Comune di Santa Margherita Ligure, Prot. N. 0009218 del 13-03-2019 in arrivo

Regione Liguria

Comune di S.Margherita Ligure (GE)



OPERE MARITTIME - RIPRISTINO E RINFORZO MOLO DI SOPRAFLUTTO A DIFESA DELL'ABITATO DI SANTA MARGHERITA LIGURE

CIG 77501856FB

PROGETTO DEFINITIVO

Responsabile del procedimento

Dott. Ing. Pietro Feriani

Progettazione

ACQUA TECNO

Dott. Ing. Paolo Turbole

Dott. Ing. PAOLO TURBOLENTE ORDINE INGEGNERI ROMA

Titolo elaborato

STUDIO DELLA PROPAGAZIONE DEL MOTO ONDOSO

Elaborato

A.2255 | PD | | EG

PD.SR

Scala

Data

Febbraio 2019

Revisione	Data			

Comune di Santa Margherita Ligure, Prot. N. 0009218 del 13-03-2019 in arrivo

Sommario

1. INTRODUZIONE 4

2. STUDIO DI TRASFERIMETO LARGO - RIVA 5

2.1. Modello di calcolo utilizzato: Mike 21 SW (Spectral Wave) 5

2.2. Condizioni ondose simulate 6

2.3. Griglia di calcolo 6

2.4. Periodo simulato 10

2.5. Risultati 11

2.6. Propagazione mareggiata del 29/10/2018 19

3. CONCLUSIONI 22

Comune di Santa Margherita Ligure, Prot. N. 0009218 del 13-03-2019 in arrivo

Indice delle figure

Figura 1. Vista planimetrica del Porto di santa Margherita Ligure nella configurazione di stato attuale – immagine presa da Google Earth. 4
Figura 2. Mesh di calcolo. 7
Figura 3. Dettaglio della griglia di calcolo nella zona portuale. 8
Figura 4. Batimetria. 9
Figura 5. Dettaglio della batimetria della zona portuale. 10
Figura 6. Onda simulata: Tr = 154 anni; Hs = 7.18 m; Tp = 11.5 s; Dir = 195°N – Dettaglio delle altezze d'onda significativa nell'area portuale. 12
Figura 7. Onda simulata: Tr = 154 anni; Hs = 7.18 m; Tp = 11.5 s; Dir = 195°N – Altezze d'onda significativa nell'intero dominio. 13
Figura 8. Onda simulata: Tr = 154 anni; Hs = 7.18 m; Tp = 11.5 s; Dir = 195°N – Dettaglio dei periodi di picco nell'area portuale. 14
Figura 9. Onda simulata: Tr = 154 anni; Hs = 4.73 m; Tp = 10 s; Dir = 165°N – Dettaglio delle altezze d'onda significativa nell'area portuale. 15
Figura 10. Onda simulata: Tr = 154 anni; Hs = 4.73 m; Tp = 10 s; Dir = 165°N – Altezze d'onda significativa nell'intero dominio. 16
Figura 11. Onda simulata: Tr = 154 anni; Hs = 4.73 m; Tp = 10 s; Dir = 165°N – Dettaglio dei periodi di picco nell'area portuale. 17
Figura 12. Localizzazione del punto di estrazione dei risultati delle onde 3, 4, 5 e 6. 18
Figura 13. Onda di picco della mareggiata del 29/10/2018: Hs = 6.51 m, Tp =11.2 s, Dir = 195°N – Dettaglio delle altezza d'onda significativa nell'area portuale. 20
Figura 14. Onda di picco della mareggiata del 29/10/2018: Hs = 6.51 m, Tp =11.2 s, Dir = 195°N – Dettaglio dei periodi di picco nell'area portuale. 21

Comune di Santa Margherita Ligure, Prot. N. 0009218 del 13-03-2019 in arrivo

Indice delle tabelle

Tabella 1. Onde propagate per la scelta dei parametri di progetto. 6
Tabella 2. Onde propagate per la stima dei parametri da utilizzare nello studio di penetrazione ondosa. 6
Tabella 3. Output puntuali relativi alle onde 3, 4, 5 e 6. 18
Tabella 4. Tabella riassuntiva delle onde propagate. 22
Tabella 5. Risultati ottenuti dalla propagazione delle onde 3, 4, 5 e 6, estratti nel punto di coordinate 517706.1723 E, 4908148.3363 N (UTM 32 N). 23

1. INTRODUZIONE

A seguito degli ultimi eventi di mareggiata risalenti allo scorso 29 ottobre 2018, l'Acquatecno S.r.l. è stata incaricata dal Comune di Santa Margherita Ligure (GE) di riprogettare la diga di sopraflutto di stato attuale (Figura 1), tenendo conto anche dell'onda che ne ha provocato il collasso ed in seguito studiare nuove soluzioni dell'imboccatura portuale, al fine di garantire una minore agitazione residua interna.

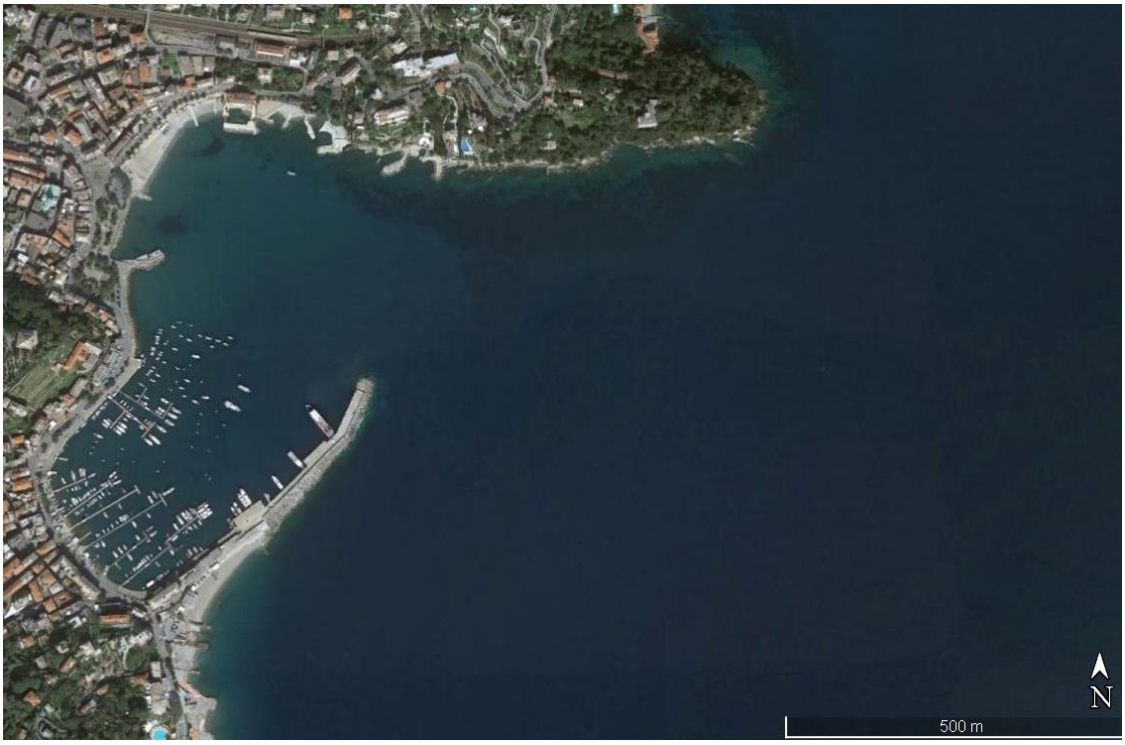


Figura 1. Vista planimetrica del Porto di santa Margherita Ligure nella configurazione di stato attuale – immagine presa da Google Earth.

Il presente studio di propagazione ondosa è stato sviluppato per trasferire sotto costa il clima ondoso determinato al largo di Santa Margherita Ligure (GE), di cui all'elaborato *PD_SM_Studio Meteomarino,* al fine di:

- Determinare le caratteristiche dell'onda di progetto (Tr = 154 anni) incidente sulla diga di sopraflutto per poter dimensionare correttamente le opere in progetto;
- Stimare i parametri (Hs, Tp, θm) delle onde da utilizzare per lo studio specialistico idraulico-marittimo relativo alla penetrazione ondosa.

Il presente documento quindi costituisce la relazione illustrativa della metodologia seguita, dei codici di calcolo utilizzati e dei risultati ottenuti.

Comune di Santa Margherita Ligure, Prot. N. 0009218 del 13-03-2019 in arrivo

2. STUDIO DI TRASFERIMETO LARGO - RIVA

A valle dei risultati ottenuti dallo studio meteomarino, è stato effettuato uno studio di trasferimento largo riva, al fine di valutare l'onda di progetto (Tr = 154 anni) per il corretto dimensionamento dell'opera.

Per la simulazione numerica bidimensionale è stato utilizzato il modello matematico MIKE 21, sviluppato dal Danish Hydraulic Institute. Esso è basato sulla risoluzione alle differenze finite su griglia strutturata o flessibile, ed è costituito da differenti moduli che implementano le numerose equazioni che governano gran parte dei fenomeni idraulici riscontrabili in un determinato sistema marino.
Nel caso in esame è stato utilizzato il modello SW (Spectral Wave), che consente di simulare la penetrazione ondosa all'interno del bacino portuale tenendo conto di vari fenomeni quali shoaling, diffrazione, rifrazione, riflessione semplice e l'amplificazione ondosa indotta dal vento che spira all'interno di esso.

2.1. Modello di calcolo utilizzato: Mike 21 SW (Spectral Wave)

Il modello Spectral Wave (SW) del codice MIKE 21 viene utilizzato per valutare le trasformazioni del moto ondoso in aree costiere ed off-shore sia per hindcast che per forecast. Il modello è in grado di simulare:

1. crescita dell'onda per effetto del vento
2. interazione non lineare tra le onde
3. dissipazione dovuta al *white capping*
4. dissipazione dovuta all'attrito con il fondo
5. frangimento dell'onda su profondità limitate
6. rifrazione e shoaling dovuti alla morfologia batimetrica
7. diffrazione
8. riflessione semplice

Il modello MIKE 21 SW è basato sulla risoluzione numerica nel dominio e nel tempo dell'equazione di bilancio dell'azione delle onde:

$$\frac{\partial A}{\partial t} + \nabla_x \cdot \left(c_g A\right) + \nabla_\theta \cdot (c_\theta A) + \nabla_\sigma \cdot \left(c_g A\right) = S$$

Il modello utilizza una formulazione parametrica direzionalmente disaccoppiata ed una formulazione completamente spettrale. La prima si basa su una parametrizzazione dell'equazione di conservazione dell'azione ondosa. La parametrizzazione viene effettuata nel dominio delle frequenze introducendo lo zeroth, ed il primo momento dello spettro delle onde come variabili dipendenti. La formulazione

Comune di Santa Margherita Ligure, Prot. N. 0009218 del 13-03-2019 in arrivo

completamente spettrale invece si basa sull'equazione di conservazione dell'onda come descritto da Komen et al. (1994) e Young (1999), in cui lo spettro di frequenza direzionale dell'azione dell'onda è la variabile dipendente. Il modulo SW comprende anche due formulazioni per il tempo. Una formulazione quasi stazionaria ed una non stazionaria, in quella quasi stazionaria la variabile tempo viene rimossa come variabile indipendente e viene associata una soluzione stazionaria ad ogni passo temporale. Quando viene utilizzata la soluzione stazionaria non è possibile inserire il vento come forzante. L'immissione delle onde all'interno del dominio di calcolo può essere effettuata utilizzando dei contorni aperti dove poter inserire il moto ondoso di interesse, oppure inserendo dei contorni chiusi ed immettendo la forzante del vento. L'output principale di MIKE 21 SW è il campo d'onda residua all'interno della zona di studio.

2.2. Condizioni ondose simulate

Al fine di valutare quale fosse la condizione più cautelativa da prendere come riferimento per il dimensionamento delle opere in progetto, sono state sondate due diverse condizioni ondose (Tabella 1) rappresentanti entrambi i settori di traversia: 195°N – 225°N (Ostro – Libeccio) e 135°N – 195°N (Scirocco - Ostro), rispettivamente principale e secondario. Per quanto riguarda le ondazioni da utilizzare per lo sviluppo dello studio di penetrazione ondosa, sono state propagate le onde relative ai periodi di ritorno di 5 e 50 anni provenienti da entrambi i settori suddetti (Tabella 2).

Tabella 1. Onde propagate per la scelta dei parametri di progetto.

Onde	Tr [anni]	Hs [m]	Tp [s]	Dir [°N]	Settore
Onda 1	154	7.18	11.5	195	Libeccio
Onda 2	154	4.73	10	165	Scirocco

Tabella 2. Onde propagate per la stima dei parametri da utilizzare nello studio di penetrazione ondosa.

Onde	Tr [anni]	Hs [m]	Tp [s]	Dir [°N]	Settore
Onda 3	50	5.88	10.40	195	Libeccio
Onda 4	50	3.93	9.40	165	Scirocco
Onda 5	5	3.85	9.30	195	Libeccio
Onda 6	5	2.86	8.60	165	Scirocco

2.3. Griglia di calcolo

Al fine di simulare correttamente la propagazione dell'onda di progetto e allo stesso tempo ottimizzare i tempi di calcolo, il dominio di calcolo è stato suddiviso in tre aree aventi diverse risoluzioni spaziali;

Comune di Santa Margherita Ligure, Prot. N. 0009218 del 13-03-2019 in arrivo

l'area più esterna è infatti caratterizzata da un passo di integrazione spaziale pari a 90 m, quella intermedia avente una risoluzione di 30 m, e quella rappresentante l'area portuale ha invece passo di integrazione pari a 10 m. Il bordo esterno della griglia di calcolo è posto ad una profondità di circa 90 m, in corrispondenza dell'ubicazione del punto da cui sono stati estratti i dati ondosi.

Di seguito sono rappresentate la mesh di calcolo (Figura 2 e Figura 3) e la batimetria caratterizzante l'area di studio (Figura 4 e Figura 5).

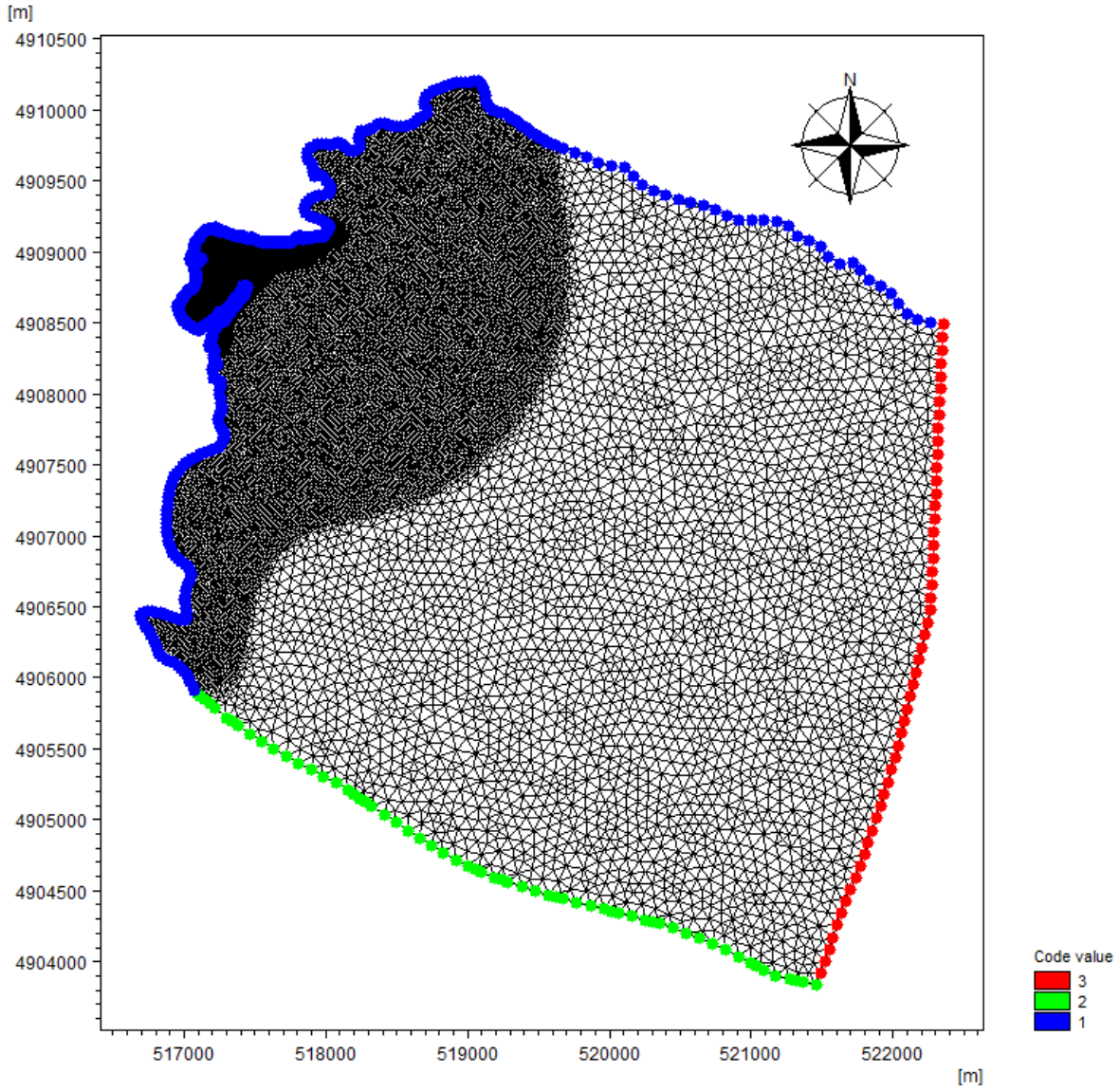


Figura 2. Mesh di calcolo.

Comune di Santa Margherita Ligure, Prot. N. 0009218 del 13-03-2019 in arrivo

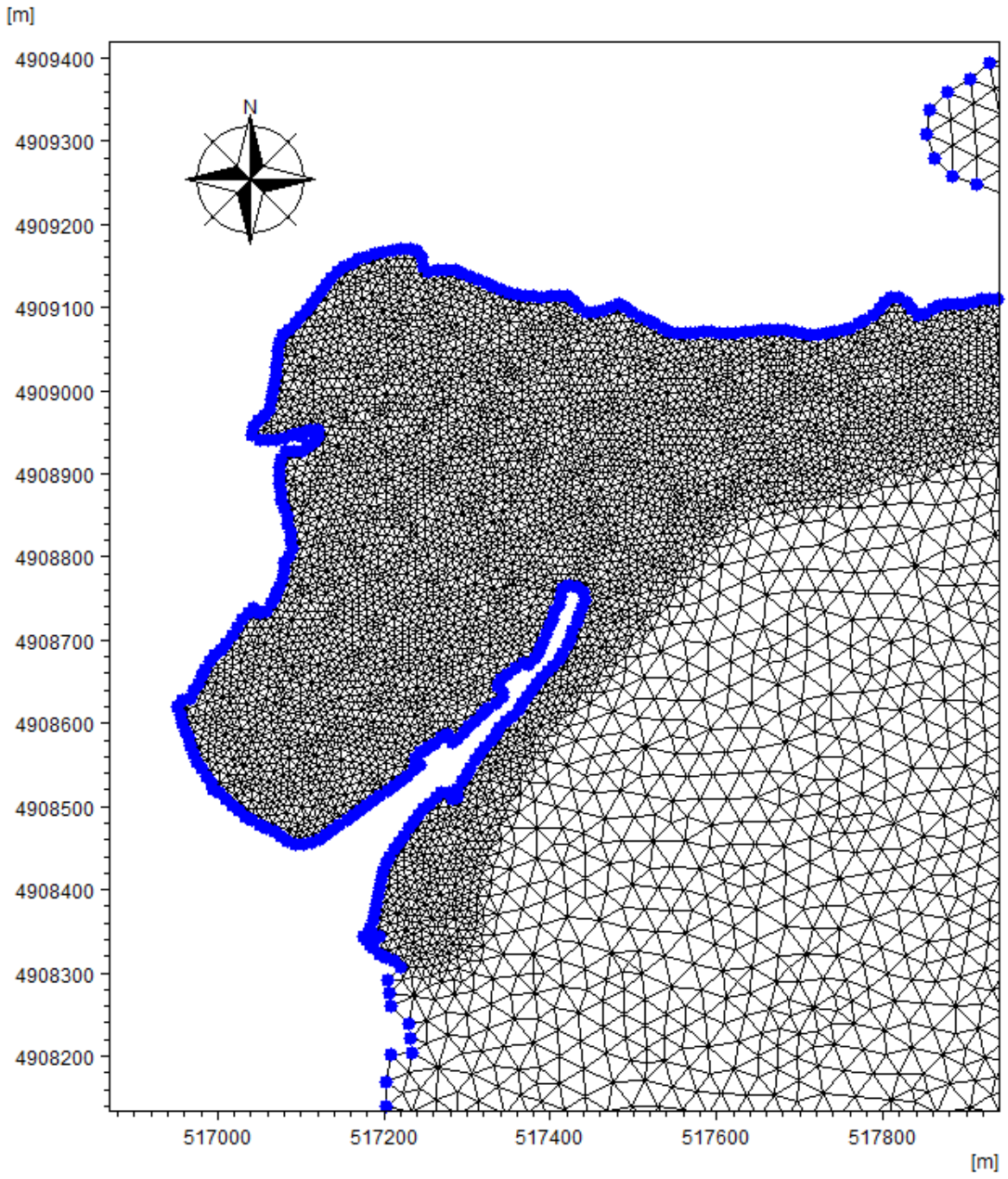


Figura 3. Dettaglio della griglia di calcolo nella zona portuale.

Comune di Santa Margherita Ligure, Prot. N. 0009218 del 13-03-2019 in arrivo

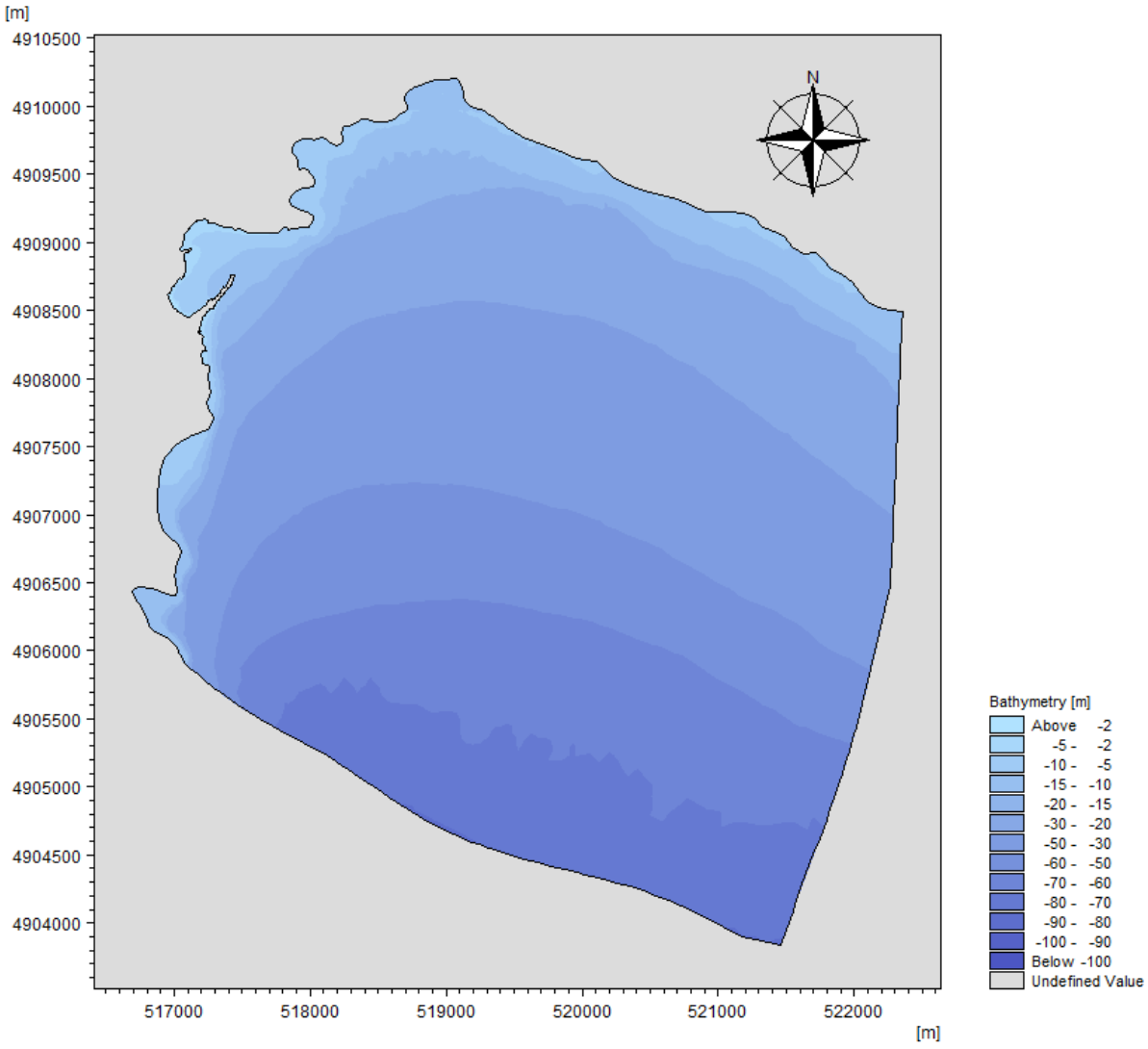


Figura 4. Batimetria.

Comune di Santa Margherita Ligure, Prot. N. 0009218 del 13-03-2019 in arrivo

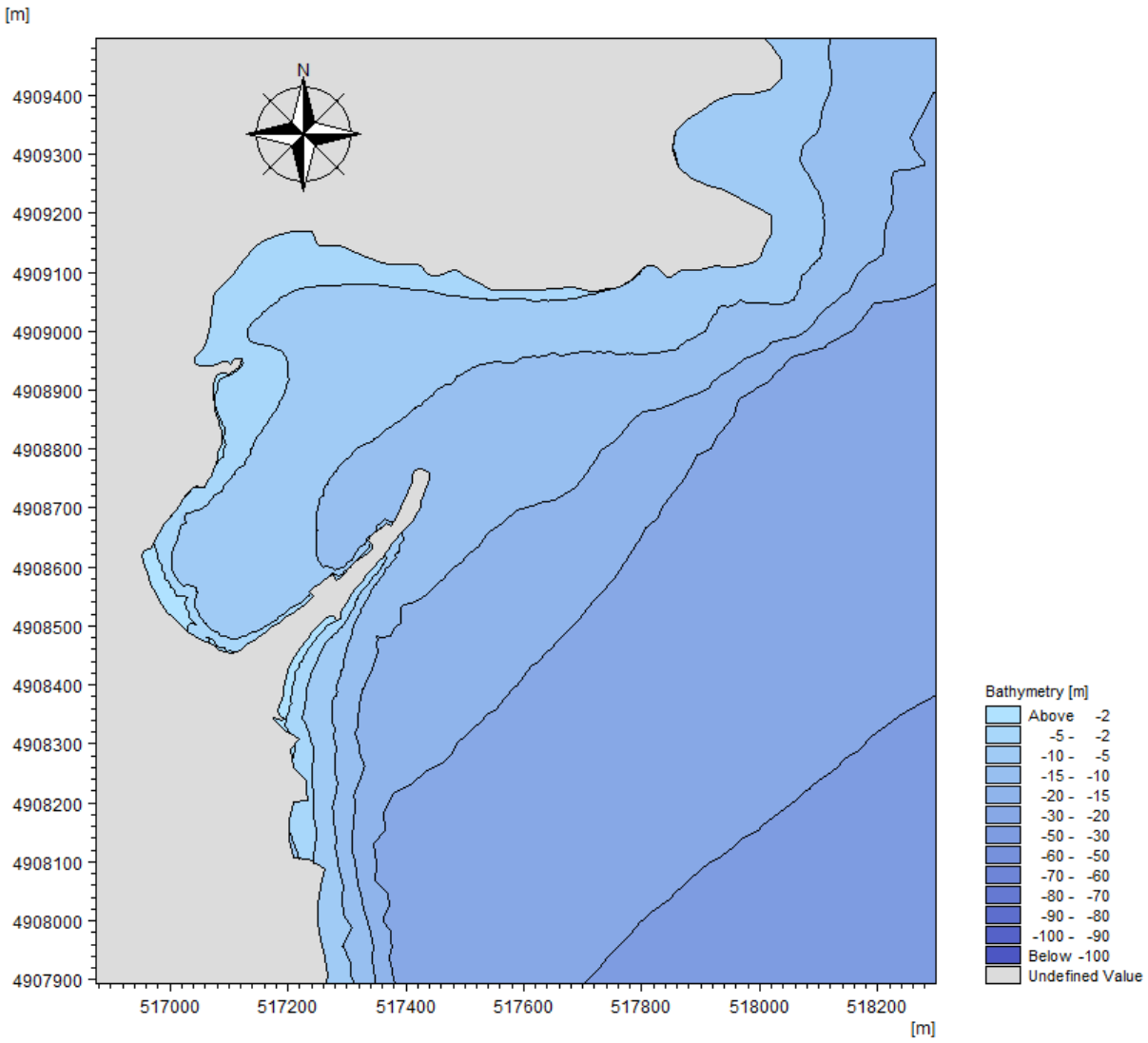


Figura 5. Dettaglio della batimetria della zona portuale.

2.4. Periodo simulato

Il periodo di simulazione è stato scelto in modo da poter garantire l'intero sviluppo del moto ondoso all'interno dell'area di studio. Questo periodo è strettamente legato alle dimensioni del dominio di calcolo. Nel caso in esame si è scelto un intervallo di tempo pari a 3 ore per la trasposizione ondosa da largo ai pressi dell'imboccatura portuale, questo intervallo risulta sufficiente per lo sviluppo del moto ondoso in tutto il dominio di calcolo.

Comune di Santa Margherita Ligure, Prot. N. 0009218 del 13-03-2019 in arrivo

2.5. Risultati

Nelle figure che seguono sono rappresentati i risultati in termini di altezza d'onda significativa e periodo di picco relativi al trasferimento largo-riva dell'onde 1 e 2.

Onda 1

La Figura 6 mostra l'altezza d'onda significativa incidente sulla diga di sopraflutto; Hs ricade nell'intervallo 3.5 – 4.0 m lungo il tronco della diga, si riscontra però ad una distanza inferiore a 50 m dall'opera un'onda la cui altezza è nel range 4.0 – 4.5 m. In testata invece l'altezza significativa si riduce per diffrazione ed è compresa tra 3.5 m e 4.0 m.

In Figura 7 è rappresentato il campo di altezza d'onda significativa su tutto il dominio di calcolo, in cui è chiaramente visibile la direzione di propagazione di input pari a 195°N, si ha in seguito la rifrazione dell'onda all'interno dell'area ed infine riflessione e diffrazione sul sopraflutto.

La Figura 8 infine rappresenta i valori di periodo di picco, che rispetto al Tp = 11.5 s di input, si riducono in modo poco significativo come è normale che sia fino all'esterno del porto, mentre la riduzione aumenta sui bassi fondali all'interno del bacino portuale.

Onda 2

La Figura 9 mostra l'altezza d'onda significativa incidente sulla diga di sopraflutto; Hs è circa pari a 3.6 m lungo il tronco della diga; come nel caso precedente in testata l'altezza significativa si riduce per diffrazione.

In Figura 10 è rappresentato il campo di altezza d'onda significativa su tutto il dominio di calcolo, in cui si apprezzano, come prima, rifrazione, riflessione sull'opera e diffrazione all'interno del porto.

La Figura 11 infine rappresenta i valori di periodo di picco; come per l'onda precedente, tali valori si riducono poco come è normale che sia fino all'esterno del porto, in corrispondenza della diga infatti si ha un periodo di picco circa pari a 9.8 s, con un periodo di partenza pari a 10 s.

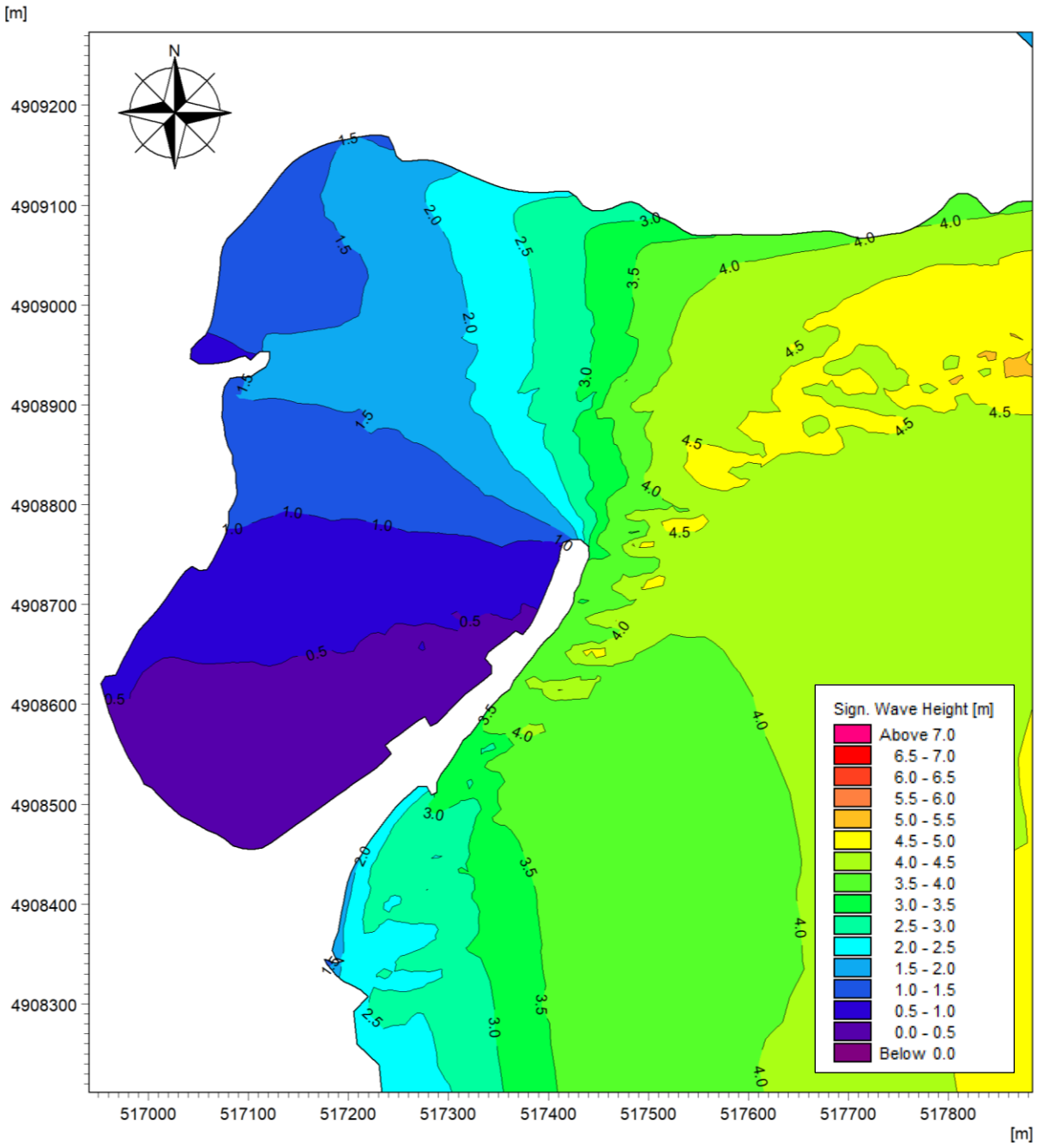


Figura 6. Onda simulata: Tr = 154 anni; Hs = 7.18 m; Tp = 11.5 s; Dir = 195°N – Dettaglio delle altezze d'onda significativa nell'area portuale.

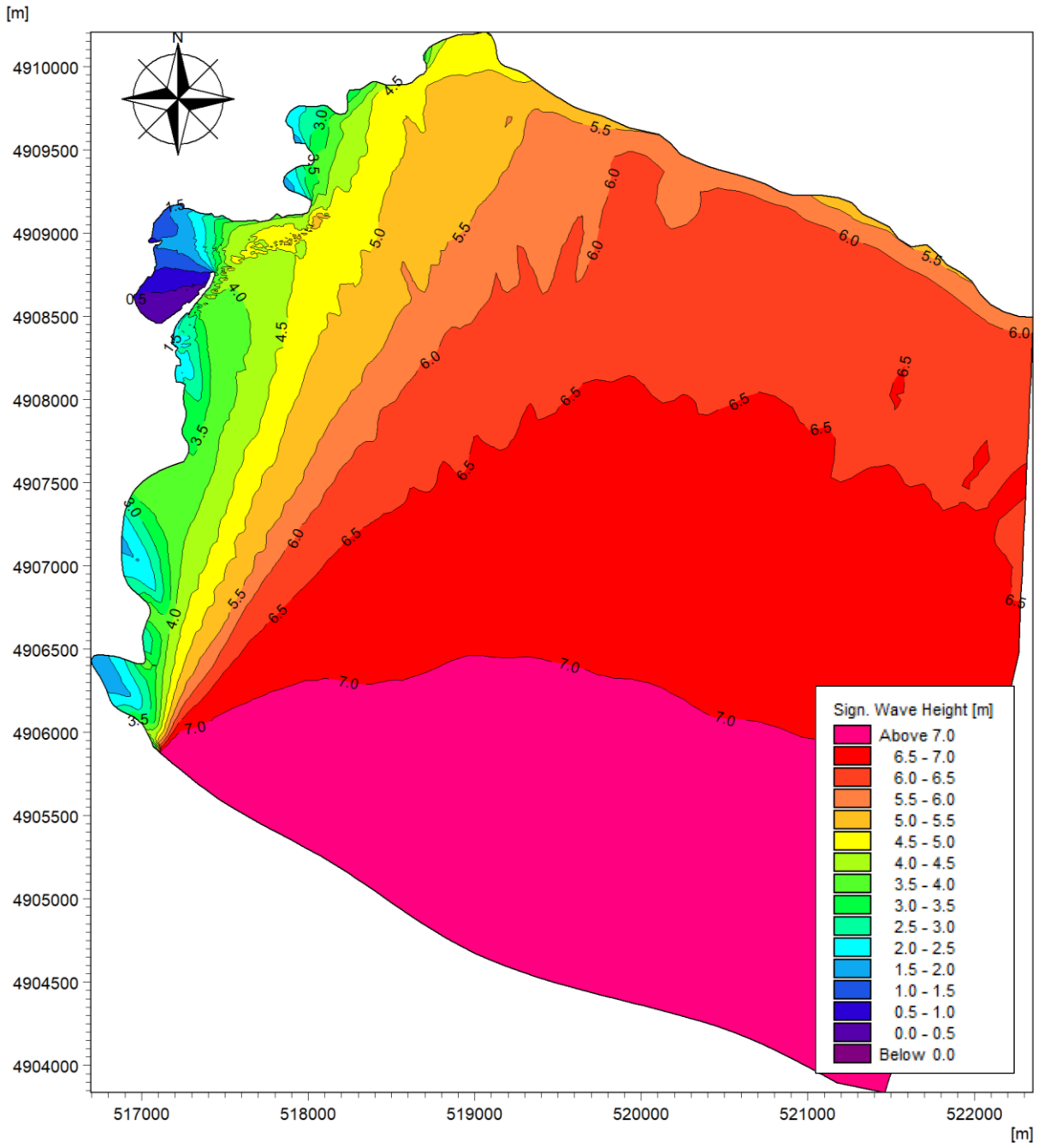


Figura 7. Onda simulata: Tr = 154 anni; Hs = 7.18 m; Tp = 11.5 s; Dir = 195°N – Altezze d'onda significativa nell'intero dominio.

Comune di Santa Margherita Ligure, Prot. N. 0009218 del 13-03-2019 in arrivo

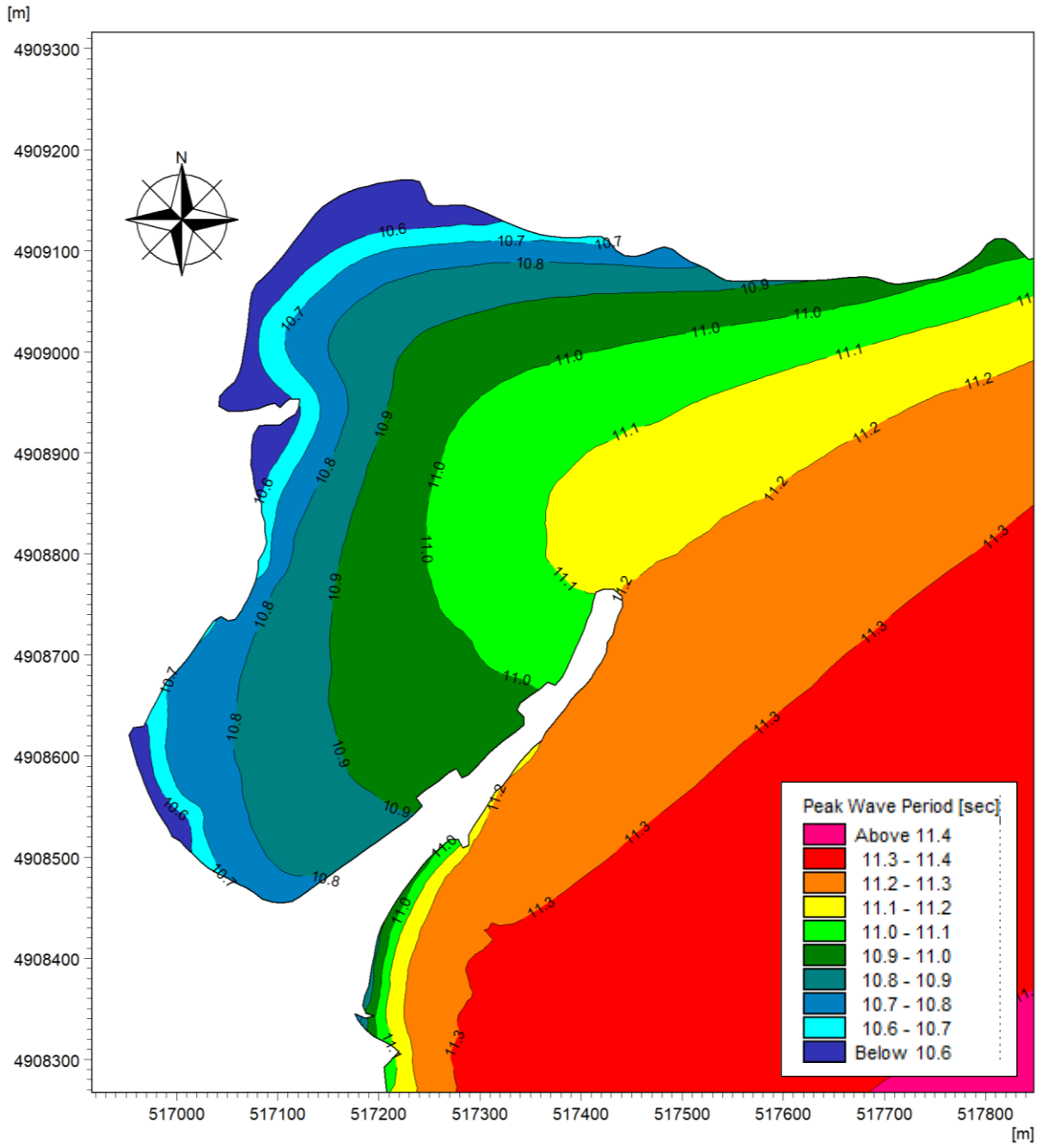


Figura 8. Onda simulata: Tr = 154 anni; Hs = 7.18 m; Tp = 11.5 s; Dir = 195°N – Dettaglio dei periodi di picco nell'area portuale.

Comune di Santa Margherita Ligure, Prot. N. 0009218 del 13-03-2019 in arrivo

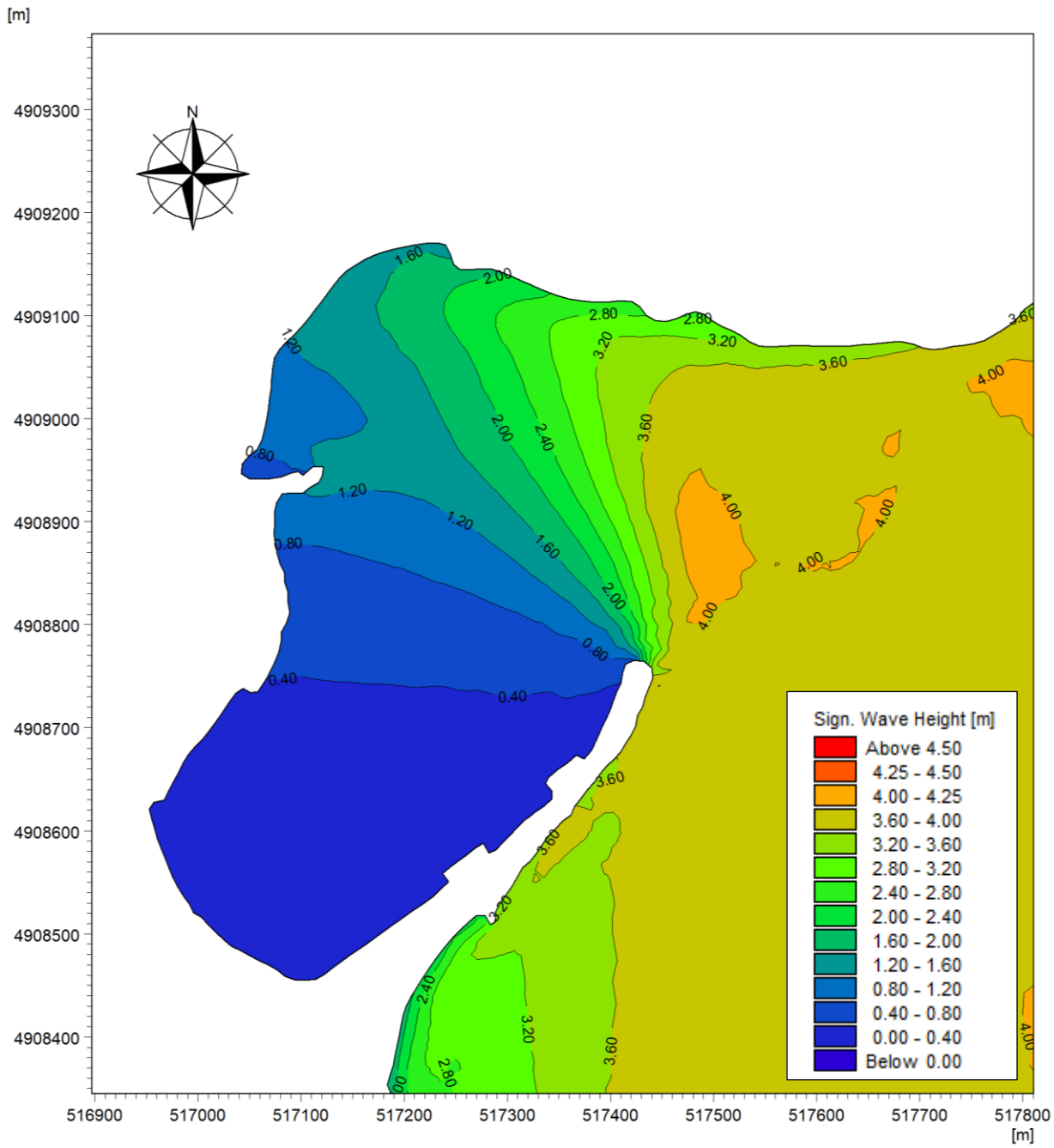


Figura 9. Onda simulata: Tr = 154 anni; Hs = 4.73 m; Tp = 10 s; Dir = 165°N – Dettaglio delle altezze d'onda significativa nell'area portuale.

Comune di Santa Margherita Ligure, Prot. N. 0009218 del 13-03-2019 in arrivo

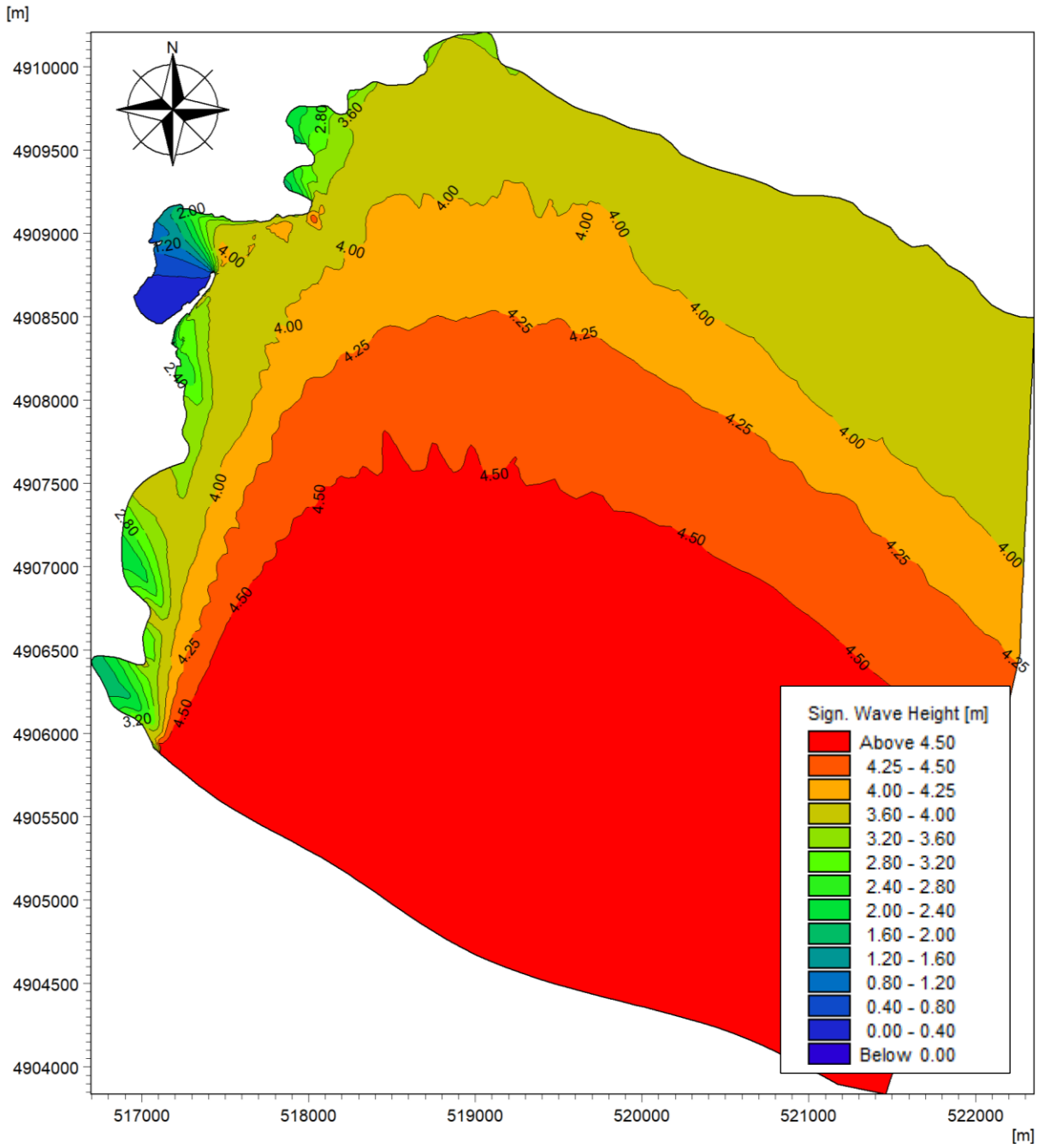


Figura 10. Onda simulata: Tr = 154 anni; Hs = 4.73 m; Tp = 10 s; Dir = 165°N – Altezze d'onda significativa nell'intero dominio.

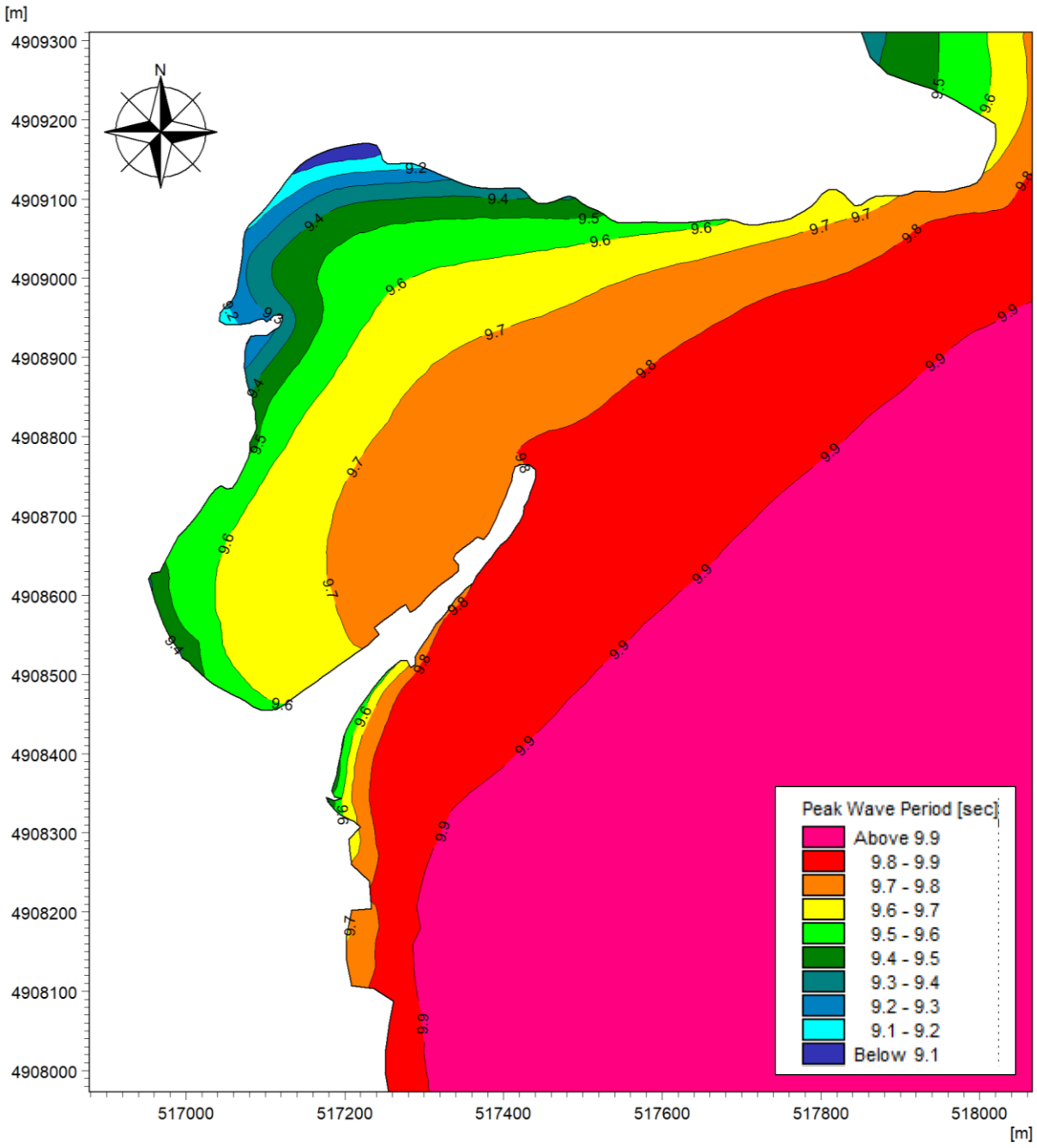


Figura 11. Onda simulata: Tr = 154 anni; Hs = 4.73 m; Tp = 10 s; Dir = 165°N – Dettaglio dei periodi di picco nell'area portuale.

Per quanto riguarda le onde cinquantennali e quinquennali, si riportano di seguito gli output puntuali (relativi al punto di coordinate 517706.1723 E, 4908148.3363 N (UTM 32 N) rappresentato in Figura 12.

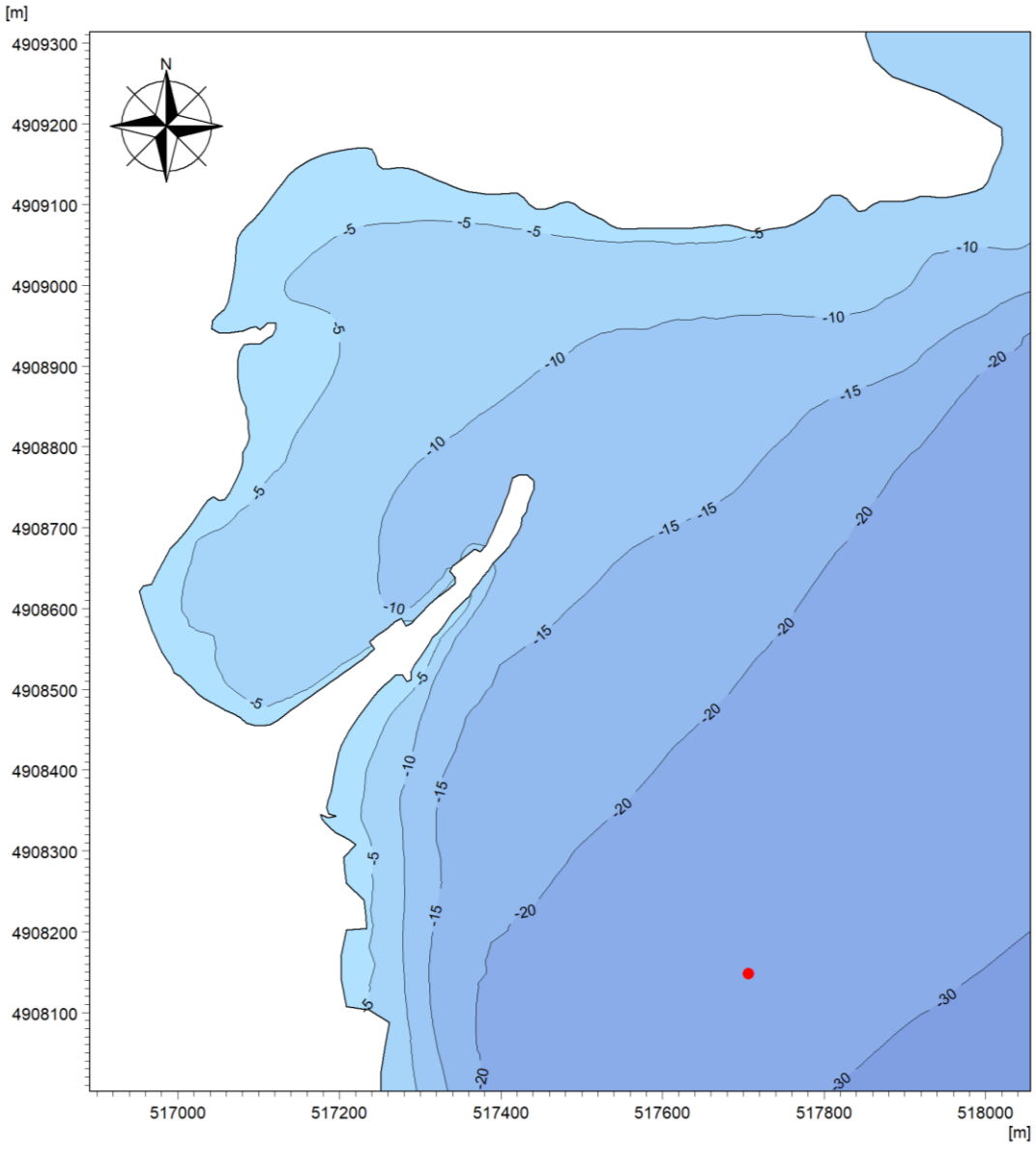


Figura 12. Localizzazione del punto di estrazione dei risultati delle onde 3, 4, 5 e 6.

Tabella 3. Output puntuali relativi alle onde 3, 4, 5 e 6.

Onde	Tr [anni]	Hs [m]	Tp [s]	Dir [°N]
Onda 3	50	3.50	10.35	172
Onda 4	50	3.38	9.37	160
Onda 5	5	2.36	9.27	174
Onda 6	5	2.52	8.60	160

Comune di Santa Margherita Ligure, Prot. N. 0009218 del 13-03-2019 in arrivo

2.6. Propagazione mareggiata del 29/10/2018

Visti i risultati del paragrafo precedente, in cui l'Onda 1 risulta la più cautelativa per il dimensionamento delle opere in progetto, si è deciso di fare un confronto con l'onda rappresentativa dell'evento di mareggiata del 29/10/2018. Tale onda, verificatasi con Hs = 6.51 m, Tp = 11.2 s e direzione media di provenienza pari a circa 215°N, è stata cautelativamente propagata assumendo come direzione di provenienza il limite inferiore del settore di traversia principale, ovvero 195°N. Essa comporta una Hs sull'opera circa paro a 3.5 m con un periodo di 10.9 s; confrontando quindi la mareggiata con l'Onda 1 quest'ultima rimane comunque la più critica (Figura 13 e Figura 14).

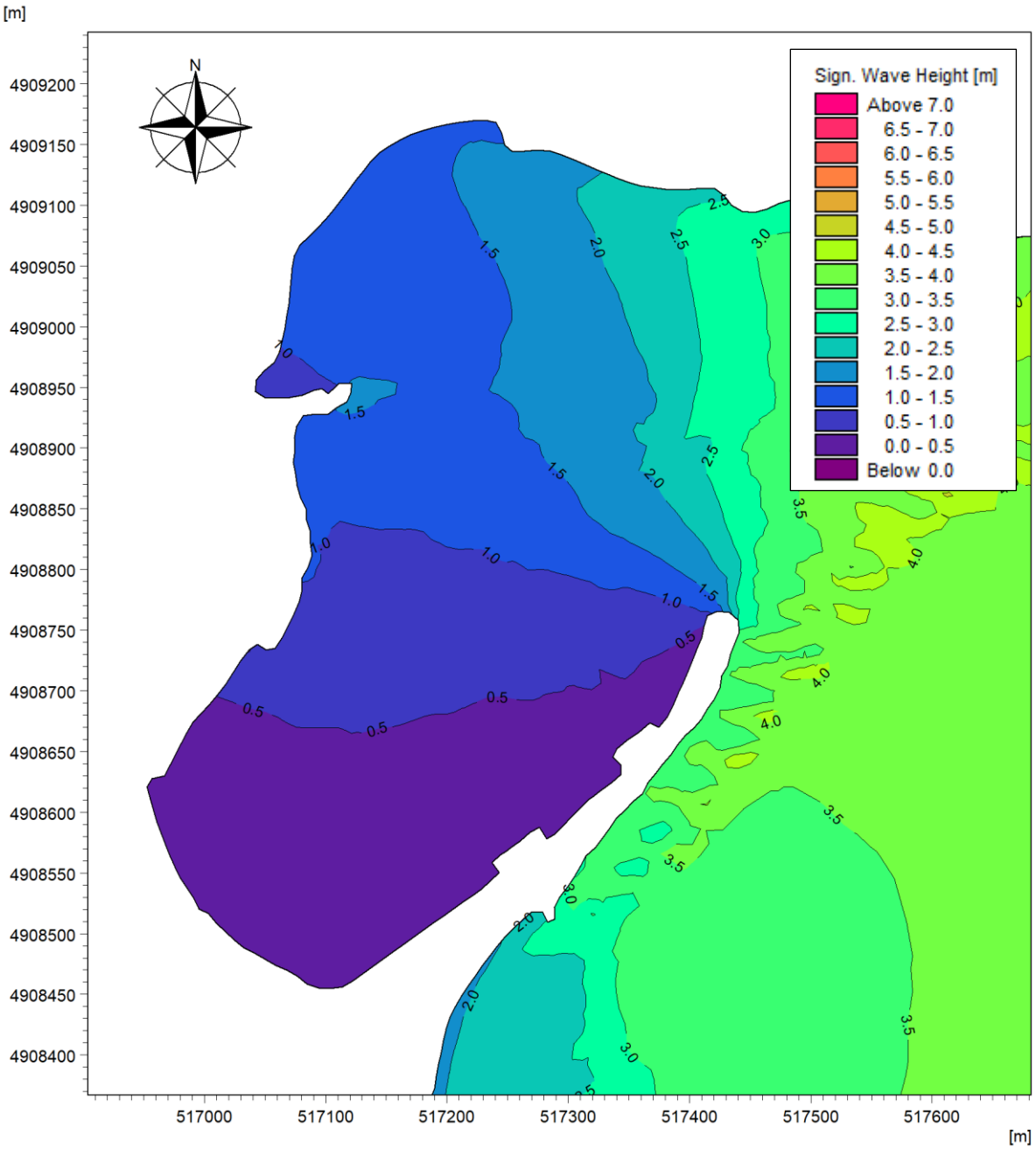


Figura 13. Onda di picco della mareggiata del 29/10/2018: Hs = 6.51 m, Tp =11.2 s, Dir = 195°N – Dettaglio delle altezza d'onda significativa nell'area portuale.

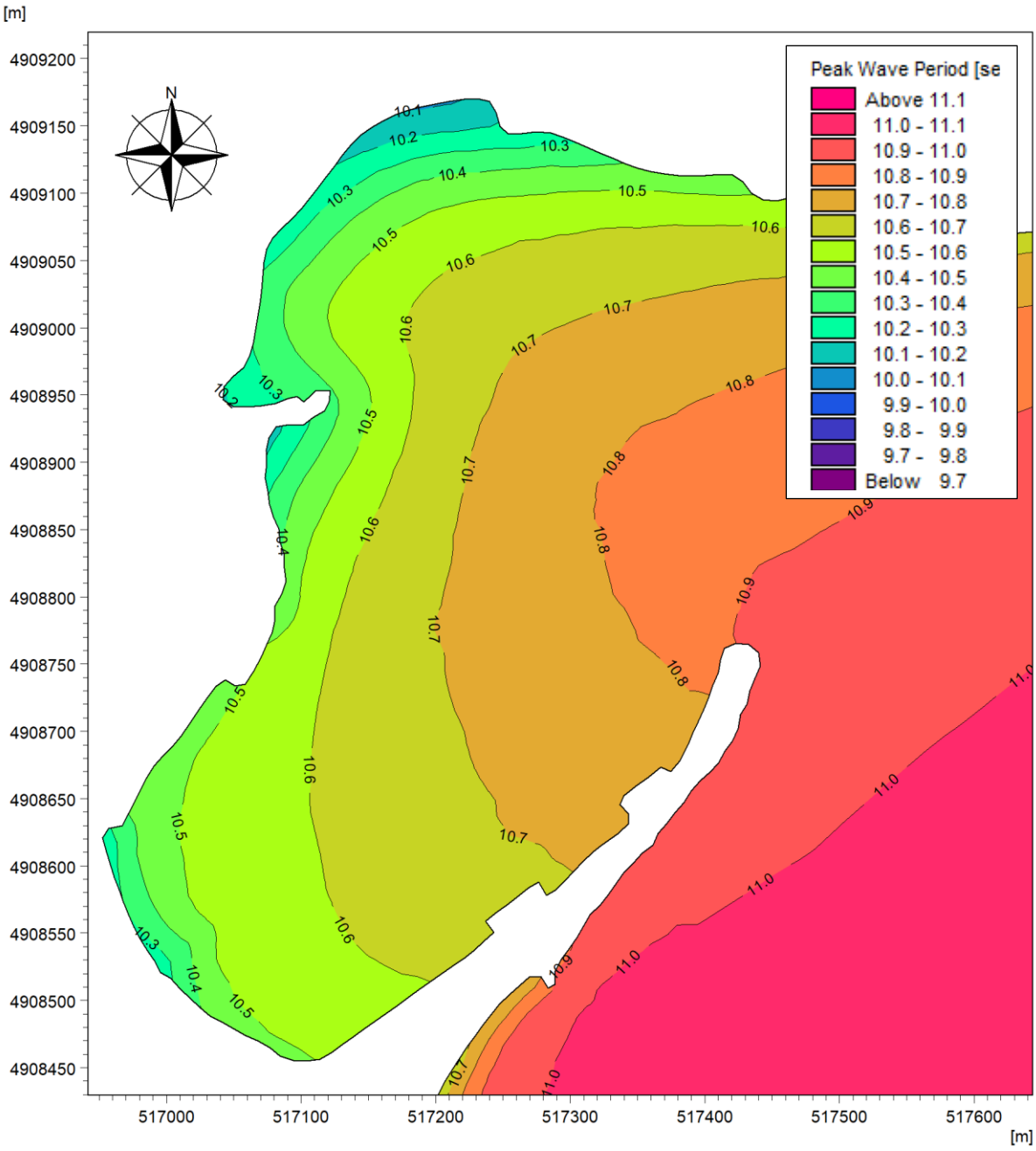


Figura 14. Onda di picco della mareggiata del 29/10/2018: Hs = 6.51 m, Tp =11.2 s, Dir = 195°N – Dettaglio dei periodi di picco nell'area portuale.

Comune di Santa Margherita Ligure, Prot. N. 0009218 del 13-03-2019 in arrivo

3. CONCLUSIONI

Il presente studio di propagazione ondosa da largo verso riva è stato sviluppato per un duplice scopo:

- Determinare le caratteristiche dell'onda di progetto (Tr = 154 anni) incidente sulla diga di sopraflutto per poter dimensionare correttamente le opere in progetto (Tabella 1);
- Stimare i parametri (Hs, Tp, θm) delle onde da utilizzare per lo studio specialistico idraulico-marittimo relativo alla penetrazione ondosa, al fine di valutare i livelli di agitazione all'interno del porto (Tabella 2).

Le onde propagate sono riassunte nella tabella che segue sono rappresentative di entrambi i settori di traversia individuati nello studio meteomarino, principale 195°N – 225°N (Ostro - Libeccio) e secondario 135°N – 195°N (Ostro – Scirocco):

Tabella 4. Tabella riassuntiva delle onde propagate.

Onde	Tr [anni]	Hs [m]	Tp [s]	Dir [°N]	Settore
Onda 1	154	7.18	11.5	195	Libeccio
Onda 2	154	4.73	10	165	Scirocco
Onda 3	50	5.88	10.40	195	Libeccio
Onda 4	50	3.93	9.40	165	Scirocco
Onda 5	5	3.85	9.30	195	Libeccio
Onda 6	5	2.86	8.60	165	Scirocco

Per quanto concerne la scelta dell'onda di progetto per il dimensionamento delle opere previste nel definitivo, dall'analisi dei risultati è emerso che l'Onda 1 proveniente dal settore di traversia principale (Ostro – Libeccio) comporta un'altezza significativa compresa tra 4.0 m e 4.5 m sul tronco della diga di sopraflutto esistente, a fronte di un'altezza pari a circa 3.6 m relativa alla propagazione dell'Onda 2. L'output dell'Onda 1 è stato confrontato anche con quello relativo all'onda di picco relativa alla mareggiata del 29/10/2018 (paragrafo 2.5).

Visti i risultati del modello dunque si è cautelativamente scelta come onda di progetto l'Onda 1. Data la conformazione dell'opera in progetto i valori di altezza d'onda progettuale adottati sono rispettivamente:

- H = 4.2 m per il tronco della diga;
- H = 3.6 m per la testata della diga.

Per quanto riguarda invece le onde di interesse per lo studio dei livelli di agitazione residua all'interno del porto, sono stati ottenuti i seguenti risultati:

Comune di Santa Margherita Ligure, Prot. N. 0009218 del 13-03-2019 in arrivo

- Confrontando le onde cinquantennali, l'Onda 3 proveniente dalla traversia principale comporta un'altezza significativa maggiore, pari a 3.50 m a fronte dei 3.38 m dell'onda 4;
- Considerando le onde quinquennali invece, l'altezza significativa maggiore ottenuta corrisponde all'Onda 6 appartenente al settore di traversia secondario.

Sulla base dei risultati ottenuti si scelgono come condizioni ondose di input per lo studio di penetrazione ondosa le onde riportate in Tabella 5

Tabella 5. Risultati ottenuti dalla propagazione delle onde 3, e 6, estratti nel punto di coordinate 517706.1723 E, 4908148.3363 N (UTM 32 N).

Onde	Tr [anni]	Hs [m]	Tp [s]	Dir [°N]
Onda 3	50	3.50	10.35	172
Onda 6	5	2.52	8.60	160