda da N

Questo scenario prevede un'altezza d'onda significativa $H_s = 0.9$ m e periodo di picco $T_p = 9.1$ s, proveniente da $0^\circ N$, discretizzata in frequenza con 5 componenti, con spettro di tipo JONSWAP.

Il risultato della simulazione, in forma di zone di equiagitazione, è riportato in Figura 26.

Tempo di ritorno 10 anni			
Dir [°]	Hs [m]	Tm [s]	Tp [s]
N (-22.5° ÷ 22.5°)	0.9	4.0	9.1

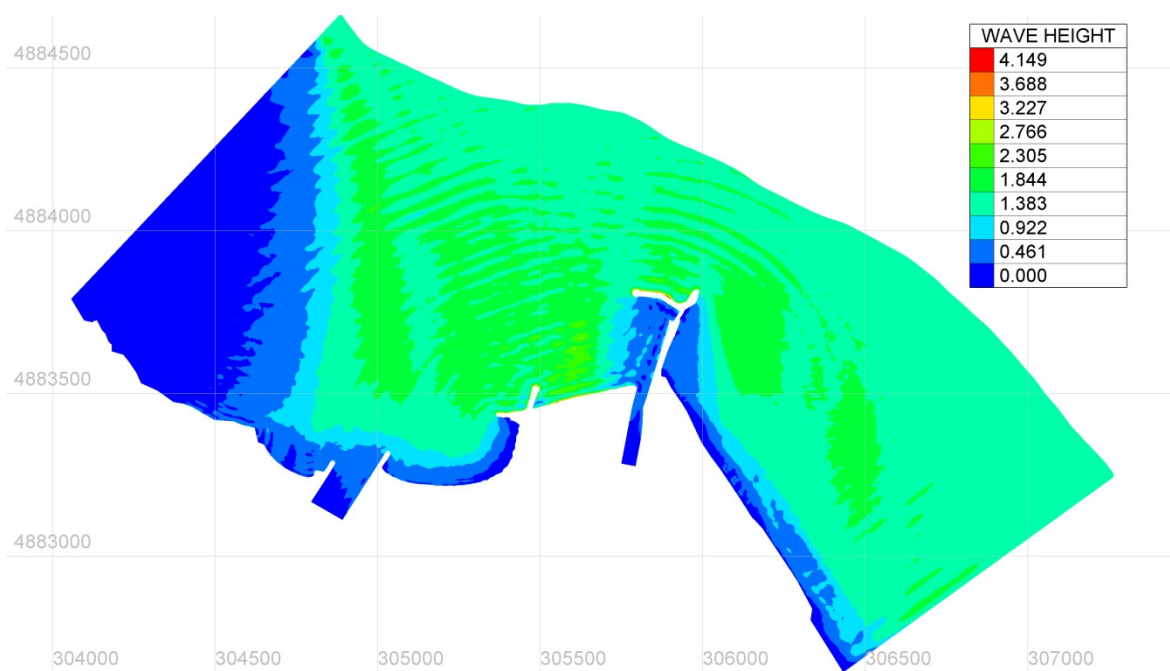


Figura 26: risultato simulazione onda da N - scenario *ante-operam* – altezza onda in m

Onda da NE

Questo scenario prevede un'altezza d'onda significativa $H_s = 3.2$ m e periodo di picco $T_p = 11.7$ s, proveniente da $45^\circ N$, discretizzata in frequenza con 5 componenti, con spettro di tipo JONSWAP.

Il risultato della simulazione, in forma di zone di equiagitazione, è riportato in Figura 27.

Tempo di ritorno 10 anni			
Dir [°]	Hs [m]	Tm [s]	Tp [s]
N-E ($22.5^\circ \div 67.5^\circ$)	3.2	7.6	11.7

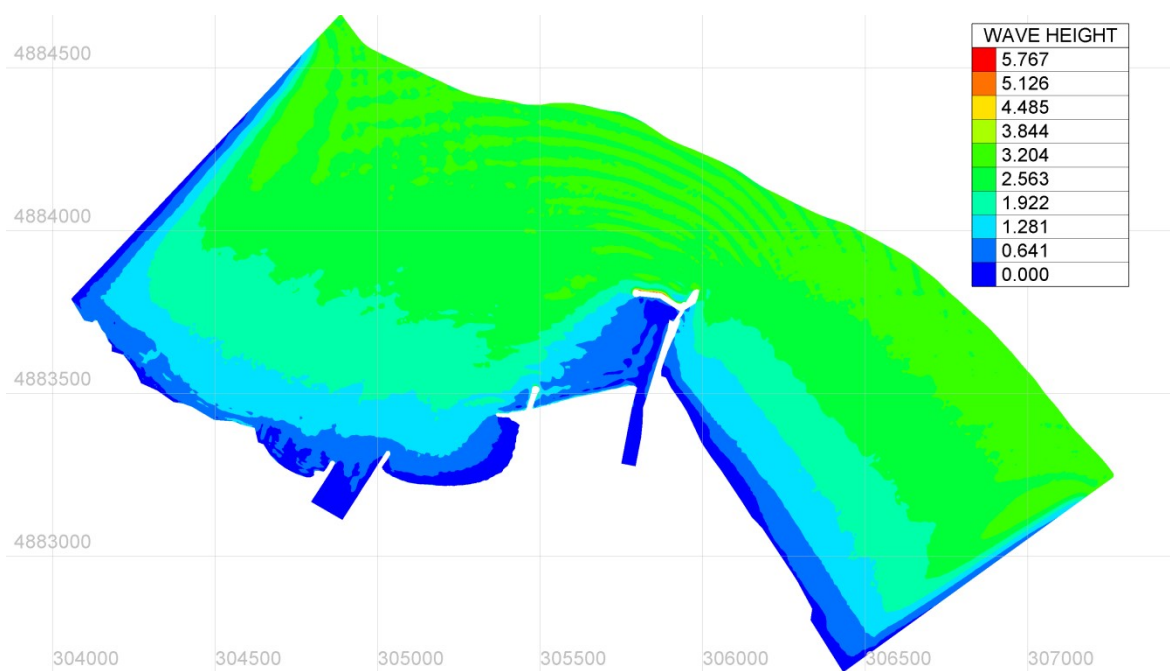


Figura 27: risultato simulazione onda da NE - scenario *ante-operam* – altezza onda in m

Onda da E

Questo scenario prevede un'altezza d'onda significativa $H_s = 2.5$ m e periodo di picco $T_p = 12.3$ s, proveniente da $90^\circ N$, discretizzata in frequenza con 5 componenti, con spettro di tipo JONSWAP.

Il risultato della simulazione, in forma di zone di equiagitazione, è riportato in Figura 28.

Tempo di ritorno 10 anni			
Dir [°]	Hs [m]	Tm [s]	Tp [s]
E ($67.5^\circ \div 112.5^\circ$)	2.5	9.1	12.3

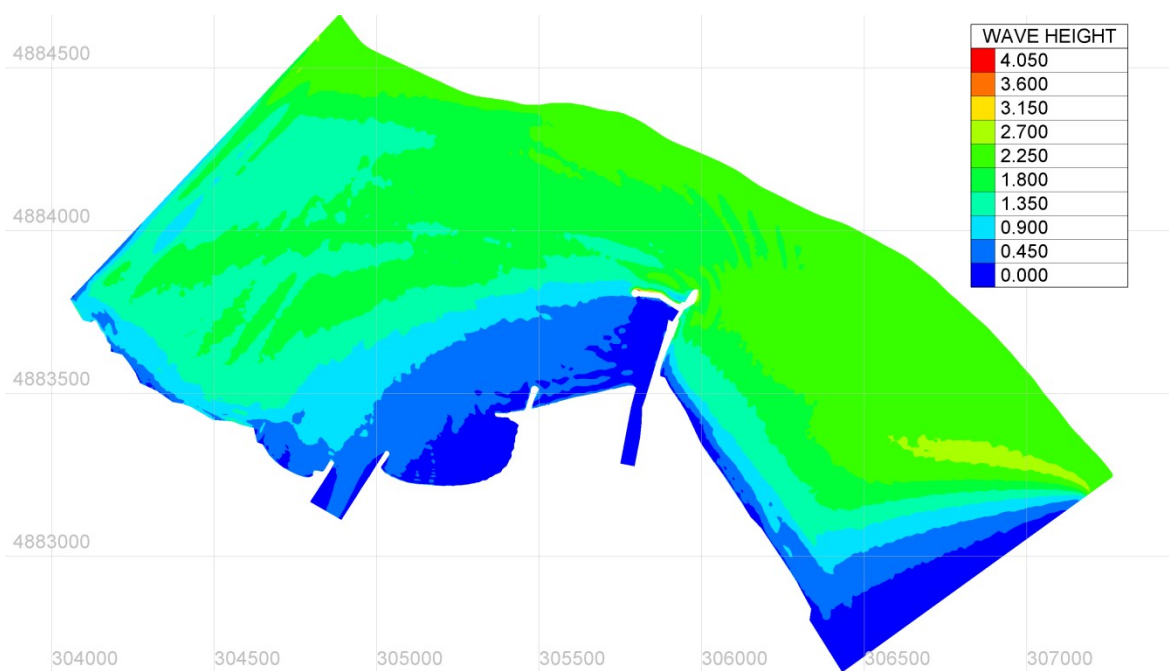


Figura 28: risultato simulazione onda da E - scenario *ante-operam* – altezza onda in m

Onda da SE

Questo scenario prevede un'altezza d'onda significativa $H_s = 0.8$ m e periodo di picco $T_p = 11.4$ s, proveniente da $135^\circ N$, discretizzata in frequenza con 5 componenti, con spettro di tipo JONSWAP.

Il risultato della simulazione, in forma di zone di equiagitazione, è riportato in Figura 29.

Tempo di ritorno 10 anni			
Dir [°]	Hs [m]	Tm [s]	Tp [s]
S-E ($112.5^\circ \div 157.5^\circ$)	0.8	6.0	11.4

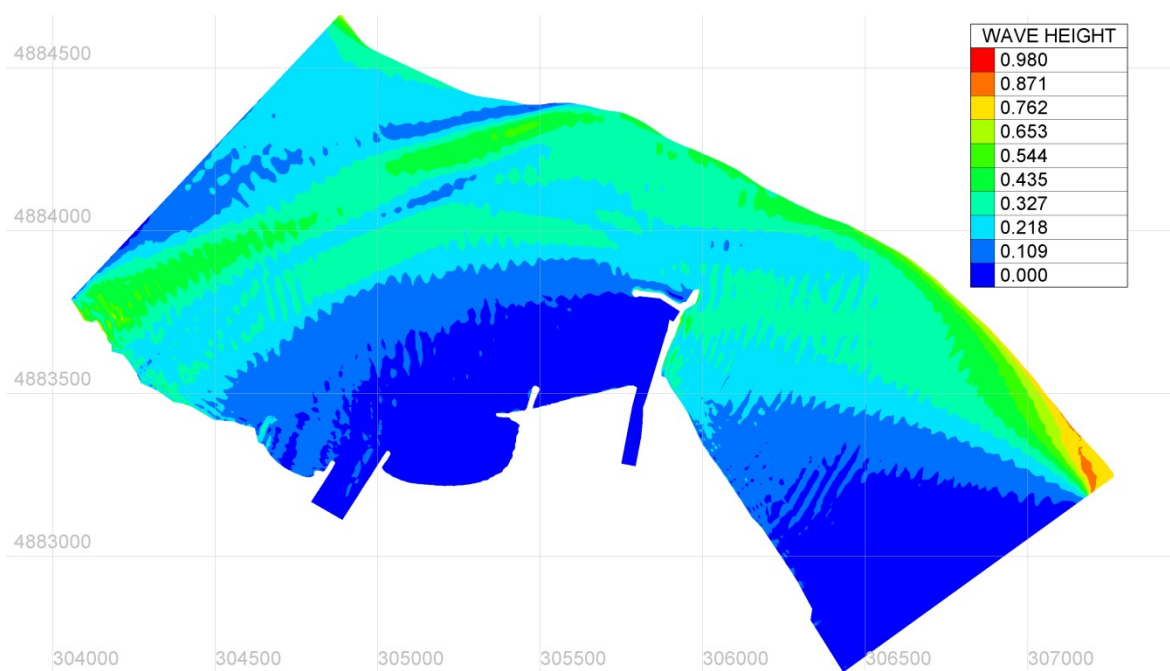


Figura 29: risultato simulazione onda da SE - scenario *ante-operam* – altezza onda in m

4.4 SCENARIO ANTE-OPERAM – TR 50 ANNI

Onda da NO

Questo scenario prevede un'altezza d'onda significativa $H_s = 1.0$ m e periodo di picco $T_p = 11$ s, proveniente da 315° N, discretizzata in frequenza con 5 componenti, con spettro di tipo JONSWAP.

Il risultato della simulazione, in forma di zone di equiagitazione, è riportato in Figura 30.

Tempo di ritorno 50 anni			
Dir [°]	Hs [m]	Tm [s]	Tp [s]
N-O ($292.5^\circ \div 337.5^\circ$)	1.0	4.5	11.0

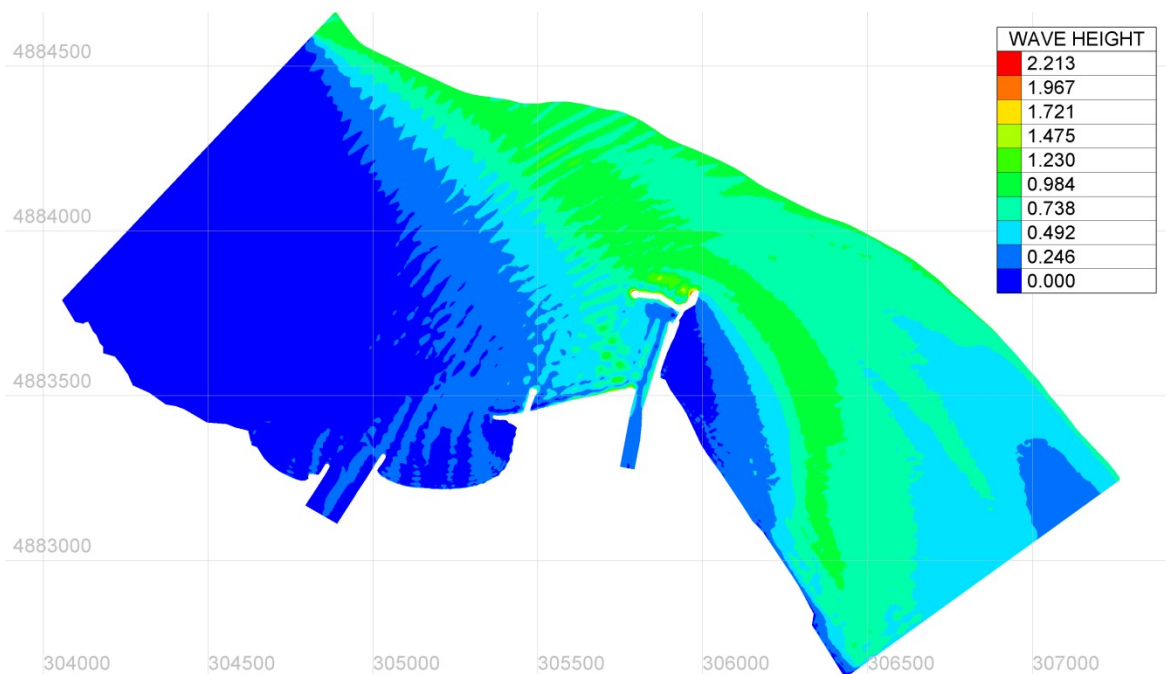


Figura 30: risultato simulazione onda da NO - scenario *ante-operam* – altezza onda in m

Onda da N

Questo scenario prevede un'altezza d'onda significativa $H_s = 2.1$ m e periodo di picco $T_p = 12.8$ s, proveniente da $0^\circ N$, discretizzata in frequenza con 5 componenti, con spettro di tipo JONSWAP.

Il risultato della simulazione, in forma di zone di equiagitazione, è riportato in Figura 31.

Tempo di ritorno 50 anni			
Dir [°]	Hs [m]	Tm [s]	Tp [s]
N (-22.5° ÷ 22.5°)	2.1	5.9	12.8

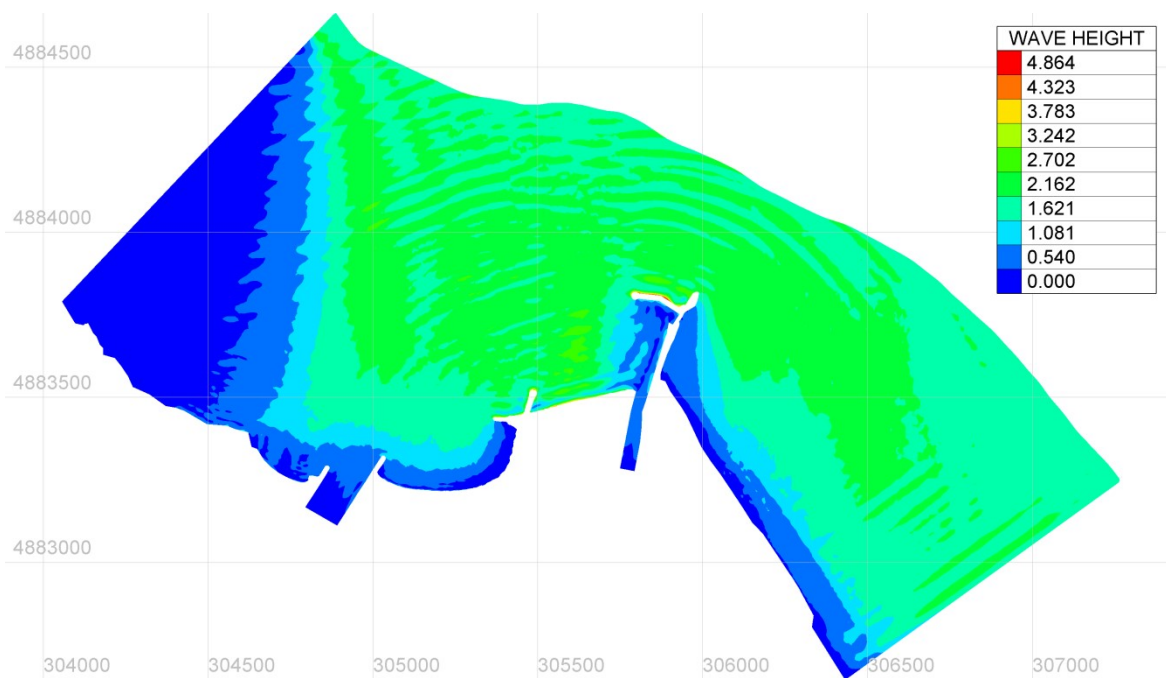


Figura 31: risultato simulazione onda da N - scenario *ante-operam* – altezza onda in m

Onda da NE

Questo scenario prevede un'altezza d'onda significativa $H_s = 3.6$ m e periodo di picco $T_p = 13$ s, proveniente da $45^\circ N$, discretizzata in frequenza con 5 componenti, con spettro di tipo JONSWAP.

Il risultato della simulazione, in forma di zone di equiagitazione, è riportato in Figura 32.

Tempo di ritorno 50 anni			
Dir [°]	Hs [m]	Tm [s]	Tp [s]
N-E ($22.5^\circ \div 67.5^\circ$)	3.6	8.1	13.0

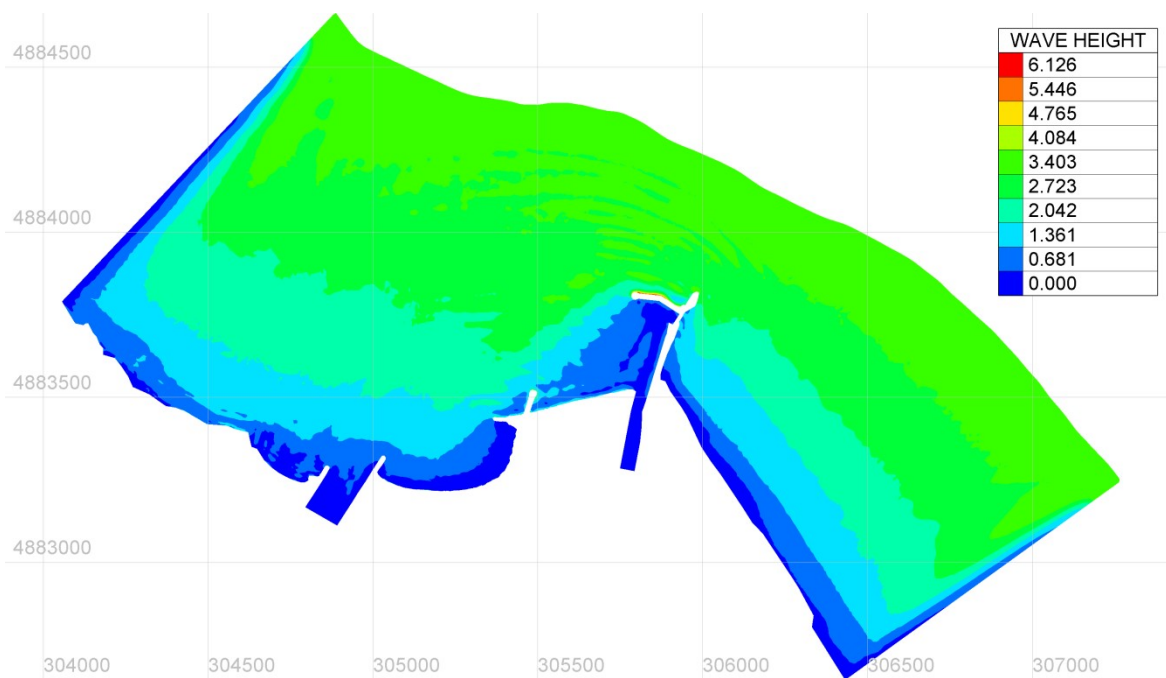


Figura 32: risultato simulazione onda da NE - scenario *ante-operam* – altezza onda in m

Onda da E

Questo scenario prevede un'altezza d'onda significativa $H_s = 3.1$ m e periodo di picco $T_p = 14$ s, proveniente da $90^\circ N$, discretizzata in frequenza con 5 componenti, con spettro di tipo JONSWAP.

Il risultato della simulazione, in forma di zone di equiagitazione, è riportato in Figura 33.

Tempo di ritorno 50 anni			
Dir [°]	Hs [m]	Tm [s]	Tp [s]
E ($67.5^\circ \div 112.5^\circ$)	3.1	9.9	14.0

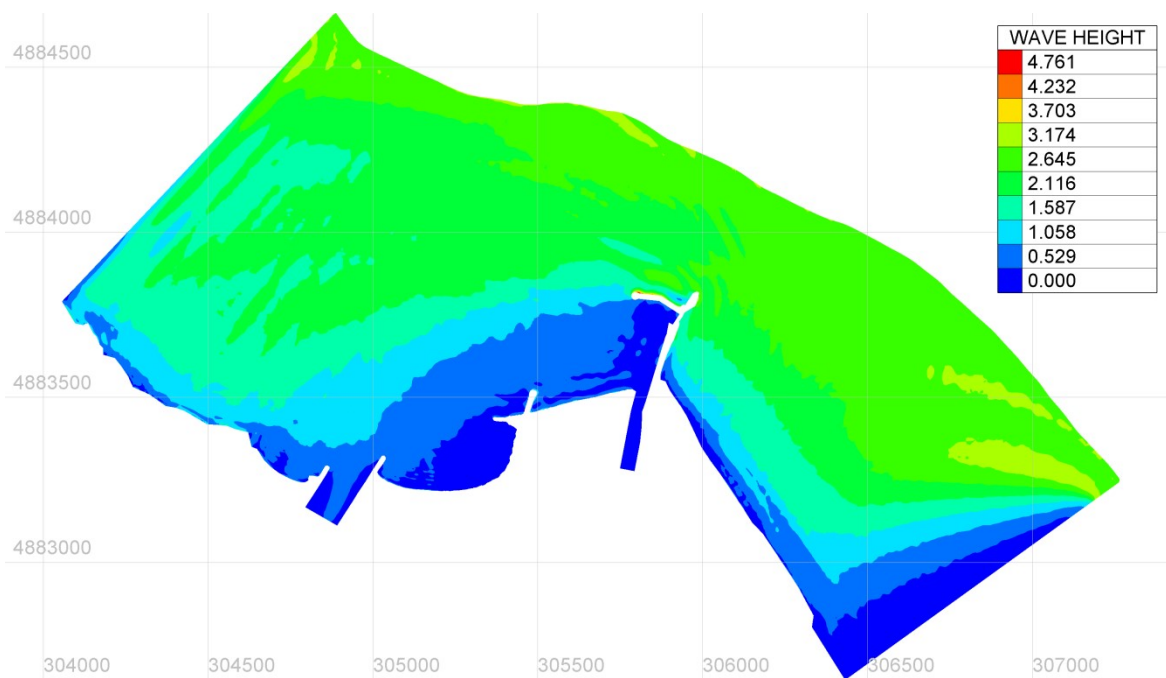


Figura 33: risultato simulazione onda da E - scenario *ante-operam* – altezza onda in m

Onda da SE

Questo scenario prevede un'altezza d'onda significativa $H_s = 1.0$ m e periodo di picco $T_p = 13.3$ s, proveniente da $135^\circ N$, discretizzata in frequenza con 5 componenti, con spettro di tipo JONSWAP.

Il risultato della simulazione, in forma di zone di equiagitazione, è riportato in Figura 34.

Tempo di ritorno 50 anni			
Dir [°]	Hs [m]	Tm [s]	Tp [s]
S-E ($112.5^\circ \div 157.5^\circ$)	1.0	6.8	13.3

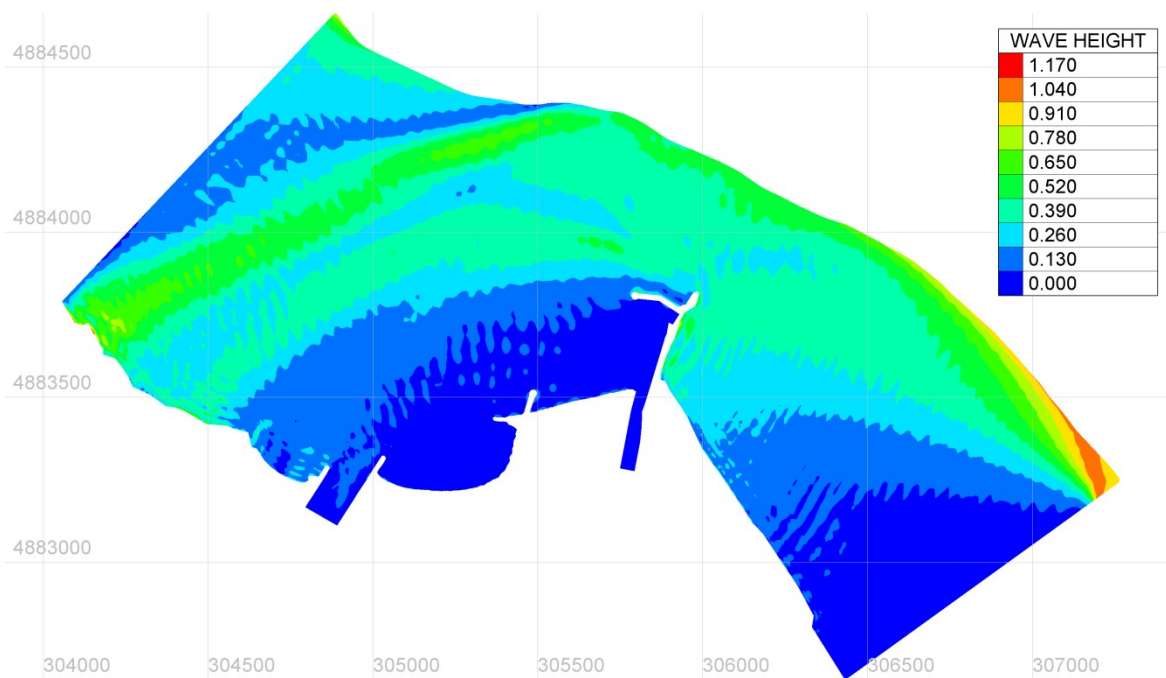


Figura 34: risultato simulazione onda da SE - scenario *ante-operam* – altezza onda in m

4.5 SCENARIO POST-OPERAM IPOTESI A – TR 5 ANNI

Onda da NO

Questo scenario prevede un'altezza d'onda significativa $H_s = 0.8$ m e periodo di picco $T_p = 8.3$ s, proveniente da 315° N, discretizzata in frequenza con 5 componenti, con spettro di tipo JONSWAP.

Il risultato della simulazione, in forma di zone di equiagitazione, è riportato in Figura 35 per l'intero dominio di calcolo mentre la Figura 36 riporta il dettaglio dell'area di intervento.

Tempo di ritorno 5 anni			
Dir [°]	Hs [m]	Tm [s]	Tp [s]
N-O (292.5° ÷ 337.5°)	0.8	3.8	8.3

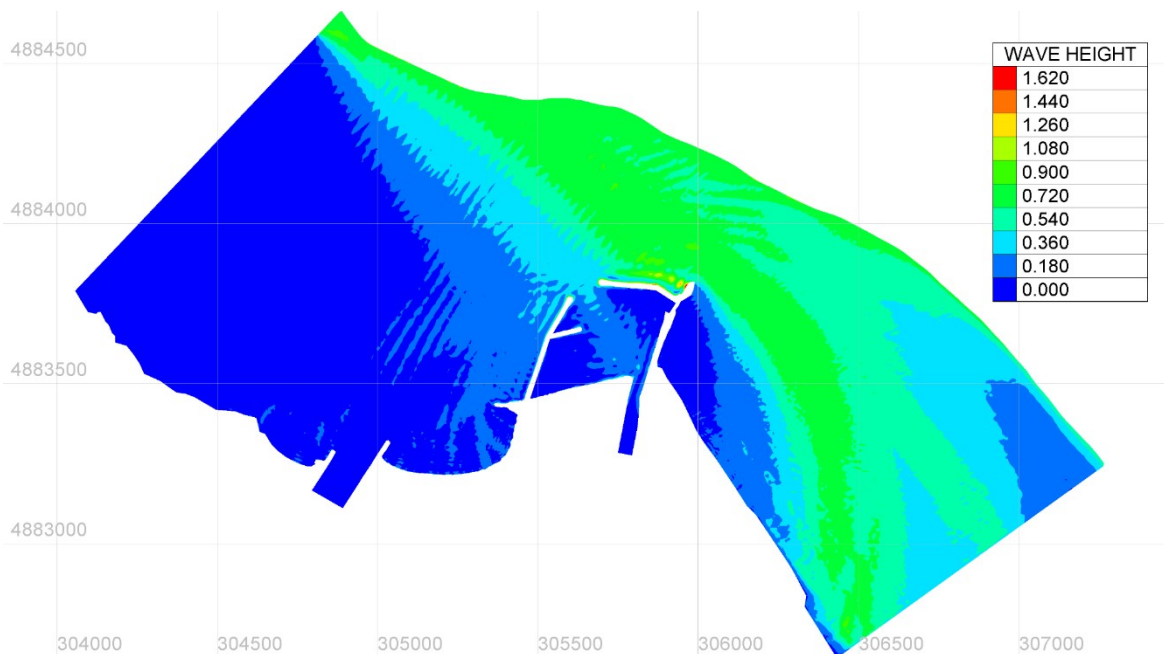


Figura 35: risultato simulazione onda da NO – scenario *post-operam ipotesi A* – altezza onda in m

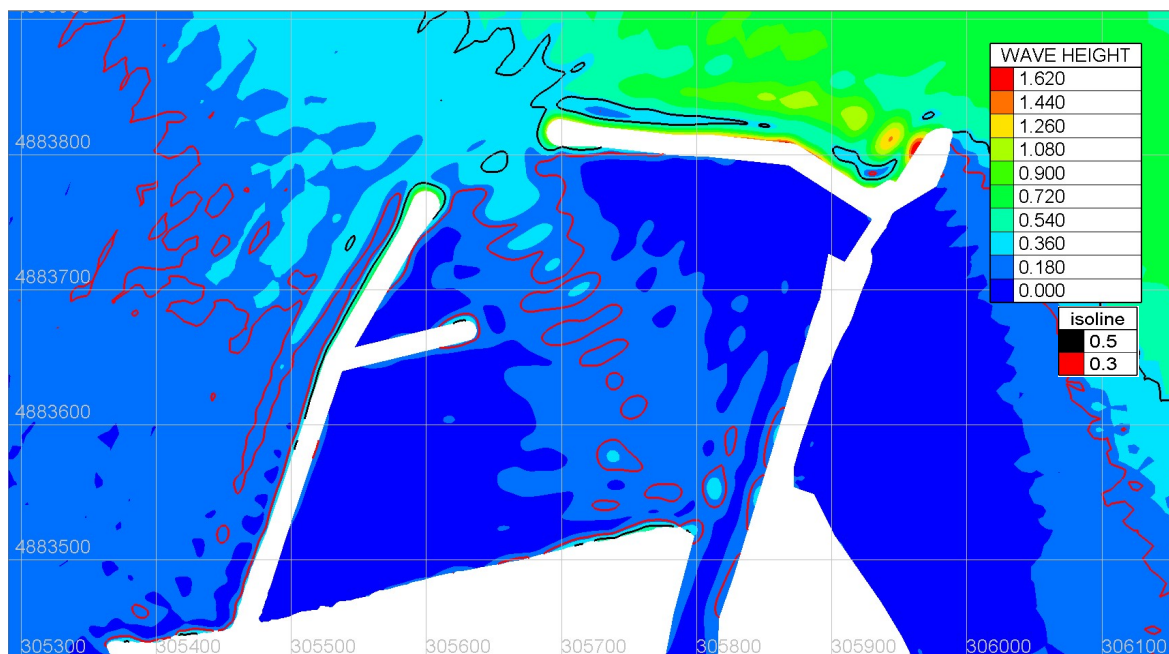


Figura 36: risultato simulazione onda da NO – scenario *post-operam ipotesi A*, dettaglio dell’area di intervento – altezza onda in m

Onda da N

Questo scenario prevede un’altezza d’onda significativa $H_s = 1.5$ m e periodo di picco $T_p = 10.4$ s, proveniente da $0^\circ N$, discretizzata in frequenza con 5 componenti, con spettro di tipo JONSWAP.

Il risultato della simulazione, in forma di zone di equiagitazione, è riportato in Figura 37 per l’intero dominio di calcolo mentre la Figura 38 riporta il dettaglio dell’area di intervento.

Tempo di ritorno 5 anni			
Dir [°]	Hs [m]	Tm [s]	Tp [s]
N (-22.5° ÷ 22.5°)	1.5	5.3	10.4

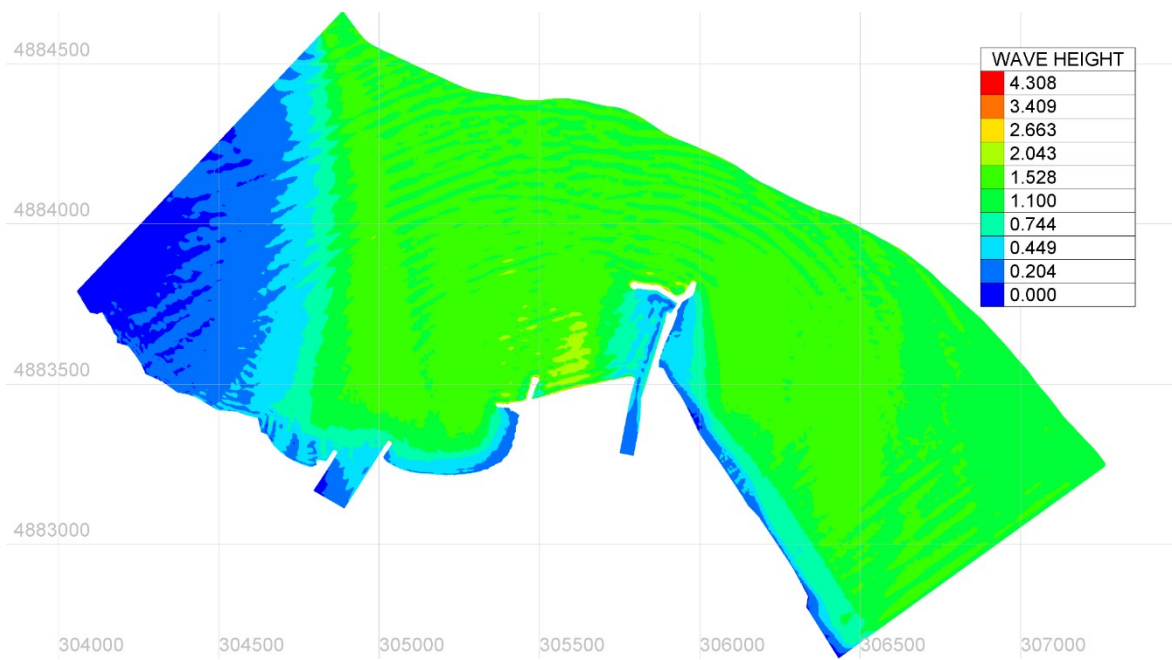


Figura 37: risultato simulazione onda da N – scenario *post-operam ipotesi A* – altezza onda in m

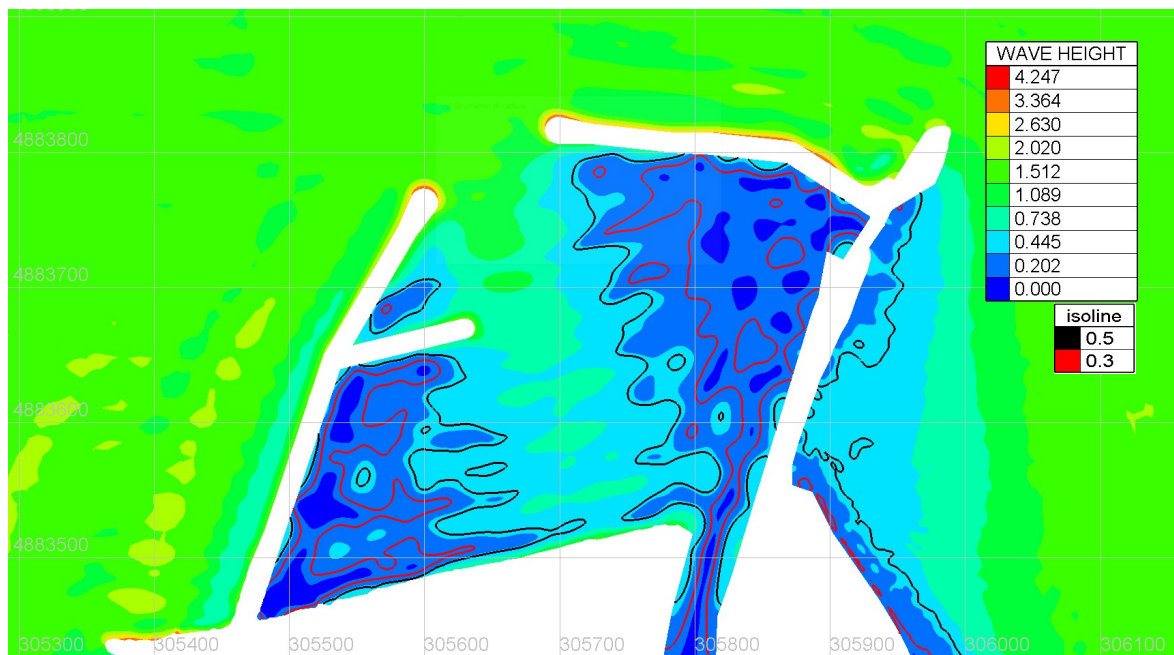


Figura 38: risultato simulazione onda da NO – scenario *post-operam ipotesi A*, dettaglio dell'area di intervento – altezza onda in m

Onda da NE

Questo scenario prevede un'altezza d'onda significativa $H_s = 3.0$ m e periodo di picco $T_p = 11.1$ s, proveniente da $45^\circ N$, discretizzata in frequenza con 5 componenti, con spettro di tipo JONSWAP.

Il risultato della simulazione, in forma di zone di equiagitazione, è riportato in Figura 39 per l'intero dominio di calcolo mentre la Figura 40 riporta il dettaglio dell'area di intervento.

Tempo di ritorno 5 anni			
Dir [°]	Hs [m]	Tm [s]	Tp [s]
N-E ($22.5^\circ \div 67.5^\circ$)	3.0	7.4	11.1

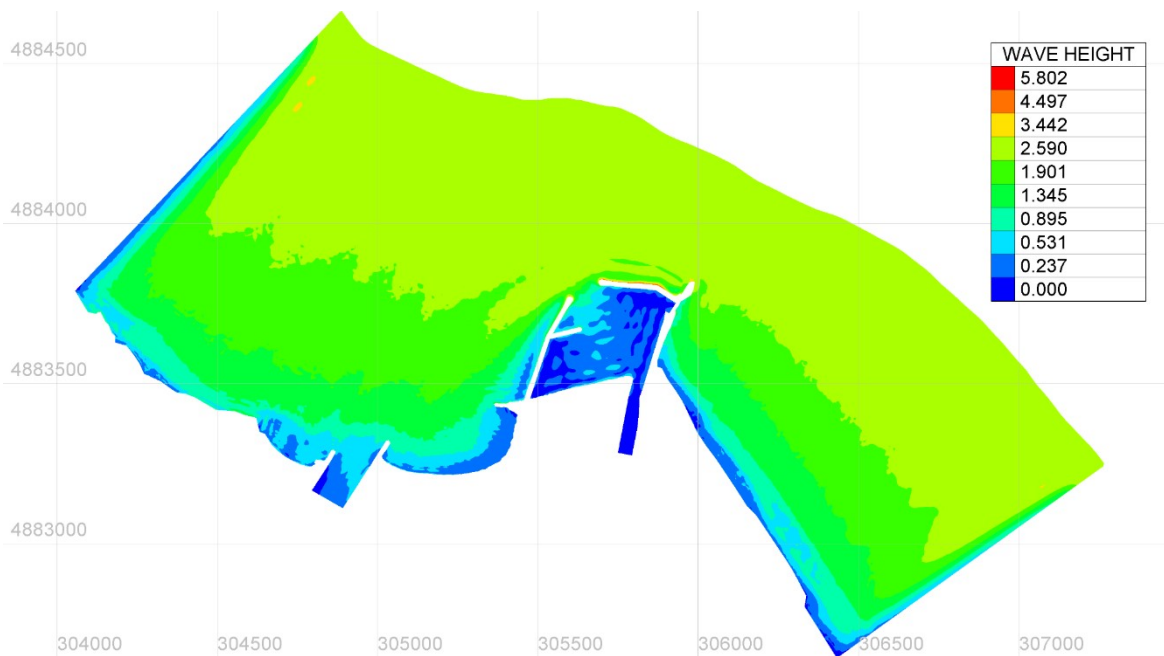


Figura 39: risultato simulazione onda da NE – scenario *post-operam ipotesi A* – altezza onda in m

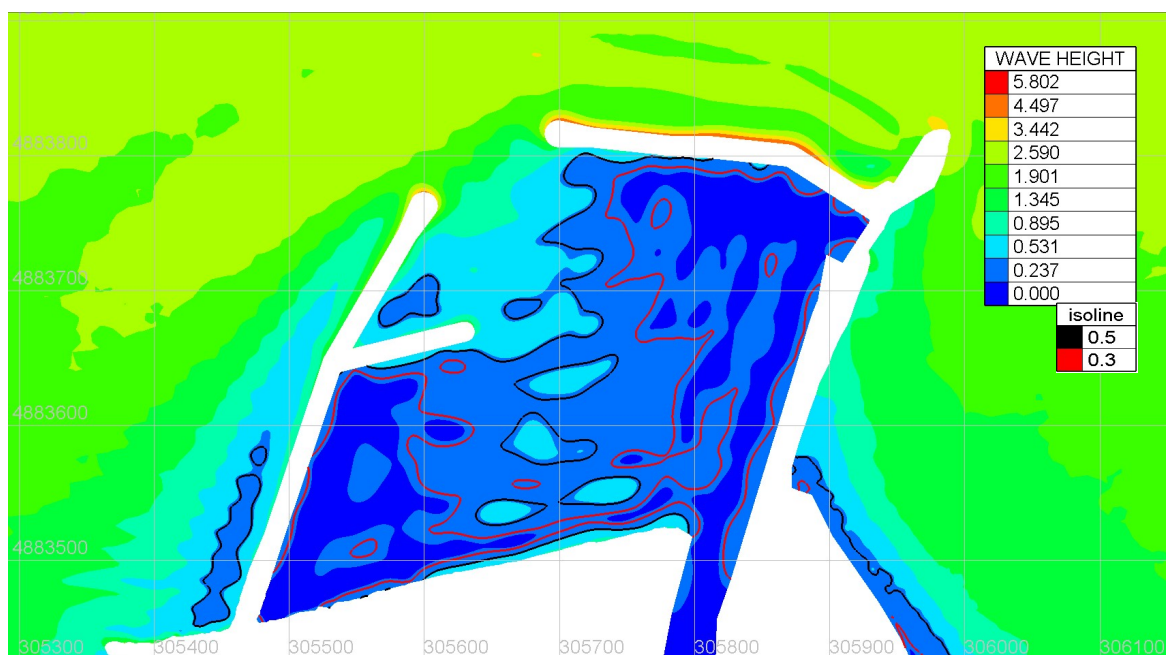


Figura 40: risultato simulazione onda da NE - scenario *post-operam ipotesi A*, dettaglio dell'area di intervento – altezza onda in m

Onda da E

Questo scenario prevede un'altezza d'onda significativa $H_s = 2.3$ m e periodo di picco $T_p = 11.6$ s, proveniente da $90^\circ N$, discretizzata in frequenza con 5 componenti, con spettro di tipo JONSWAP.

Il risultato della simulazione, in forma di zone di equiagitazione, è riportato in Figura 41 per l'intero dominio di calcolo mentre la Figura 42 riporta il dettaglio dell'area di intervento.

Tempo di ritorno 5 anni			
Dir [°]	Hs [m]	Tm [s]	Tp [s]
E ($67.5^\circ \div 112.5^\circ$)	2.3	8.8	11.6

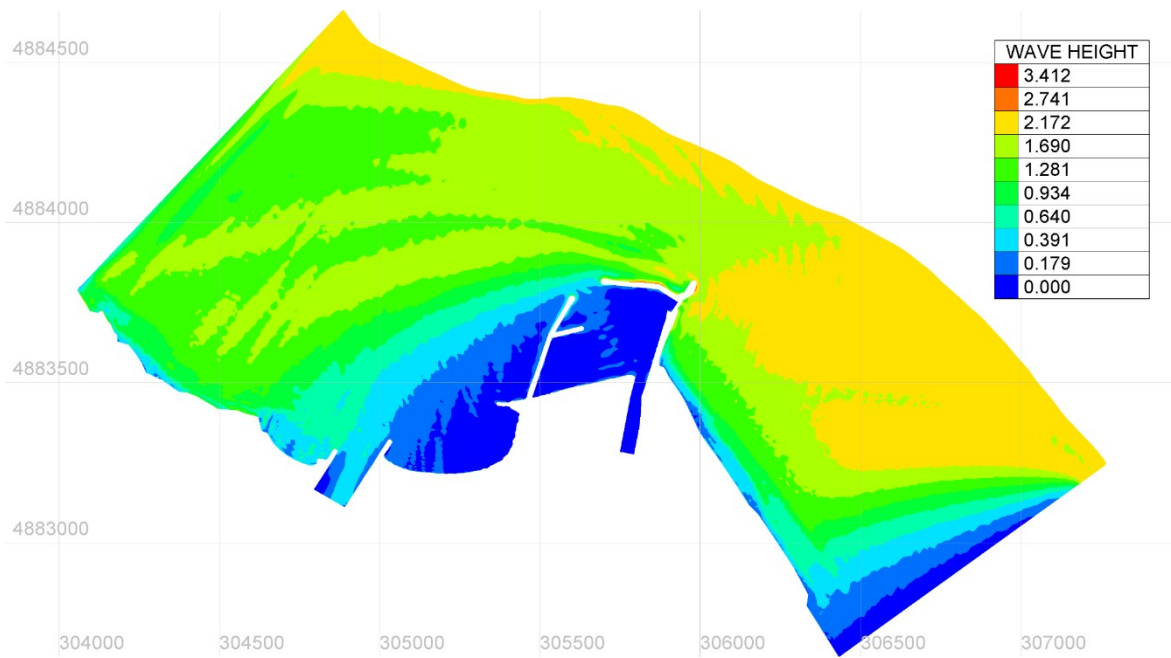


Figura 41: risultato simulazione onda da E - scenario *post-operam ipotesi A* – altezza onda in m

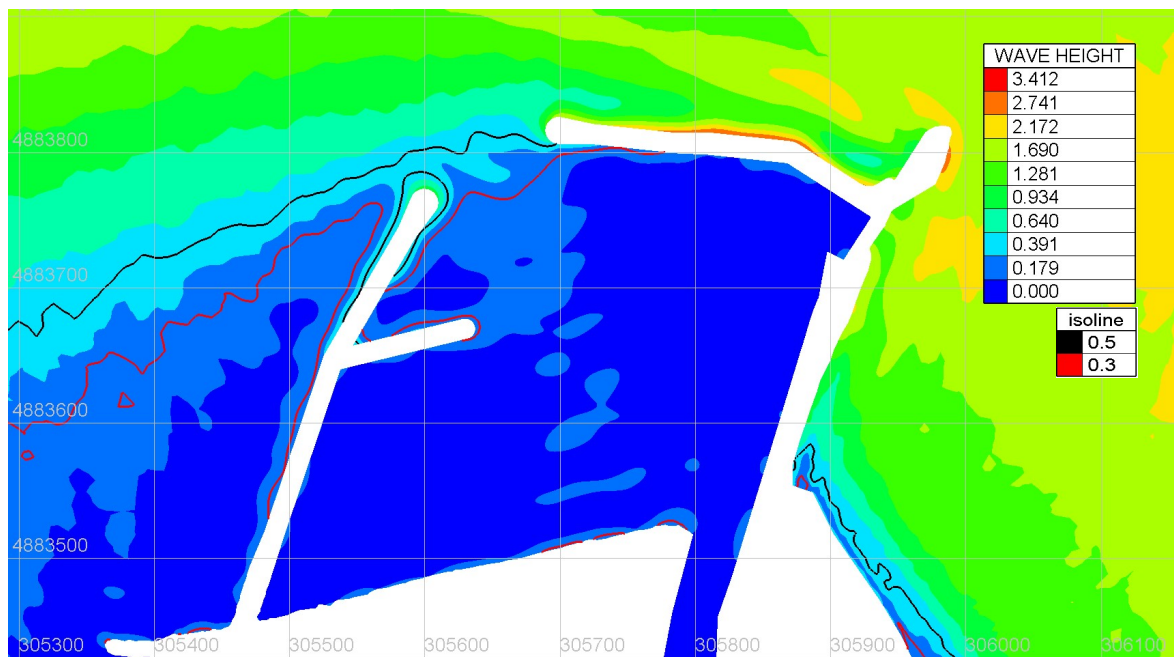


Figura 42: risultato simulazione onda da E - scenario *post-operam ipotesi A*, dettaglio dell'area di intervento – altezza onda in m

Onda da SE

Questo scenario prevede un'altezza d'onda significativa $H_s = 0.7$ m e periodo di picco $T_p = 10.6$ s, proveniente da $135^\circ N$, discretizzata in frequenza con 5 componenti, con spettro di tipo JONSWAP.

Il risultato della simulazione, in forma di zone di equiagitazione, è riportato in Figura 43 per l'intero dominio di calcolo mentre la Figura 44 riporta il dettaglio dell'area di intervento.

Tempo di ritorno 5 anni			
Dir [°]	Hs [m]	Tm [s]	Tp [s]
S-E ($112.5^\circ \div 157.5^\circ$)	0.7	5.6	10.6

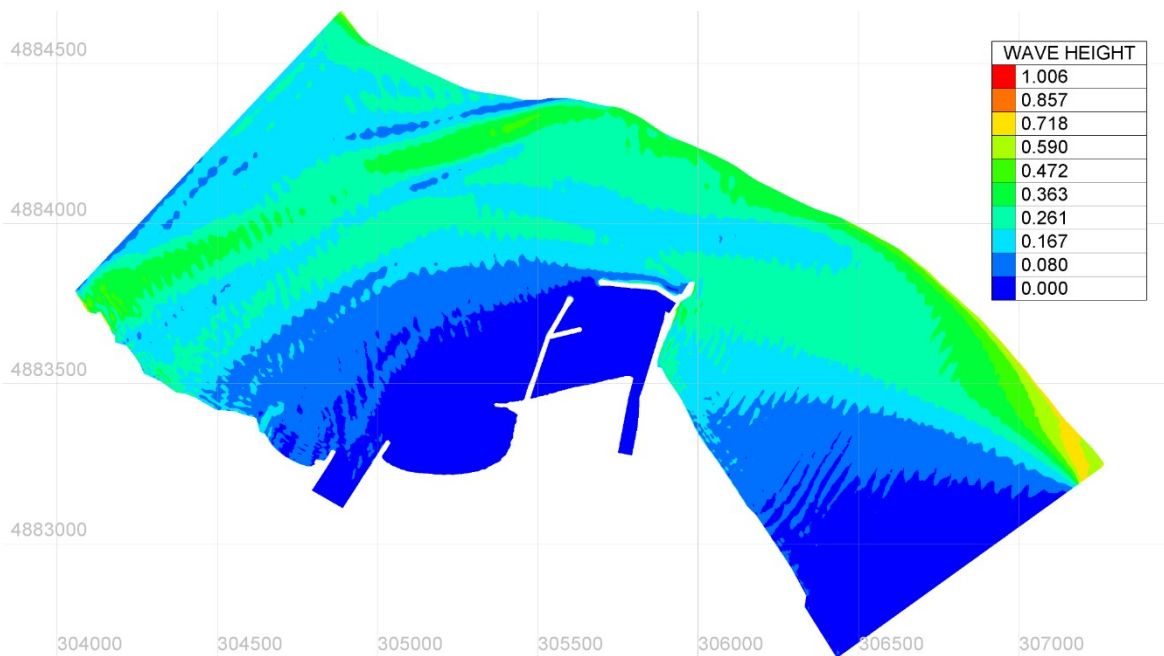


Figura 43: risultato simulazione onda da SE – scenario *post-operam ipotesi A* – altezza onda in m

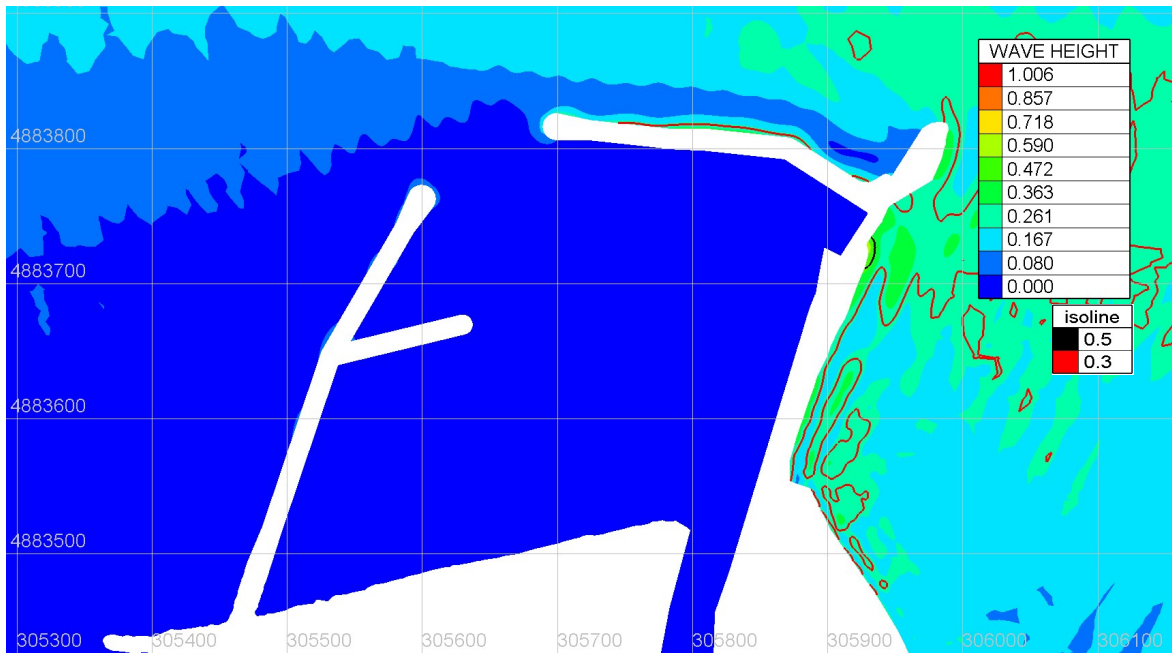


Figura 44: risultato simulazione onda da SE - scenario *post-operam ipotesi A*, dettaglio dell'area di intervento – altezza onda in m

4.6 SCENARIO POST-OPERAM IPOTESI A – TR 10 ANNI

Onda da NO

Questo scenario prevede un'altezza d'onda significativa $H_s = 0.9$ m e periodo di picco $T_p = 9.1$ s, proveniente da $315^\circ N$, discretizzata in frequenza con 5 componenti, con spettro di tipo JONSWAP.

Il risultato della simulazione, in forma di zone di equiagitazione, è riportato in Figura 45 per l'intero dominio di calcolo mentre la Figura 46 riporta il dettaglio dell'area di intervento.

Tempo di ritorno 10 anni			
Dir [°]	Hs [m]	Tm [s]	Tp [s]
N-O ($292.5^\circ \div 337.5^\circ$)	0.9	4.0	9.1

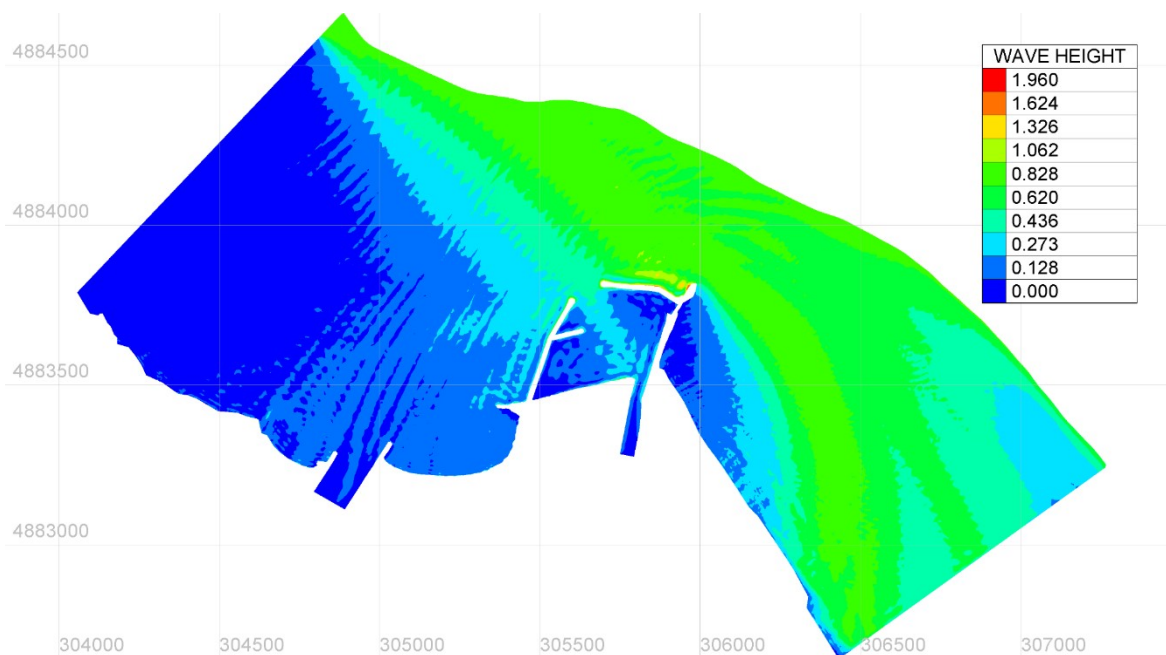


Figura 45: risultato simulazione onda da NO - scenario *post-operam ipotesi A* – altezza onda in m

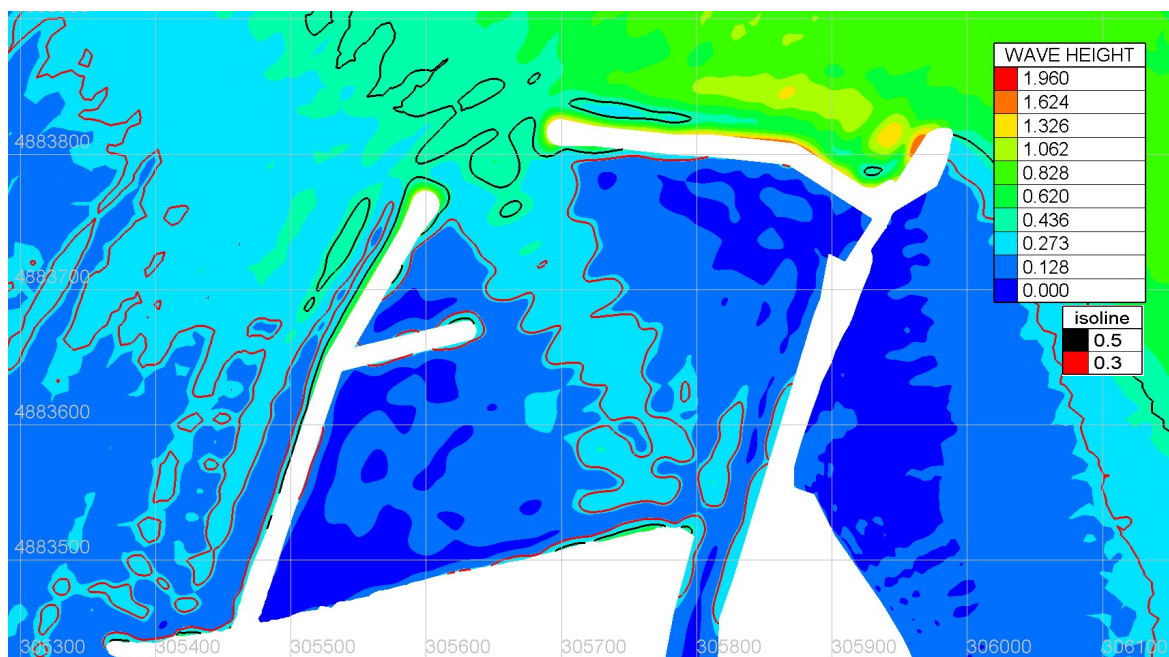


Figura 46: risultato simulazione onda da NO - scenario *post-operam ipotesi A*, dettaglio dell'area di intervento – altezza onda in m

Onda da N

Questo scenario prevede un'altezza d'onda significativa $H_s = 0.9$ m e periodo di picco $T_p = 9.1$ s, proveniente da $0^\circ N$, discretizzata in frequenza con 5 componenti, con spettro di tipo JONSWAP.

Il risultato della simulazione, in forma di zone di equiagitazione, è riportato in Figura 47 per l'intero dominio di calcolo mentre la Figura 48 riporta il dettaglio dell'area di intervento.

Tempo di ritorno 10 anni			
Dir [°]	Hs [m]	Tm [s]	Tp [s]
N (-22.5° ÷ 22.5°)	0.9	4.0	9.1

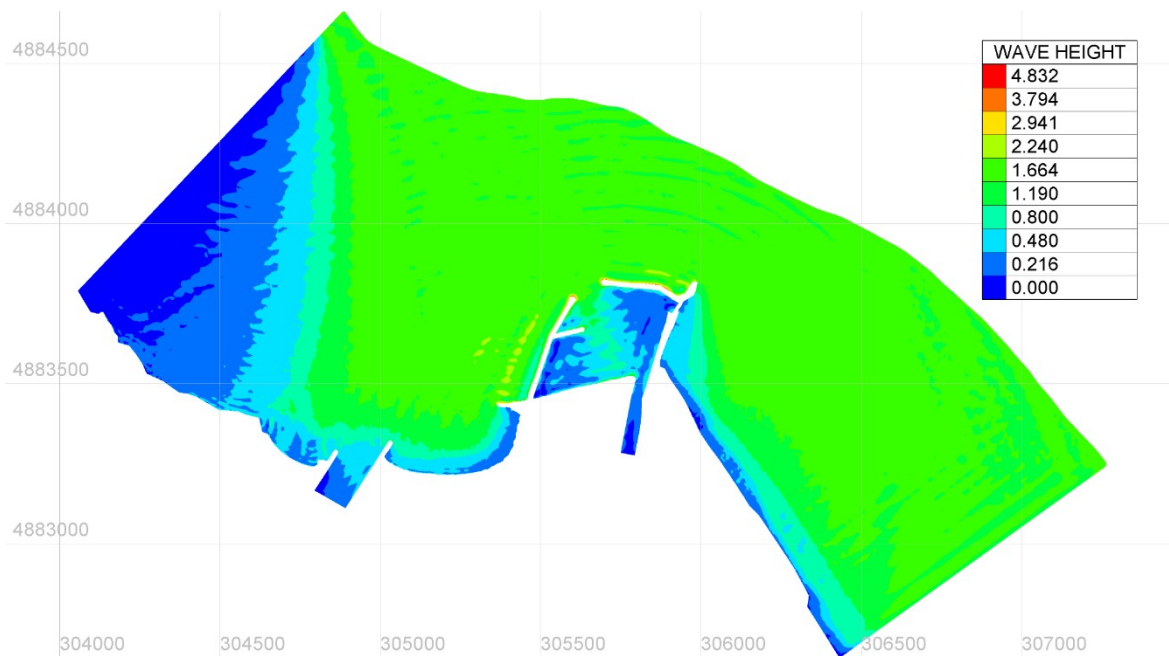


Figura 47: risultato simulazione onda da N - scenario *post-operam ipotesi A* – altezza onda in m

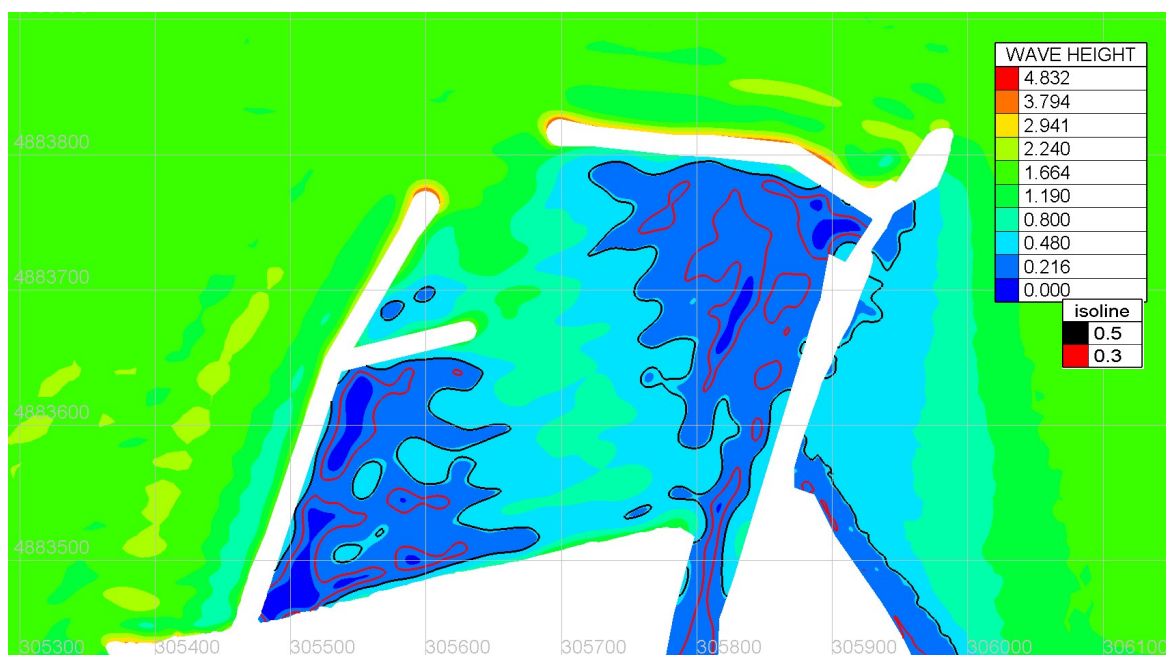


Figura 48 : risultato simulazione onda da N - scenario *post-operam ipotesi A*, dettaglio dell'area di intervento – altezza onda in m

Onda da NE

Questo scenario prevede un'altezza d'onda significativa $H_s = 3.2$ m e periodo di picco $T_p = 11.7$ s, proveniente da $45^\circ N$, discretizzata in frequenza con 5 componenti, con spettro di tipo JONSWAP.

Il risultato della simulazione, in forma di zone di equiagitazione, è riportato in Figura 49 per l'intero dominio di calcolo mentre la Figura 50 riporta il dettaglio dell'area di intervento.

Tempo di ritorno 10 anni			
Dir [°]	Hs [m]	Tm [s]	Tp [s]
N-E (22.5° ÷ 67.5°)	3.2	7.6	11.7

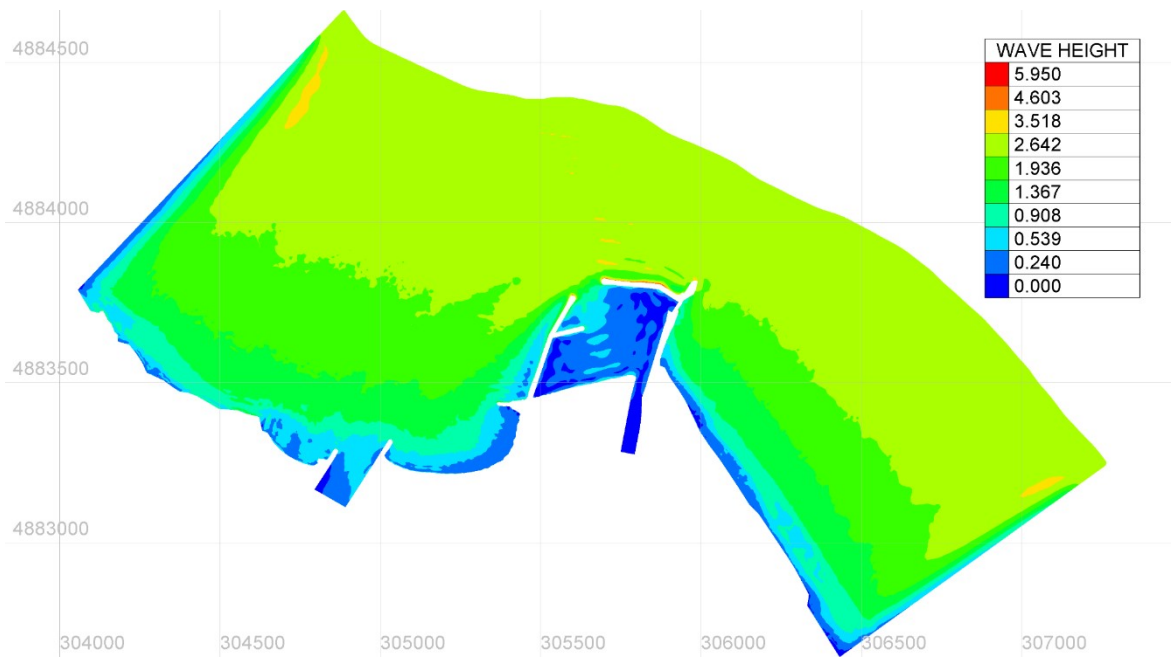


Figura 49: risultato simulazione onda da NE - scenario *post-operam ipotesi A* – altezza onda in m

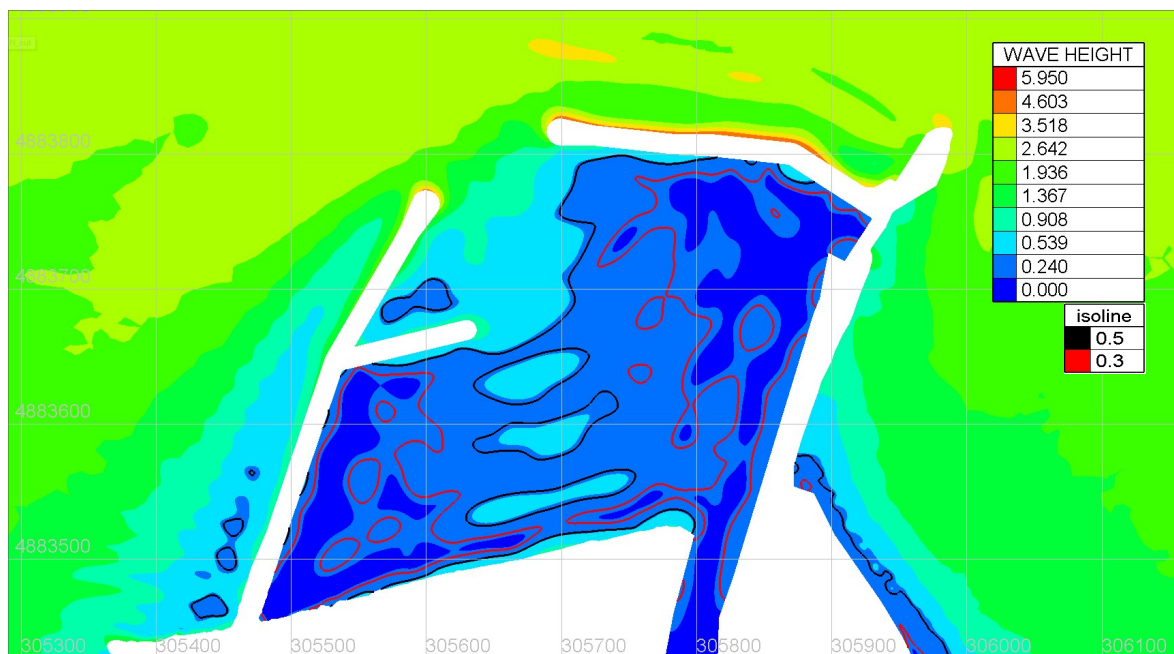


Figura 50 : risultato simulazione onda da NE - scenario *post-operam ipotesi A*, dettaglio dell'area di intervento – altezza onda in m

Onda da E

Questo scenario prevede un'altezza d'onda significativa $H_s = 2.5$ m e periodo di picco $T_p = 12.3$ s, proveniente da $90^\circ N$, discretizzata in frequenza con 5 componenti, con spettro di tipo JONSWAP.

Il risultato della simulazione, in forma di zone di equiagitazione, è riportato in Figura 51 per l'intero dominio di calcolo mentre la Figura 52 riporta il dettaglio dell'area di intervento.

Tempo di ritorno 10 anni			
Dir [°]	Hs [m]	Tm [s]	Tp [s]
E ($67.5^\circ \div 112.5^\circ$)	2.5	9.1	12.3

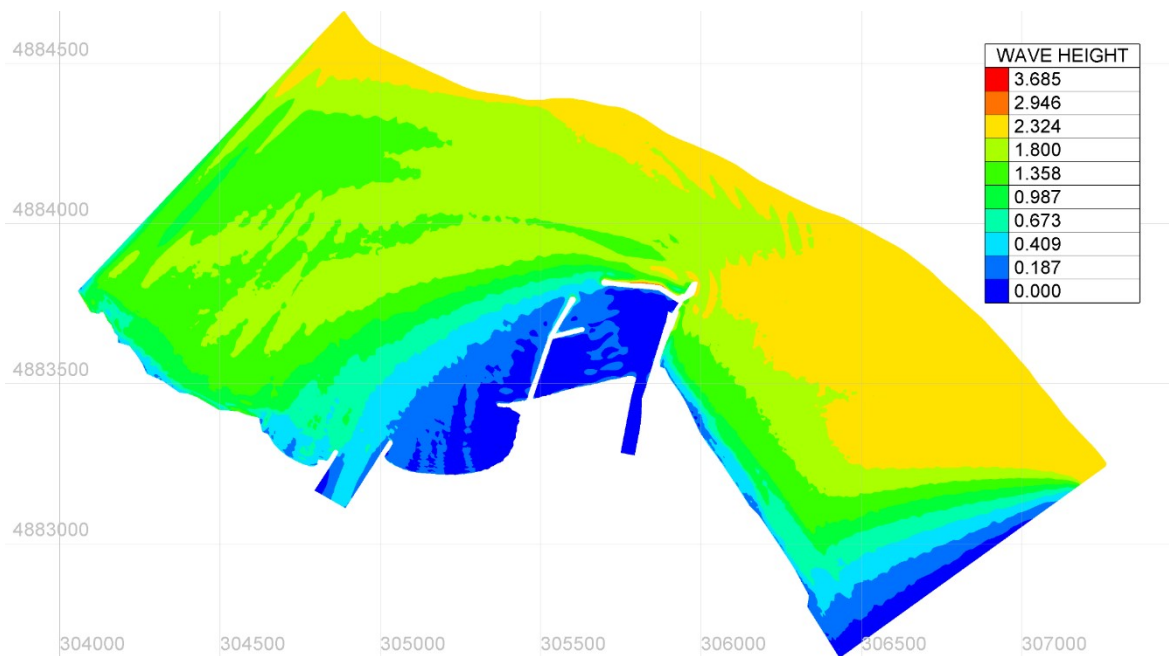


Figura 51: risultato simulazione onda da E - scenario *post-operam ipotesi A* – altezza onda in m

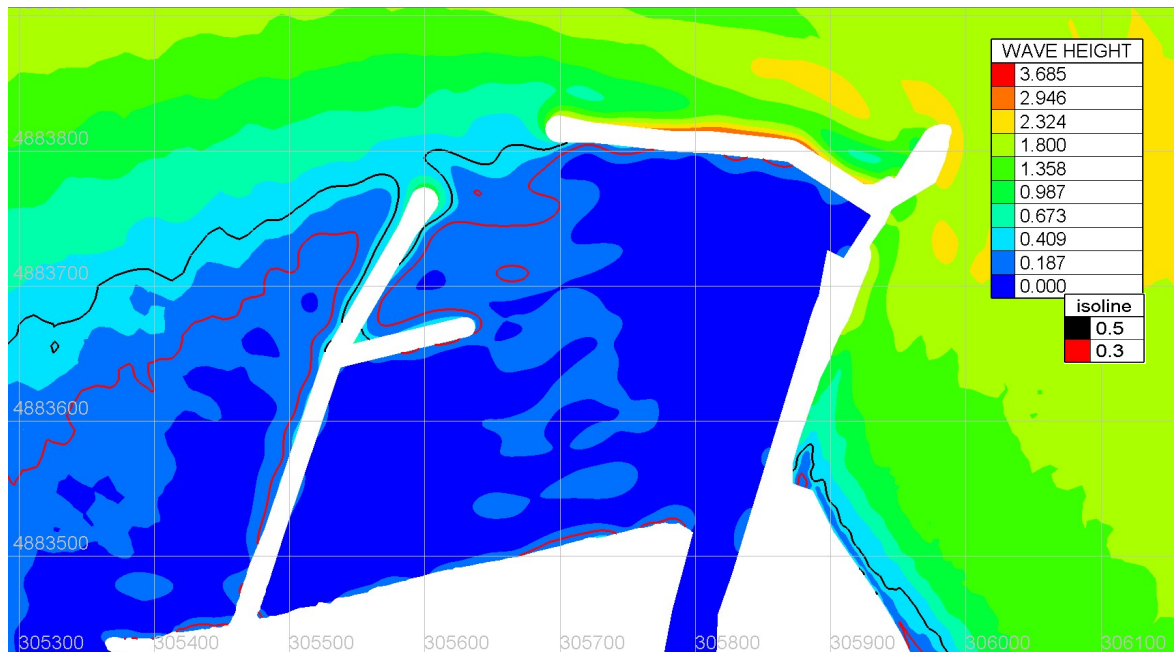


Figura 52: risultato simulazione onda da E - scenario *post-operam ipotesi A*, dettaglio dell'area di intervento – altezza onda in m

Onda da SE

Questo scenario prevede un'altezza d'onda significativa $H_s = 0.8$ m e periodo di picco $T_p = 11.4$ s, proveniente da $135^\circ N$, discretizzata in frequenza con 5 componenti, con spettro di tipo JONSWAP.

Il risultato della simulazione, in forma di zone di equiagitazione, è riportato in Figura 53 per l'intero dominio di calcolo mentre la Figura 54 riporta il dettaglio dell'area di intervento.

Tempo di ritorno 10 anni			
Dir [°]	Hs [m]	Tm [s]	Tp [s]
S-E ($112.5^\circ \div 157.5^\circ$)	0.8	6.0	11.4

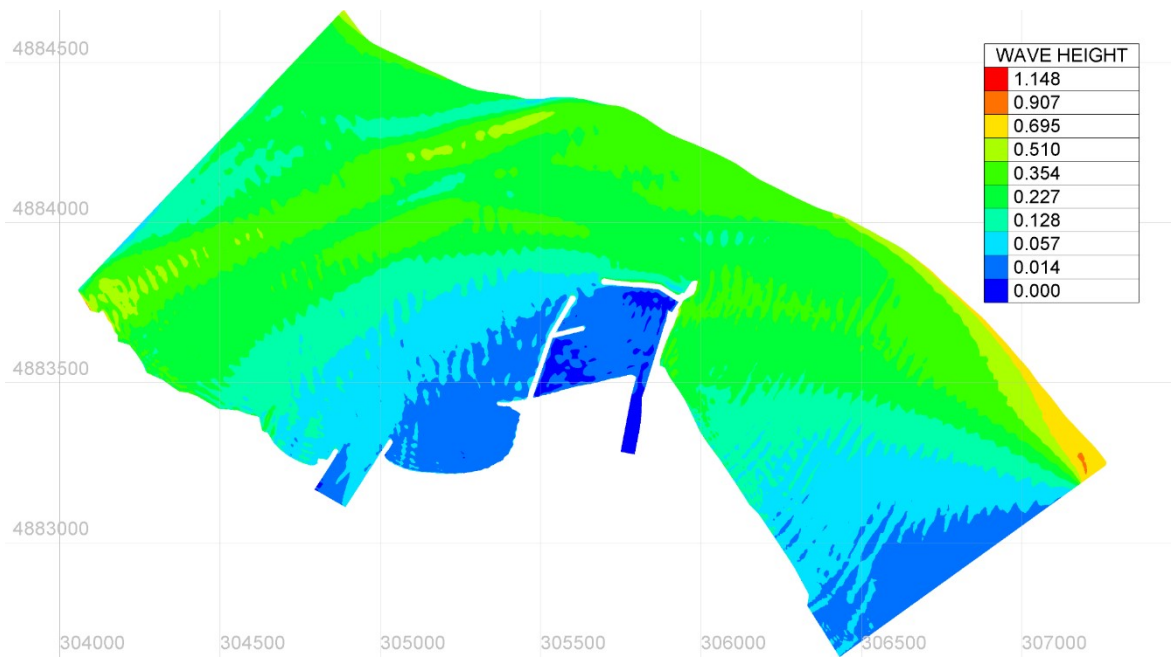


Figura 53: risultato simulazione onda da SE - scenario *post-operam ipotesi A* – altezza onda in m

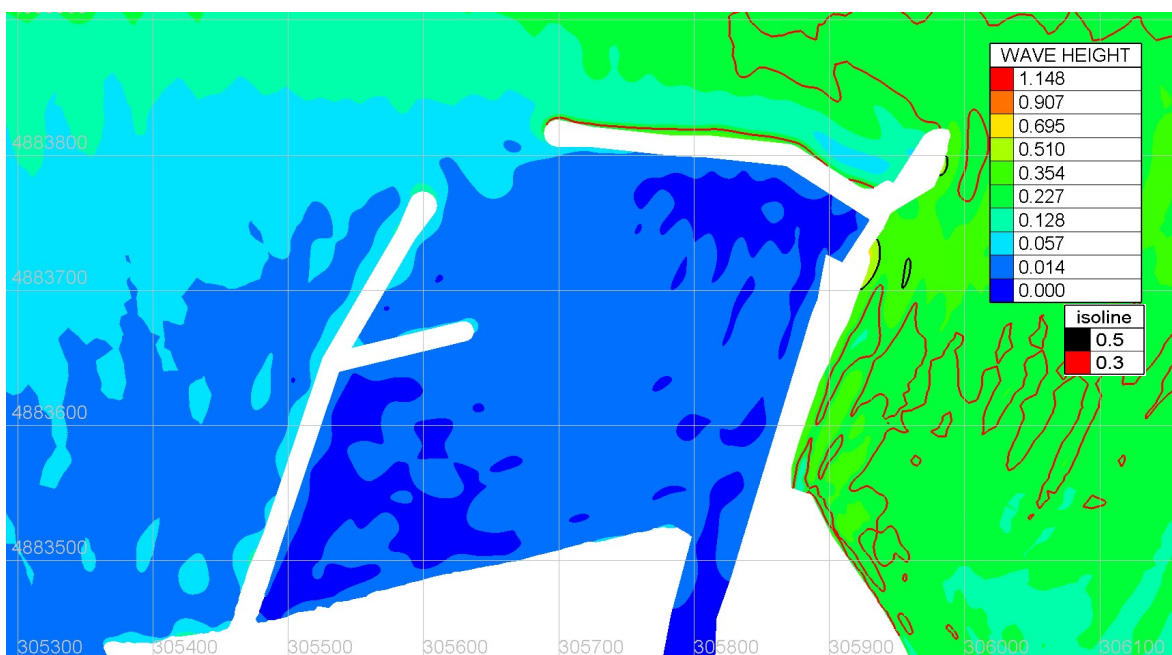


Figura 54 : risultato simulazione onda da SE - scenario *post-operam ipotesi A*, dettaglio dell'area di intervento – altezza onda in m

4.7 SCENARIO POST-OPERAM IPOTESI A – TR 50 ANNI

Onda da NO

Questo scenario prevede un'altezza d'onda significativa $H_s = 1.0$ m e periodo di picco $T_p = 11$ s, proveniente da $315^\circ N$, discretizzata in frequenza con 5 componenti, con spettro di tipo JONSWAP.

Il risultato della simulazione, in forma di zone di equiagitazione, è riportato in Figura 55 per l'intero dominio di calcolo mentre la Figura 56 riporta il dettaglio dell'area di intervento.

Tempo di ritorno 50 anni			
Dir [°]	Hs [m]	Tm [s]	Tp [s]
N-O (292.5° ÷ 337.5°)	1.0	4.5	11.0

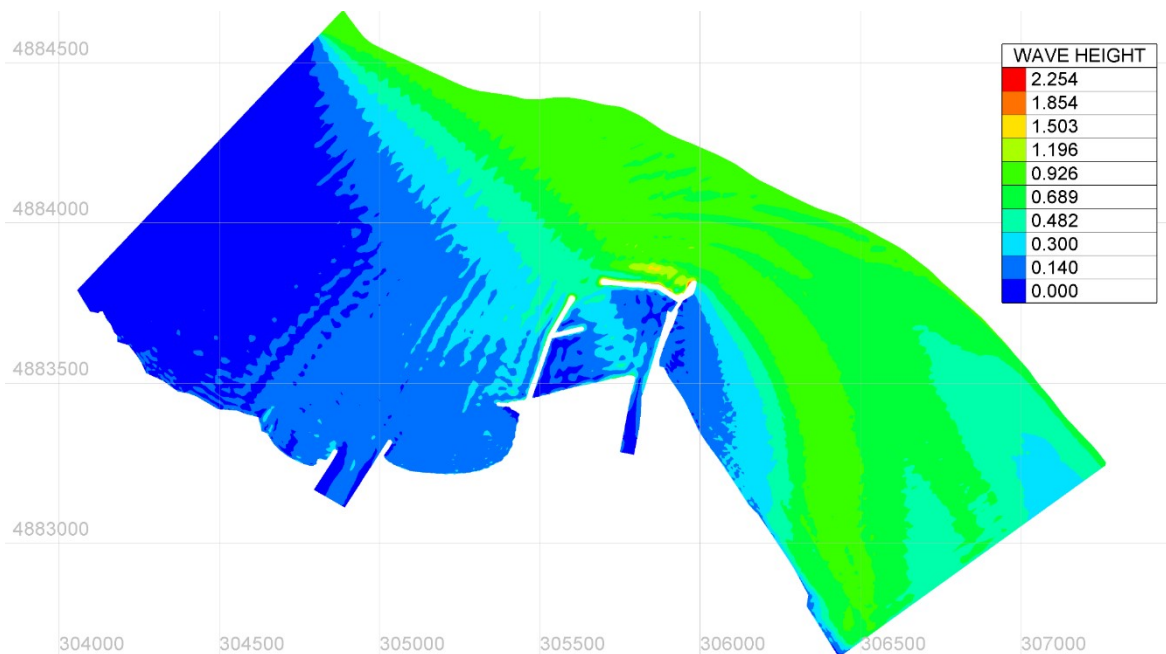


Figura 55: risultato simulazione onda da NO - scenario *post-operam ipotesi A* – altezza onda in m

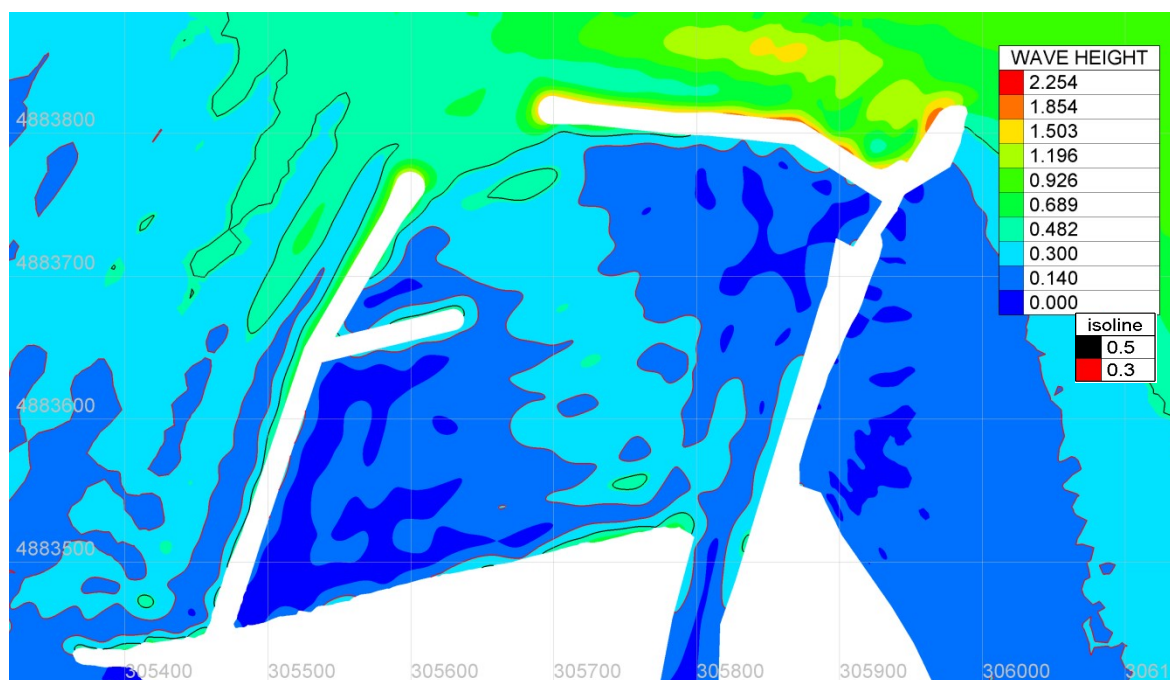


Figura 56 : risultato simulazione onda da NO - scenario *post-operam ipotesi A*, dettaglio dell'area di intervento – altezza onda in m

Onda da N

Questo scenario prevede un'altezza d'onda significativa $H_s = 2.1$ m e periodo di picco $T_p = 12.8$ s, proveniente da $0^\circ N$, discretizzata in frequenza con 5 componenti, con spettro di tipo JONSWAP.

Il risultato della simulazione, in forma di zone di equiagitazione, è riportato in Figura 57 per l'intero dominio di calcolo mentre la Figura 58 e la Figura 59 riportano il dettaglio dell'area di intervento.

Tempo di ritorno 50 anni			
Dir [°]	Hs [m]	Tm [s]	Tp [s]
N (-22.5° ÷ 22.5°)	2.1	5.9	12.8

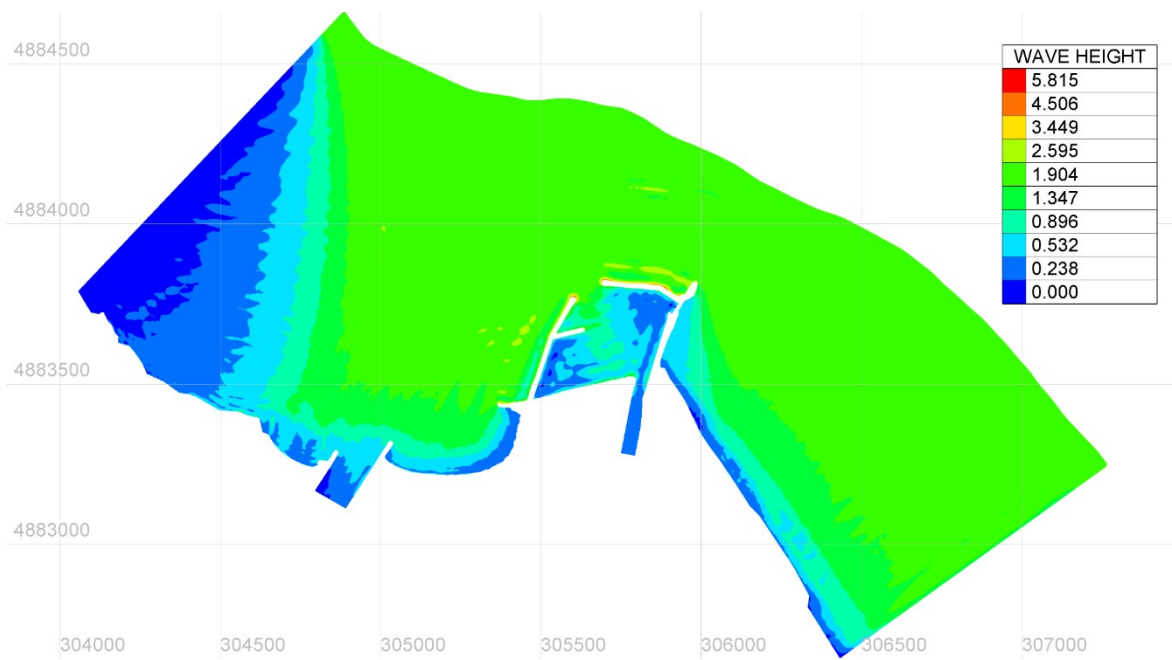


Figura 57: risultato simulazione onda da N - scenario *post-operam ipotesi A* – altezza onda in m

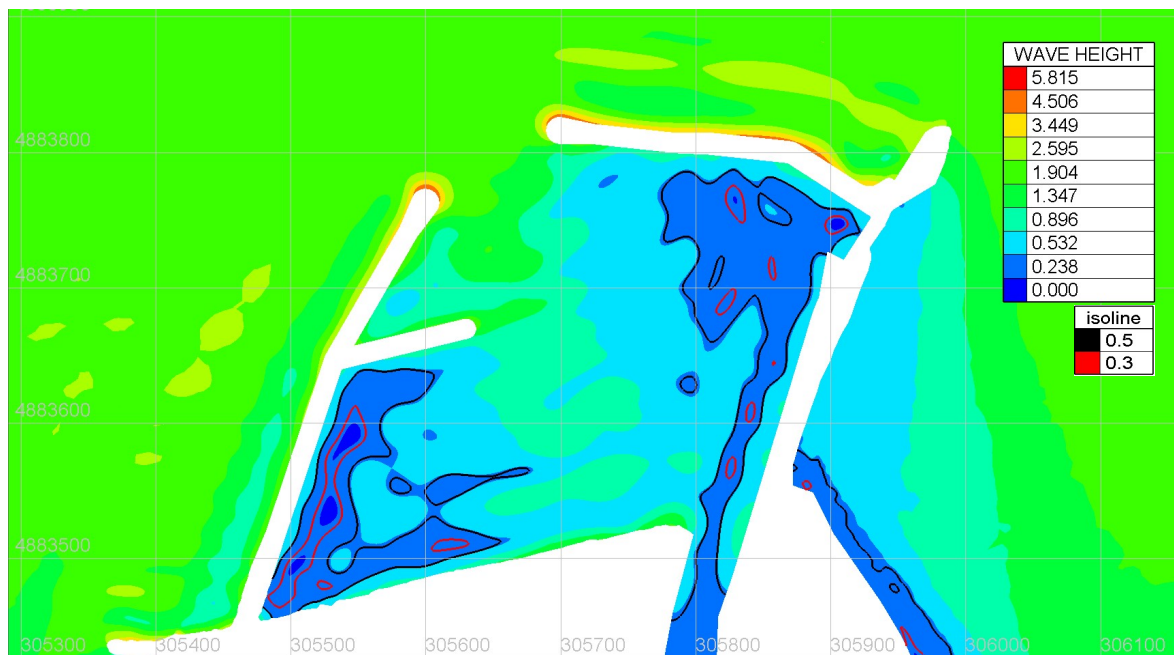


Figura 58 : risultato simulazione onda da N - scenario *post-operam ipotesi A*, dettaglio dell'area di intervento – altezza onda in m

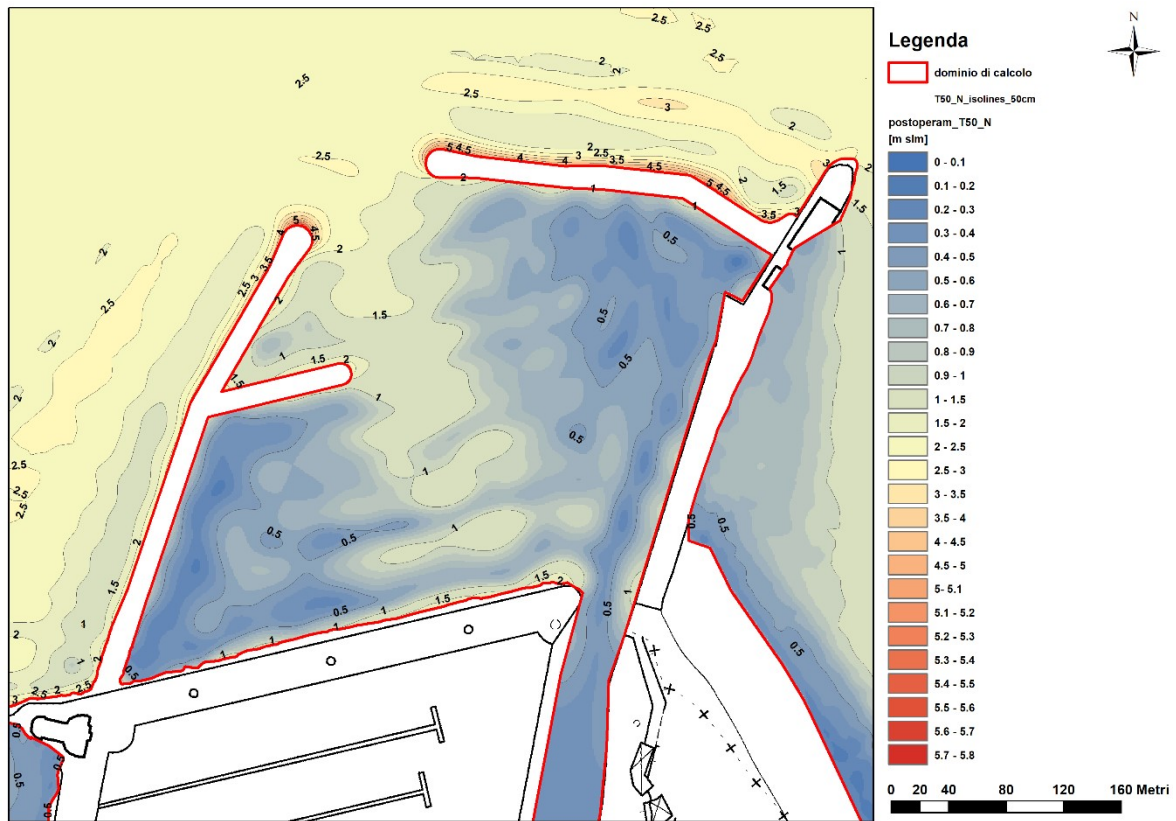


Figura 59: risultato simulazione onda da N - scenario *post-operam ipotesi A*, dettaglio dell'area di intervento – altezza onda in m

Onda da NE

Questo scenario prevede un'altezza d'onda significativa $H_s = 3.6$ m e periodo di picco $T_p = 13$ s, proveniente da $45^\circ N$, discretizzata in frequenza con 5 componenti, con spettro di tipo JONSWAP.

Il risultato della simulazione, in forma di zone di equiagitazione, è riportato in Figura 60 per l'intero dominio di calcolo mentre la Figura 61 e la Figura 62 riportano il dettaglio dell'area di intervento.

Tempo di ritorno 50 anni			
Dir [°]	Hs [m]	Tm [s]	Tp [s]
N-E ($22.5^\circ \div 67.5^\circ$)	3.6	8.1	13.0

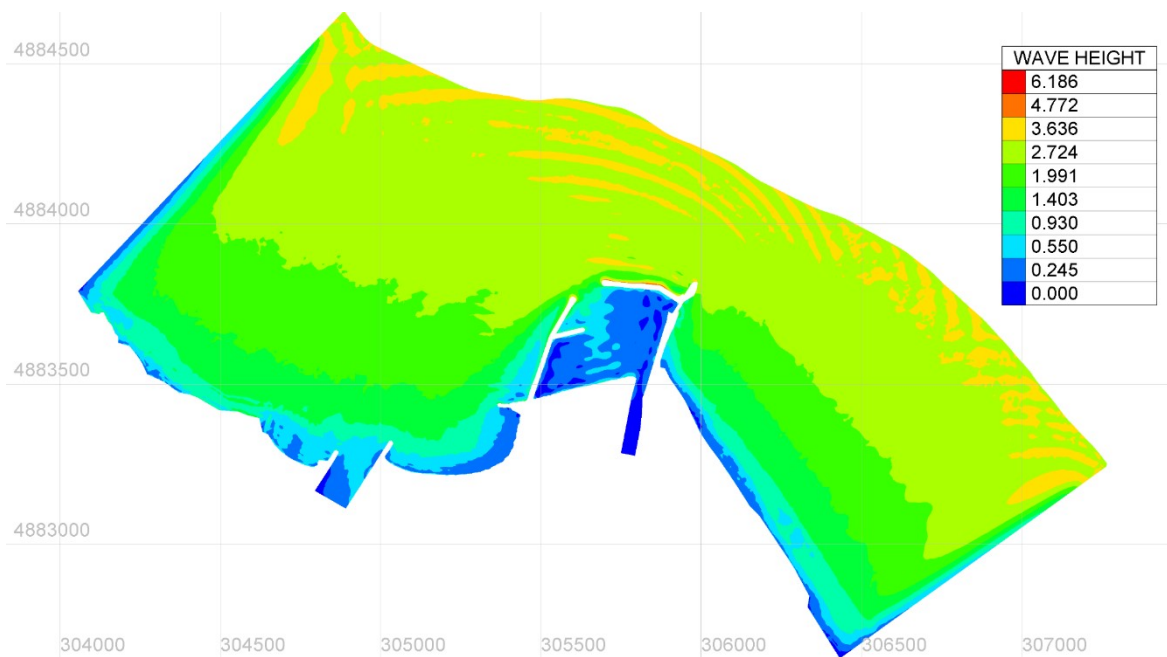


Figura 60: risultato simulazione onda da NE - scenario *post-operam ipotesi A* – altezza onda in m

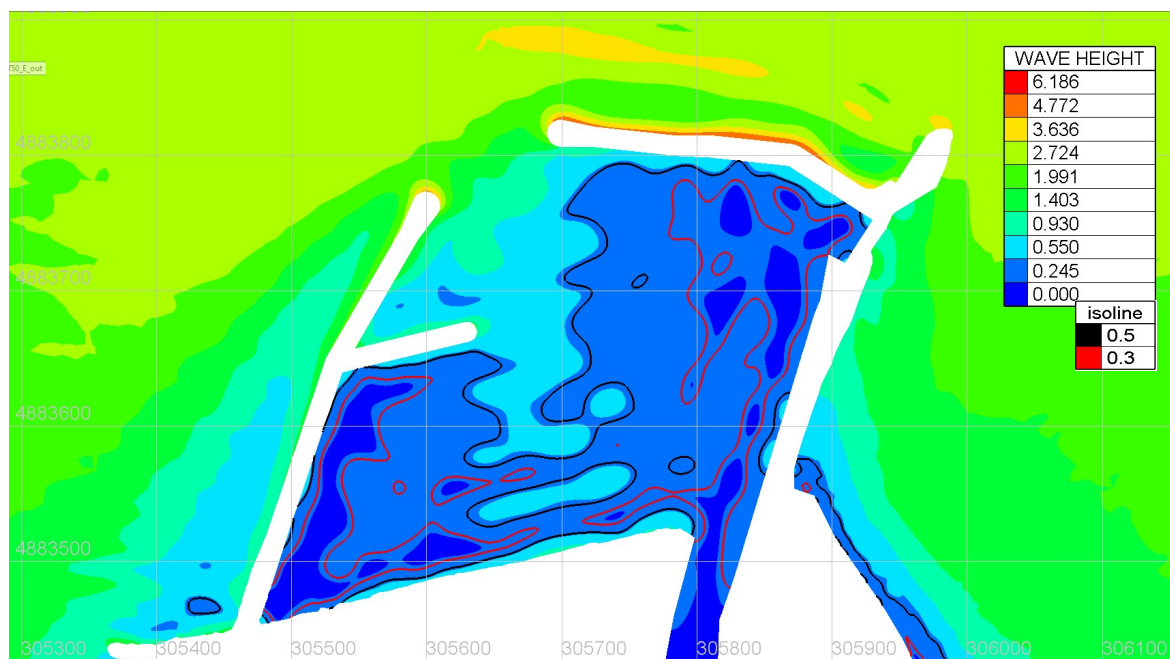


Figura 61: risultato simulazione onda da NE - scenario *post-operam ipotesi A*, dettaglio dell'area di intervento – altezza onda in m

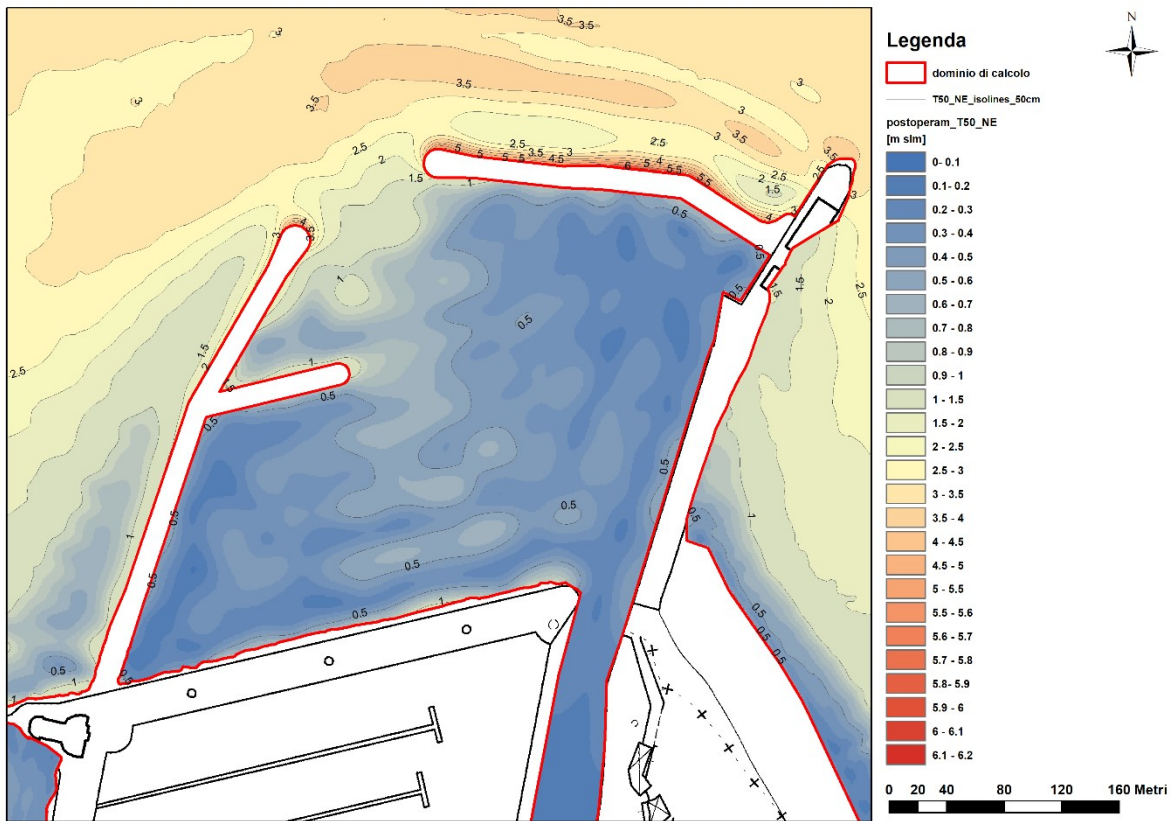


Figura 62: risultato simulazione onda da NE - scenario *post-operam ipotesi A*, dettaglio dell'area di intervento – altezza onda in m

Onda da E

Questo scenario prevede un'altezza d'onda significativa $H_s = 3.1$ m e periodo di picco $T_p = 14$ s, proveniente da $90^\circ N$, discretizzata in frequenza con 5 componenti, con spettro di tipo JONSWAP.

Il risultato della simulazione, in forma di zone di equiagitazione, è riportato in Figura 63 per l'intero dominio di calcolo mentre la Figura 64 e la Figura 65 riportano il dettaglio dell'area di intervento.

Tempo di ritorno 50 anni			
Dir [°]	Hs [m]	Tm [s]	Tp [s]
E ($67.5^\circ \div 112.5^\circ$)	3.1	9.9	14.0

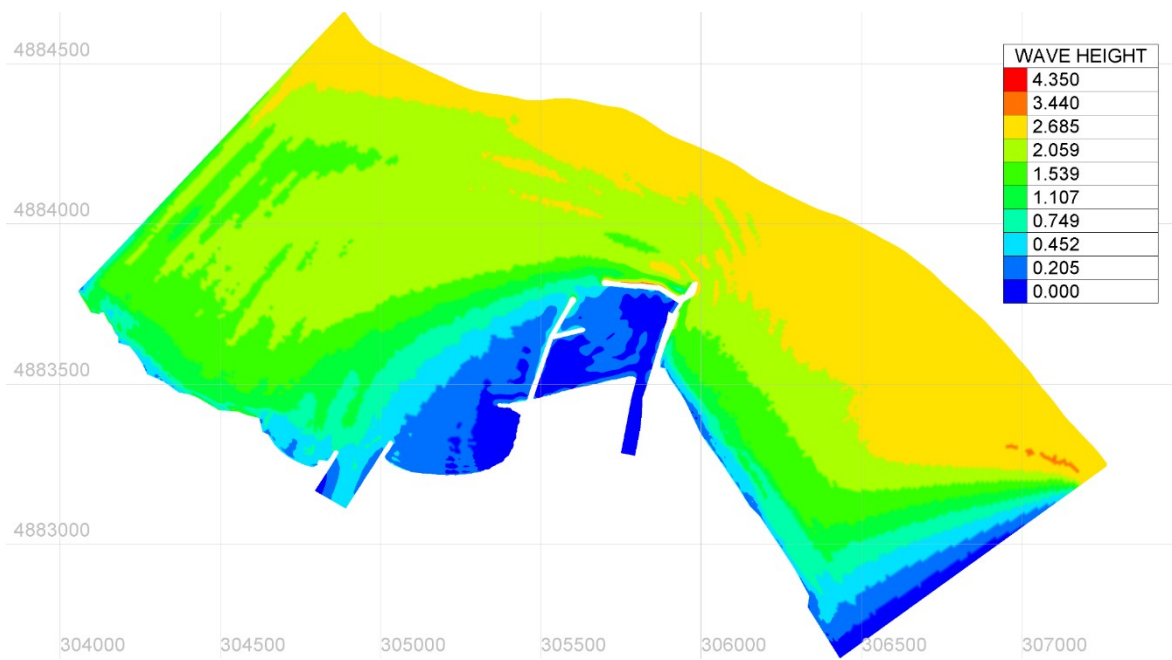


Figura 63: risultato simulazione onda da E - scenario *post-operam ipotesi A* – altezza onda in m

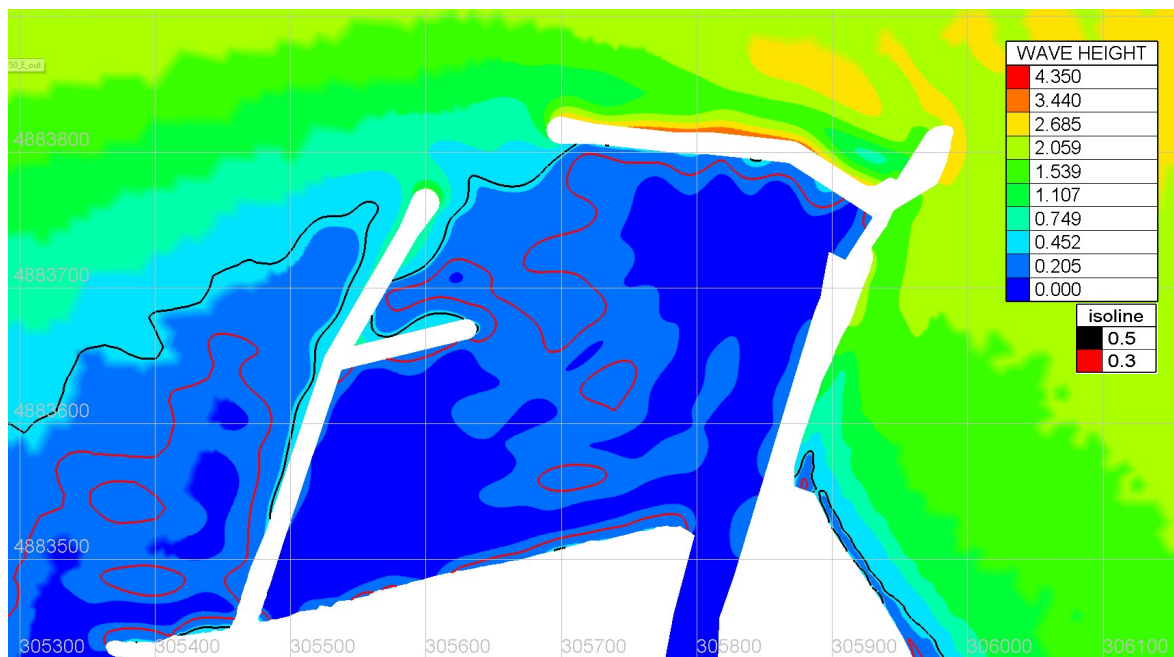


Figura 64: risultato simulazione onda da E - scenario *post-operam ipotesi A*, dettaglio dell'area di intervento – altezza onda in m

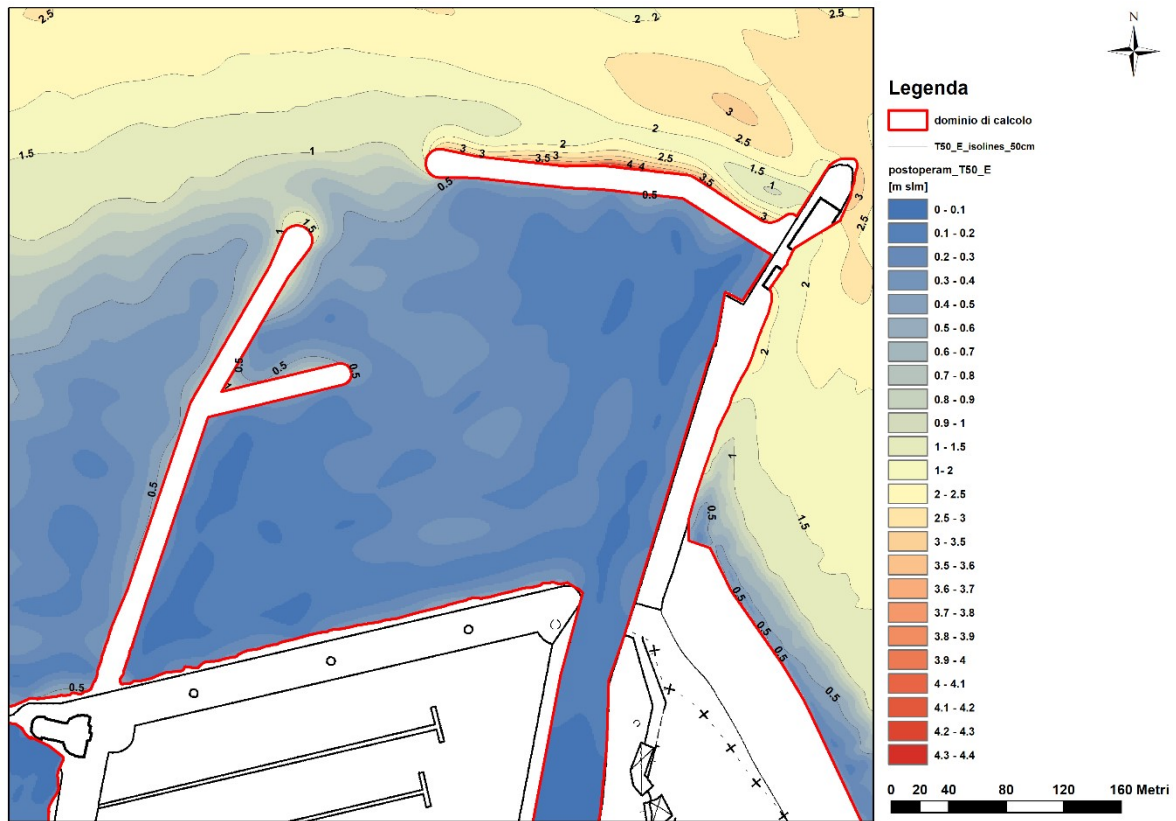


Figura 65: risultato simulazione onda da E - scenario *post-operam ipotesi A*, dettaglio dell'area di intervento – altezza onda in m

Onda da SE

Questo scenario prevede un'altezza d'onda significativa $H_s = 1.0$ m e periodo di picco $T_p = 13.3$ s, proveniente da $135^\circ N$, discretizzata in frequenza con 5 componenti, con spettro di tipo JONSWAP.

Il risultato della simulazione, in forma di zone di equiagitazione, è riportato in Figura 66 per l'intero dominio di calcolo mentre la Figura 67 riporta il dettaglio dell'area di intervento.

Tempo di ritorno 50 anni			
Dir [°]	Hs [m]	Tm [s]	Tp [s]
S-E ($112.5^\circ \div 157.5^\circ$)	1.0	6.8	13.3

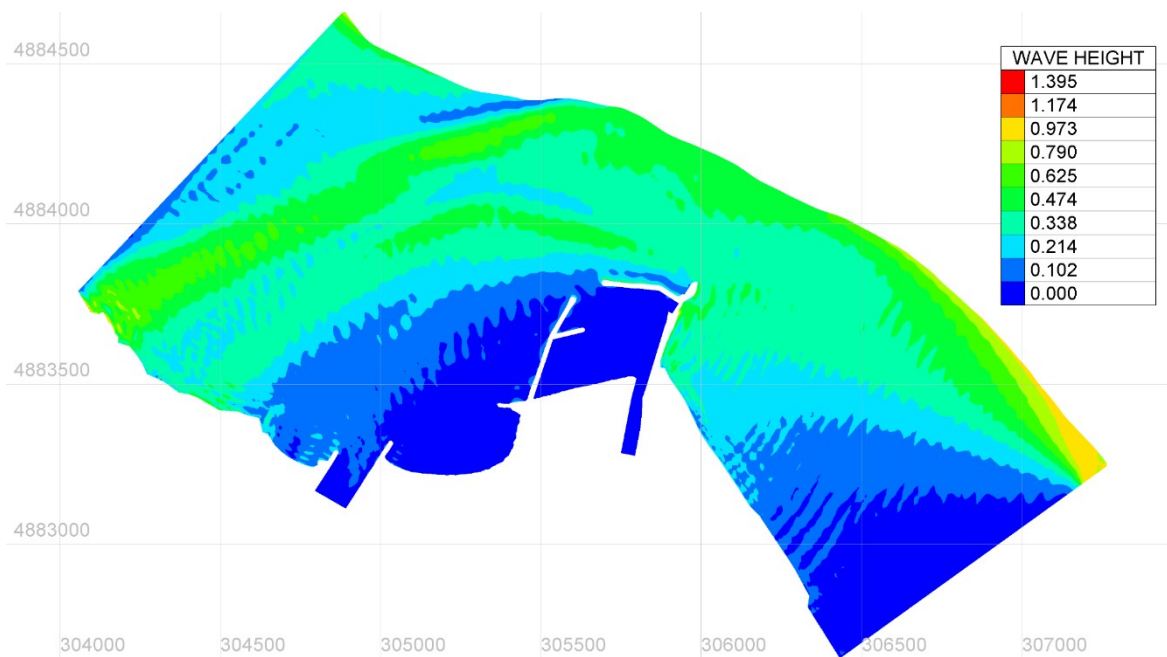


Figura 66: risultato simulazione onda da SE - scenario *post-operam ipotesi A* – altezza onda in m

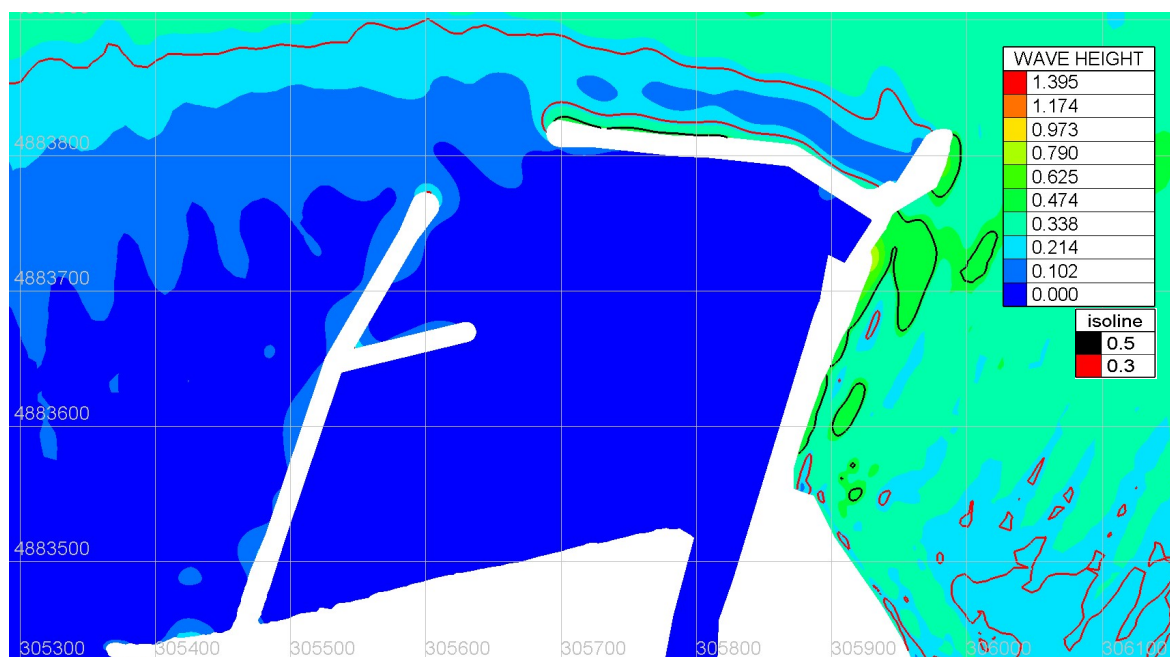


Figura 67: risultato simulazione onda da SE - scenario *post-operam ipotesi A*, dettaglio dell'area di intervento – altezza onda in m

4.8 SCENARIO POST-OPERAM IPOTESI B – TR 5 ANNI

Onda da NO

Questo scenario prevede un'altezza d'onda significativa $H_s = 0.8$ m e periodo di picco $T_p = 8.3$ s, proveniente da $315^\circ N$, discretizzata in frequenza con 5 componenti, con spettro di tipo JONSWAP.

Il risultato della simulazione, in forma di zone di equiagitazione, è riportato in Figura 68 per l'intero dominio di calcolo mentre la Figura 69 riporta il dettaglio dell'area di intervento.

Tempo di ritorno 5 anni			
Dir [°]	Hs [m]	Tm [s]	Tp [s]
N-O ($292.5^\circ \div 337.5^\circ$)	0.8	3.8	8.3

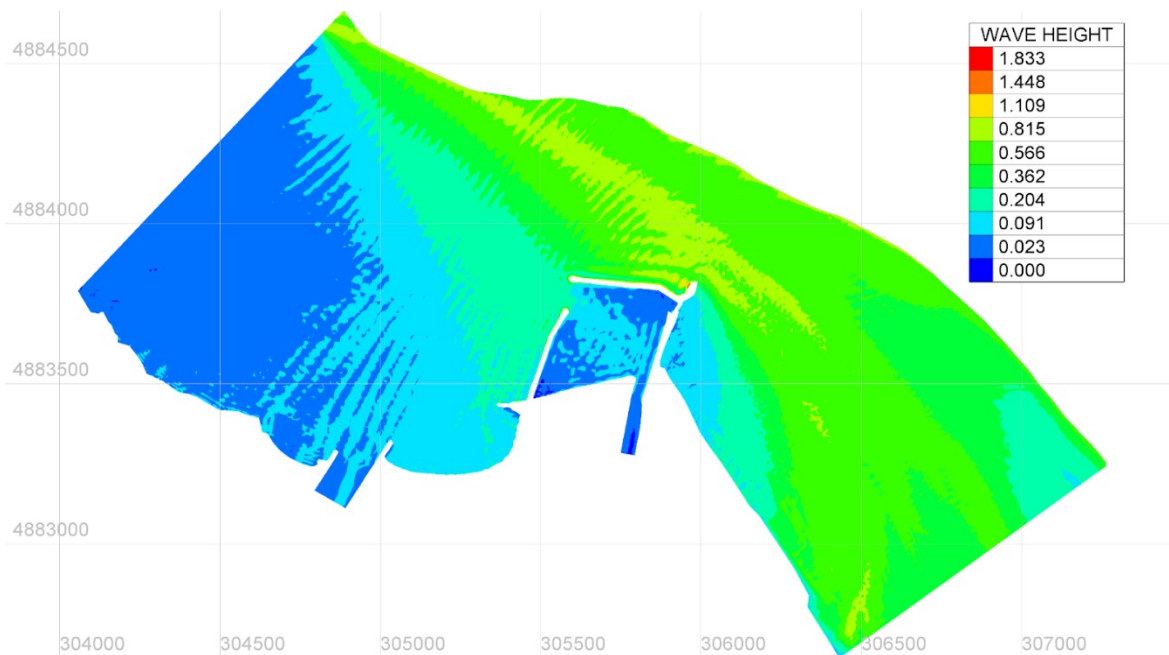


Figura 68: risultato simulazione onda da NO – scenario *post-operam ipotesi B* – altezza onda in m

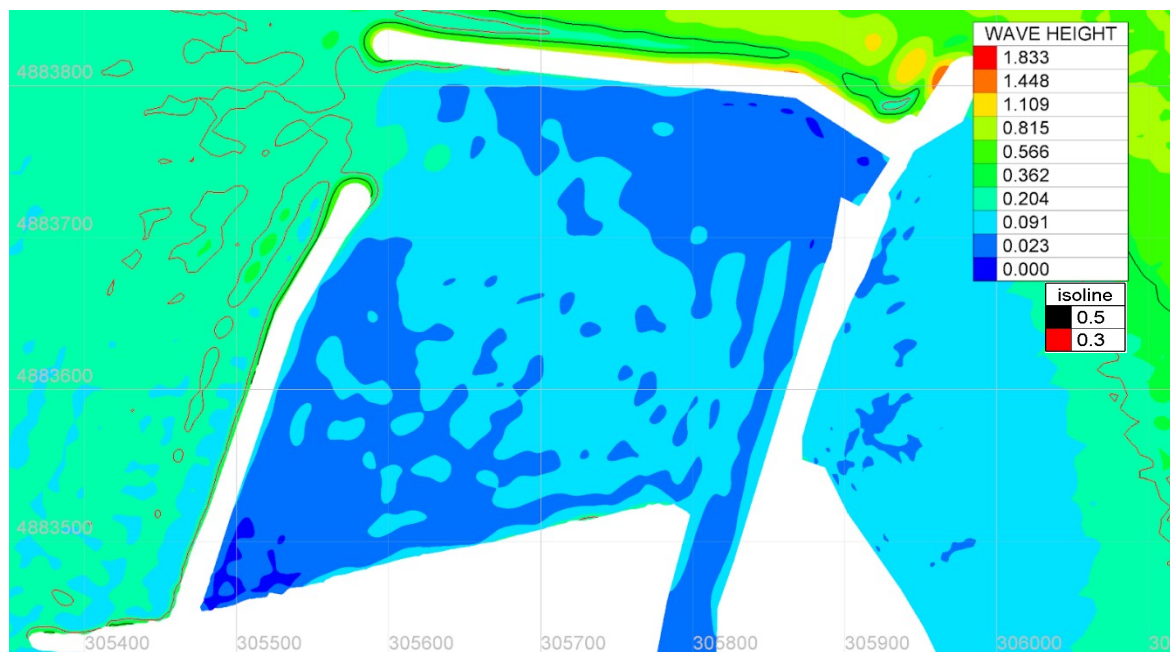


Figura 69: risultato simulazione onda da NO – scenario *post-operam ipotesi B*, dettaglio dell’area di intervento – altezza onda in m

Onda da N

Questo scenario prevede un’altezza d’onda significativa $H_s = 1.5$ m e periodo di picco $T_p = 10.4$ s, proveniente da $0^\circ N$, discretizzata in frequenza con 5 componenti, con spettro di tipo JONSWAP.

Il risultato della simulazione, in forma di zone di equiagitazione, è riportato in Figura 70 per l’intero dominio di calcolo mentre la Figura 71 riporta il dettaglio dell’area di intervento.

Tempo di ritorno 5 anni			
Dir [°]	Hs [m]	Tm [s]	Tp [s]
N (-22.5° ÷ 22.5°)	1.5	5.3	10.4

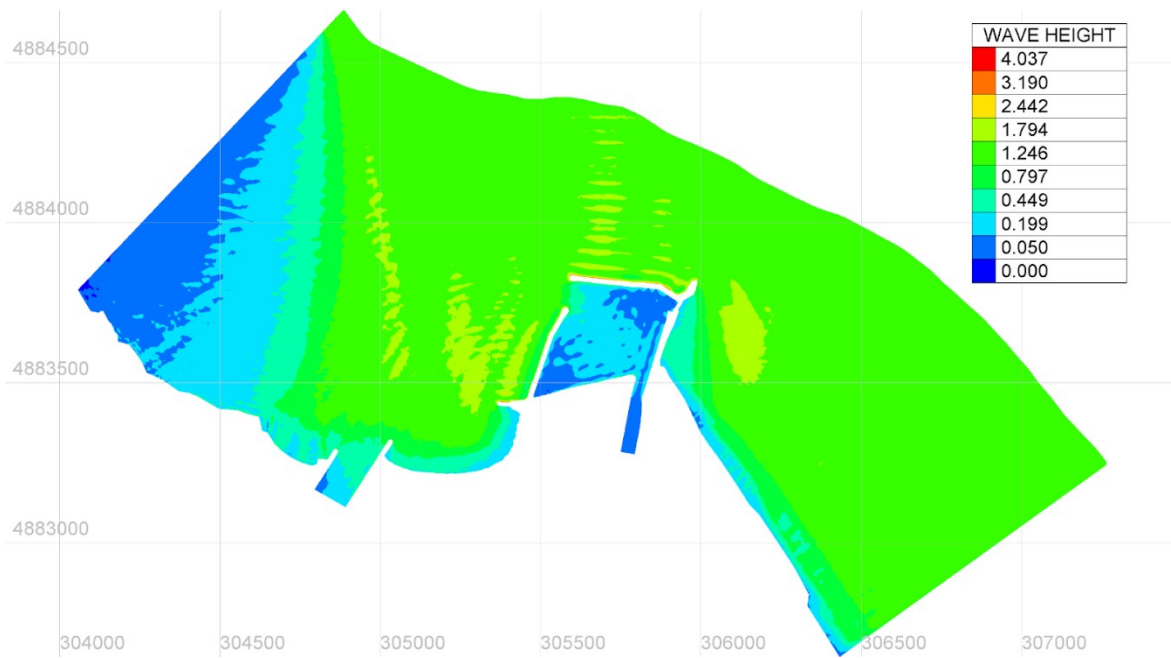


Figura 70: risultato simulazione onda da N – scenario *post-operam ipotesi B* – altezza onda in m

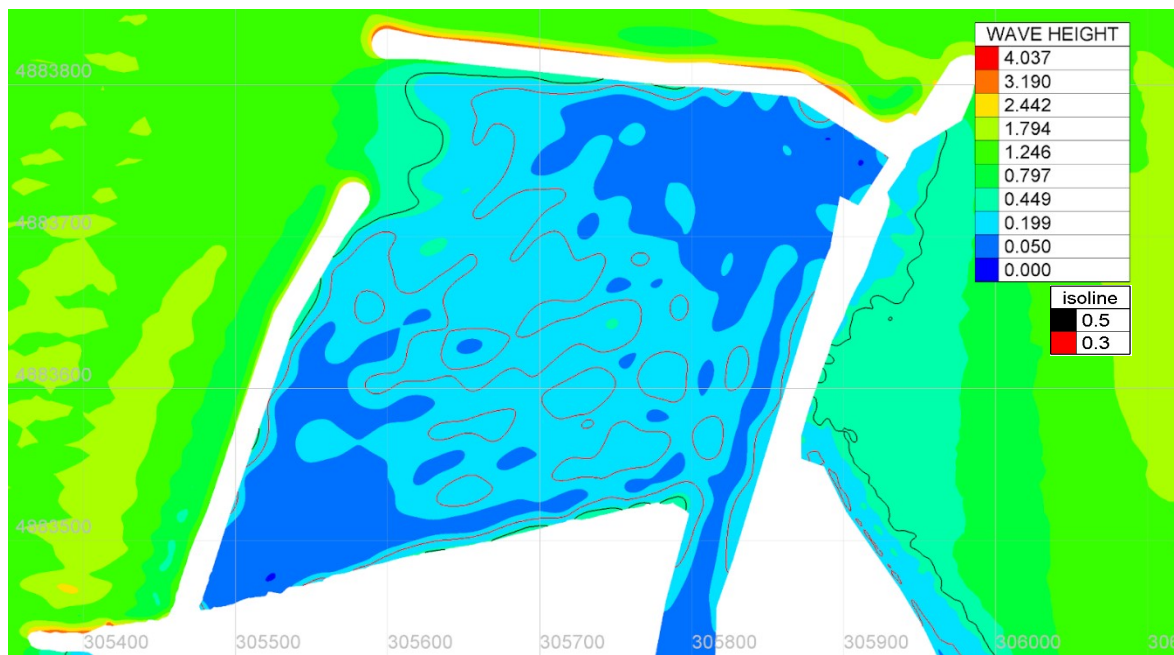


Figura 71: risultato simulazione onda da NO – scenario *post-operam ipotesi B*, dettaglio dell'area di intervento – altezza onda in m

Onda da NE

Questo scenario prevede un'altezza d'onda significativa $H_s = 3.0$ m e periodo di picco $T_p = 11.1$ s, proveniente da $45^\circ N$, discretizzata in frequenza con 5 componenti, con spettro di tipo JONSWAP.

Il risultato della simulazione, in forma di zone di equiagitazione, è riportato in Figura 72 per l'intero dominio di calcolo mentre la Figura 73 riporta il dettaglio dell'area di intervento.

Tempo di ritorno 5 anni			
Dir [°]	Hs [m]	Tm [s]	Tp [s]
N-E (22.5° ÷ 67.5°)	3.0	7.4	11.1

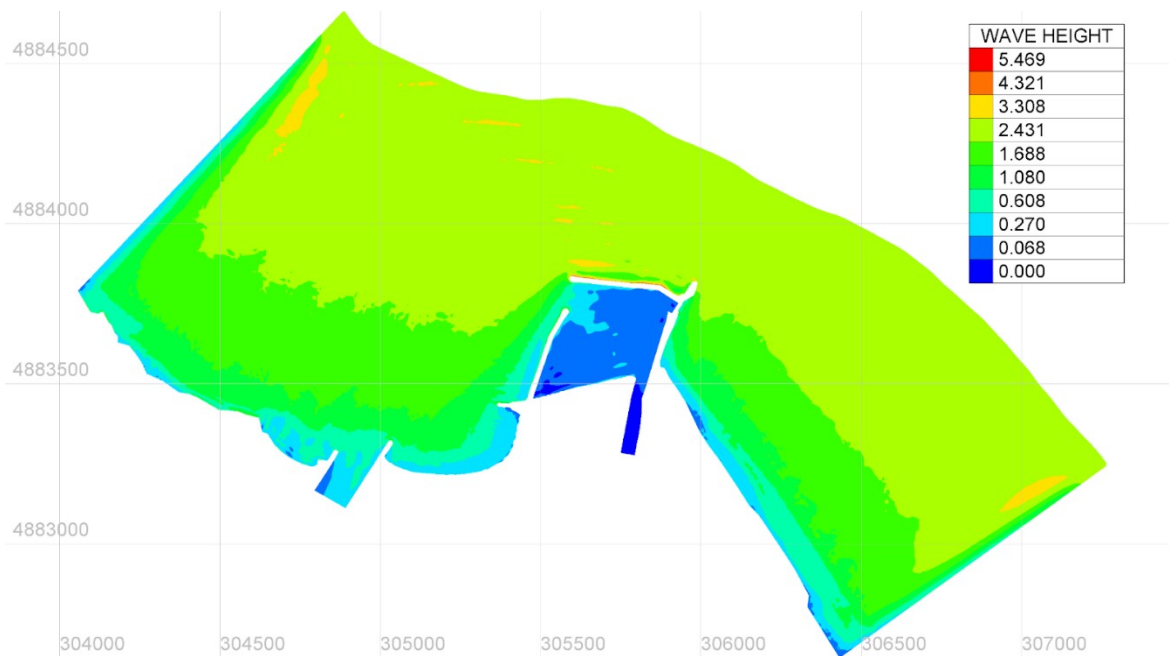


Figura 72: risultato simulazione onda da NE – scenario *post-operam ipotesi B* – altezza onda in m

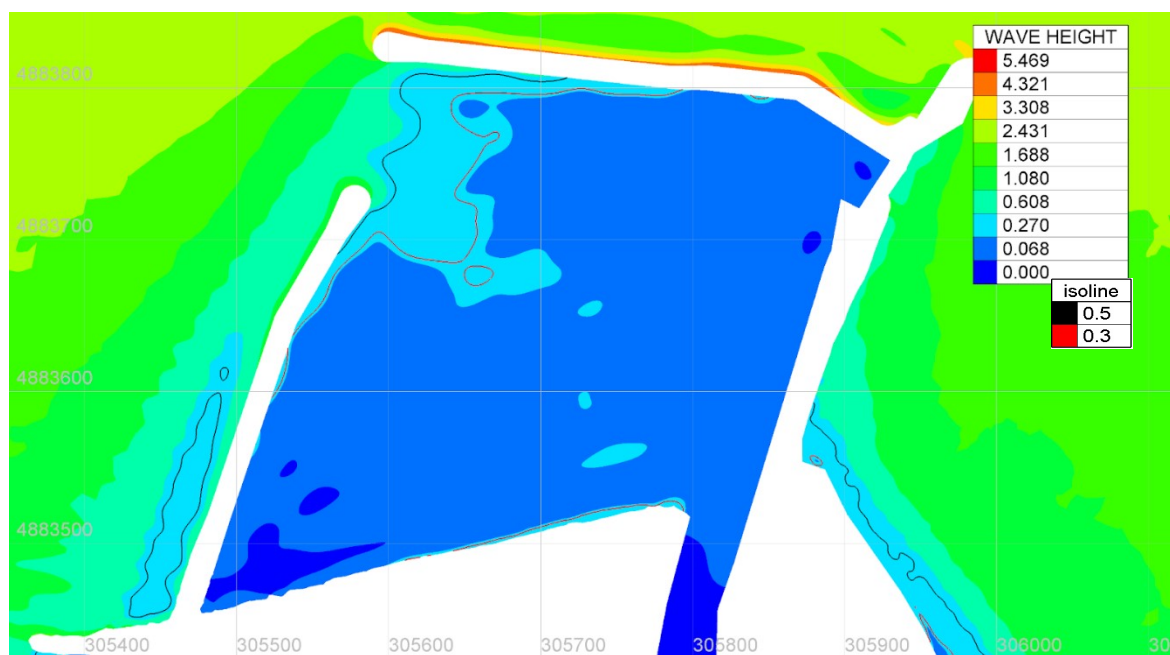


Figura 73: risultato simulazione onda da NE - scenario *post-operam ipotesi B*, dettaglio dell'area di intervento – altezza onda in m

Onda da E

Questo scenario prevede un'altezza d'onda significativa $H_s = 2.3$ m e periodo di picco $T_p = 11.6$ s, proveniente da $90^\circ N$, discretizzata in frequenza con 5 componenti, con spettro di tipo JONSWAP.

Il risultato della simulazione, in forma di zone di equiagitazione, è riportato in Figura 74 per l'intero dominio di calcolo mentre la Figura 75 riporta il dettaglio dell'area di intervento.

Tempo di ritorno 5 anni			
Dir [°]	Hs [m]	Tm [s]	Tp [s]
E ($67.5^\circ \div 112.5^\circ$)	2.3	8.8	11.6

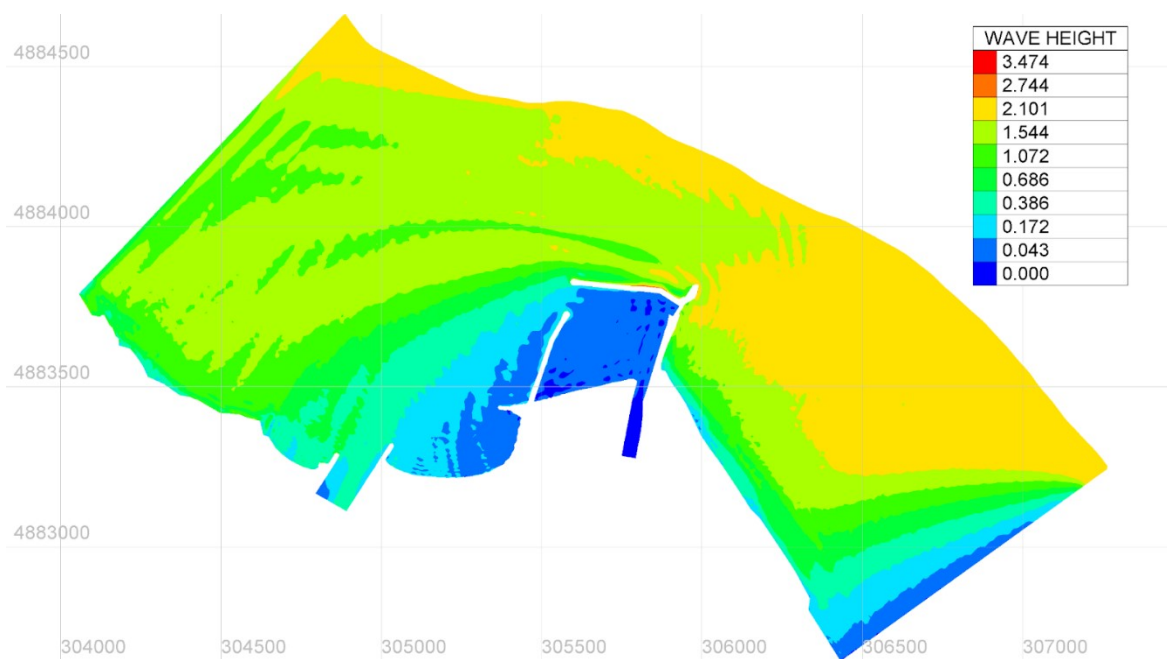


Figura 74: risultato simulazione onda da E - scenario *post-operam ipotesi B* – altezza onda in m

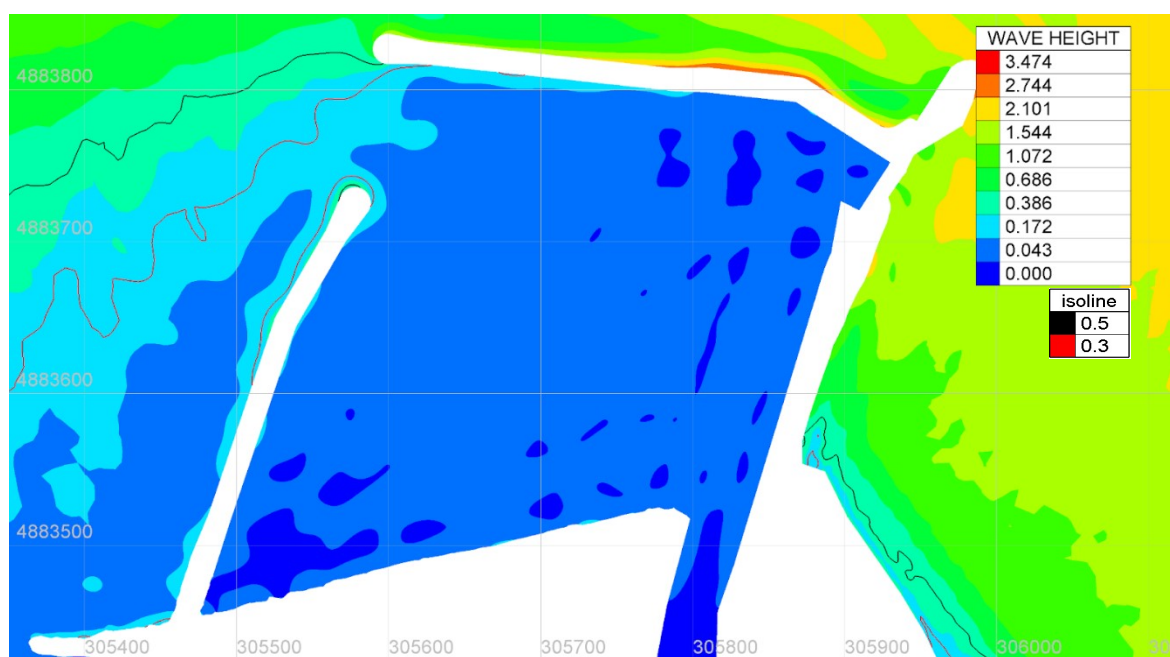


Figura 75: risultato simulazione onda da E - scenario *post-operam ipotesi B*, dettaglio dell'area di intervento – altezza onda in m

Onda da SE

Questo scenario prevede un'altezza d'onda significativa $H_s = 0.7$ m e periodo di picco $T_p = 10.6$ s, proveniente da $135^\circ N$, discretizzata in frequenza con 5 componenti, con spettro di tipo JONSWAP.

Il risultato della simulazione, in forma di zone di equiagitazione, è riportato in Figura 76 per l'intero dominio di calcolo mentre la Figura 77 riporta il dettaglio dell'area di intervento.

Tempo di ritorno 5 anni			
Dir [°]	Hs [m]	Tm [s]	Tp [s]
S-E (112.5° ÷ 157.5°)	0.7	5.6	10.6

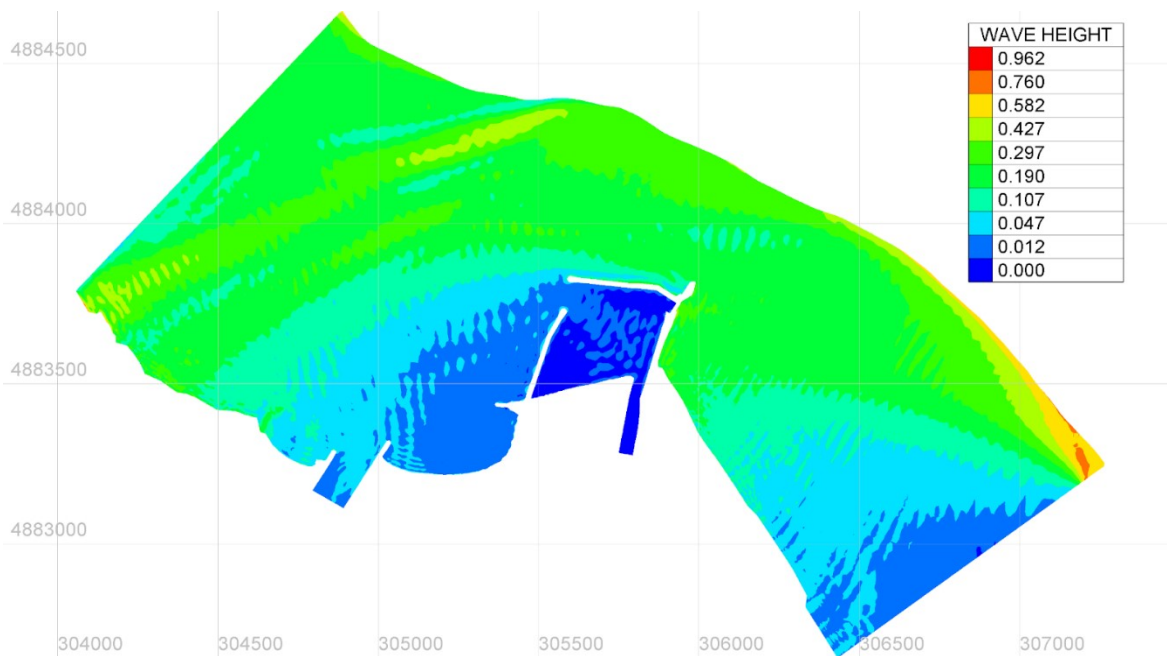


Figura 76: risultato simulazione onda da SE – scenario *post-operam ipotesi B* – altezza onda in m

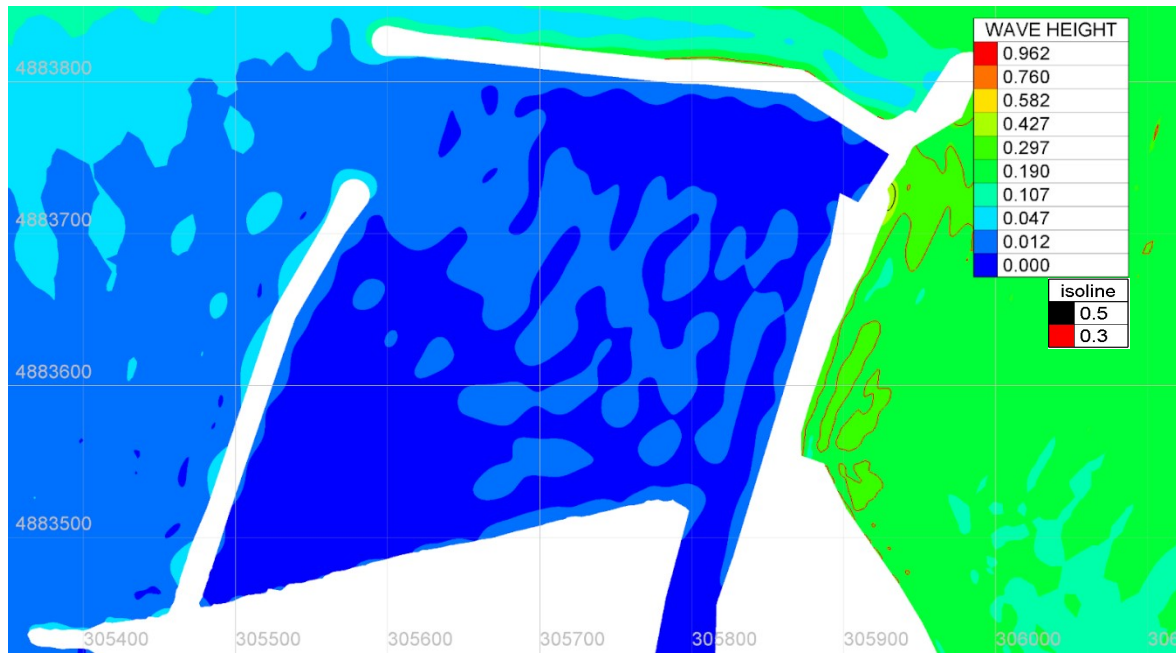


Figura 77: risultato simulazione onda da SE - scenario *post-operam ipotesi B*, dettaglio dell'area di intervento – altezza onda in m

4.9 SCENARIO *POST-OPERAM IPOTESI B* – TR 10 ANNI

Onda da NO

Questo scenario prevede un'altezza d'onda significativa $H_s = 0.9$ m e periodo di picco $T_p = 9.1$ s, proveniente da $315^\circ N$, discretizzata in frequenza con 5 componenti, con spettro di tipo JONSWAP.

Il risultato della simulazione, in forma di zone di equiagitazione, è riportato in Figura 78 per l'intero dominio di calcolo mentre la Figura 79 riporta il dettaglio dell'area di intervento.

Tempo di ritorno 10 anni			
Dir [°]	Hs [m]	Tm [s]	Tp [s]
N-O ($292.5^\circ \div 337.5^\circ$)	0.9	4.0	9.1

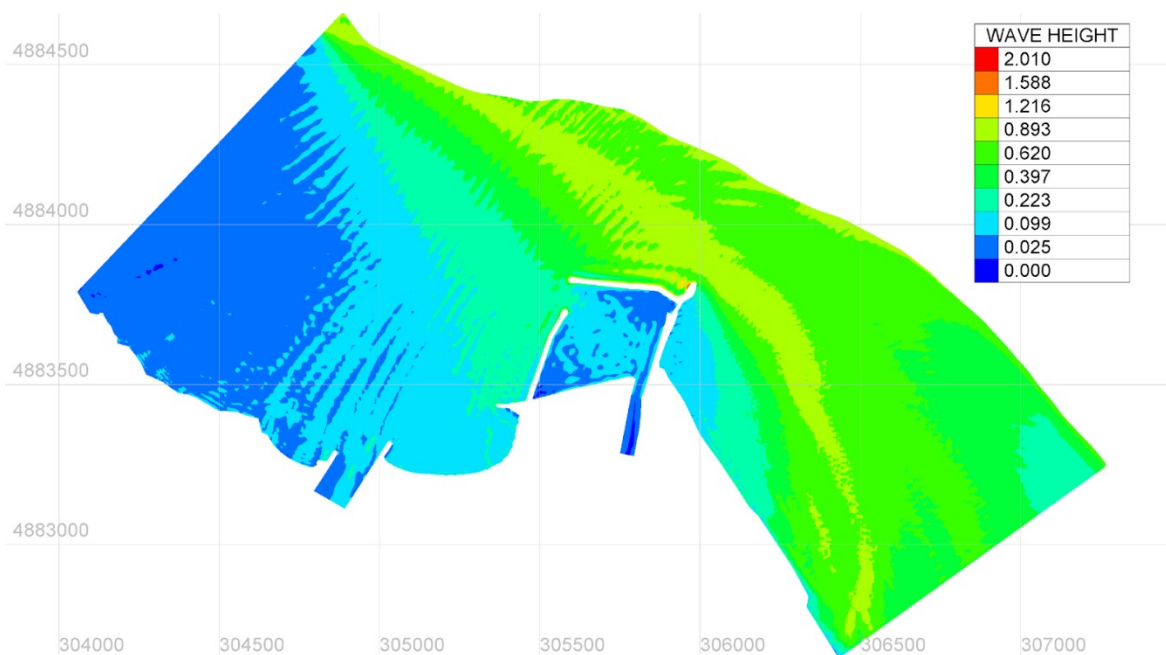


Figura 78: risultato simulazione onda da NO - scenario *post-operam ipotesi B* – altezza onda in m

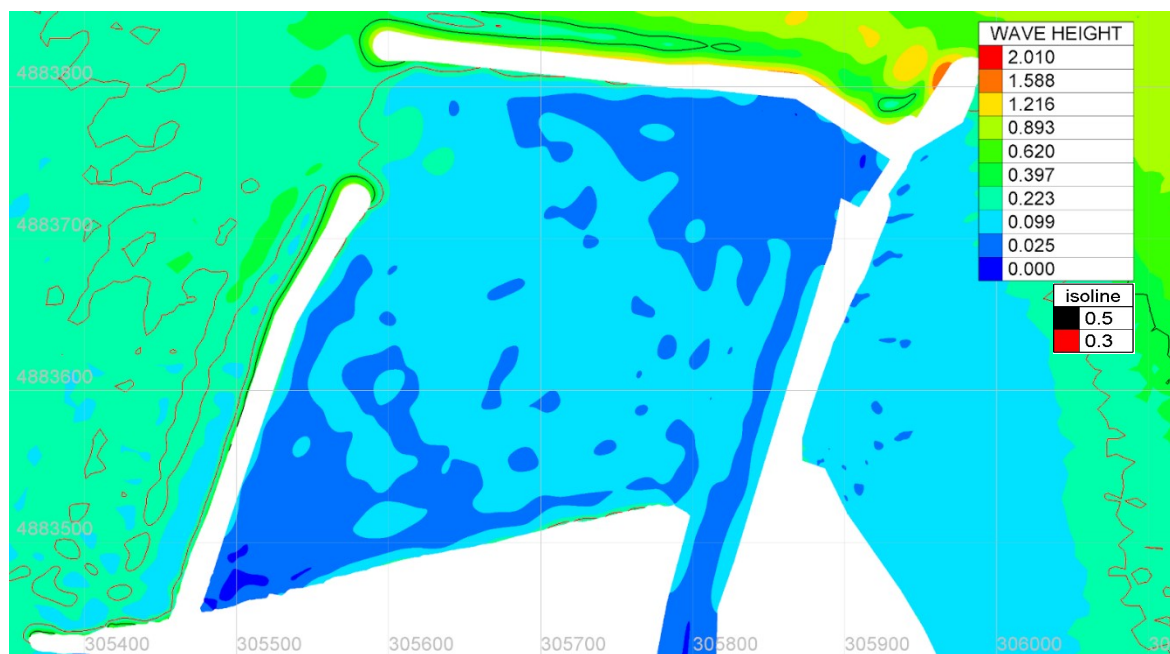


Figura 79: risultato simulazione onda da NO - scenario *post-operam ipotesi A*, dettaglio dell'area di intervento – altezza onda in m

Onda da N

Questo scenario prevede un'altezza d'onda significativa $H_s = 0.9$ m e periodo di picco $T_p = 9.1$ s, proveniente da $0^\circ N$, discretizzata in frequenza con 5 componenti, con spettro di tipo JONSWAP.

Il risultato della simulazione, in forma di zone di equiagitazione, è riportato in Figura 80 per l'intero dominio di calcolo mentre la Figura 81 riporta il dettaglio dell'area di intervento.

Tempo di ritorno 10 anni			
Dir [°]	Hs [m]	Tm [s]	Tp [s]
N (-22.5° ÷ 22.5°)	0.9	4.0	9.1

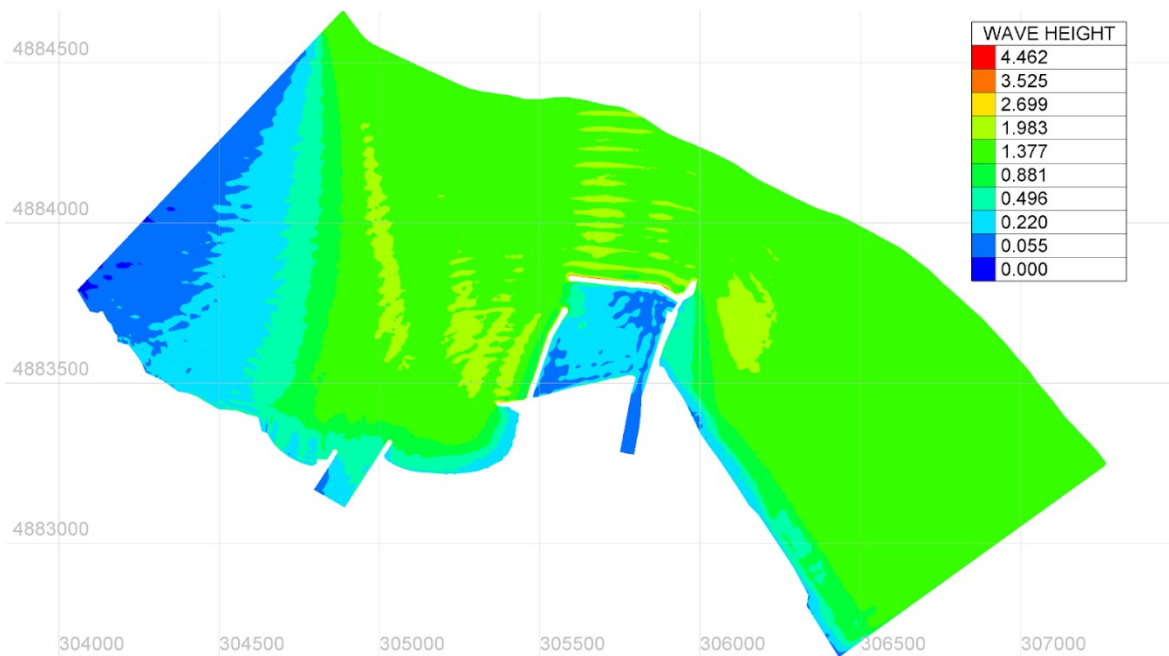


Figura 80: risultato simulazione onda da N - scenario *post-operam ipotesi B* – altezza onda in m

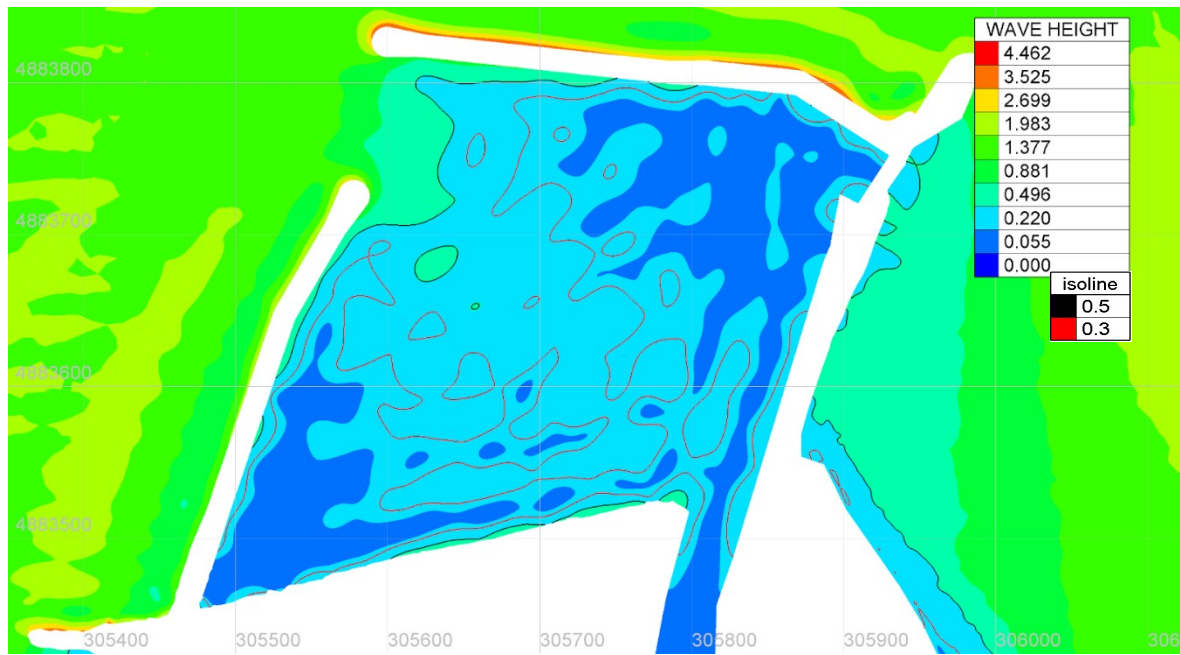


Figura 81 : risultato simulazione onda da N - scenario *post-operam ipotesi B*, dettaglio dell'area di intervento – altezza onda in m

Onda da NE

Questo scenario prevede un'altezza d'onda significativa $H_s = 3.2$ m e periodo di picco $T_p = 11.7$ s, proveniente da $45^\circ N$, discretizzata in frequenza con 5 componenti, con spettro di tipo JONSWAP.

Il risultato della simulazione, in forma di zone di equiagitazione, è riportato in Figura 82 per l'intero dominio di calcolo mentre la Figura 83 riporta il dettaglio dell'area di intervento.

Tempo di ritorno 10 anni			
Dir [°]	Hs [m]	Tm [s]	Tp [s]
N-E ($22.5^\circ \div 67.5^\circ$)	3.2	7.6	11.7

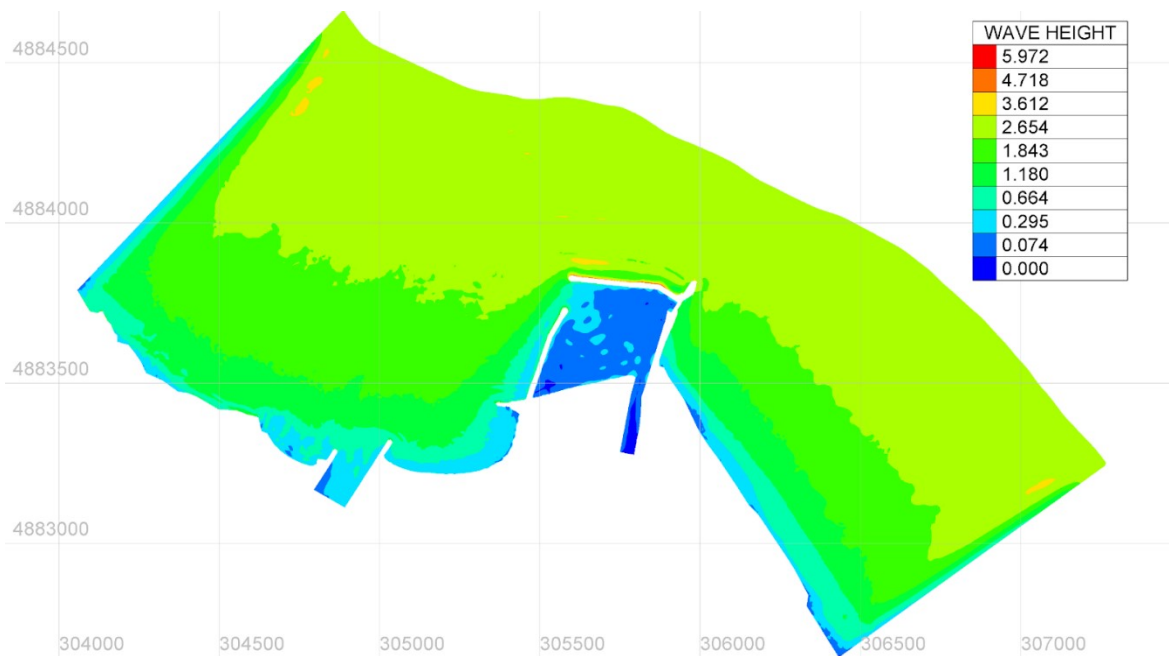


Figura 82: risultato simulazione onda da NE - scenario *post-operam ipotesi B* – altezza onda in m

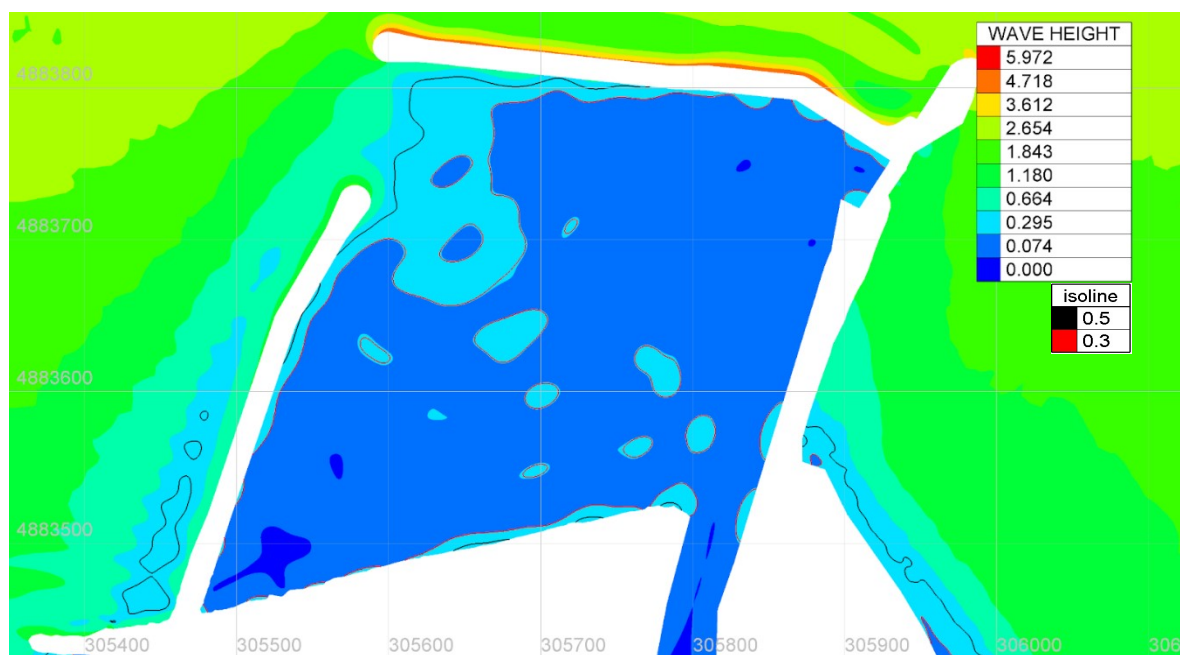


Figura 83 : risultato simulazione onda da NE - scenario *post-operam ipotesi B*, dettaglio dell'area di intervento – altezza onda in m

Onda da E

Questo scenario prevede un'altezza d'onda significativa $H_s = 2.5$ m e periodo di picco $T_p = 12.3$ s, proveniente da $90^\circ N$, discretizzata in frequenza con 5 componenti, con spettro di tipo JONSWAP.

Il risultato della simulazione, in forma di zone di equiagitazione, è riportato in Figura 84 per l'intero dominio di calcolo mentre la Figura 85 riporta il dettaglio dell'area di intervento.

Tempo di ritorno 10 anni			
Dir [°]	Hs [m]	Tm [s]	Tp [s]
E ($67.5^\circ \div 112.5^\circ$)	2.5	9.1	12.3

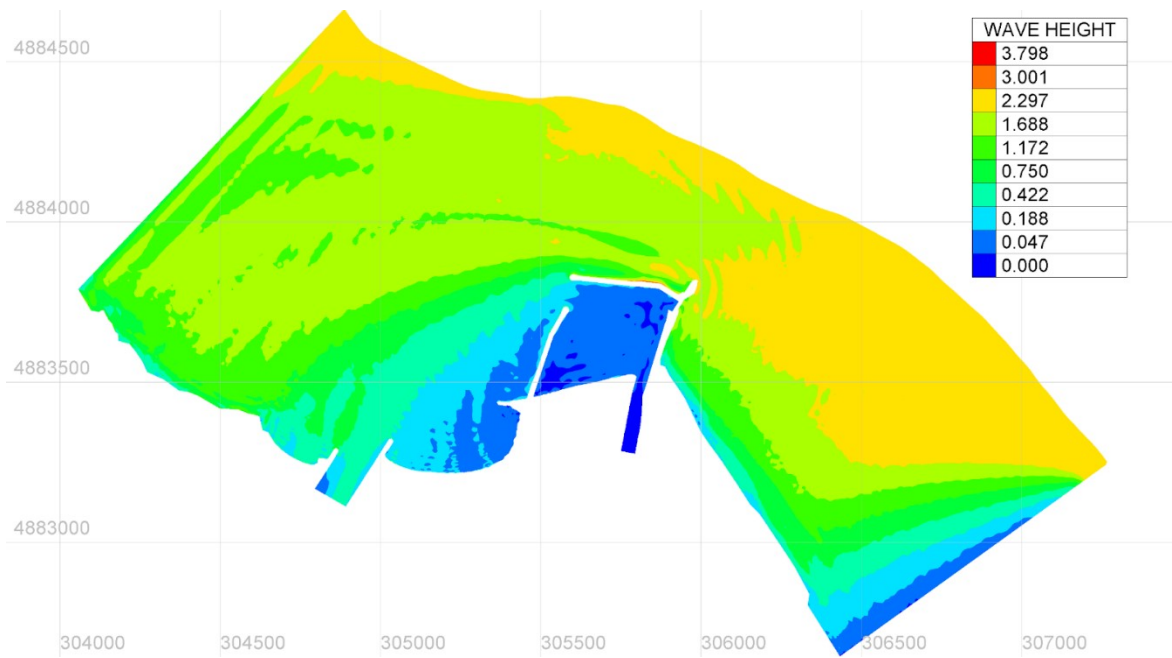


Figura 84: risultato simulazione onda da E - scenario *post-operam ipotesi B* – altezza onda in m

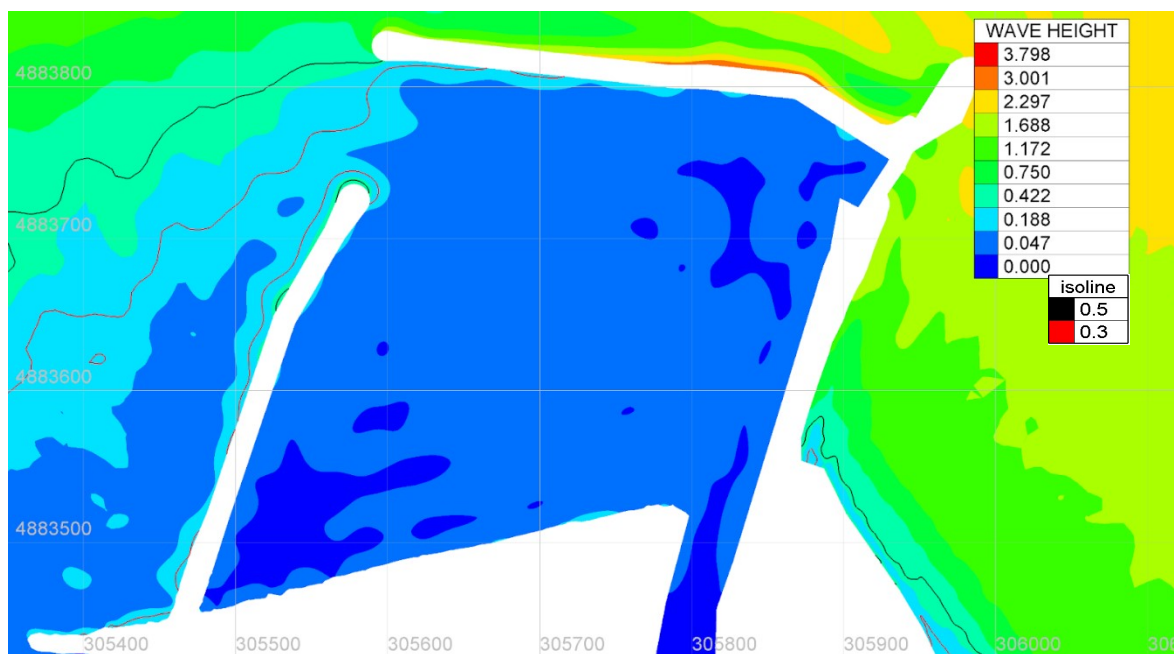


Figura 85: risultato simulazione onda da E - scenario *post-operam ipotesi B*, dettaglio dell'area di intervento – altezza onda in m

Onda da SE

Questo scenario prevede un'altezza d'onda significativa $H_s = 0.8$ m e periodo di picco $T_p = 11.4$ s, proveniente da $135^\circ N$, discretizzata in frequenza con 5 componenti, con spettro di tipo JONSWAP.

Il risultato della simulazione, in forma di zone di equiagitazione, è riportato in Figura 86 per l'intero dominio di calcolo mentre la Figura 87 riporta il dettaglio dell'area di intervento.

Tempo di ritorno 10 anni			
Dir [°]	Hs [m]	Tm [s]	Tp [s]
S-E ($112.5^\circ \div 157.5^\circ$)	0.8	6.0	11.4

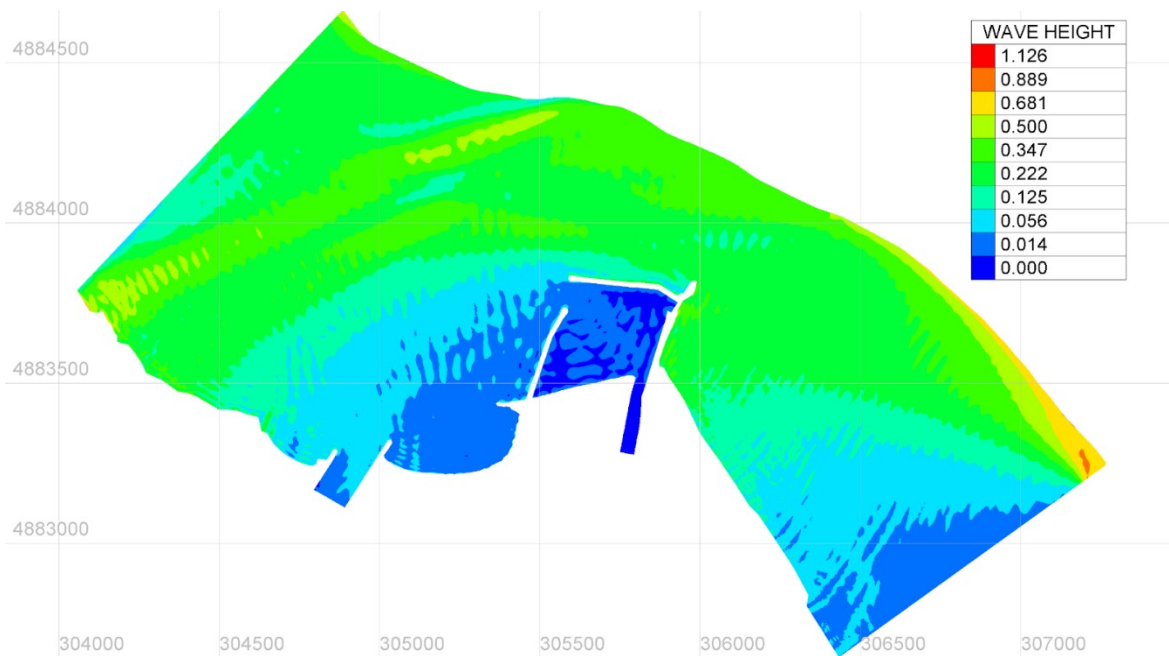


Figura 86: risultato simulazione onda da SE - scenario *post-operam ipotesi B* – altezza onda in m

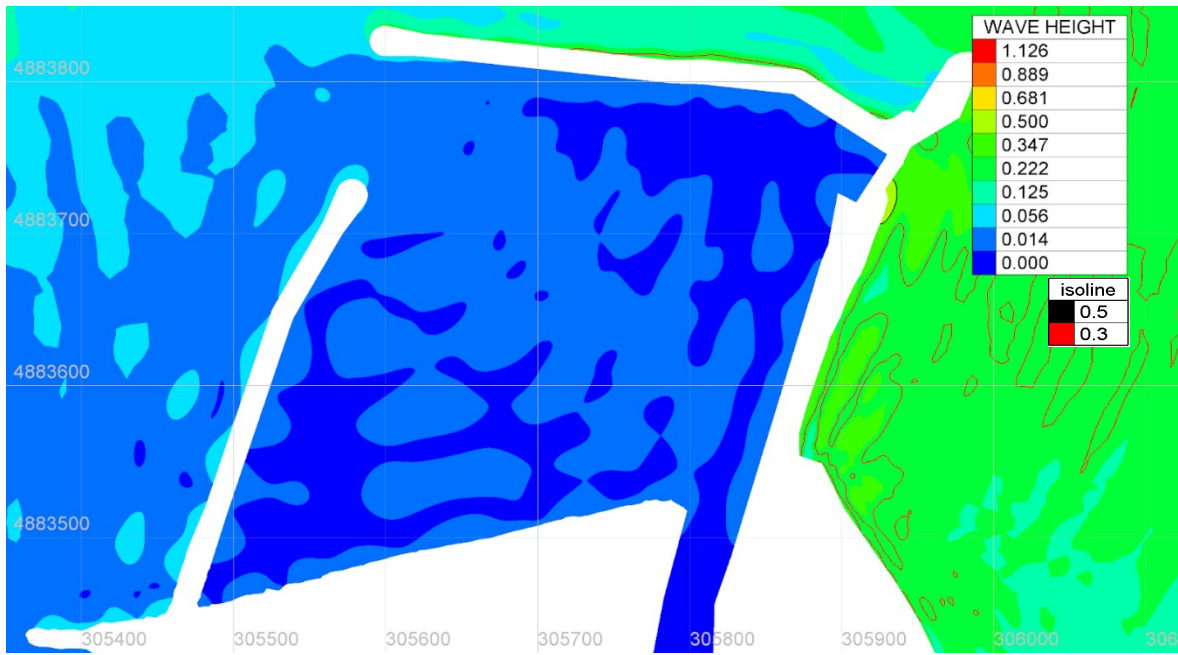


Figura 87 : risultato simulazione onda da SE - scenario *post-operam ipotesi B*, dettaglio dell'area di intervento – altezza onda in m

4.10 SCENARIO *POST-OPERAM* IPOTESI B – TR 50 ANNI

Onda da NO

Questo scenario prevede un'altezza d'onda significativa $H_s = 1.0$ m e periodo di picco $T_p = 11$ s, proveniente da 315° N, discretizzata in frequenza con 5 componenti, con spettro di tipo JONSWAP.

Il risultato della simulazione, in forma di zone di equiagitazione, è riportato in Figura 88 per l'intero dominio di calcolo mentre la Figura 89 riporta il dettaglio dell'area di intervento.

Tempo di ritorno 50 anni			
Dir [°]	Hs [m]	Tm [s]	Tp [s]
N-O ($292.5^\circ \div 337.5^\circ$)	1.0	4.5	11.0

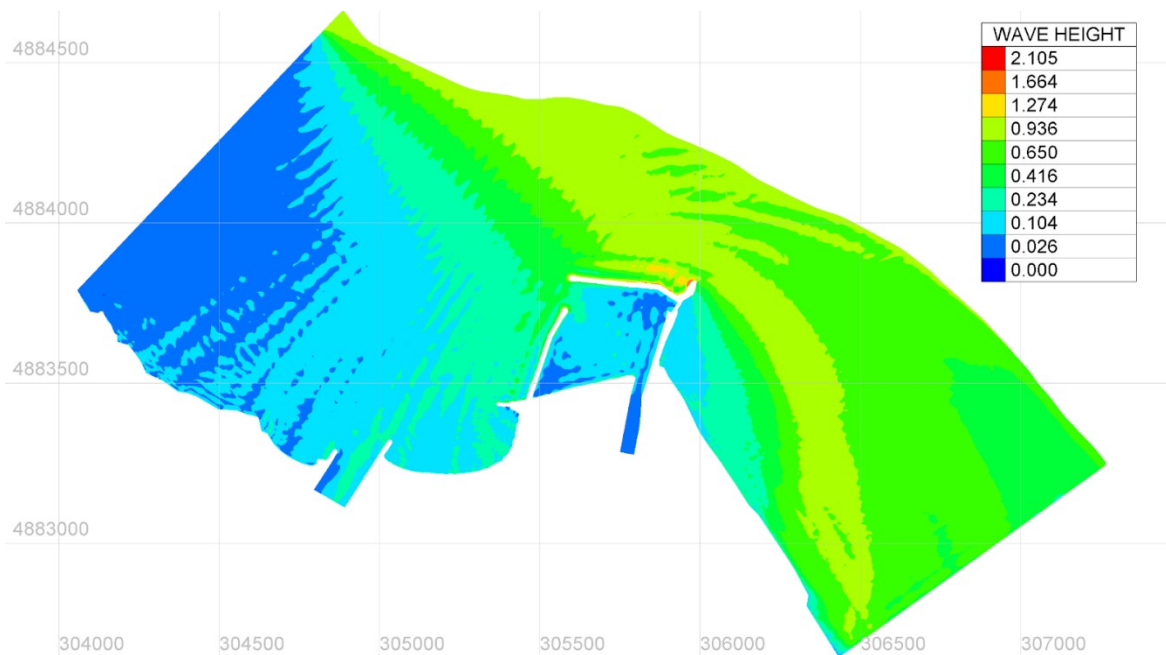


Figura 88: risultato simulazione onda da NO - scenario *post-operam ipotesi B* – altezza onda in m

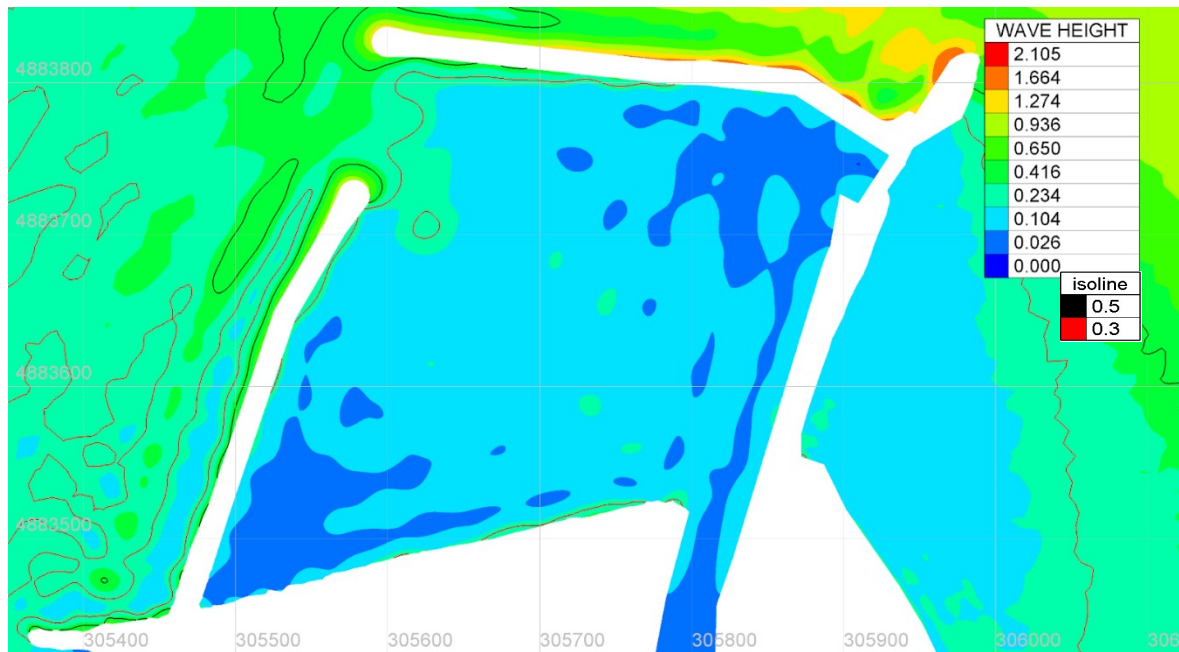


Figura 89 : risultato simulazione onda da NO - scenario *post-operam ipotesi B*, dettaglio dell'area di intervento – altezza onda in m

Onda da N

Questo scenario prevede un'altezza d'onda significativa $H_s = 2.1$ m e periodo di picco $T_p = 12.8$ s, proveniente da $0^\circ N$, discretizzata in frequenza con 5 componenti, con spettro di tipo JONSWAP.

Il risultato della simulazione, in forma di zone di equiagitazione, è riportato in Figura 90 per l'intero dominio di calcolo mentre la Figura 91 e la Figura 92 riportano il dettaglio dell'area di intervento.

Tempo di ritorno 50 anni			
Dir [°]	Hs [m]	Tm [s]	Tp [s]
N (-22.5° ÷ 22.5°)	2.1	5.9	12.8

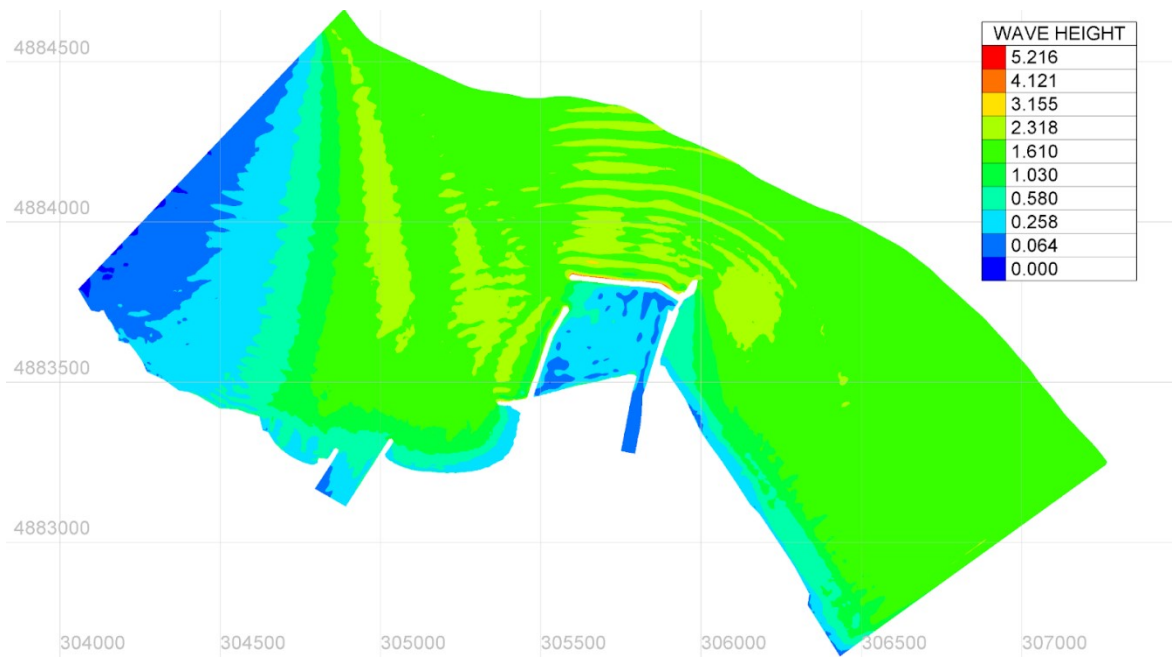


Figura 90: risultato simulazione onda da N - scenario *post-operam ipotesi B* – altezza onda in m

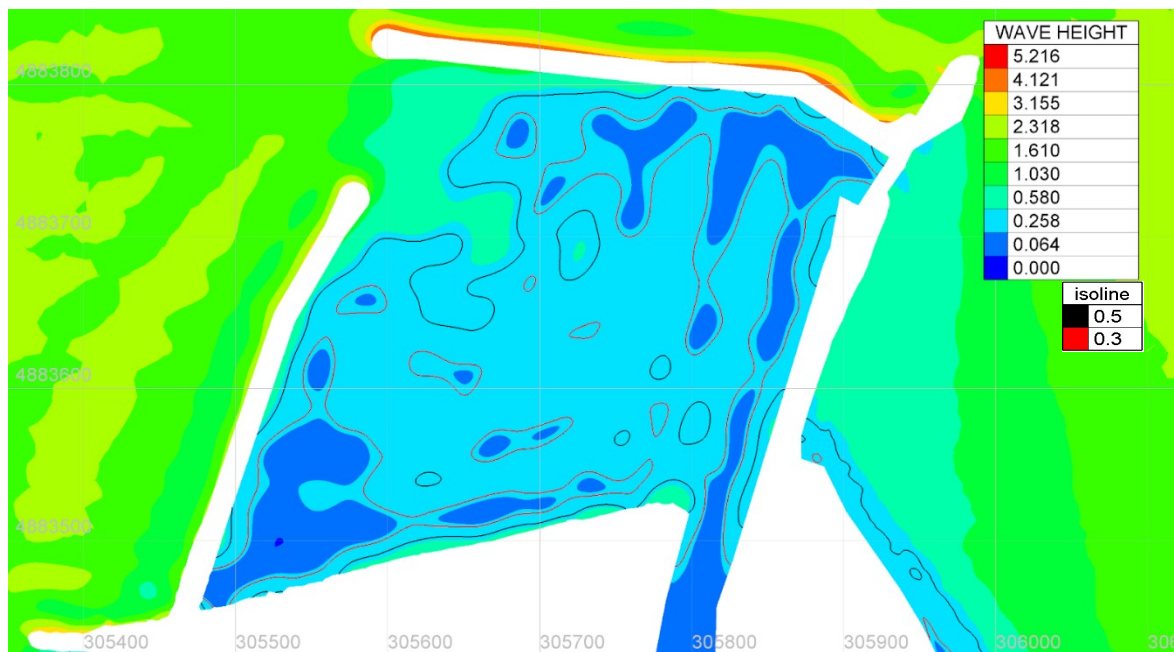


Figura 91 : risultato simulazione onda da N - scenario *post-operam ipotesi B*, dettaglio dell'area di intervento – altezza onda in m

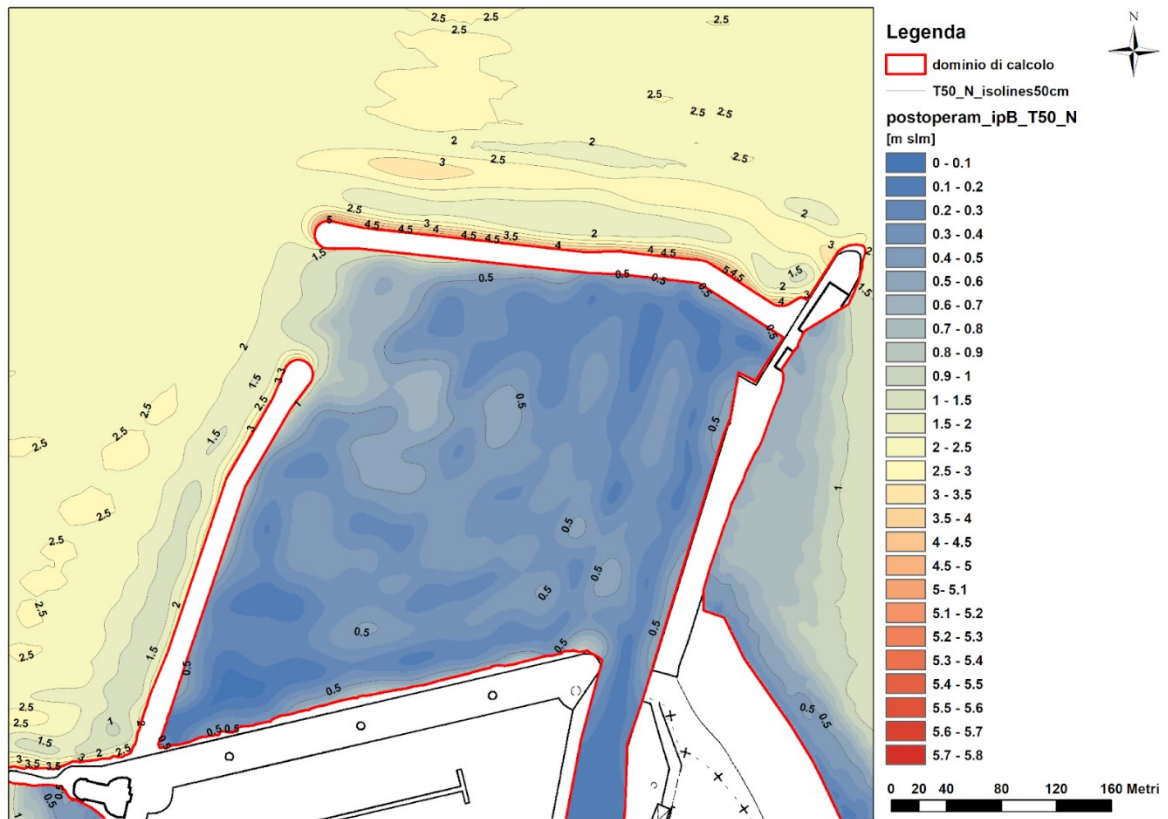


Figura 92: risultato simulazione onda da N - scenario *post-operam ipotesi B*, dettaglio dell'area di intervento – altezza onda in m

In Figura 93 si riporta il differenziale per l'area di intervento fra le massime altezze d'onda nello scenario *post-operam ipotesi B* rispetto allo scenario *post-operam ipotesi A*.

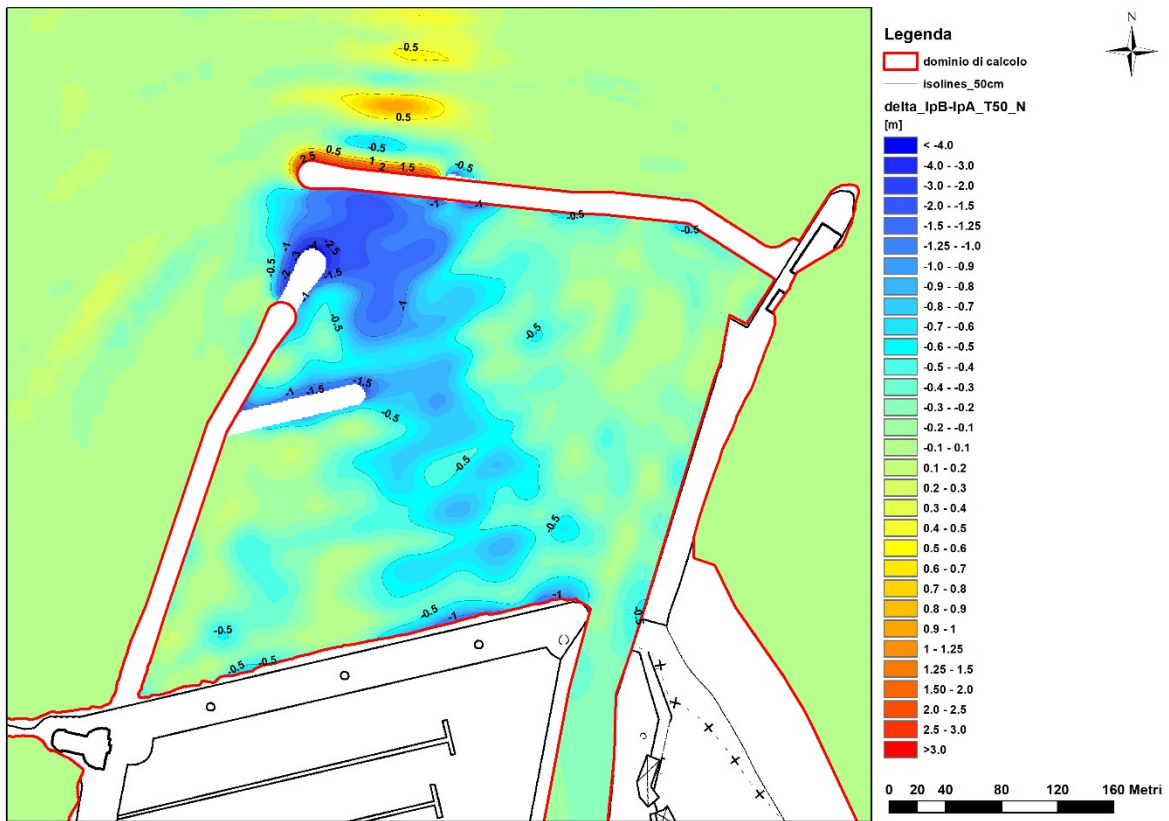


Figura 93: differenziale fra le massime altezze d'onda fra gli scenari *post-operam Ipotesi B* e *post-operam Ipotesi A*, simulazione onda da N, dettaglio dell'area di intervento – altezza onda in m

Onda da NE

Questo scenario prevede un'altezza d'onda significativa $H_s = 3.6$ m e periodo di picco $T_p = 13$ s, proveniente da $45^\circ N$, discretizzata in frequenza con 5 componenti, con spettro di tipo JONSWAP.

Il risultato della simulazione, in forma di zone di equiagitazione, è riportato in Figura 94 per l'intero dominio di calcolo mentre la Figura 95 e la Figura 96 riportano il dettaglio dell'area di intervento.

Tempo di ritorno 50 anni			
Dir [°]	Hs [m]	Tm [s]	Tp [s]
N-E ($22.5^\circ \div 67.5^\circ$)	3.6	8.1	13.0

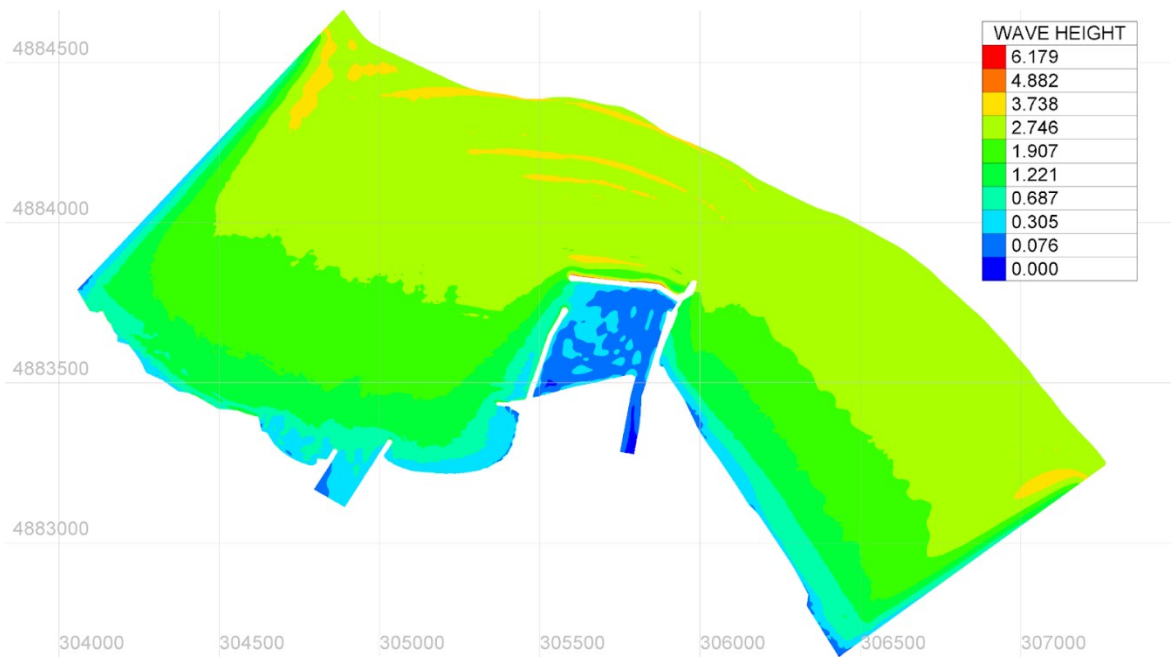


Figura 94: risultato simulazione onda da NE - scenario *post-operam ipotesi B* – altezza onda in m

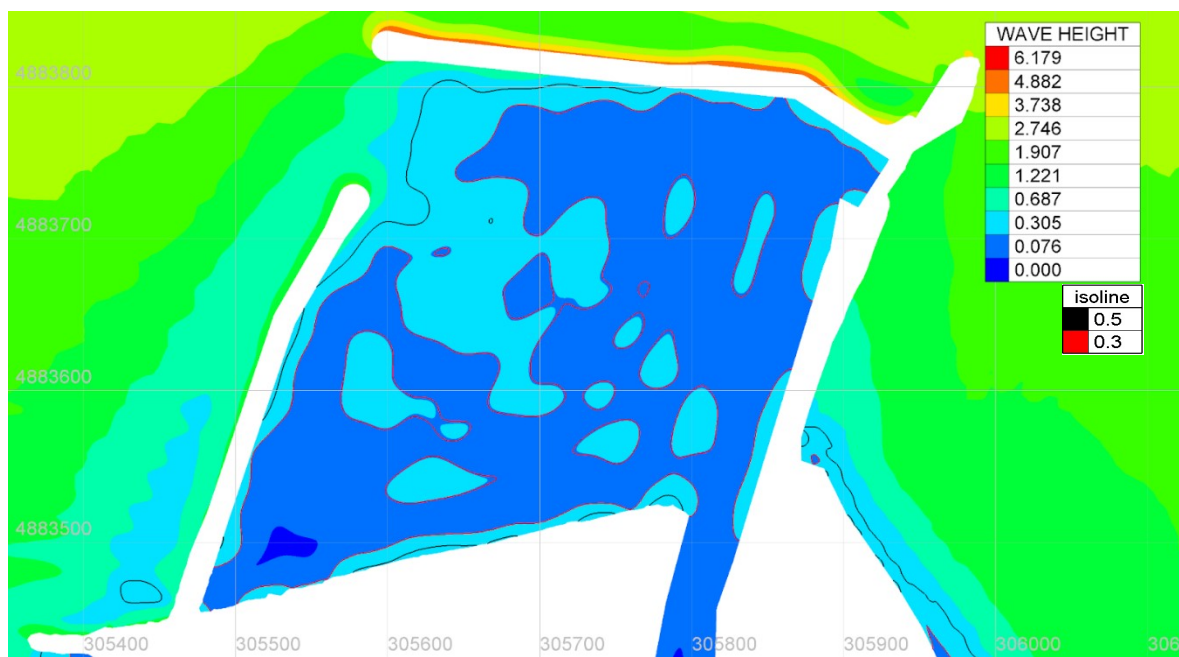


Figura 95: risultato simulazione onda da NE - scenario *post-operam ipotesi B*, dettaglio dell'area di intervento – altezza onda in m

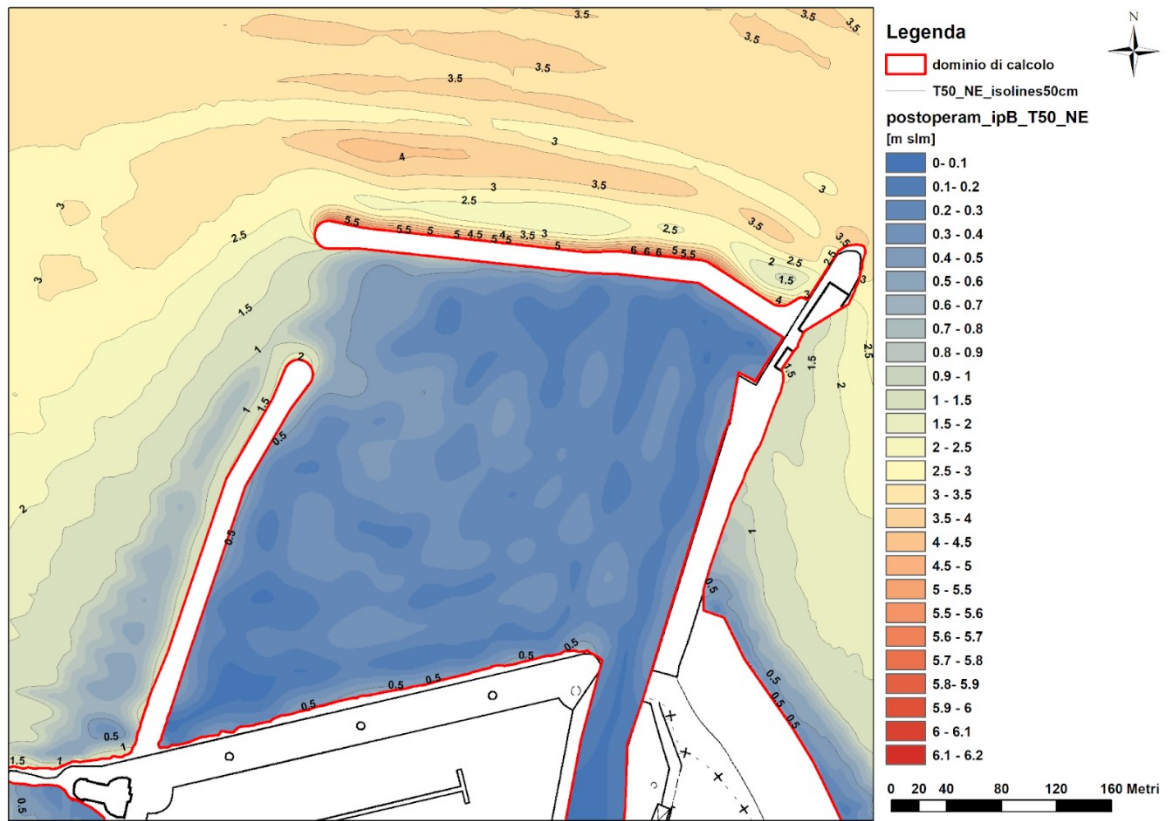


Figura 96: risultato simulazione onda da NE - scenario *post-operam ipotesi B*, dettaglio dell'area di intervento – altezza onda in m

In Figura 97 si riporta il differenziale per l'area di intervento fra le massime altezze d'onda nello scenario *post-operam ipotesi B* rispetto allo scenario *post-operam ipotesi A*.

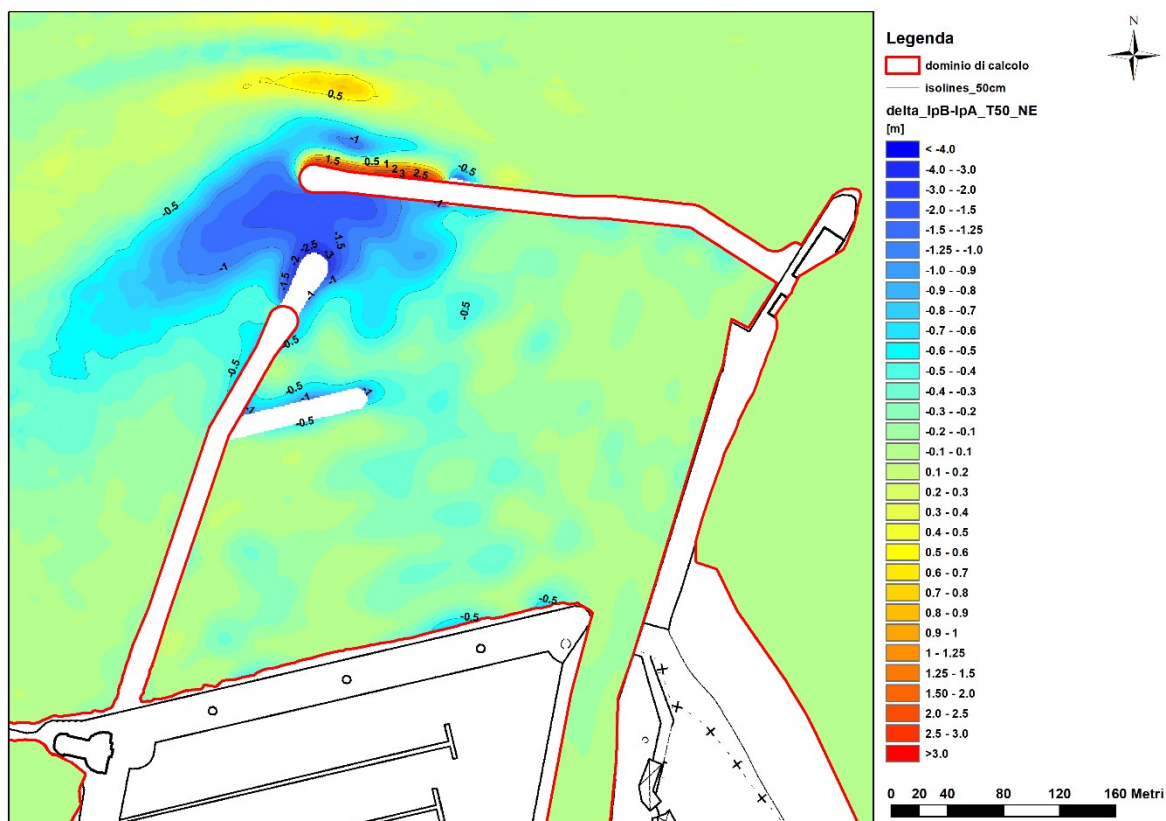


Figura 97: differenziale fra le massime altezze d'onda fra gli scenari *post-operam Ipotesi B* e *post-operam Ipotesi A*, simulazione onda da NE, dettaglio dell'area di intervento – altezza onda in m

Onda da E

Questo scenario prevede un'altezza d'onda significativa $H_s = 3.1$ m e periodo di picco $T_p = 14$ s, proveniente da $90^\circ N$, discretizzata in frequenza con 5 componenti, con spettro di tipo JONSWAP.

Il risultato della simulazione, in forma di zone di equiagitazione, è riportato in Figura 98 per l'intero dominio di calcolo mentre la Figura 99 e la Figura 100 riportano il dettaglio dell'area di intervento.

Tempo di ritorno 50 anni			
Dir [°]	Hs [m]	Tm [s]	Tp [s]
E ($67.5^\circ \div 112.5^\circ$)	3.1	9.9	14.0

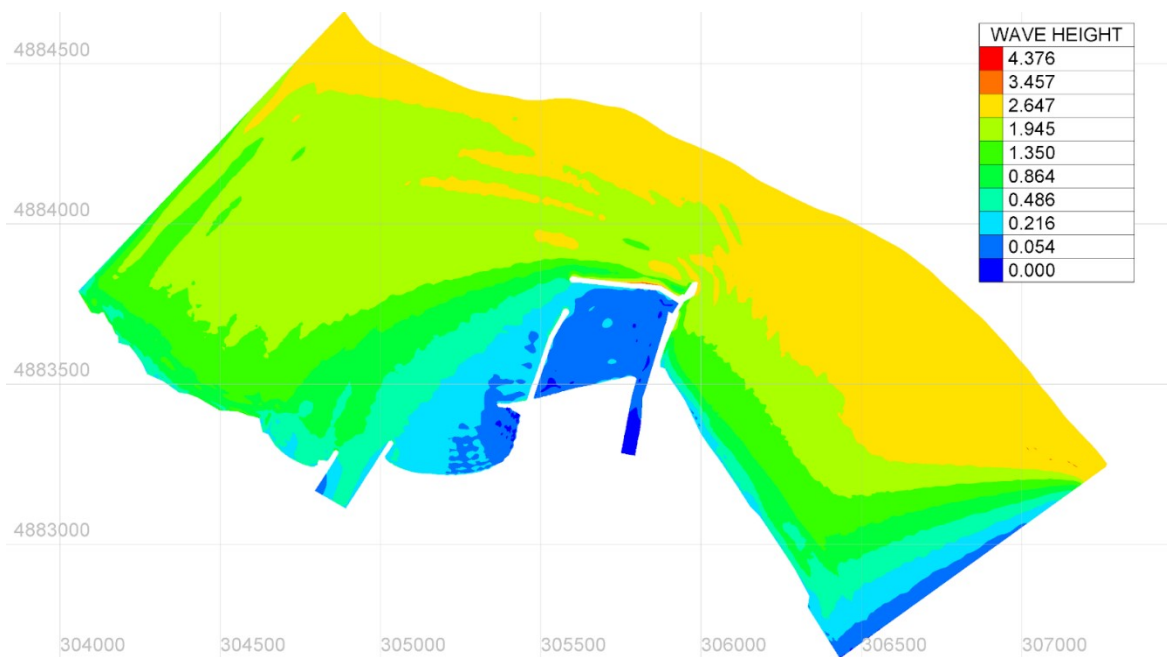


Figura 98: risultato simulazione onda da E - scenario *post-operam ipotesi B* – altezza onda in m

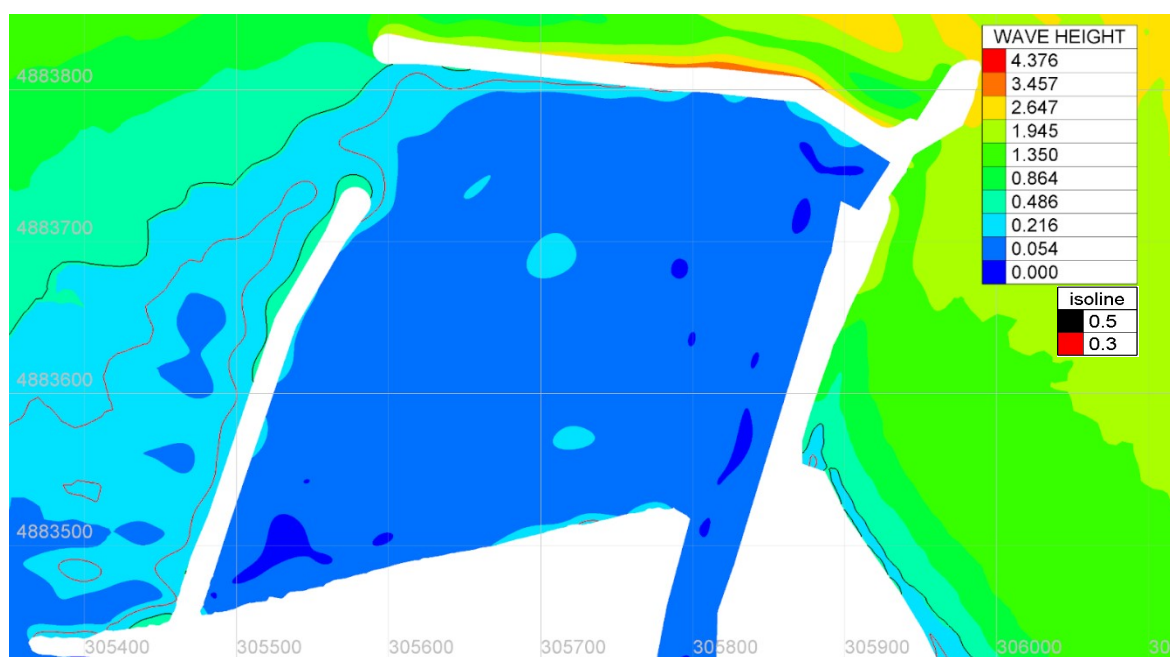


Figura 99: risultato simulazione onda da E - scenario *post-operam ipotesi B*, dettaglio dell'area di intervento – altezza onda in m

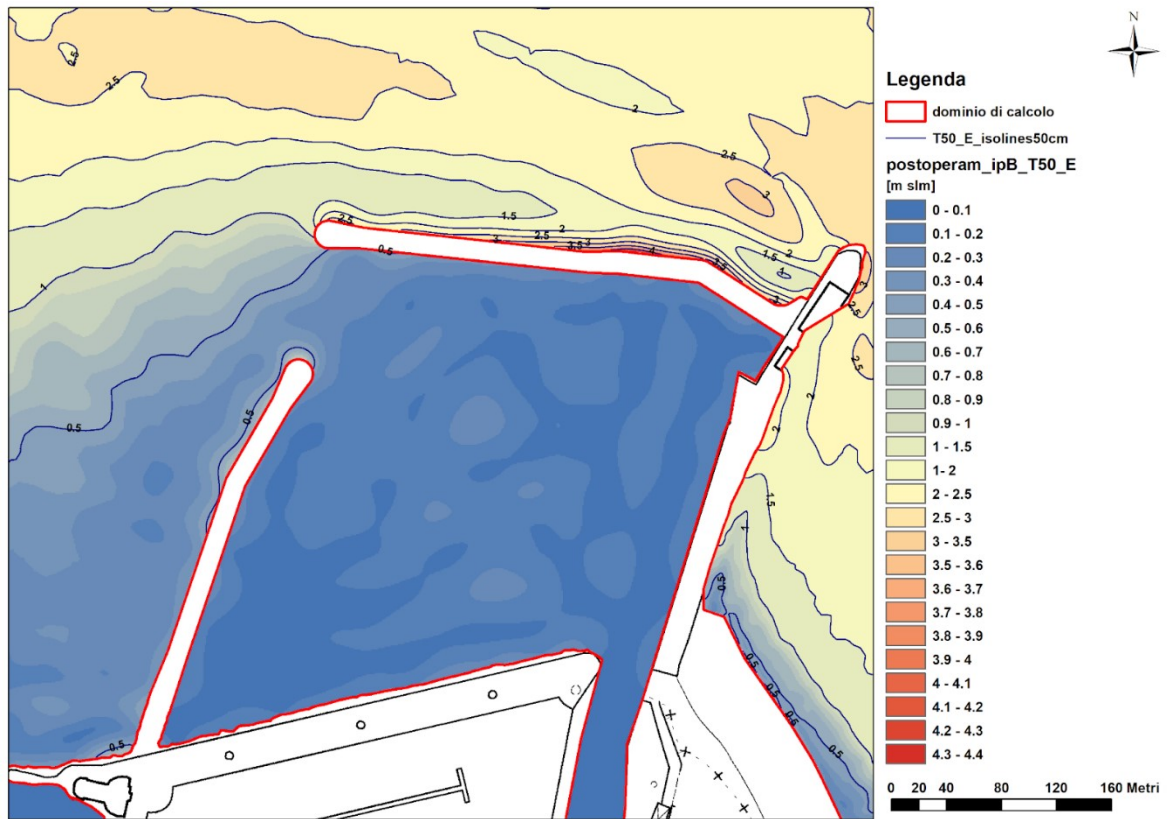


Figura 100: risultato simulazione onda da E - scenario *post-operam ipotesi B*, dettaglio dell'area di intervento – altezza onda in m

In Figura 101 si riporta il differenziale per l'area di intervento fra le massime altezze d'onda nello scenario *post-operam ipotesi B* rispetto allo scenario *post-operam ipotesi A*.

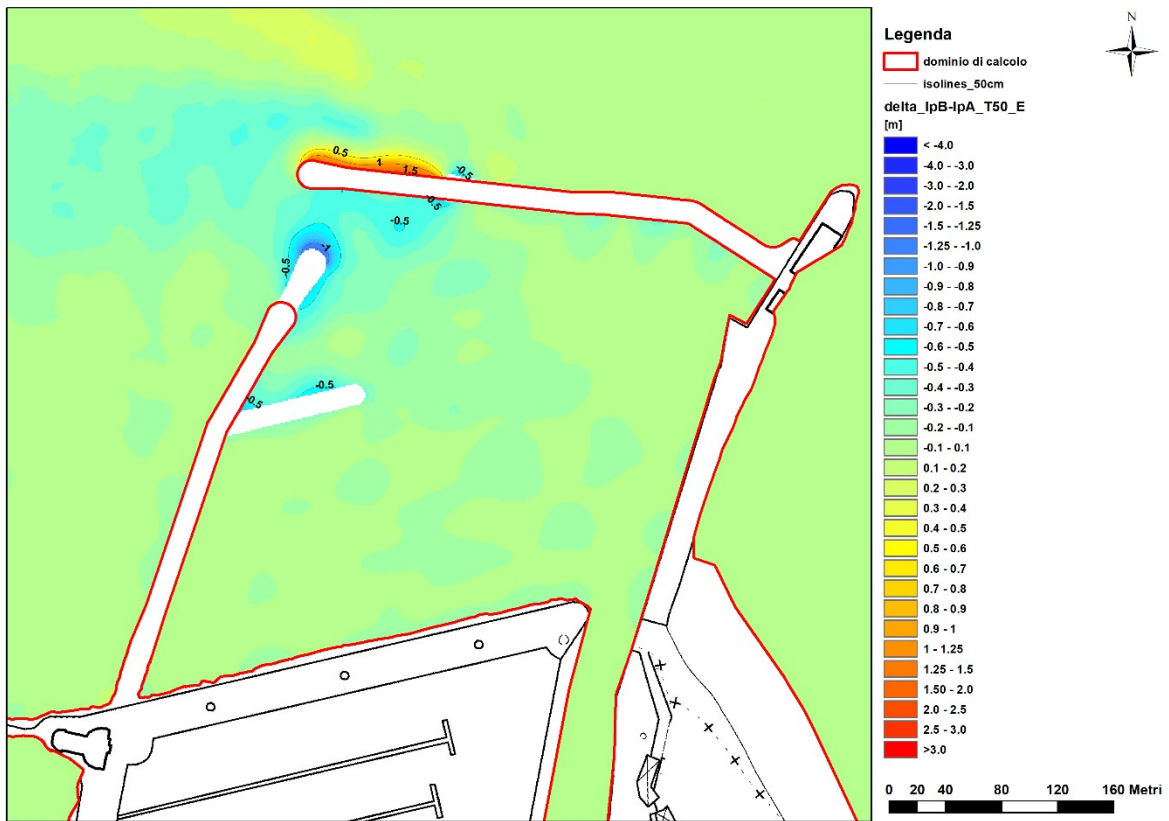


Figura 101: differenziale fra le massime altezze d'onda fra gli scenari *post-operam* *Ipotesi B* e *post-operam* *Ipotesi A*, simulazione onda da E, dettaglio dell'area di intervento – altezza onda in m

Onda da SE

Questo scenario prevede un'altezza d'onda significativa $H_s = 1.0$ m e periodo di picco $T_p = 13.3$ s, proveniente da $135^\circ N$, discretizzata in frequenza con 5 componenti, con spettro di tipo JONSWAP.

Il risultato della simulazione, in forma di zone di equiagitazione, è riportato in Figura 102 per l'intero dominio di calcolo mentre la Figura 103 riporta il dettaglio dell'area di intervento.

Tempo di ritorno 50 anni			
Dir [°]	Hs [m]	Tm [s]	Tp [s]
S-E (112.5° ÷ 157.5°)	1.0	6.8	13.3

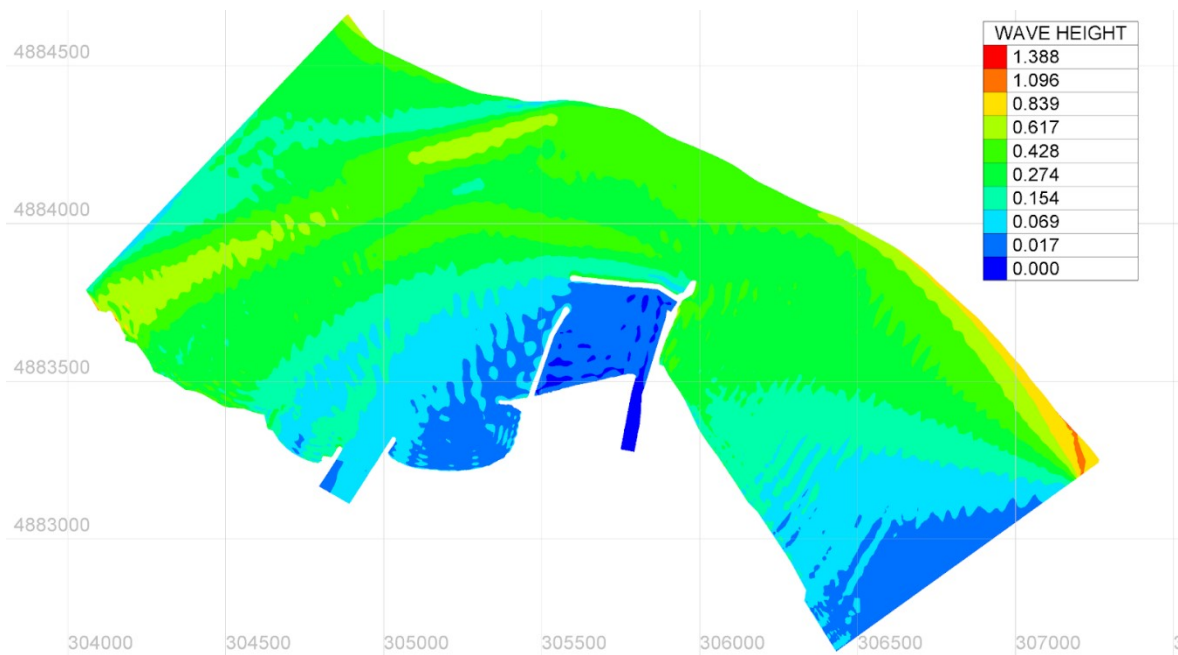


Figura 102: risultato simulazione onda da SE - scenario *post-operam ipotesi B* – altezza onda in m

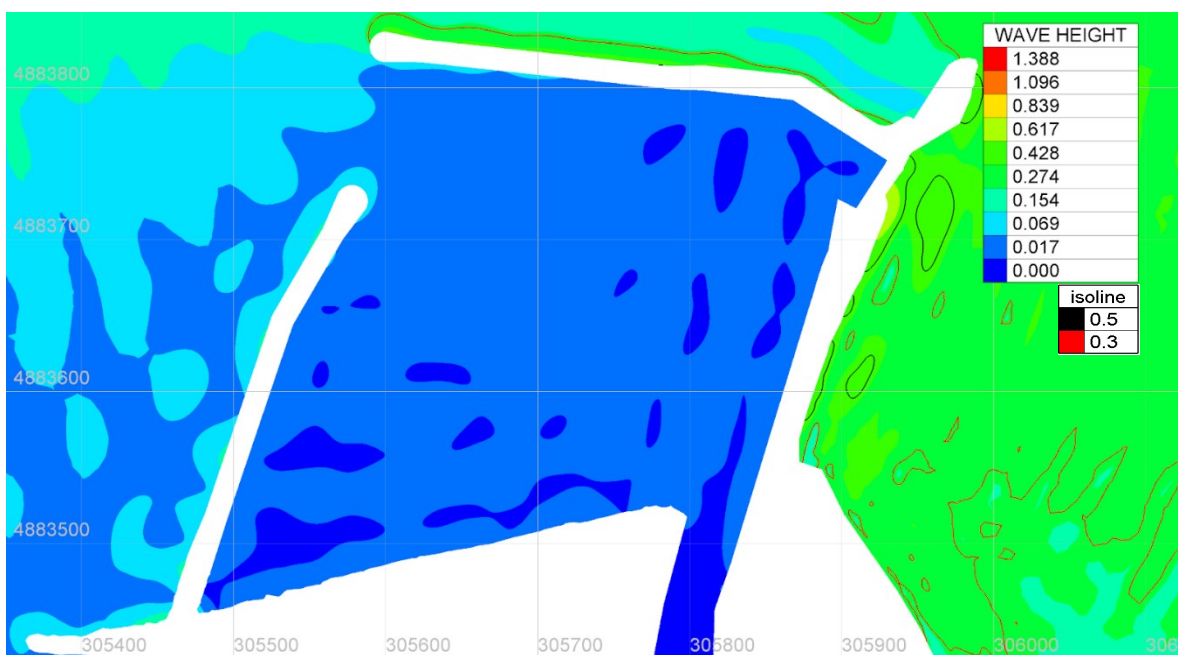


Figura 103: risultato simulazione onda da SE - scenario *post-operam ipotesi B*, dettaglio dell'area di intervento – altezza onda in m

5 ANALISI DEI RISULTATI E CONCLUSIONI

Le simulazioni dei diversi scenari di onda incidente nelle configurazioni *ante-operam* e *post-operam* hanno permesso di stimare la massima altezza d'onda nell'area dell'avamposto, e di valutare gli effetti delle opere in progetto in termini di riduzione delle altezze d'onda all'interno dell'avamposto.

Lo scenario con l'altezza d'onda incidente maggiore risulta essere, per ogni tempo di ritorno considerato, quello con provenienza da NE, mentre quello in grado di produrre le maggiori altezze d'onda nell'area prospiciente le attuali scogliere a protezione della darsena è quello con onda da Nord. Tale comportamento risente dell'effetto dell'attuale conformazione delle scogliere a protezione dell'imbocco del porto, in grado di schermare in modo rilevante i fronti d'onda provenienti dai quadranti orientali e nordorientali.

Per quanto riguarda la simulazione delle diverse ipotesi progettuali, nell'ipotesi A i risultati della simulazione sono analoghi allo scenario *ante-operam* nelle parti di dominio più distanti dall'area di intervento, mentre all'interno dell'avamposto si assiste ad una riduzione dell'altezza d'onda con la creazione di zone di "calma" più o meno estese, con entità diverse nei vari scenari; lo scenario più gravoso risulta quello con onda da Nord, per il quale l'altezza d'onda all'interno dell'avamposto risulta localmente dell'ordine di 1-1.4 m per lo scenario con TR=50 anni (a fronte comunque di altezze superiori a 2.5 m nello scenario *ante-operam*).

Nell'ipotesi B si confermano le valutazioni già emerse per l'ipotesi A, nel contesto di un abbassamento delle massime altezze d'onda interne all'avamposto; lo scenario più gravoso risulta sempre quello con onda da nord, per il quale l'altezza d'onda in corrispondenza dell'imbocco dell'avamposto risulta localmente dell'ordine di 0.6-0.7 m per lo scenario con TR=50 anni ed altezze generalmente inferiori a 0.5 all'interno dell'area dell'avamposto.

Considerato che nell'ambito della progettazione la soluzione individuata per la configurazione dell'avamposto di Rimini risulta la 1^a alternativa progettuale, che privilegia una maggior manovrabilità in ingresso al porto dei natanti che necessitano di maggiori tutele in condizioni di mare avverso nonché un miglior inserimento delle opere nel contesto del porto.

Pertanto per questa configurazione progettuale è stato effettuato un ulteriore approfondimento, simulando il comportamento delle opere nell'ipotesi di un'esecuzione per stralci:

- situazione *post-operam* relativa all'esecuzione del 1^o lotto dell'intervento Molo di Levante;
- situazione *post-operam* relativa all'esecuzione del 2^o lotto dell'intervento Molo di Ponente.

6 MODELLAZIONE PER SUCCESSIVI STRALCI

Come dettagliato nella relazione generale di progetto, le opere di difesa foranee si prestano ad essere eseguite per stralci funzionali:

- 1° Lotto – Molo di Levante
- 2° Lotto – Molo di Ponente

In particolare risulta prioritaria l'esecuzione del 1^a lotto -Molo di Levante nella sua configurazione finale, al fine di garantire la messa in sicurezza dell'imboccatura del porto per mareggiate e venti provenienti da N.E. (eventi meteomarini prevalenti).

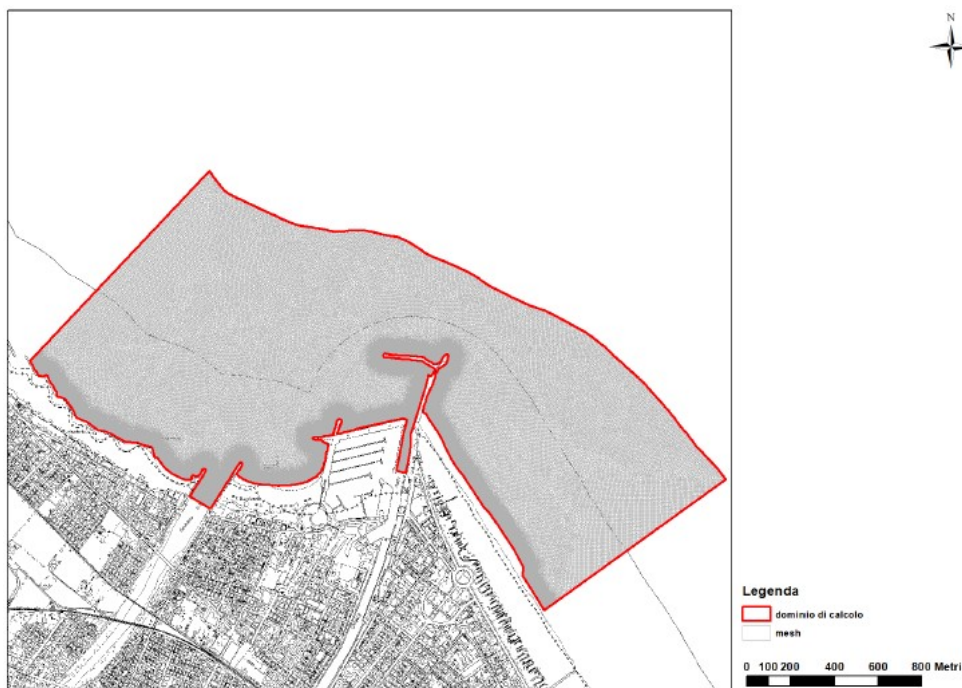
Pertanto nel presente capitolo si illustra l'aggiornamento dello studio di propagazione del moto ondoso nella configurazione con la realizzazione del primo lotto di progetto, relativo al prolungamento e completamento del molo di Levante.

6.1 IMPOSTAZIONI DEL MODELLO

La simulazione viene condotta per eventi meteomarini più significativi caratterizzati da Tempi di Ritorno pari a 50 anni.

Per quanto riguarda le condizioni al contorno si conferma quanto già precedentemente riportato per la costruzione del modello nei precedenti paragrafi.

La *mesh* di calcolo per lo scenario *post-operam lotto 1*, a base triangolare e con lunghezze comprese fra 0.5 m nella fascia a più a ridosso della linea di costa (50 m) e 10 m nel resto del dominio, è composta da 1483528 nodi (2953467 elementi) ed è riportata nelle figure seguenti; l'area complessiva del dominio è pari a circa 2.926 km².



mesh di calcolo nello scenario *post-operam lotto 1* su base ctr

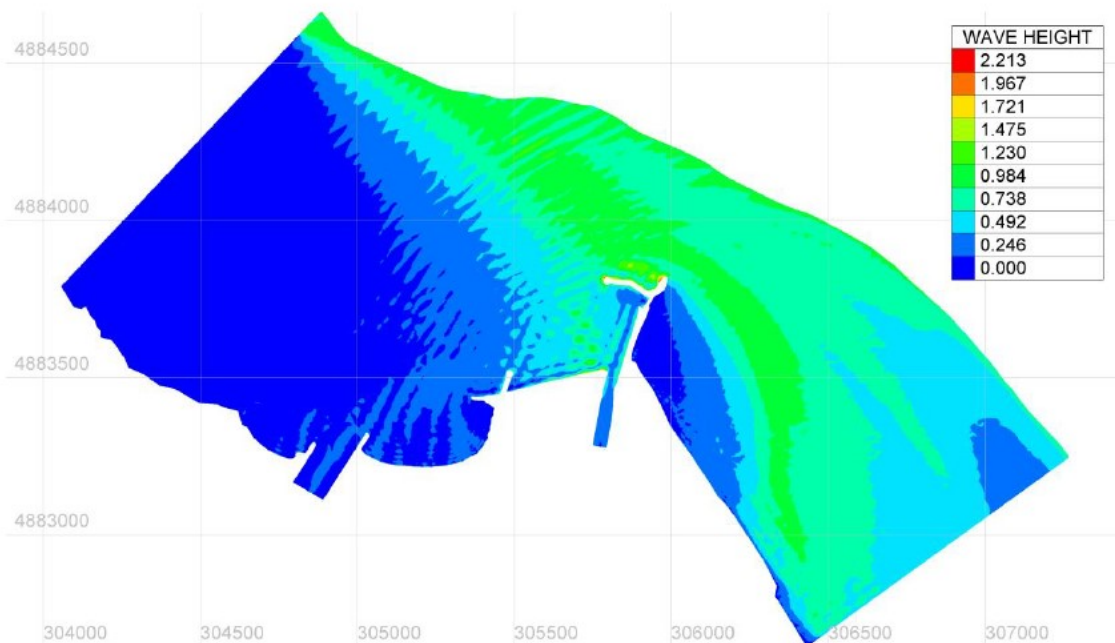
6.2 RISULTATI DELLE SIMULAZIONI

6.2.1 SCENARIO ANTE OPERAM

Onda da NO

Questo scenario prevede un'altezza d'onda significativa $H_s = 1.0$ m e periodo di picco $T_p = 11$ s, proveniente da $315^\circ N$, discretizzata in frequenza con 5 componenti, con spettro di tipo JONSWAP.

Tempo di ritorno 50 anni			
Dir [°]	Hs [m]	Tm [s]	Tp [s]
N-O (292.5° ÷ 337.5°)	1.0	4.5	11.0

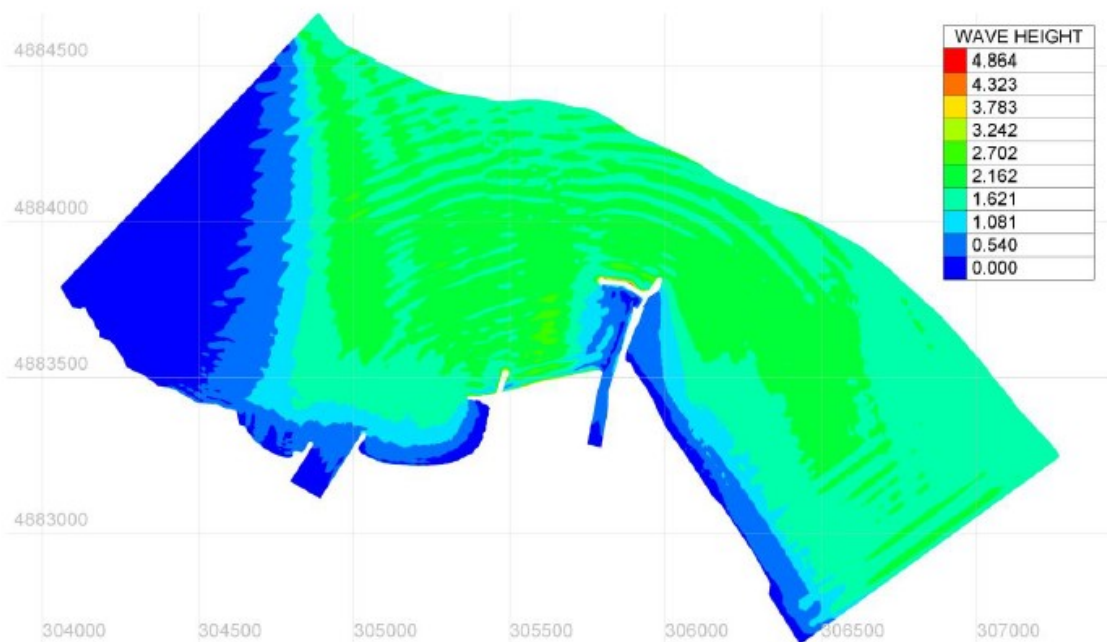


risultato simulazione onda da NO - scenario ante-operam – altezza onda in m

Onda da N

Questo scenario prevede un'altezza d'onda significativa $H_s = 2.1$ m e periodo di picco $T_p = 12.8$ s, proveniente da $0^\circ N$, discretizzata in frequenza con 5 componenti, con spettro di tipo JONSWAP.

Tempo di ritorno 50 anni			
Dir [°]	Hs [m]	Tm [s]	Tp [s]
N (-22.5° ÷ 22.5°)	2.1	5.9	12.8

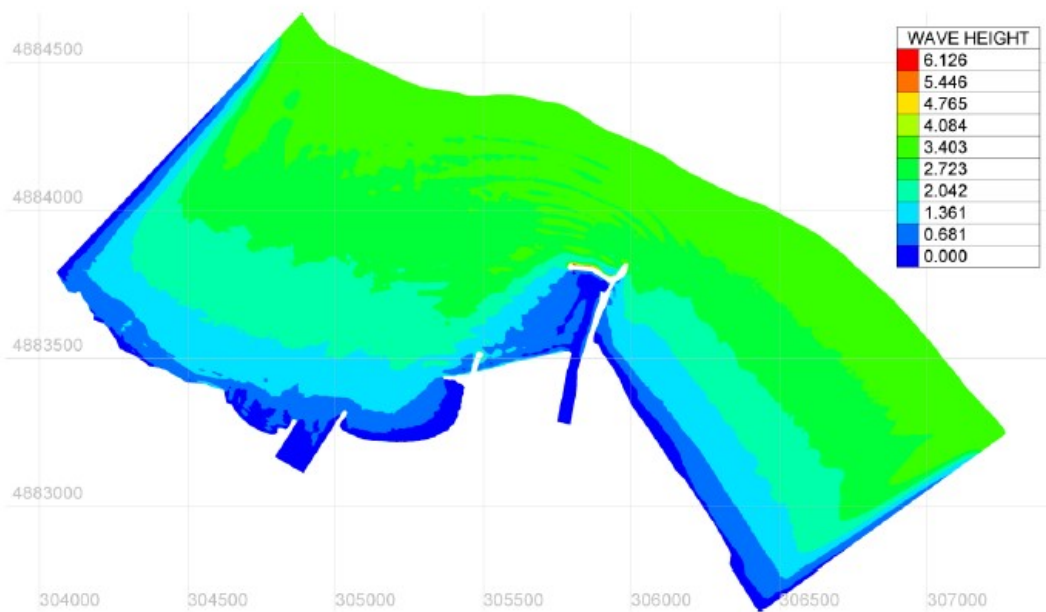


risultato simulazione onda da N - scenario *ante-operam* – altezza onda in m

Onda da NE

Questo scenario prevede un'altezza d'onda significativa $H_s = 3.6$ m e periodo di picco $T_p = 13$ s, proveniente da $45^\circ N$, discretizzata in frequenza con 5 componenti, con spettro di tipo JONSWAP.

Tempo di ritorno 50 anni			
Dir [°]	Hs [m]	Tm [s]	Tp [s]
N-E ($22.5^\circ \div 67.5^\circ$)	3.6	8.1	13.0

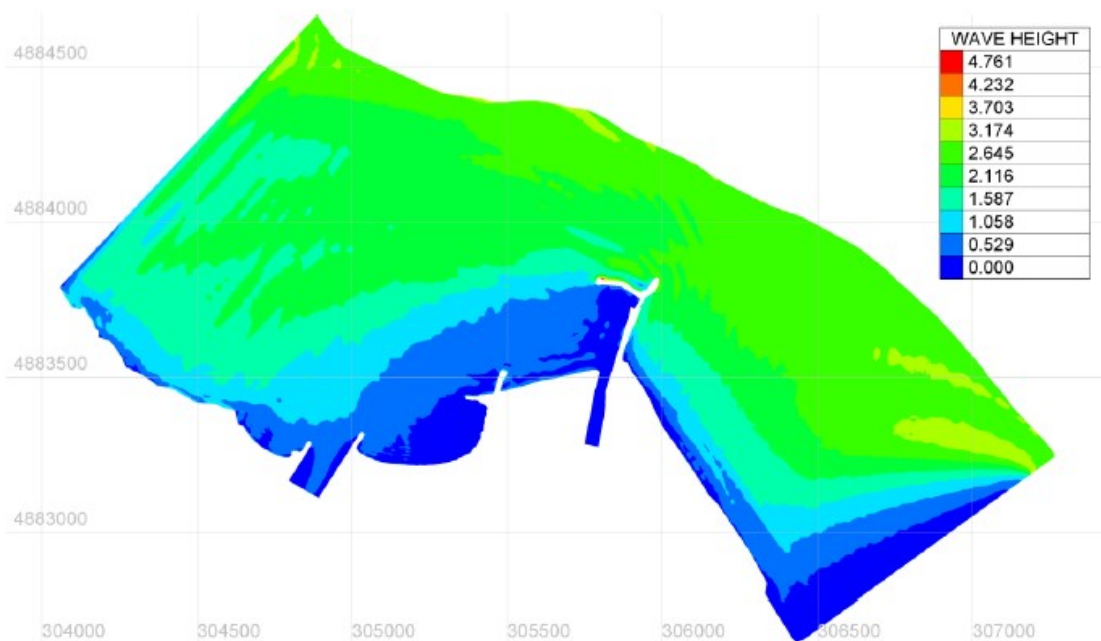


risultato simulazione onda da NE - scenario ante-operam – altezza onda in m

Onda da E

Questo scenario prevede un'altezza d'onda significativa $H_s = 3.1$ m e periodo di picco $T_p = 14$ s, proveniente da $90^\circ N$, discretizzata in frequenza con 5 componenti, con spettro di tipo JONSWAP.

Tempo di ritorno 50 anni			
Dir [°]	Hs [m]	Tm [s]	Tp [s]
E ($67.5^\circ \div 112.5^\circ$)	3.1	9.9	14.0

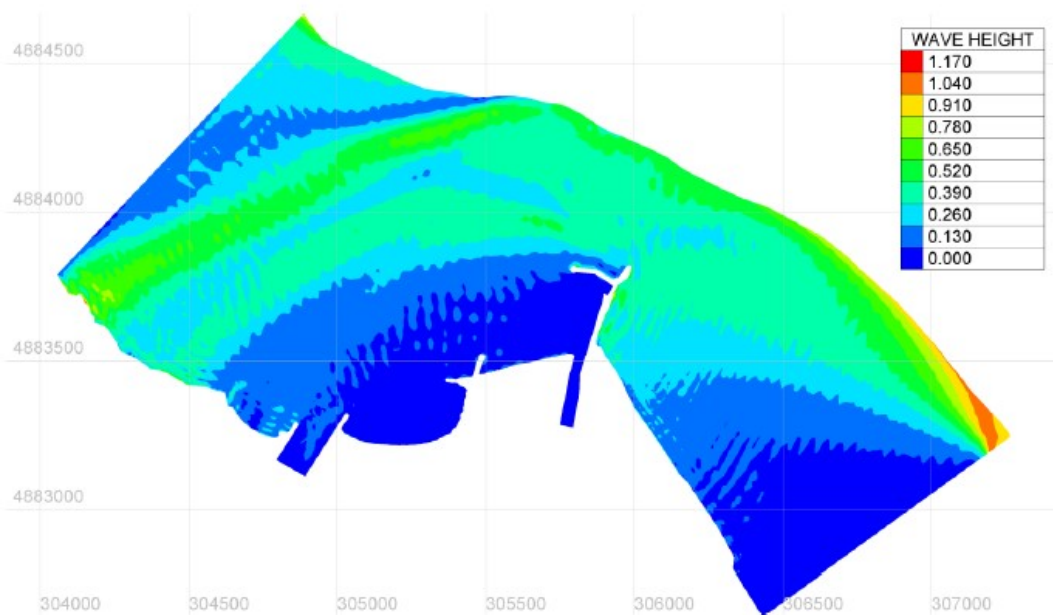


risultato simulazione onda da E - scenario *ante-operam* – altezza onda in m

Onda da SE

Questo scenario prevede un'altezza d'onda significativa $H_s = 1.0$ m e periodo di picco $T_p = 13.3$ s, proveniente da $135^\circ N$, discretizzata in frequenza con 5 componenti, con spettro di tipo JONSWAP.

Tempo di ritorno 50 anni			
Dir [°]	Hs [m]	Tm [s]	Tp [s]
S-E ($112.5^\circ \div 157.5^\circ$)	1.0	6.8	13.3



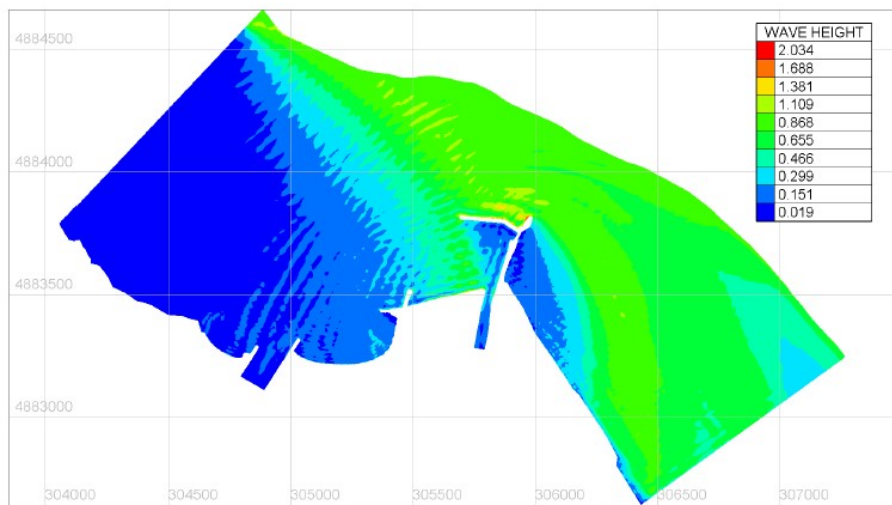
risultato simulazione onda da SE - scenario *ante-operam* – altezza onda in m

6.2.2 SCENARIO POST OPERAM LOTTO 1

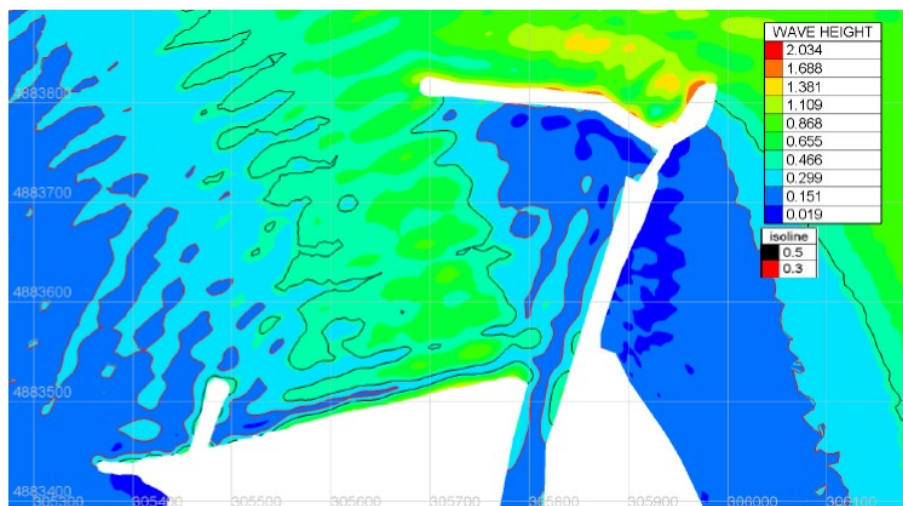
Onda da NO

Questo scenario prevede un'altezza d'onda significativa $H_s = 1.0$ m e periodo di picco $T_p = 11$ s, proveniente da $315^\circ N$, discretizzata in frequenza con 5 componenti, con spettro di tipo JONSWAP.

Tempo di ritorno 50 anni			
Dir [°]	Hs [m]	Tm [s]	Tp [s]
N-O (292.5° ÷ 337.5°)	1.0	4.5	11.0



risultato simulazione onda da NO - scenario *post-operam lotto 1* – altezza onda in m

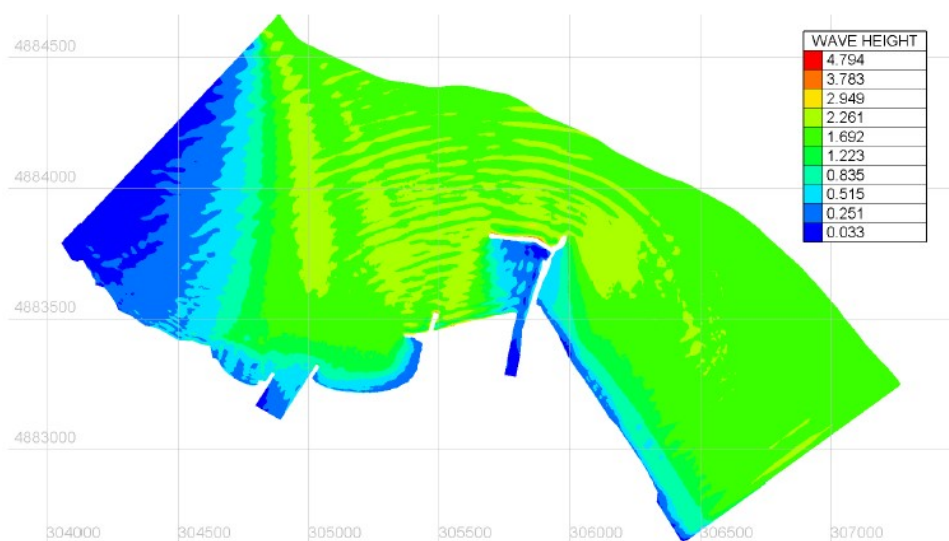


risultato simulazione onda da NO - scenario *post-operam lotto 1*, dettaglio dell'area di intervento – altezza onda in m

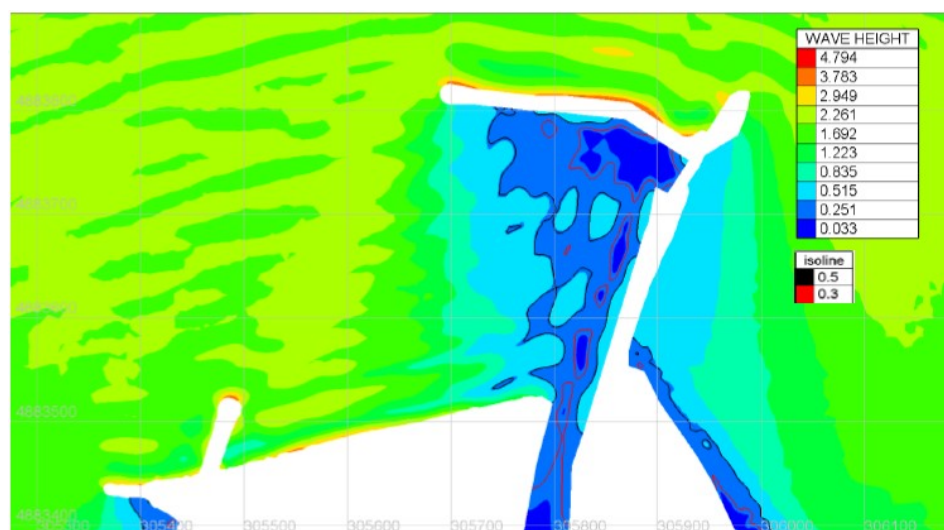
Onda da N

Questo scenario prevede un'altezza d'onda significativa $H_s = 2.1$ m e periodo di picco $T_p = 12.8$ s, proveniente da $0^\circ N$, discretizzata in frequenza con 5 componenti, con spettro di tipo JONSWAP.

Tempo di ritorno 50 anni			
Dir [°]	Hs [m]	Tm [s]	Tp [s]
N (-22.5° ÷ 22.5°)	2.1	5.9	12.8



risultato simulazione onda da N - scenario *post-operam lotto 1* – altezza onda in m

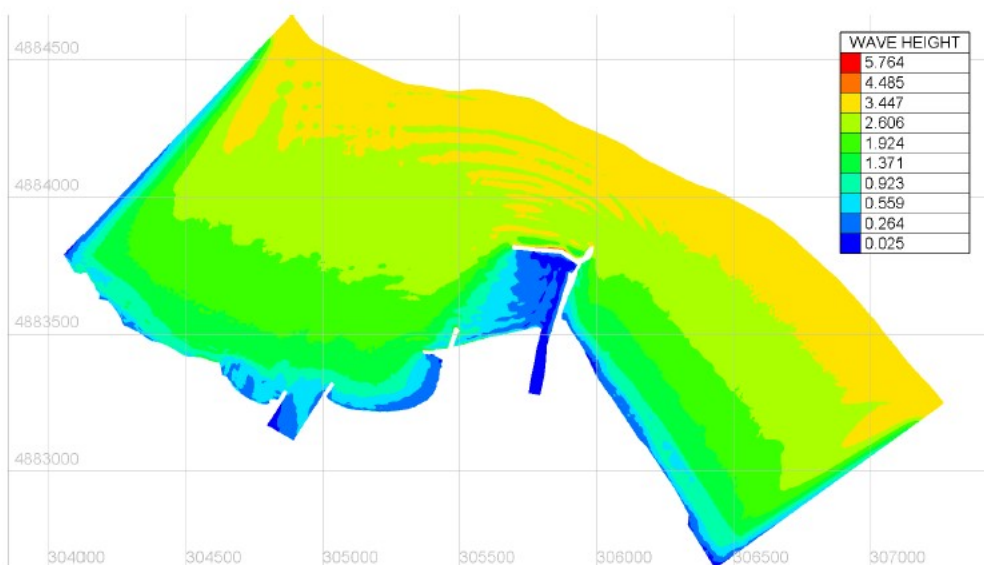


risultato simulazione onda da N - scenario *post-operam lotto 1*, dettaglio dell'area di intervento – altezza onda in m

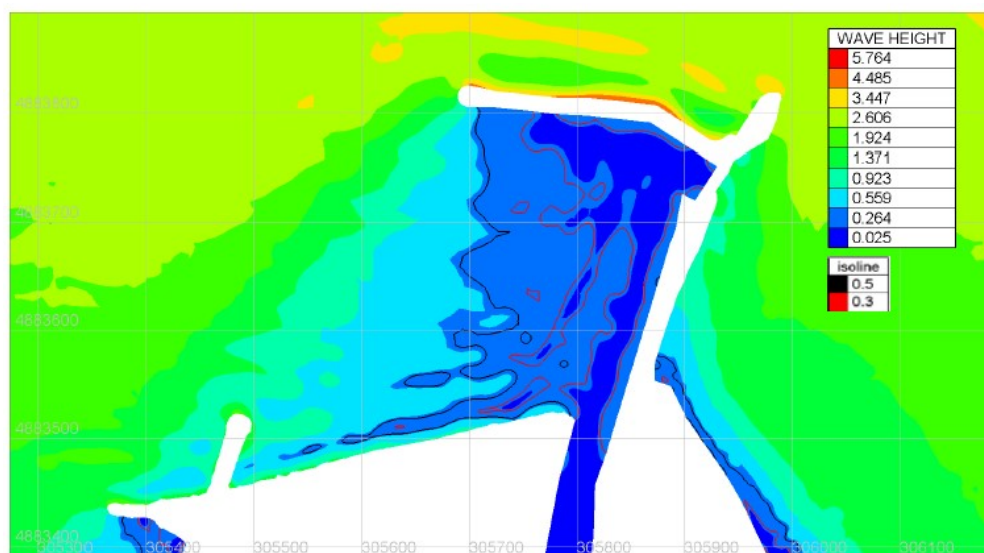
Onda da NE

Questo scenario prevede un'altezza d'onda significativa $H_s = 3.6$ m e periodo di picco $T_p = 13$ s, proveniente da $45^\circ N$, discretizzata in frequenza con 5 componenti, con spettro di tipo JONSWAP.

Tempo di ritorno 50 anni			
Dir [°]	H_s [m]	T_m [s]	T_p [s]
N-E ($22.5^\circ \pm 67.5^\circ$)	3.6	8.1	13.0



risultato simulazione onda da NE - scenario *post-operam lotto 1* – altezza onda in m

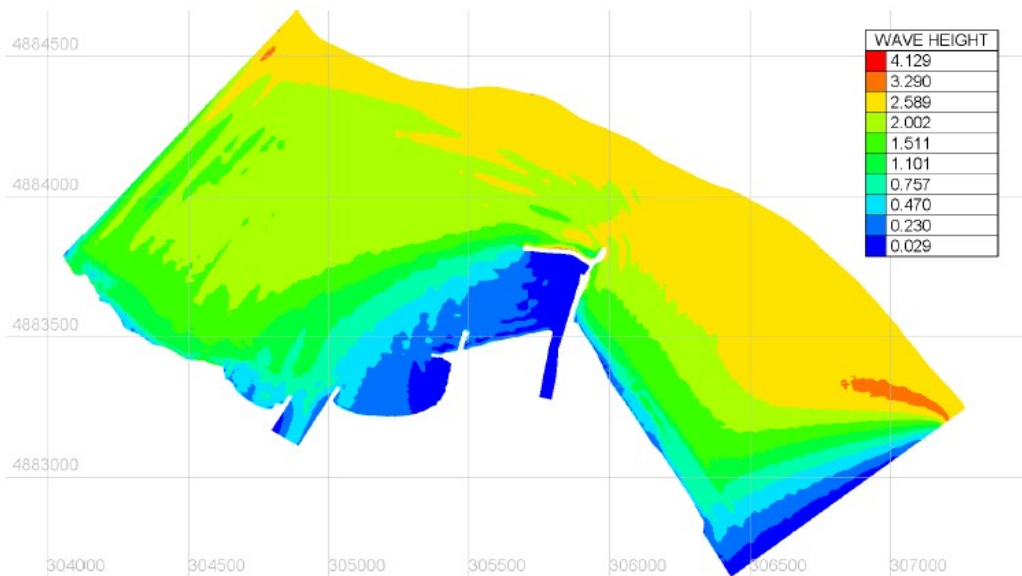


risultato simulazione onda da NE - scenario *post-operam lotto 1*, dettaglio dell'area di intervento – altezza onda in m

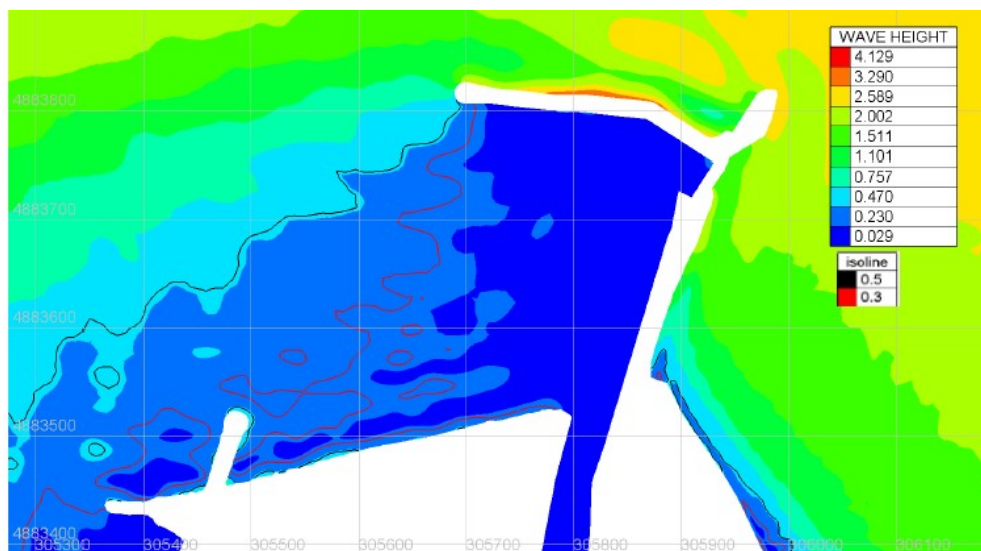
Onda da E

Questo scenario prevede un'altezza d'onda significativa $H_s = 3.1$ m e periodo di picco $T_p = 14$ s, proveniente da $90^\circ N$, discretizzata in frequenza con 5 componenti, con spettro di tipo JONSWAP.

Tempo di ritorno 50 anni			
Dir [°]	Hs [m]	Tm [s]	Tp [s]
E ($67.5^\circ \pm 112.5^\circ$)	3.1	9.9	14.0



risultato simulazione onda da E - scenario *post-operam lotto 1* – altezza onda in m

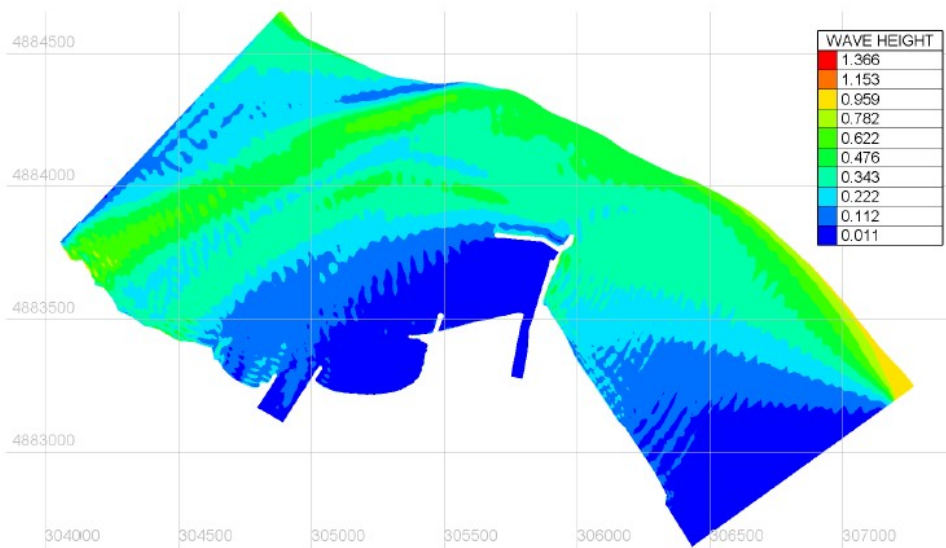


risultato simulazione onda da E - scenario *post-operam lotto 1*, dettaglio dell'area di intervento – altezza onda in m

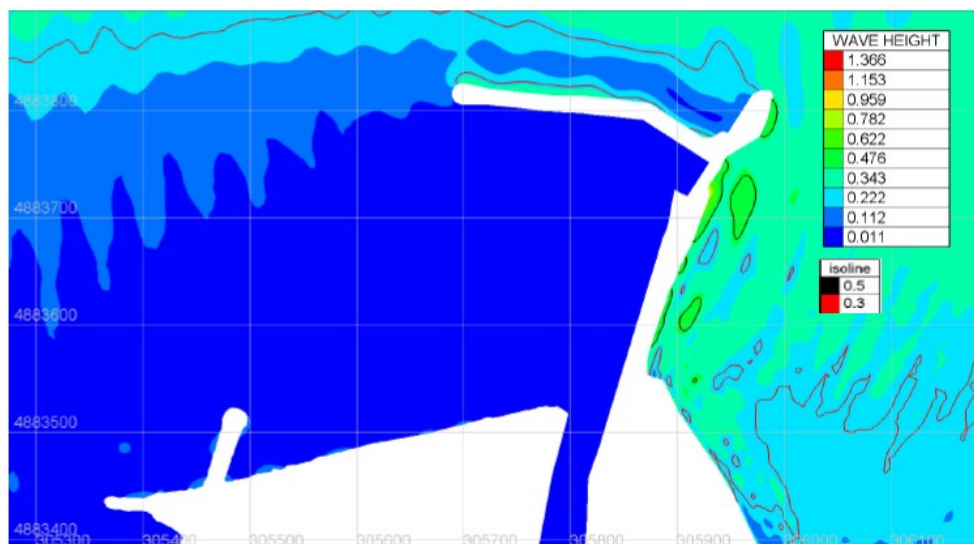
Onda da SE

Questo scenario prevede un'altezza d'onda significativa $H_s = 1.0$ m e periodo di picco $T_p = 13.3$ s, proveniente da $135^\circ N$, discretizzata in frequenza con 5 componenti, con spettro di tipo JONSWAP.

Tempo di ritorno 50 anni			
Dir [°]	Hs [m]	Tm [s]	Tp [s]
S-E ($112.5^\circ \div 157.5^\circ$)	1.0	6.8	13.3



risultato simulazione onda da SE - scenario post-operam lotto 1 – altezza onda in m



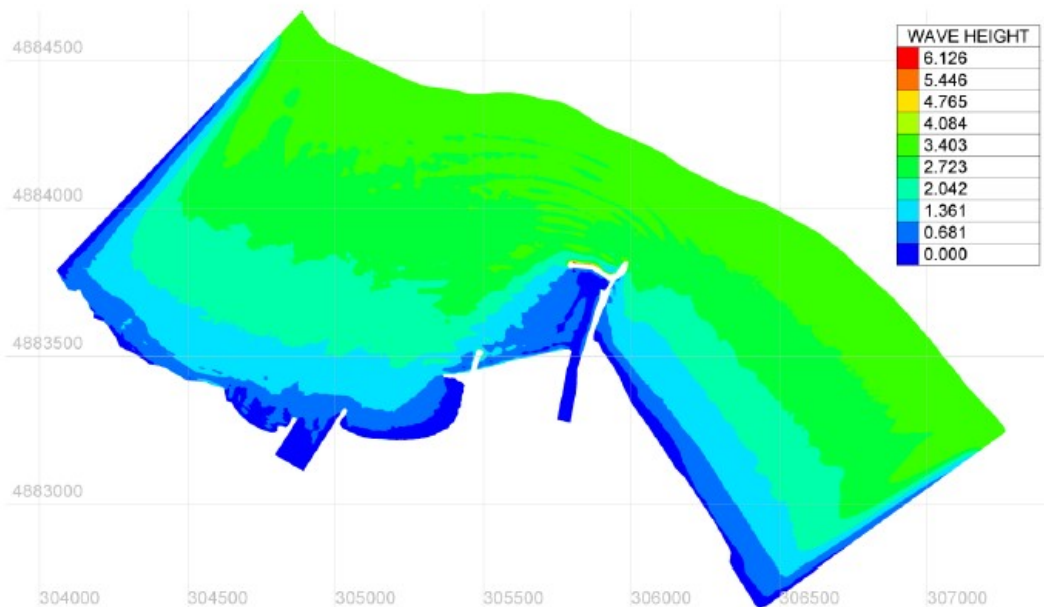
risultato simulazione onda da SE - scenario post-operam lotto 1, dettaglio dell'area di intervento – altezza onda in m

6.2.3 CONCLUSIONI

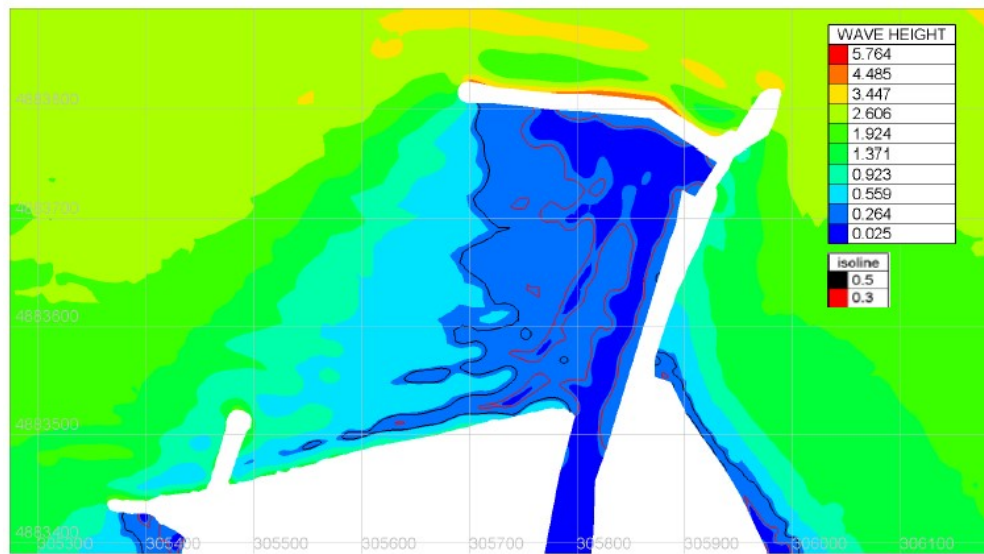
Le simulazioni dei diversi scenari di onda incidente nelle configurazioni *ante-operam* e *post-operam lotto 1* hanno permesso di stimare la massima altezza d'onda nell'area dell'avamposto, e di valutare gli effetti delle opere in progetto in termini di riduzione delle altezze d'onda all'interno dell'avamposto anche nella configurazione con il prolungamento e completamento del molo di Levante. Lo scenario con l'altezza d'onda incidente maggiore risulta essere, per ogni tempo di ritorno considerato, quello con provenienza da NE, mentre quello in grado di produrre le maggiori altezze d'onda nell'area prospiciente le attuali scogliere a protezione della darsena è quello con onda da Nord. Tale comportamento risente dell'effetto dell'attuale conformazione delle scogliere a protezione dell'imbocco del porto, in grado di schermare in modo rilevante i fronti d'onda provenienti dai quadranti orientali e nordorientali.

In dettaglio si riportano i risultati delle simulazioni ante e post operam lotto 1 per quanto riguarda il moto ondoso con provenienza da NE (I quadrante) che costituiscono gli eventi meteomarini prevalenti:

Tempo di ritorno 50 anni			
Dir [°]	Hs [m]	Tm [s]	Tp [s]
N-E (22.5° ÷ 67.5°)	3.6	8.1	13.0



risultato simulazione onda da NE - scenario ante-operam – altezza onda in m



risultato simulazione onda da NE - scenario *post-operam lotto 1*, dettaglio dell'area di intervento – altezza onda in m

Dal confronto con i valori riportati in legenda (le scale cromatiche in questo caso non sono comparabili in quanto sono riaggornate di volta in volta dal programma in base ai valori minimi e massimi della simulazione), si evince che:

- nello scenario ante operam nell'intorno dell'imboccatura portuale il moto ondoso ha valori di altezza significativa compresi tra 0,68 m e 1,36 m;
- nello scenario post operam lotto 1 nell'intorno dell'imboccatura portuale il moto ondoso ha valori di altezza significativa compresi tra 0,26 m e 0,56 m.

Pertanto nello scenario post operam lotto 1 si sostanzia una riduzione dell'agitazione di moto ondoso di circa il 50% per gli eventi meteomarinari prevalenti (NE - I quadrante).

Lo scenario più gravoso in questa configurazione di 1^a stralcio rimane quello con onda da nord, per il quale l'altezza d'onda all'interno dell'avamposto risulta localmente dell'ordine di 1-1.4 m per lo scenario con TR50 anni (a fronte comunque di altezze superiori a 2.5 m nello scenario *ante-operam*).

Successivamente la realizzazione del 2^a lotto - Molo di Ponente a completamento dell'avamposto consentirà di proteggere l'imboccatura anche dalle mareggiate provenienti da N. – N.O. (IV quadrante) che, seppure meno frequenti, provocano problemi alla navigazione per via dei fenomeni di riflessione del moto ondoso legati anche alla presenza della scogliera posta a protezione della darsena turistica.