

# Brindisi LNG

## Valutazione dell'impatto degli scarichi termici

Relazione EX 5673  
Pubblicazione 1.0  
Dicembre 2007

### DICHIARAZIONE DI NON RESPONSABILITÀ

Il presente documento è stato tradotto al meglio delle nostre competenze e conoscenze dal testo originale in lingua inglese, con lo scopo di fornire il più alto livello di accuratezza. Comunque, in caso di discrepanze, si deve considerare il testo originale in lingua inglese, soprattutto per quanto concerne i dati tecnici.



## *Sommario*

Brindisi LNG

Valutazione dell'impatto degli scarichi termici

Relazione EX 5673  
Dicembre 2007

La Brindisi LNG SpA prevede di costruire un nuovo terminale GNL nel Porto di Brindisi. Secondo il progetto la portata di acqua marina prevista per il processo di rigassificazione del GNL sarà di 25.000m<sup>3</sup>/h. L'acqua di mare scaricata sarà di 6°C più fredda rispetto all'ambiente. La presa per l'acqua di mare deve essere posizionata sul lato nordovest del colmata mentre lo scarico verrà collocato sul lato ovest.

Il presente studio utilizza un modello numerico 3D convalidato del Porto Esterno di Brindisi, allo scopo di accertare il potenziale impatto derivato dallo scarico di acqua fredda ipotizzando una serie di possibili scenari.

Si prevede che lo scarico ridurrà la temperatura ambiente dell'acqua di 1°C o più, interessando un'area del Porto Esterno inferiore al 2% con un impatto trascurabile sulla riduzione delle zone di acqua che superano la temperatura ambiente come risultato di scarichi di acqua calda esistenti.

Si prevede che lo scarico introdurrà basse concentrazioni di cloro (<0,2ppm) nel Porto Esterno con concentrazioni superiori a 0,15ppm che si estenderanno a soli 300m dal punto di scarico.

La conclusione evidenzia come il proposto scarico di acqua fredda non presenti un impatto significativo sulle acque del Porto di Brindisi, e fornisca acqua più fredda al canale di presa per Polimeri Europa, determinando una situazione che potrebbe rilevarsi vantaggiosa. Tali conclusioni rimangono valide indipendentemente dallo sviluppo o meno di Capo Bianco.



## Indice

Titolo.....	i
Sommario .....	iii
Indice .....	v
1. Introduzione .....	1
1.1 Antefatto.....	1
1.2 Obiettivi.....	1
1.3 Scopo del lavoro.....	1
1.3.1 Lavoro precedente.....	1
1.3.2 Il presente studio.....	2
1.4 Principi generali della relazione .....	2
2. Scenari studiati.....	3
2.1 Principio fondamentale alla base degli scenari .....	3
2.2 Descrizione dello scenario.....	4
3. Risultati.....	6
3.1 Comportamento generale dello scarico di acqua fredda BrLNG.....	6
3.2 Comportamento generale degli scarichi di acqua calda .....	6
3.3 Scarichi esistenti.....	6
3.4 Risultati relativi al caso base .....	7
3.5 Risultati del test di sensibilità.....	7
3.6 Riepilogo dei test dello scenario.....	8
4. Interpretazione dei risultati rispetto agli obiettivi .....	10
4.1 Impatti dello scarico BrLNG sul funzionamento dell'impianto PE.....	10
4.2 Valutazione della probabile dispersione del pennacchio termico (effetti ambientali).....	11
4.2.1 Quadro normativo.....	11
4.2.2 Estensione delle aree di superficie calda o dei pennacchi freddi del fondale .....	11
4.3 Diluzione del cloro.....	12
5. Conclusioni .....	12
6. Riferimenti .....	13

### Tabelle

Tabella 1	Temperatura media in eccesso in corrispondenza della presa BrLNG (°C) nell'ultima marea all'interno della simulazione.....	7
Tabella 2	Temperatura media in eccesso in corrispondenza della prese BrLNG (°C) nell'ultima marea all'interno della simulazione .....	9
Tabella 3	Temperatura media in eccesso in corrispondenza delle prese BrLNG (°C) nell'ultima marea all'interno della simulazione .....	10
Tabella 4	Aree di eccesso di temperatura nel Porto Esterno .....	11

## Indice - continuazione

### Figure

- Figura 1 Porto Esterno di Brindisi che mostra le prese e gli sbocchi esistenti, oltre alla presa e allo sbocco proposti da BrLNG
- Figura 2 Dominio e reticolo del modello degli elementi finiti TELEMAC-3D
- Figura 3 Dominio e reticolo del modello degli elementi finiti TELEMAC-3D (locale per lo sviluppo proposto BrLNG)
- Figura 4 Batimetria del modello degli elementi finiti TELEMAC-3D
- Figura 5 Batimetria del modello degli elementi finiti TELEMAC-3D (locale per lo sviluppo proposto BrLNG)
- Figura 6 Batimetria del modello degli elementi finiti TELEMAC-3D (escluso lo sviluppo proposto di Capo Bianco)
- Figura 7 Campi di temperatura rappresentati tramite modello (superficie e fondo) per lo Scenario E1. Solo prese/sbocchi esistenti
- Figura 8 Campi di temperatura rappresentati tramite modello (superficie e fondo) per lo Scenario B1 Caso Base in assenza di vento
- Figura 9 Campi di temperatura rappresentati tramite modello (superficie e fondo) per lo Scenario B2 Caso Base con vento da 180°N
- Figura 10 Campi di temperatura rappresentati tramite modello (superficie e fondo) per lo Scenario B3 Caso Base con vento da 150°N
- Figura 11 Campi di temperatura rappresentati tramite modello (superficie e fondo) per lo Scenario B4 Caso Base con vento da 300°N
- Figura 12 Campi di temperatura rappresentati tramite modello (superficie e fondo) per lo Scenario B5 Caso Base con vento da 300°N
- Figura 13 Campi di temperatura rappresentati tramite modello (superficie e fondo) per lo Scenario S1 presa/sbocco PE chiusi e assenza di vento
- Figura 14 Campi di temperatura rappresentati tramite modello (superficie e fondo) per lo Scenario S2 presa/sbocco PE chiusi e vento da 180°N
- Figura 15 Campi di temperatura rappresentati tramite modello (superficie e fondo) per lo Scenario S3 con miscelazione tramite onde e assenza di vento
- Figura 16 Campi di temperatura rappresentati tramite modello (superficie e fondo) per lo Scenario S4 con miscelazione tramite onde e vento da 180°N
- Figura 17 Campi di temperatura rappresentati tramite modello (superficie e fondo) per lo Scenario S5 senza lo sviluppo di Capo Bianco e in assenza di vento
- Figura 18 Campi di temperatura rappresentati tramite modello (superficie e fondo) per lo Scenario S6 senza lo sviluppo di Capo Bianco e vento da 180°N
- Figura 19 Campi di temperatura rappresentati tramite modello (superficie e fondo) per lo Scenario S7 CBN chiusa e assenza di vento
- Figura 20 Campi di temperatura rappresentati tramite modello (superficie e fondo) per lo Scenario S8 CBN chiusa e vento da 180°N
- Figura 21 Distribuzione cloro in eccesso (superficie e fondo) per lo Scenario B2 Caso Base con vento da 180°N
- Figura 22 Distribuzione cloro in eccesso (superficie e fondo) per lo Scenario S2 presa/sbocco PE chiusi e vento da 180°N

# 1. *Introduzione*

## 1.1 ANTEFATTO

Brindisi LNG SpA intende costruire un nuovo terminale destinato al GNL nel porto di Brindisi. Il terminal verrà progettato per garantire un'erogazione nominale iniziale di 6,0 MMTPA. L'acqua di mare verrà utilizzata nei vaporizzatori open-rack (ORV) come mezzo di riscaldamento per far evaporare il GNL. Secondo il progetto la portata di acqua marina prevista per il processo di rigassificazione del GNL sarà di 25.000m<sup>3</sup>/hr. L'acqua di mare scaricata sarà 6°C più fredda rispetto alla temperatura ambiente dell'acqua circostante.

Il presente rapporto ha lo scopo di verificare gli impatti termici della presa e dello scarico di acqua di mare, proposti in una serie di condizioni ambientali e operative.

La Figura 1 mostra la configurazione del Porto Esterno di Brindisi con il posizionamento delle prese e degli sbocchi esistenti (con le loro caratteristiche di scarico). Viene inoltre mostrata l'area di colmata proposta dell'impianto oltre al pontile BrLNG, incluse le collocazioni proposte per le prese e gli scarichi BrLNG, compresi gli sviluppi proposti/in atto presso Capo Bianco. Il modello comprende un'ulteriore colmata in corrispondenza di Costa Morena Est (collocato, però, al di fuori dell'area mostrata nella Figura 1).

## 1.2 OBIETTIVI

Gli obiettivi del presente studio sono di valutare l'impatto della presa e dello sbocco in una serie di condizioni ambientali. Si prefigge in particolare di:

1. Valutare i potenziali impatti negativi e positivi dello scarico BrLNG sulla presa di acqua di mare dell'esistente impianto di Polimera Europa (PE), adiacente allo sviluppo BrLNG
2. Valutare la probabile dispersione del pennacchio (effetti ambientali) termico (acqua fredda)
3. Valutare le probabili distribuzioni della concentrazione di cloro residuo come risultato dello scarico

## 1.3 SCOPO DEL LAVORO

### 1.3.1 *Lavoro precedente*

Il presente studio si basa su un lavoro precedente (Riferimento 1) in cui la collocazione dello scarico dell'acqua fredda BrLNG era stata scelta per ridurre al minimo il ricircolo con la presa BrLNG e per aumentare al massimo la miscelazione delle acque del porto di Brindisi.

Il lavoro precedente comprendeva la configurazione e l'utilizzo di un modello numerico 3D (TELEMAC-3D), ampiamente descritto nel Riferimento 1.

Il lavoro precedente comprendeva descrizioni complete delle prese e degli scarichi esistenti nel porto di Brindisi (Polimeri Europa (PE) e Centrale Brindisi Nord) e gli sviluppi proposti di Capo Bianco, Costa Morena Est, oltre alla colmata BrLNG.

### 1.3.2 *Il presente studio*

Il presente studio utilizza lo stesso modello TELEMAC-3D descritto in precedenza. Le figure 2-5 mostrano il modello della linea costiera, del reticolo e della batimetria. La Figura 6 mostra il modello della linea costiera e della batimetria utilizzate per condurre due test di sensibilità che hanno escluso il proposto sviluppo di Capo Bianco.

Per prima cosa il modello è stato eseguito senza la presa/lo sbocco proposti, allo scopo di stabilire le condizioni e i modelli di dispersione termica esistenti. Successivamente, è stata definita la condizione di vento nel caso peggiore per la presa/sbocco BrLNG, eseguendo il modello senza vento e con quattro condizioni di vento alternative. Infine, è stata condotta una serie di test di sensibilità. Si è quindi proceduto a riesaminare e reinterpretare i risultati per trarre le debite conclusioni.

## 1.4 PRINCIPI GENERALI DELLA RELAZIONE

La Sezione 2 esamina in dettaglio gli scenari studiati. La Sezione 3 presenta i risultati, mentre la Sezione 4 fornisce un'interpretazione degli stessi rispetto agli obiettivi dello studio. La Sezione 5 fornisce le conclusioni complessive.



## 2. *Scenari studiati*

### 2.1 PRINCIPIO FONDAMENTALE ALLA BASE DEGLI SCENARI

La dispersione dell'acqua di riscaldamento impiegata dal punto di scarico può essere suddivisa, per comodità, in tre fasi: i campi vicini, intermedi e lontani, caratterizzati da diversi processi fisici dominanti.

Nel campo vicino, il momento iniziale e il galleggiamento (negativo) dello scarico ne determinano il comportamento. La dissipazione del momento e del galleggiamento tramite l'interazione dello scarico con le acque a temperatura ambiente caratterizza i processi importanti da studiare per questa area iniziale del pennacchio. Nell'ambito degli studi dettagliati è importante introdurre l'acqua raffreddata nei modelli di campo intermedio e lontano, in modo che sia coerente con il comportamento del campo vicino. Il campo vicino può essere caratterizzato da un comportamento a getto o a pennacchio a seconda se il deflusso è scaricato a velocità elevata o bassa relativamente all'acqua a temperatura ambiente. Qualunque sia il dettaglio dello scarico iniziale, il momento dello scarico viene alla fine assorbito nell'acqua a temperatura ambiente e il deflusso inizia a spostarsi nell'acqua a temperatura ambiente come un pennacchio di campo medio.

Nel campo medio, le forze di galleggiamento continuano a causare una diffusione orizzontale del pennacchio sul fondo dando luogo al trascinarsi forzato, al trasporto per mezzo delle correnti e ad un'ulteriore diluizione. È quindi richiesto un approccio tridimensionale all'indagine sul movimento del pennacchio, sull'interazione con i flussi delle maree e sull'equilibrio termico, che prevede, tipicamente, l'utilizzo di un modello computerizzato multistrato.

Nel campo lontano, la differenza di temperatura tra il pennacchio e l'acqua a temperatura ambiente diventa talmente minima che le forze di galleggiamento risultano trascurabili. Di fatto l'acqua fredda viene quindi aggiunta come parametro dinamicamente neutro, mentre qualsiasi temperatura negativa in eccesso viene gradualmente dispersa nell'atmosfera e dalle correnti residue. Benché gli effetti del galleggiamento del pennacchio siano considerati insignificanti nel campo lungo, il processo di dispersione potrebbe essere ancora essenzialmente tridimensionale in caso vi siano correnti significative spinte dal vento o in presenza di una stratificazione naturale. Le correnti spinte dai venti tendono a variare considerevolmente nella verticale e potrebbero scorrere in direzione inversa a seconda della profondità, nel caso di vento verso terra o verso il largo.

Le questioni chiave alla base della dispersione nel campo intermedio e lontano saranno:

- Il movimento dei pennacchi di campo vicino/intermedio/lontano sotto l'influenza delle correnti spinte dai venti e delle maree ambientali
- La dispersione lontano dall'area e qualsiasi successiva concentrazione nel campo lontano.

Conseguentemente, per valutare l'impatto dello scarico, dobbiamo considerare la dispersione per campo intermedio o lungo in una gamma di condizioni esterne che potrebbero influenzarla. Tali condizioni comprendono i cambiamenti di circolazione indotti dal vento o dalle onde, le modifiche negli altri scarichi e nella configurazione del porto. Di seguito verranno discussi gli scenari selezionati per dimostrare la dispersione dell'acqua fredda in una gamma di condizioni rappresentative.

## 2.2 DESCRIZIONE DELLO SCENARIO

Per prima cosa è stata eseguita una simulazione mettendo in funzione solo le prese e gli scarichi esistenti (PE e Centrale Brindisi Nord) (Scenario E1).

Sono state condotte simulazioni modello per il Caso Base, al fine di determinare l'impatto del vento sulle distribuzioni del pennacchio termico. Tali simulazioni hanno incluso la presa e lo sbocco BrLNG proposti, oltre a tutte le altre prese/sbocchi in funzione in condizioni normali (come definito nel Riferimento 1).

- Caso Base – con tutte le prese/sbocchi in funzionamento normale e in 5 condizioni di vento:
  - B1 assenza di vento,
  - B2 Vento da 180°N (il più comune dei venti meridionali)
  - B3 Vento da 150°N (possibile caso peggiore per la miscelazione in superficie)
  - B4 Vento da 300°N (tipo di vento più comune)
  - B5 Vento da 330°N (possibile caso peggiore per la miscelazione sul fondo)

La velocità del vento per tutte le simulazioni è stata pari, in via approssimativa, al vento omnidirezionale al 95% (cioè il vento è inferiore alla velocità data per il 95% del tempo) sulla base delle analisi dei dati riferite al vento a lungo termine (Riferimento 2). Il valore di riferimento è stato presunto essere pari a 20 nodi o 10,3 m/s.

Lo scenario peggiore relativo al vento è stato valutato determinando la condizione del vento che forniva la temperatura minore in corrispondenza della presa BrLNG. Si è quindi proceduto a selezionare lo scenario con assenza di vento e il caso peggiore, utilizzati nei test di sensibilità.

- Test di sensibilità – le condizioni di vento dello scenario peggiore:
  - S1 Prese/sbocchi PE non operativi (cioè chiusi), assenza di vento
  - S2 Prese/sbocchi PE non operativi (cioè chiusi), vento secondo il caso peggiore
  - S3 Con impatto delle onde sulla miscelazione, assenza di vento
  - S4 Con impatto delle onde sulla miscelazione, vento secondo il caso peggiore
  - S5 Senza lo sviluppo di Capo Bianco Nuova Area Pol Marina Militare, assenza di vento
  - S6 Senza lo sviluppo di Capo Bianco Nuova Area Pol Marina Militare, vento secondo il caso peggiore
  - S7 Prese/sbocchi della Centrale Brindisi Nord chiusi – assenza di vento
  - S8 Prese/sbocchi della Centrale Brindisi Nord chiusi – vento secondo il caso peggiore

Nell'applicazione dei modelli del pennacchio termico spesso non viene considerata la miscelazione dovuta alle onde, anche nelle zone costiere non protette dove possono formarsi delle onde di grandi dimensioni, poiché l'impatto delle stesse è generalmente limitato. Le onde agiscono per aumentare la miscelazione in due modi. Per prima cosa la presenza di onde ha come risultato la formazione di un sottile strato superficiale ondoso, all'interno del quale viene generata un'intensa turbolenza entro pochi centimetri dal fondale. Secondo, le onde agiscono per aumentare la viscosità parassita nella colonna d'acqua al di sopra di questo strato. Per un'onda con altezza pari a circa 1,5 m e periodo di 5s (che ci si potrebbe attendere si presenti nel porto circa 10 volte l'anno) lo strato superficiale ondoso avrebbe uno spessore pari a circa 3 cm e l'aumento della viscosità parassita sarebbe di circa il 50% (Riferimento 3). Uno strato superficiale ondoso di 3 cm è significativamente inferiore allo spessore del pennacchio freddo in

corrispondenza del fondale reale e di quello presentato dal modello 3D. La turbolenza relativamente intensa all'interno dello strato superficiale ondosso non dovrebbe, quindi avere impatti significativi sulla miscelazione verticale nel modello, in caso dovesse essere inclusa. Anche l'aumento della viscosità parassita nel resto della colonna d'acqua appare limitato e verrebbe ridotto dalla stratificazione termica.

Sono stati utilizzati gli scenari S3 e S4 per confermare la prevista non sensibilità dei risultati del modello per il precedente aumento nella viscosità parassita (escludendo lo strato superficiale ondosso) probabilmente associata alle onde.

### 3. Risultati

#### 3.1 COMPORTAMENTO GENERALE DELLO SCARICO DI ACQUA FREDDA BrLNG

Lo scarico di acqua fredda BrLNG raggiunge, solitamente, il fondale e si diffonde lungo il fondo sotto l'influenza della gravità e della corrente ambientale. In prossimità dello scarico, il pennacchio di acqua fredda è evidente sulla superficie del mare. Tuttavia, in tutte le simulazioni tranne una (S2), la temperatura ambiente della superficie dell'acqua viene raggiunta a circa 100m dal punto di scarico.

Quando la presa PE è operativa esercita una forte influenza sul pennacchio di acqua fredda BrLNG. Il pennacchio in corrispondenza della superficie e sul fondo (cioè attraverso la colonna d'acqua) viene trascinato all'interno della presa PE e lontano dalla presa BrLNG.

#### 3.2 COMPORTAMENTO GENERALE DEGLI SCARICHI DI ACQUA CALDA

La dispersione termica degli scarichi di acqua calda dipende dalle condizioni meteorologiche e dal funzionamento o meno dell'impianto PE o della Centrale Brindisi Nord.

In condizioni di calma, i pennacchi combinati dalla Centrale Brindisi Nord e (quando l'impianto PE è in funzione) dello sbocco di Policentrica Ovest si diffondono sulla superficie nell'area a sud del Molo Montecatini Edison, ad una temperatura vicina a quella di scarico. Al di sotto del pontile il pennacchio si diffonde sulla superficie del Porto Esterno. La miscelazione in acque più aperte riduce la temperatura del pennacchio in modo tale che, all'entrata del porto, la temperatura dell'acqua registrata si trova entro l'intervallo 0,25-0,5°C, al di sopra di quella ambiente. Le parti più calde del pennacchio si limitano, solitamente, ai 2 metri superiori della colonna d'acqua, anche se nella zona più bassa è presente il fenomeno della miscelazione a temperature inferiori, principalmente vicino alla riva, in prossimità dei due scarichi, nelle acque più basse ad est della colmata BrLNG.

Il pennacchio di acqua calda scaricato al di fuori del porto, composto dagli scarichi combinati degli sbocchi Policentrica Nord Ovest, Policentrica Est e Policentrica Sud PE, viene proiettato verso nord est dall'allineamento del canale di scarico e, in condizioni di calma, si mescola con l'acqua calda che esce dal porto.

I venti da nordovest (300°N e 330°N) spingono i pennacchi superficiali verso la costa sud del porto, aumentando le aree che presentano temperature in eccesso elevate (>3°C). Al contrario i venti da sud est (150°N) tendono a far aumentare la dispersione delle acque calde lontano dai punti di scarico.

#### 3.3 SCARICHI ESISTENTI

Per lo Scenario E1 i risultati vengono presentati sotto forma di tracciature delle curve della temperatura in eccesso (cioè le differenze di temperatura relative all'ambiente non disturbato) in corrispondenza della superficie e del fondo del mare (Figura 7). Tale figura mostra come gli scarichi di acqua calda esistenti creino temperature in eccesso in corrispondenza della superficie all'interno del porto e oltre l'entrata dello stesso e lungo il fronte di colmata BrLNG. Si tratta prevalentemente di pennacchi di superficie,

principalmente circoscritti ai 2m superiori della colonna d'acqua. L'eccesso di temperatura si estende al fondo lungo un'area minore, generalmente limitata all'acqua più bassa all'interno del porto. Al di fuori del porto, gli scarichi combinati PE raggiungono una porzione lievemente maggiore di fondale attraverso un aumento della miscelazione associato alle velocità delle correnti, più elevate rispetto a quelle presenti all'interno del porto.

### 3.4 RISULTATI RELATIVI AL CASO BASE

I risultati relativi agli Scenari per il Caso Base (B1-B5) vengono presentati sotto forma di tracciate delle curve della temperatura in corrispondenza della superficie e del fondale marino (Figure 8-12).

Lo Scenario B1 può essere messo direttamente a confronto con lo Scenario E1. L'unica differenza è l'aggiunta delle prese e dello sbocco BrLNG. L'impatto dello scarico freddo BrLNG nella superficie è limitato alle immediate vicinanze dello scarico stesso. In corrispondenza del fondale, il pennacchio di acqua fredda si estende per un massimo di 500m a nord ovest del punto di scarico. Anche l'acqua fredda viene inserita nel canale della presa PE attraverso la colonna d'acqua.

Gli Scenari B2-B5 sono stati condotti per valutare la sensibilità dei pennacchi di scarico rispetto alla direzione del vento e per stabilire una direzione del vento per la tipologia "caso peggiore". Si è trattato della condizione di vento che ha fornito la temperatura inferiore in corrispondenza della presa BrLNG, poiché rappresenta il maggiore ricircolo probabile dello scarico BrLNG. La Tabella 1 mostra come lo scenario B2 rappresenti il caso peggiore rispetto al vento; un vento da 180° N (un vento meridionale).

**Tabella 1 Temperatura media in eccesso in corrispondenza della presa BrLNG (°C) nell'ultima marea all'interno della simulazione**

Scenario	Superficie	Fondo	Profondità media
B1 – assenza di vento	0,46	0,15	0,33
B2 - 180°N	0,20	0,09	0,16
B3 - 150°N	0,26	0,26	0,26
B4 - 300°N	0,95	0,96	0,96
B5 - 330°N	0,69	0,68	0,69

### 3.5 RISULTATI DEL TEST DI SENSIBILITÀ

I test di sensibilità sono stati condotti in assenza di vento e in condizioni di vento della tipologia "caso peggiore". Le figure 13-20 presentano i risultati per ciascuno scenario sotto forma di tracciate delle curve della temperatura.

Gli Scenari S1 (prese/sbocchi PE chiusi) e S2 (come per lo S1 con presenza di vento) possono essere messi a confronto rispettivamente con gli Scenari B1 e B2. La presa PE esercita chiaramente un'influenza molto forte sulla diffusione del pennacchio di acqua fredda BrLNG lungo il fondale, come S1 e S2 mostrano una diffusione del pennacchio decisamente maggiore rispetto alle prove relative al caso base. In assenza di vento il pennacchio si estende verso l'entrata del porto, mentre in presenza di vento meridionale si sposta ulteriormente verso ovest.

Gli Scenari S3 e S4 (Figure 15 e 16) mostrano l'impatto di una miscelazione aggiuntiva causata dall'attività ondosa. Questa è normalmente esclusa dalla rappresentazione tramite modello, in particolare all'interno di porti abbastanza protetti come quello di Brindisi, poiché si ritiene che le onde apportino una lieve differenza alla miscelazione complessiva. In realtà questo è quanto viene mostrato nello Scenario S3 quando le onde agiscono in assenza vento. I risultati sono quasi identici allo Scenario B1 (Figura 8). In modo simile i risultati relativi allo Scenario S4 sono quasi identici a quelli dello Scenario B2 (Figura 9).

Gli Scenari S5 e S6 mostrano il comportamento del pennacchio senza lo sviluppo di Capo Bianco che, anche se fa parte del Piano portuale, viene al momento eseguito da altri ed è al di fuori del controllo di BrLNG. Le differenze chiave nella configurazione sono la rimozione di un'area di colmata proposta, immediatamente ad est della colmata BrLNG, la rimozione del dragaggio localizzato ad est di quest'ultimo, e la rimozione di un nuovo frangiflutti tra Pedagna Grande e Isolotto Giorgio Treviso. Le Figure 17 e 18 mostrano il comportamento del pennacchio, rispettivamente, in assenza di vento e in presenza di vento meridionale. Le distribuzioni dei pennacchi d'acqua calda in superficie per lo Scenario S5 sono quasi identici a quelli dello Scenario B1 (lo scenario equivalente con lo sviluppo, Figura 8). In corrispondenza del fondale, il pennacchio di acqua calda proveniente dagli scarichi PE al di fuori del porto si estende ulteriormente all'interno del porto. La distribuzione del pennacchio di acqua fredda BrLNG rimane invariata. È possibile vedere un quadro simile mettendo a confronto la Figura 18 (Scenario S6) e la Figura 9 (Scenario B2).

La Centrale Brindisi Nord opera indipendentemente da BrLNG e la sua presa/sbocco potrebbero essere chiusi per effettuare, ad esempio, la manutenzione. Gli scenari S7 e S8 (Figure 19 e 20) mostrano l'effetto di una chiusura di questa presa/sbocco. Chiaramente esiste una significativa riduzione nell'acqua calda scaricata nel porto. Ciò si riflette nella portata ridotta dell'eccesso di temperatura positiva in corrispondenza della superficie (mettere a confronto la Figura 19 (S7) con la Figura 8 (B1)). Anche il pennacchio di acqua fredda BrLNG in corrispondenza del fondale si estende leggermente oltre all'interno del porto. In presenza di vento meridionale lo Scenario 8 mostra caratteristiche simili, anche se il pennacchio freddo in corrispondenza del fondo presenta modifiche minime rispetto a quello evidenziato nello Scenario B2 (Figura 9).

### 3.6 RIEPILOGO DEI TEST DELLO SCENARIO

Di seguito vengono mostrati i cambiamenti della temperatura (temperature in eccesso) per due località chiave – la presa BrLNG e la presa PE. La Tabella 2 mostra le temperature in eccesso in corrispondenza della superficie, della profondità media e del fondale presso la presa BrLNG, calcolata come media rispetto all'ultima marea in ciascuna simulazione.

Si noti che i cambiamenti di temperatura sono presentati utilizzando da due a tre decimali per indicare il senso dei cambiamenti, piuttosto che per evidenziare l'accuratezza delle previsioni.

L'acqua calda presso la presa BrLNG rappresenta un vantaggio per il processo di riscaldamento del GNL. Si è evidenziato come lo Scenario B4 (vento da 300°N) fornisca l'eccesso di temperatura più elevato in corrispondenza della presa BrLNG. Poiché rappresenta la direzione più comune del vento, si tratta di un buon risultato, positivo per i processi di riscaldamento del GNL.

Non è auspicabile la presenza di quantità significative di acqua fredda in corrispondenza della presa BrLNG. Il caso peggiore si verifica nello scenario S2 quando la presa/sbocchi non sono operativi ed è presente un vento meridionale. Tuttavia, la riduzione della temperatura è contenuta ( $<0,05^{\circ}\text{C}$ ).

**Tabella 2 Temperatura media in eccesso in corrispondenza della prese BrLNG ( $^{\circ}\text{C}$ ) nell'ultima marea all'interno della simulazione**

Scenario	Superficie	Fondo	Profondità media
E1	0,44	0,20	0,35
B1	0,46	0,15	0,33
B2	0,20	0,09	0,16
B3	0,26	0,26	0,26
B4	0,95	0,96	0,96
B5	0,69	0,68	0,69
S1	0,47	0,11	0,32
S2	-0,02	-0,03	-0,03
S3	0,46	0,15	0,33
S4	0,22	0,12	0,20
S5	0,43	0,17	0,32
S6	0,27	0,28	0,27
S7	0,11	0,01	0,06
S8	0,001	0,002	0,002

La Tabella 3 mostra l'eccesso di temperatura per la presa PE (in corrispondenza dell'estremità più vicina alla terra del canale di presa combinato). Si è presunto che l'Impianto PE attingerà acqua per l'intera larghezza e profondità del canale. Conseguentemente, le temperature presentate nella Tabella 3 si riferiscono al centro del canale.

L'acqua fredda in corrispondenza della presa PE dovrebbe essere di aiuto agli scopi legati al raffreddamento a cui l'acqua è soggetta. Il maggiore effetto di raffreddamento derivato dallo scarico BrLNG in corrispondenza della presa PE si verifica quando la suddetta presa è chiusa e soffia un vento meridionale (Scenario S2). La successiva situazione migliore simulata si evidenzia quando lo scarico della Centrale Brindisi Nord è chiuso e soffia un vento meridionale (Scenario S8), quando si prevede una riduzione della temperatura di circa  $1,5^{\circ}\text{C}$ . Allo stesso modo non è auspicabile la presenza di acqua calda in corrispondenza della presa PE. Tutte le simulazioni evidenziano una riduzione della temperatura in corrispondenza della presa PE come risultato dello scarico BrLNG.

**Tabella 3 Temperatura media in eccesso in corrispondenza delle prese BrLNG (°C) nell'ultima marea all'interno della simulazione**

Scenario	Superficie	Fondo	Profondità media
E1	0,37	0,37	0,37
B1	-0,52	-1,26	-0,99
B2	-1,25	-1,41	-1,35
B3	-0,86	-1,32	-1,16
B4	-0,34	-0,80	-0,62
B5	-0,02	-0,67	-0,41
S1	-0,86	-0,91	-0,89
S2	-4,05	-4,04	-4,05
S3	-0,55	-1,23	-1,00
S4	-1,24	-1,44	-1,37
S5	-0,53	-1,26	-0,99
S6	-1,24	-1,39	-1,33
S7	-0,87	-1,45	-1,24
S8	-1,50	-1,63	-1,57

## 4. Interpretazione dei risultati rispetto agli obiettivi

### 4.1 IMPATTI DELLO SCARICO BRLNG SUL FUNZIONAMENTO DELL'IMPIANTO PE

L'impatto dello scarico BrLNG sul funzionamento dell'impianto PE potrebbe comprendere:

- effetti sull'idraulica della presa, inclusi i modelli di flusso,
- modifiche termiche e
- modifiche sedimentali.

Lo scarico BrLNG è di dimensioni limitate ed è caratterizzato da una bassa velocità e verrà probabilmente convogliato da una condotta di superficie. È improbabile che possa avere qualsiasi impatto percepibile sulla presa PE.

Si prevede che l'aggiunta del flusso BrLNG al porto in prossimità della presa PE ridurrà la temperatura della presa stessa. Si presume che tale riduzione della temperatura migliorerà l'efficienza dell'impianto limitandone, inoltre l'impatto termico sull'ambiente.

Per la gamma di test condotti, anche se le modifiche della temperatura in corrispondenza della presa sono limitate, tutte evidenziano una riduzione come risultato dello scarico BrLNG. Con la presa PE in funzione, i risultati variano da circa -0,4°C a -1,6°C per gli scenari sottoposti a test.

L'acqua dell'impianto BrLNG verrà esaminata per rimuovere i solidi fino ad una concentrazione massima di 80ppm. Se conterrà una parte significativa di sabbia, si depositerà, con tutta probabilità nel porto. Sedimenti inferiori a 0,06 mm di diametro potrebbero essere trasportati in un primo momento nel canale di presa PE e, probabilmente, in una fase successiva, nella stazione di pompaggio PE. Poiché la presa BrLNG è maggiormente esposta rispetto alla presa dell'impianto PE, è possibile che la concentrazione di sedimenti sospesi in corrispondenza della presa BrLNG sarà



superiore, in modo che una quantità maggiore di sedimenti entrerà nel canale di presa PE dopo il passaggio attraverso l'impianto BrLNG. È tuttavia probabile che molti dei sedimenti scaricati si depositino prima di raggiungere il canale di presa PE, anche se potrebbero essere necessari occasionali drenaggi di manutenzione in prossimità dell'entrata del canale.

## 4.2 VALUTAZIONE DELLA PROBABILE DISPERSIONE DEL PENNACCHIO TERMICO (EFFETTI AMBIENTALI)

### 4.2.1 Quadro normativo

Anche se esiste un considerevole corpo di leggi e norme relative agli scarichi di acqua calda nell'UE e altrove, ve ne sono apparentemente poche che si occupano degli scarichi di acqua fredda (che risultano meno comuni). Molti enti di normazione (come ad esempio l'Agenzia per l'Ambiente del Regno Unito) adottano un approccio pragmatico, caso per caso, prendendo in considerazione la gamma delle temperature trovate naturalmente, la sensibilità delle comunità biologiche locali e i desideri del normatore di migliorare una particolare area. Altri enti potrebbero imporre un limite di temperatura assoluto o un limite alla modifica della temperatura al confine di una zona di miscelazione. Le zone di miscelazione che vanno da un centinaio a poche centinaia di metri vengono accettate abbastanza comunemente, a seconda dall'impatto consentito sul confine.

I modelli di dispersione derivati dai vari scenari di test sono stati descritti nelle sezioni precedenti. La seguente sezione ha lo scopo di fornire alcune misure quantitative delle modifiche della temperatura risultanti dalla presa e dallo sbocco BrLNG proposti.

### 4.2.2 Estensione delle aree di superficie calda o dei pennacchi freddi del fondale

L'area del Porto Esterno in cui si prevede che la temperatura sia più calda di almeno 1°C rispetto alla temperatura ambiente e l'area del Porto Esterno in cui si prevede che la temperatura sia più fredda di almeno 1°C rispetto alla temperatura ambiente dell'acqua sono state calcolate per la situazione esistente (senza lo scarico BrLNG, Scenario E1) e per la situazione futura (con lo scarico BrLNG, Scenario B1). I risultati sono presentati nella Tabella 4 che segue, in termini di area totale (m<sup>2</sup>) e come percentuale dell'area della superficie del porto Porto Esterno, stimata in 4,1km<sup>2</sup>. Ciò mostra come lo scarico BrLNG crei temperature più fredde di 1°C rispetto alla temperatura ambiente dell'acqua in meno del 2% dell'area del Porto Esterno, e presenti effetti trascurabili sulle aree con temperatura in eccesso di 1°C al di sopra della temperatura ambiente.

**Tabella 4 Aree di eccesso di temperatura nel Porto Esterno**

Scenario	Livello nella colonna dell'acqua	Area (m <sup>2</sup> )		Percentuale dell'area del Porto Esterno (%)	
		<-1°C	>1°C	<-1°C	>1°C
E1 – esistente, nessuno scarico BrLNG	Superficie	0	898961	0%	64%
	Fondo	0	120602	0%	9%
B1 – con scarico BrLNG	Superficie	17394	899701	1%	64%
	Fondo	32773	119922	2%	9%

### 4.3 DILUIZIONE DEL CLORO

Si comprende come la fornitura dell'acqua ai vaporizzatori verticali a velo d'acqua (ORV) verrà clorurata per impedire le incrostazioni. Il sistema verrà controllato per assicurare una concentrazione massima di cloro residuo in corrispondenza del punto di scarico di 0,2ppm. Il cloro verrà diluito miscelandolo con l'acqua ricevente e verrà ridotto dalla reazione chimica e dall'evaporazione. È possibile ottenere un'indicazione prudenziale della concentrazione di cloro residuo ignorando l'evaporazione e la reazione e presumendo che la concentrazione diminuisca per diluizione allo stesso livello della differenza di temperatura.

Secondo tale assunto deve essere valutata solo la portata del pennacchio di cloro in eccesso derivante dallo scarico BrLNG. Non si deve tenere in alcun conto il cloro che possa derivare da altri scarichi.

Per quando riguarda la situazione in assenza di vento (Scenario B1) la stima conservativa (elevata) del pennacchio di cloro è mostrata nella Figura 21. Il pennacchio è principalmente limitato alle immediate vicinanze prossimità dello scarico poiché una parte considerevole dello scarico viene trascinato nel canale di presa PE. Le concentrazioni di cloro nel canale di presa PE sono inferiori a 0,1ppm.

Per lo scenario con il pennacchio di acqua fredda con estensione maggiore (Scenario S2, presa PE chiusa e vento meridionale) il pennacchio di cloro è simile in estensione a quello dello Scenario B1 in corrispondenza della superficie, anche se con concentrazioni maggiori. La concentrazione di cloro nel canale di presa PE non supera 0,16ppm. In corrispondenza del fondo il pennacchio si estende per circa 600m nel porto, principalmente con concentrazioni inferiori a 0,01ppm. Le concentrazioni simulate di cloro al di sopra di 0,15ppm non si estendono oltre 200m all'interno del Porto.

## 5. Conclusioni

Lo scarico BrLNG crea una riduzione della temperatura in corrispondenza della presa PE per tutti gli scenari sottoposti a test. Si prevede che il ricircolo della presa BrLNG sarà limitato.

L'impatto dello scarico BrLNG sulle temperature nel porto è contenuto e appare essere vantaggioso per la vicina presa PE.

L'aumento del cloro residuo nel porto è estremamente contenuto e si estende solo su un'area limitata.

Tali conclusioni rimangono valide indipendentemente dallo sviluppo o meno di Capo Bianco.

## 6. *Riferimenti*

1. HR Wallingford 2007, Brindisi discharge location assessment (*Valutazione della collocazione dello scarico di Brindisi*) EX5671 Rel\_0-1.
2. HR Wallingford 2003 Brindisi Extreme Winds and Wind Persistence (*Venti estremi e persistenza del vento a Brindisi*). Relazione EX4856.
3. Soulsby 1995 Bed shear stresses due to combined waves and currents): In *Advances in Coastal Morphodynamics (Sollecitazioni di taglio sui fondali dovuta a onde e correnti combinate: Progressi nella morfodinamica costiera)* Eds Stive, De Vriend, Fredsoe, Hamm, Soulsby, Teisson e Winterwerp, Delft Hydraulics



## *Figure*



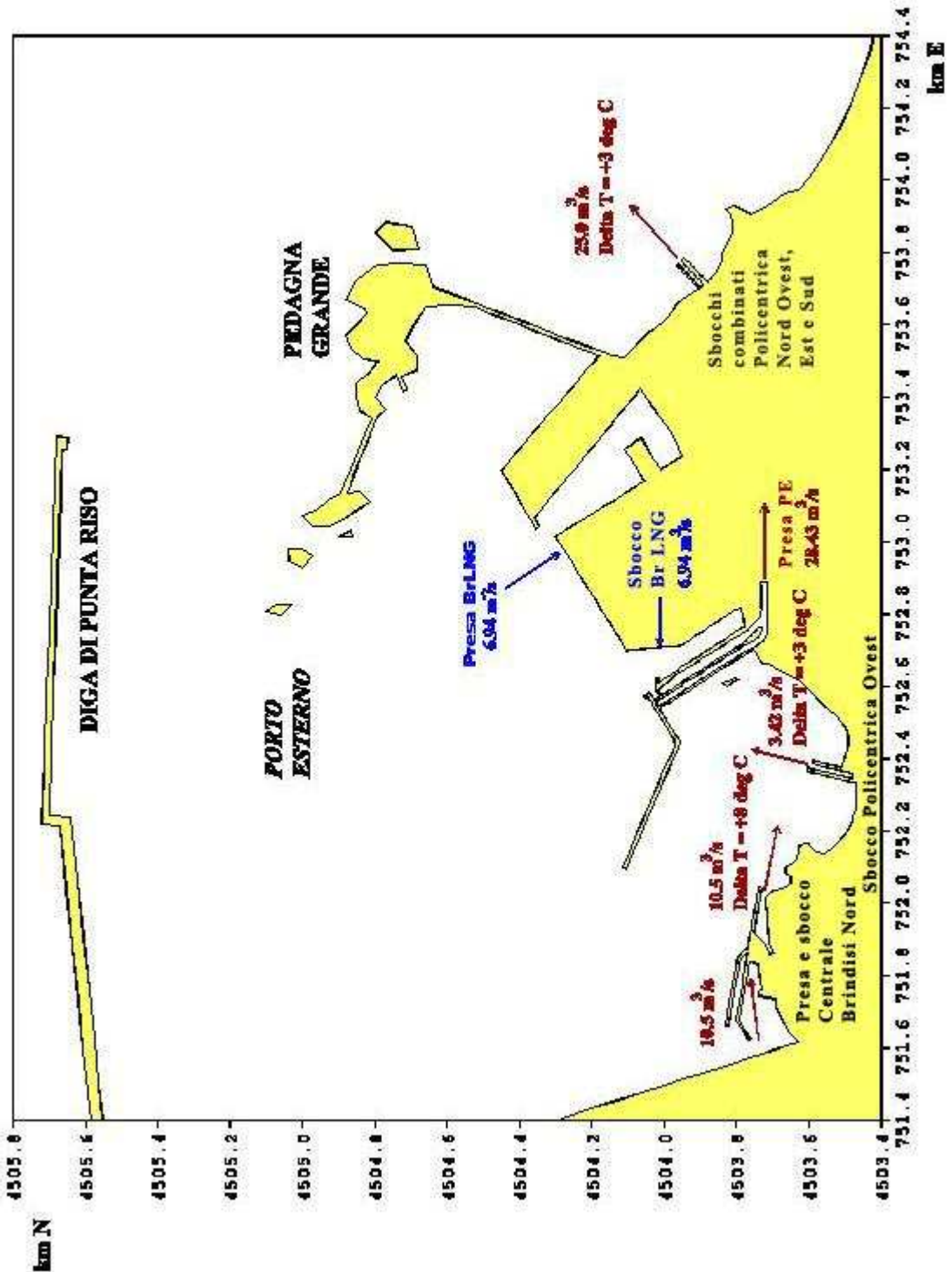
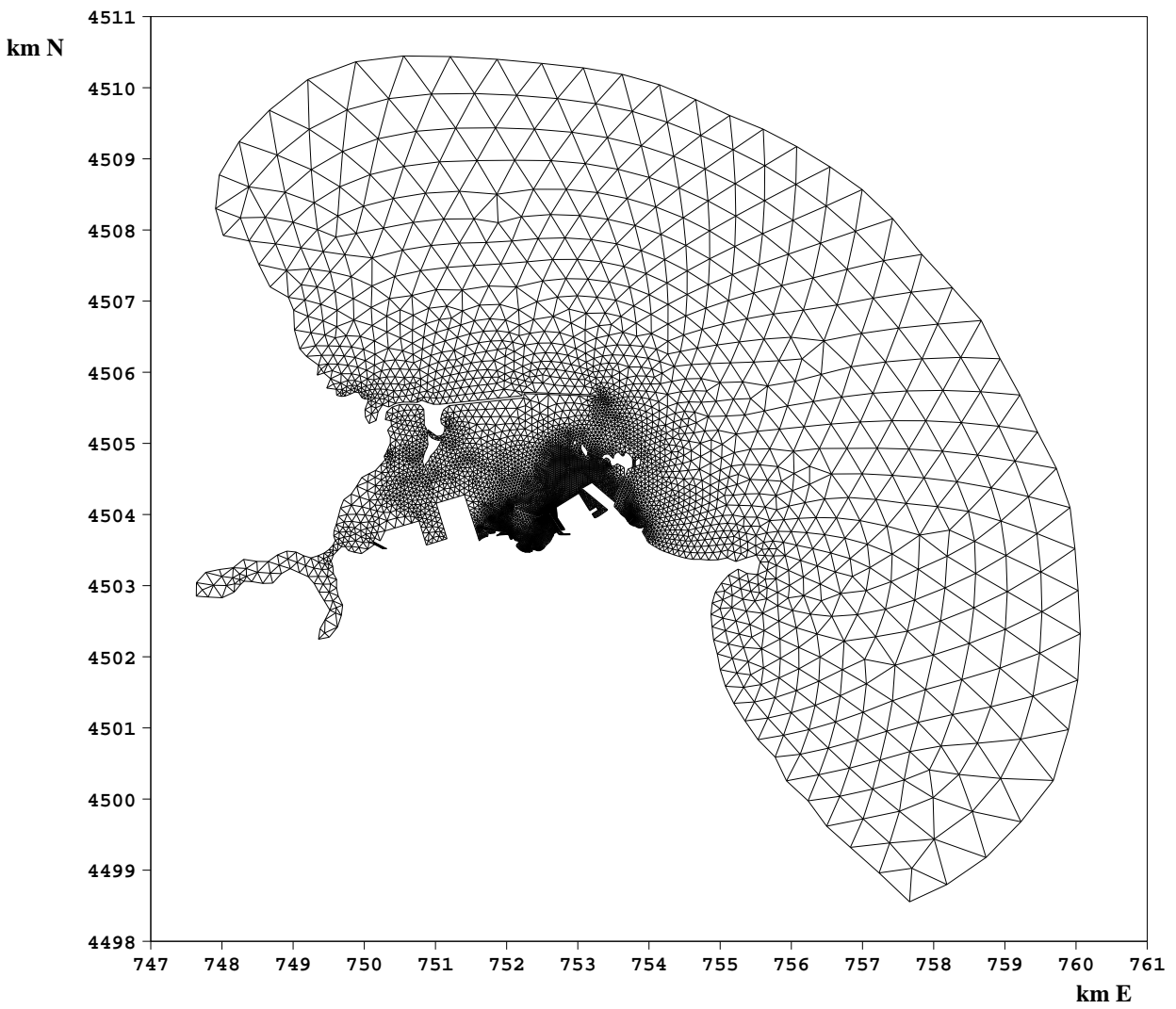
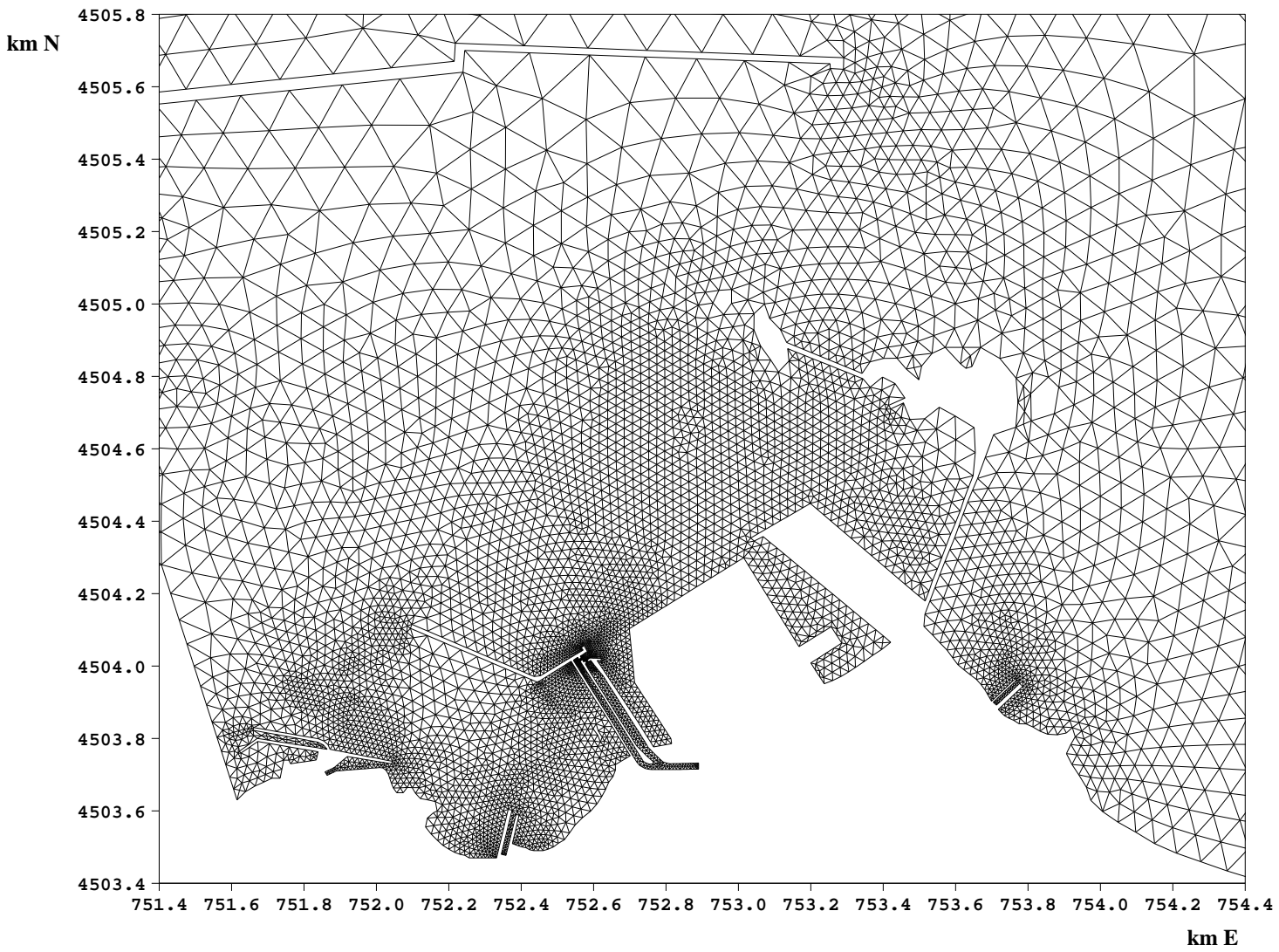


Figura 1 Porto Esterno di Brindisi che mostra le prese e gli sbocchi esistenti, oltre alla presa e allo sbocco proposti da BrLNG



**Figura 2** Dominio e reticolo del modello degli elementi finiti TELEMACH-3D





**Figura 3** Dominio e reticolo del modello degli elementi finiti TELMAC-3D (locale per lo sviluppo proposto BrLNG)

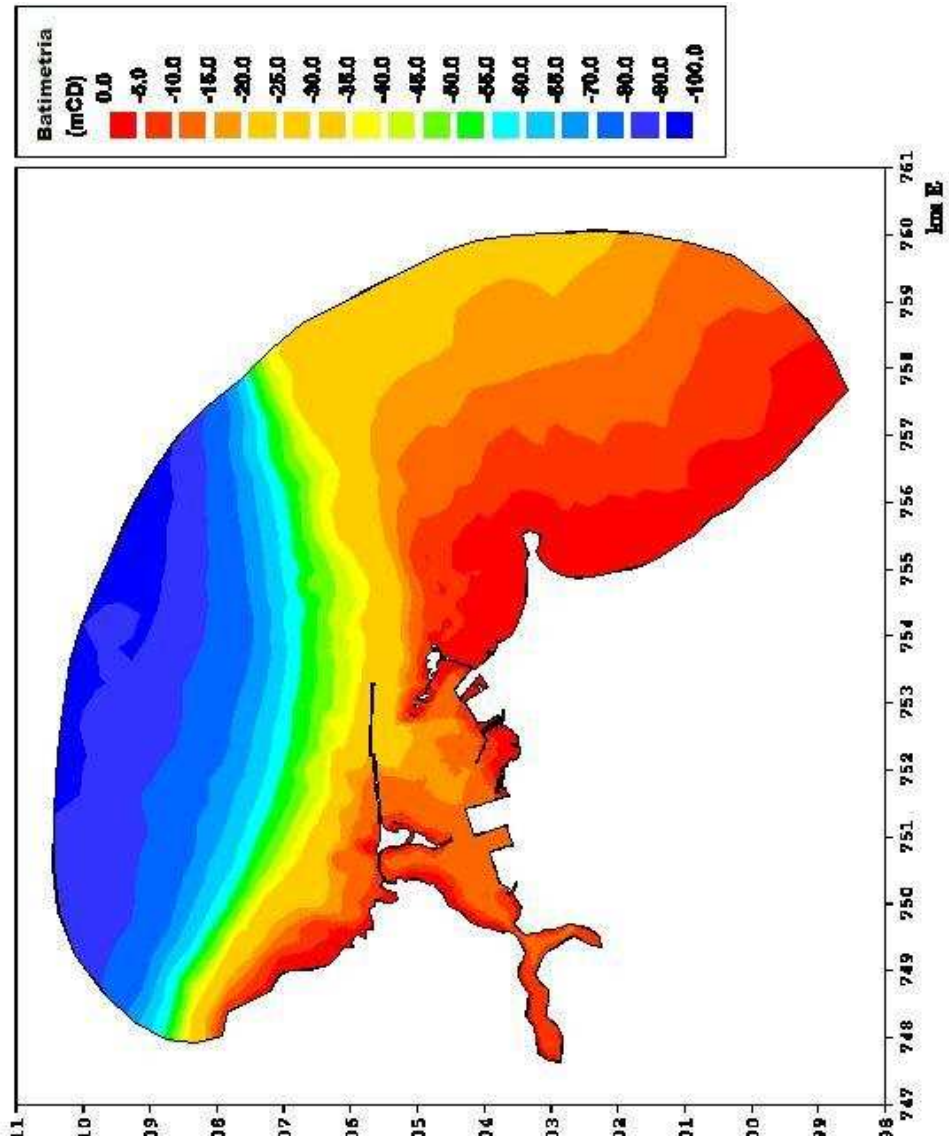


Figura 4 Batimetria del modello degli elementi finiti TELEMAC-3D

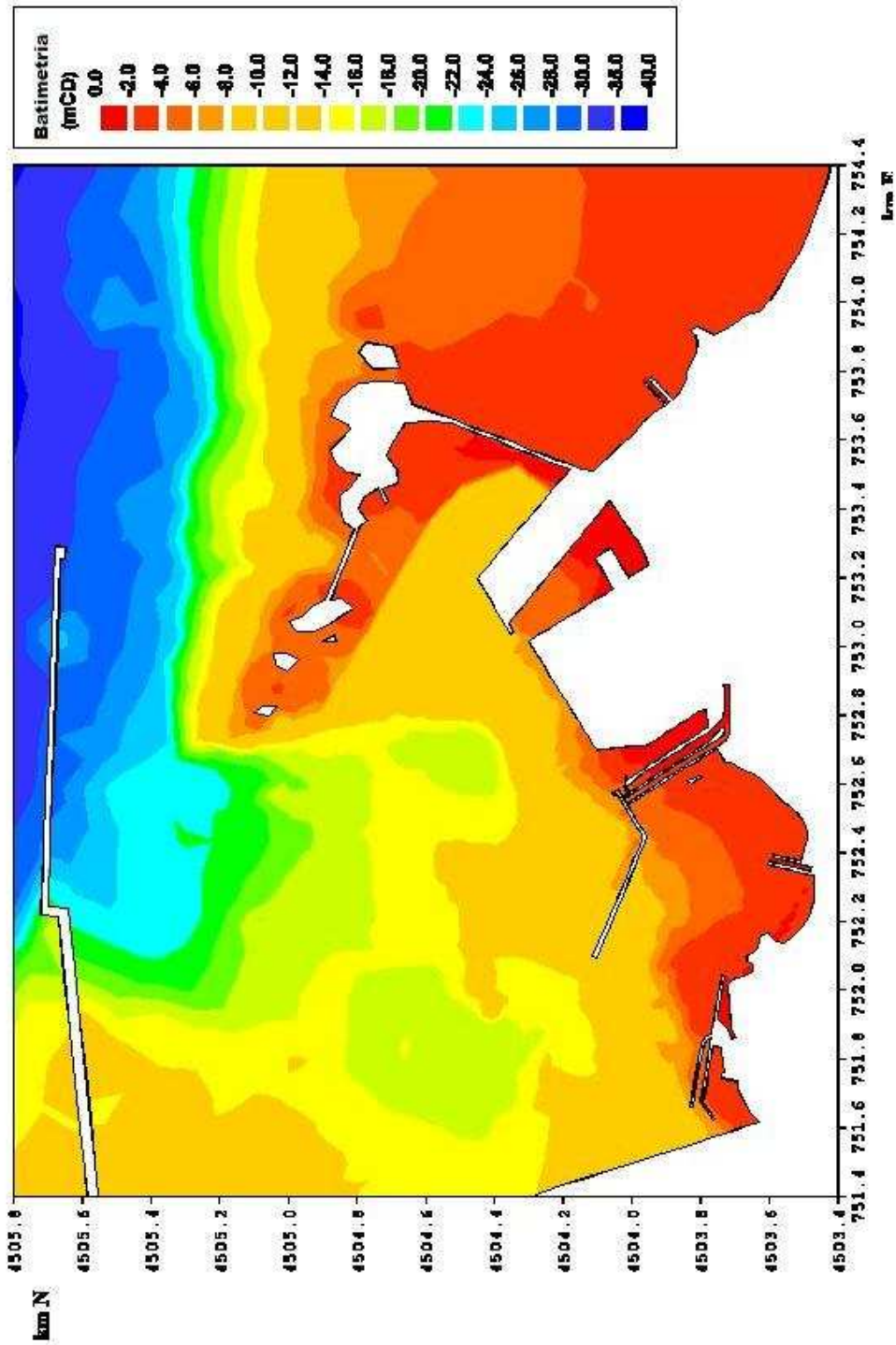


Figura 5 Batimetria del modello degli elementi finiti TELEMAR-3D (locale per lo sviluppo proposto BrLNG)

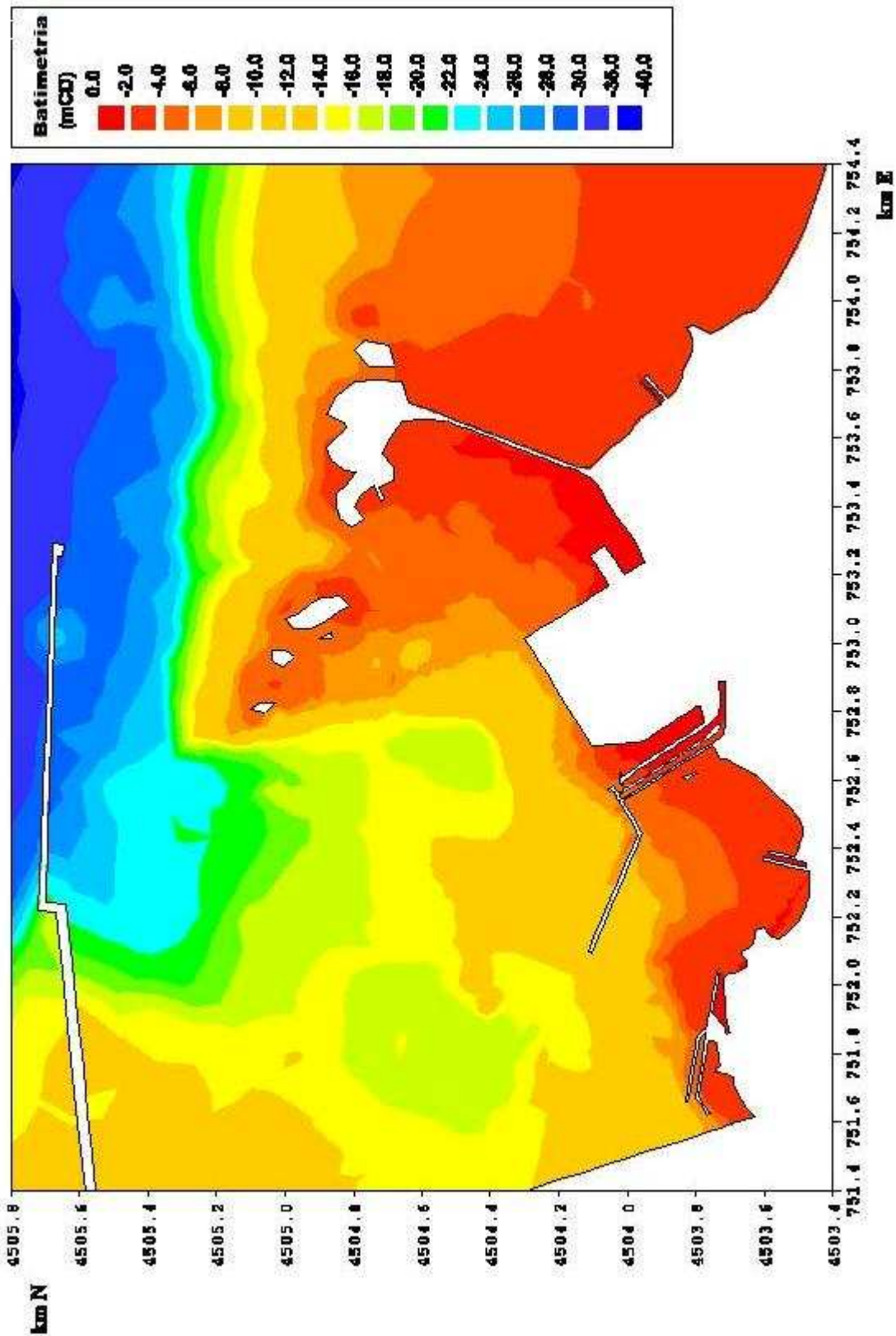


Figura 6 Batimetria del modello degli elementi finiti TELEMAC-3D (escluso lo sviluppo proposto di Capo Bianco)

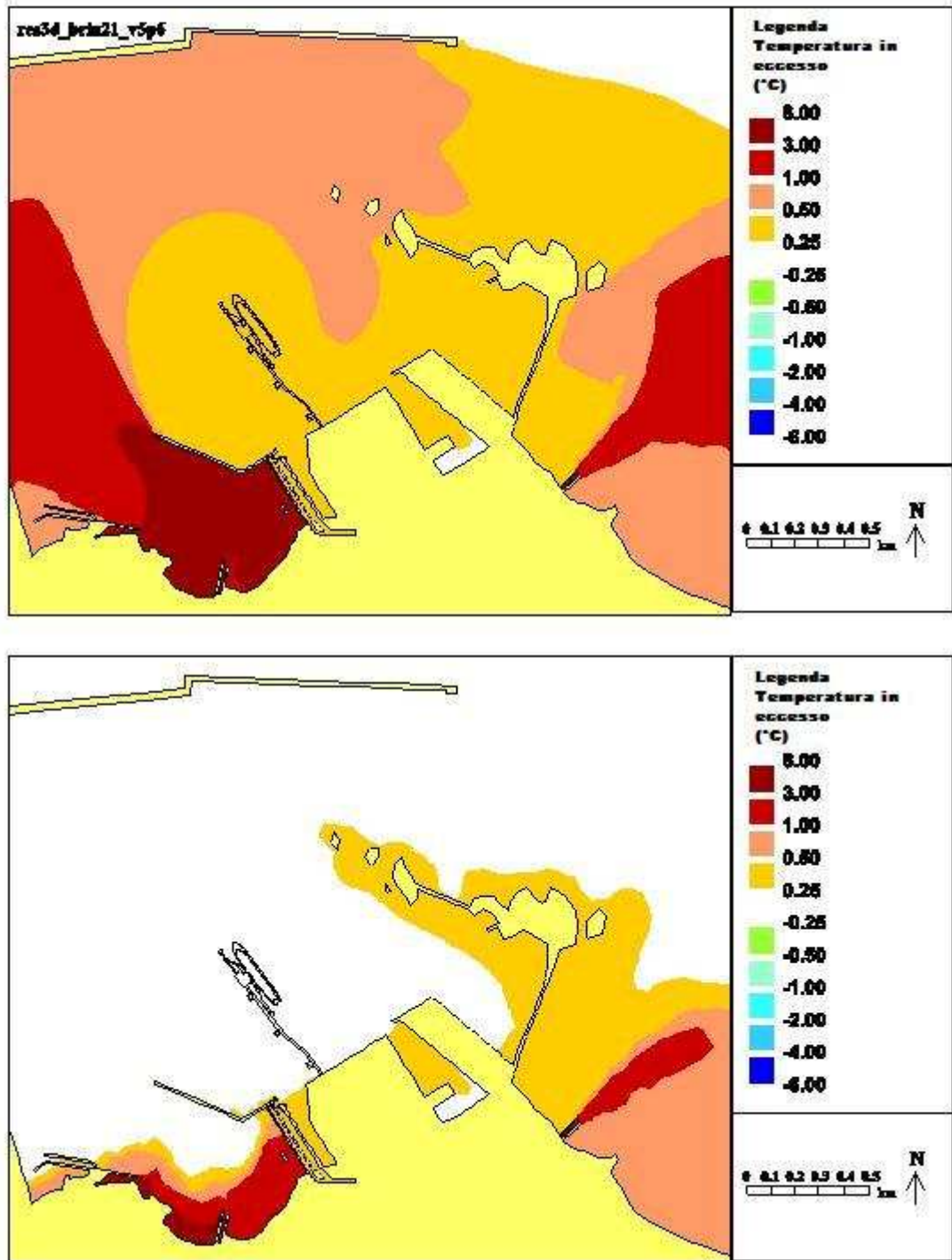


Figura 7 Campi di temperatura rappresentati tramite modello (superficie e fondo) per lo Scenario E1. Solo prese/sbocchi esistenti



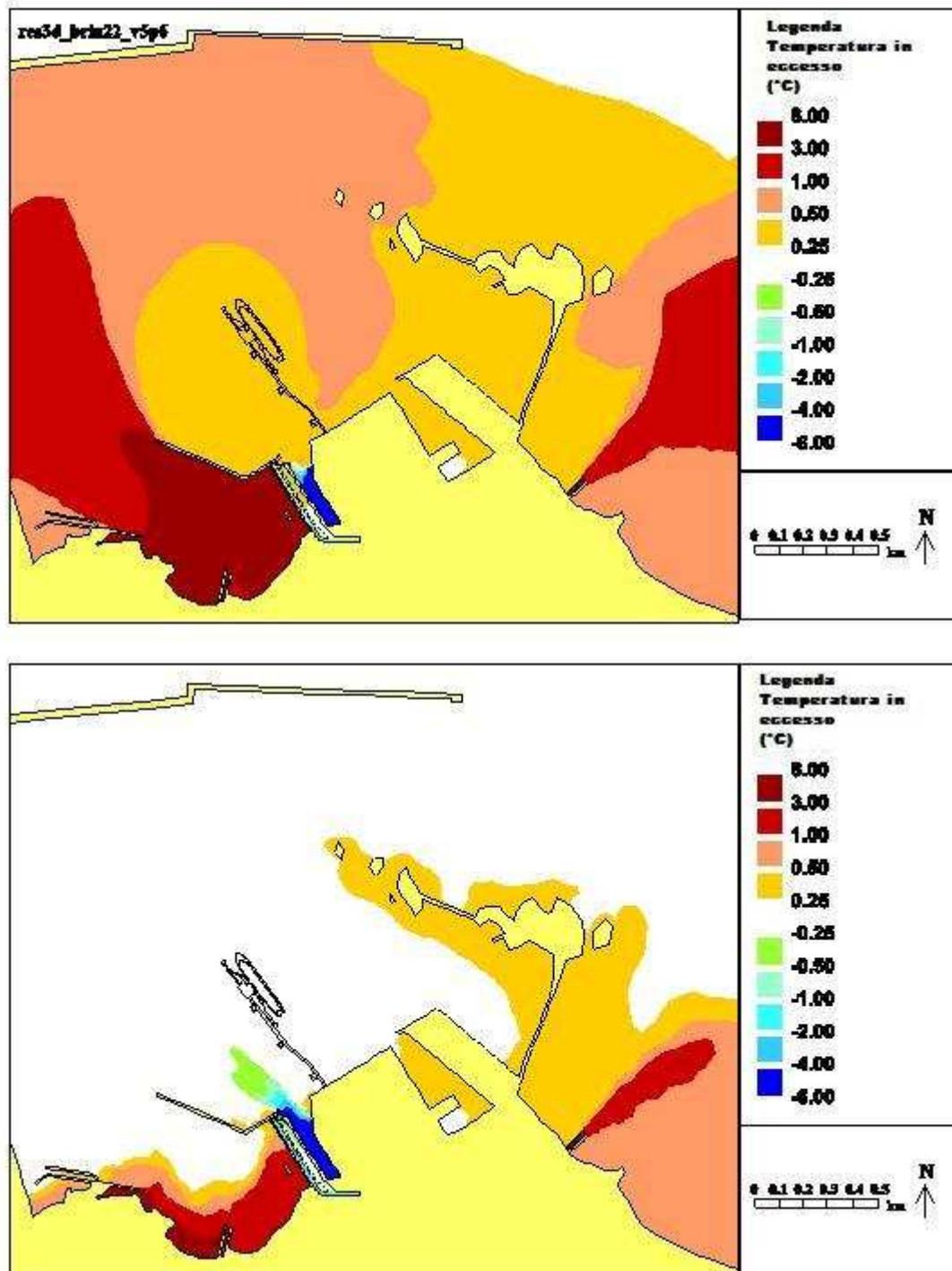


Figura 8 Campi di temperatura rappresentati tramite modello (superficie e fondo) per lo Scenario B1 Caso Base in assenza di vento

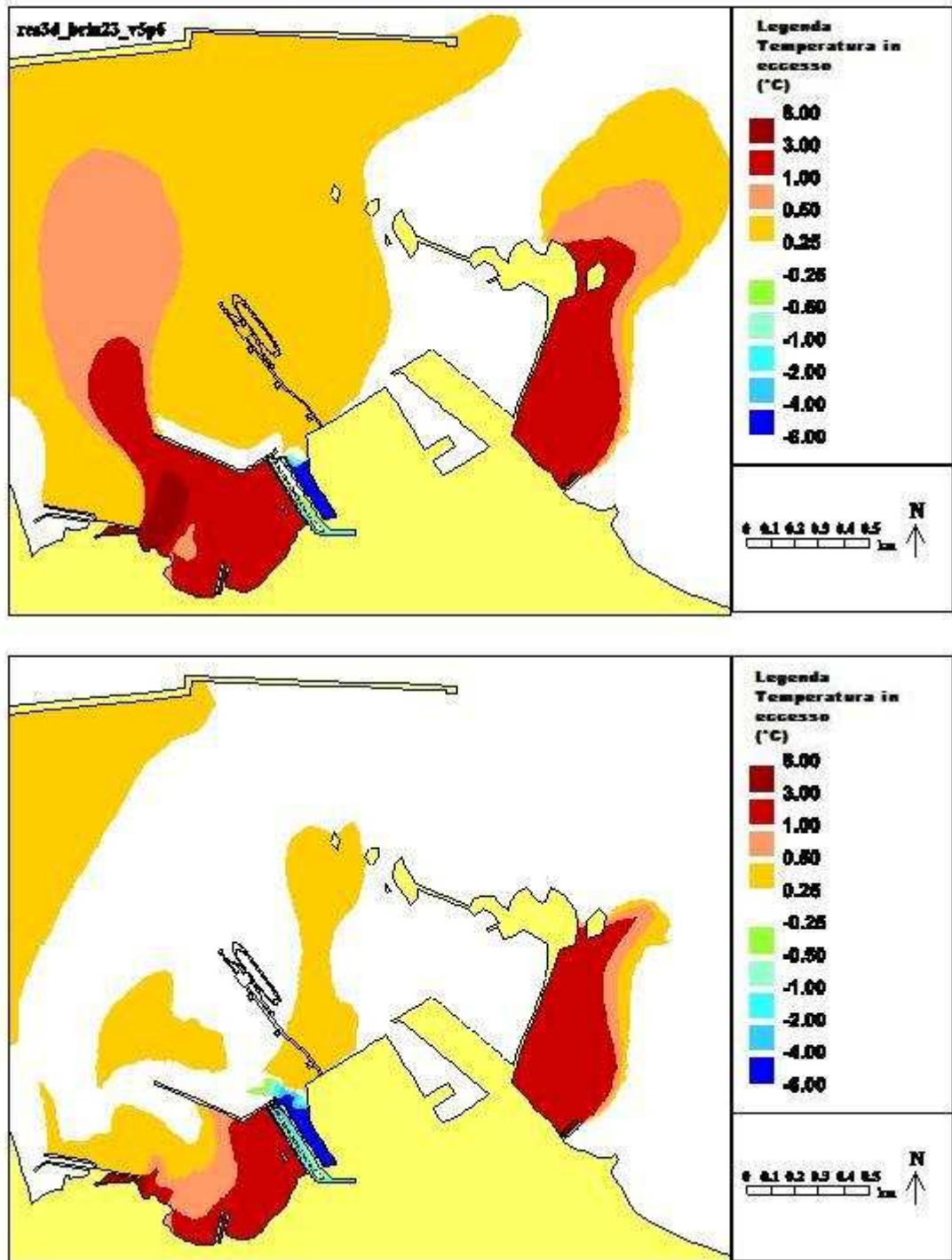


Figura 9 Campi di temperatura rappresentati tramite modello(superficie e fondo) per lo Scenario B2 Caso Base con vento da 180°N

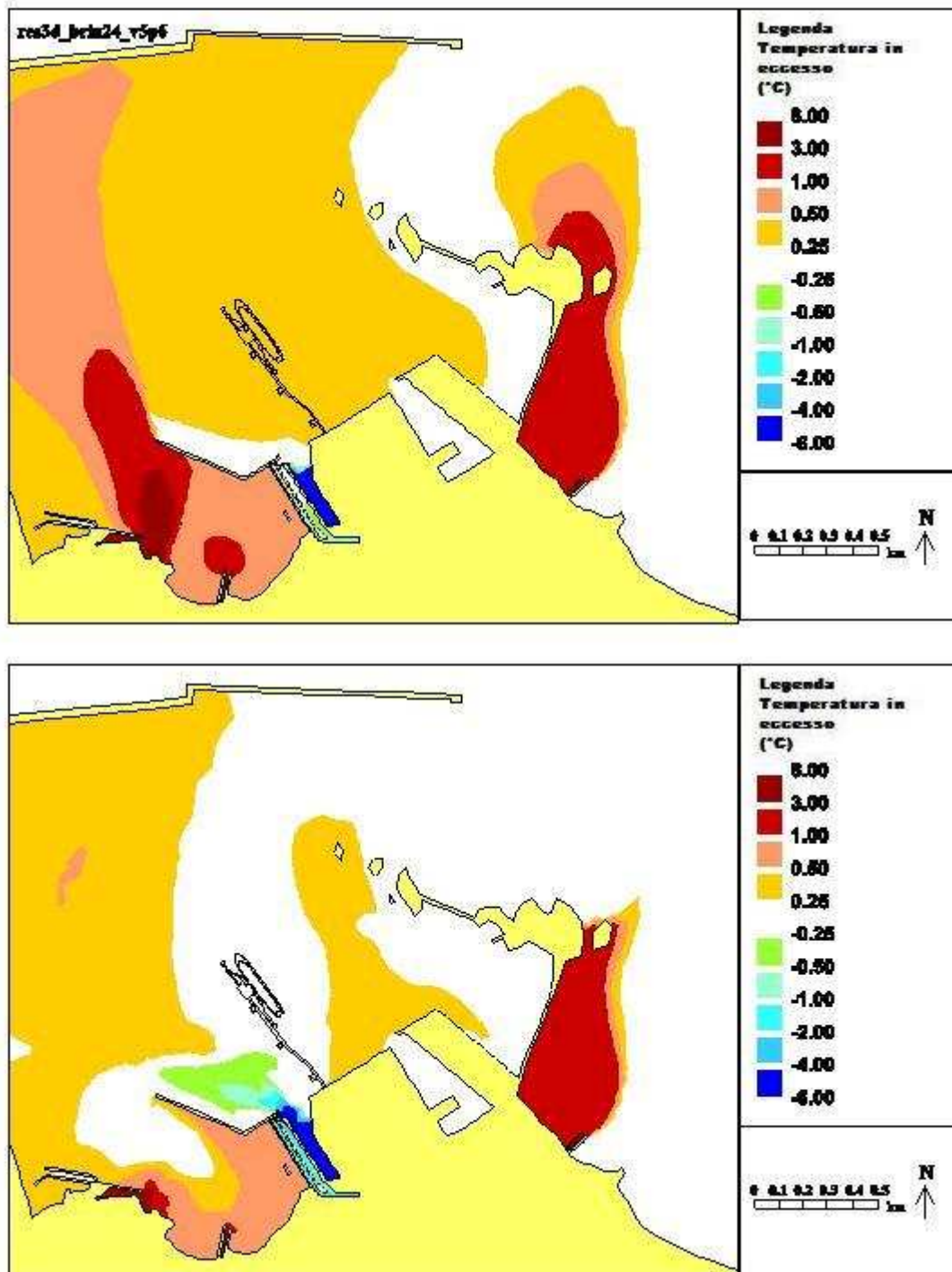


Figura 10 Campi di temperatura rappresentati tramite modello (superficie e fondo) per lo Scenario B3 Caso Base con vento da 150°N



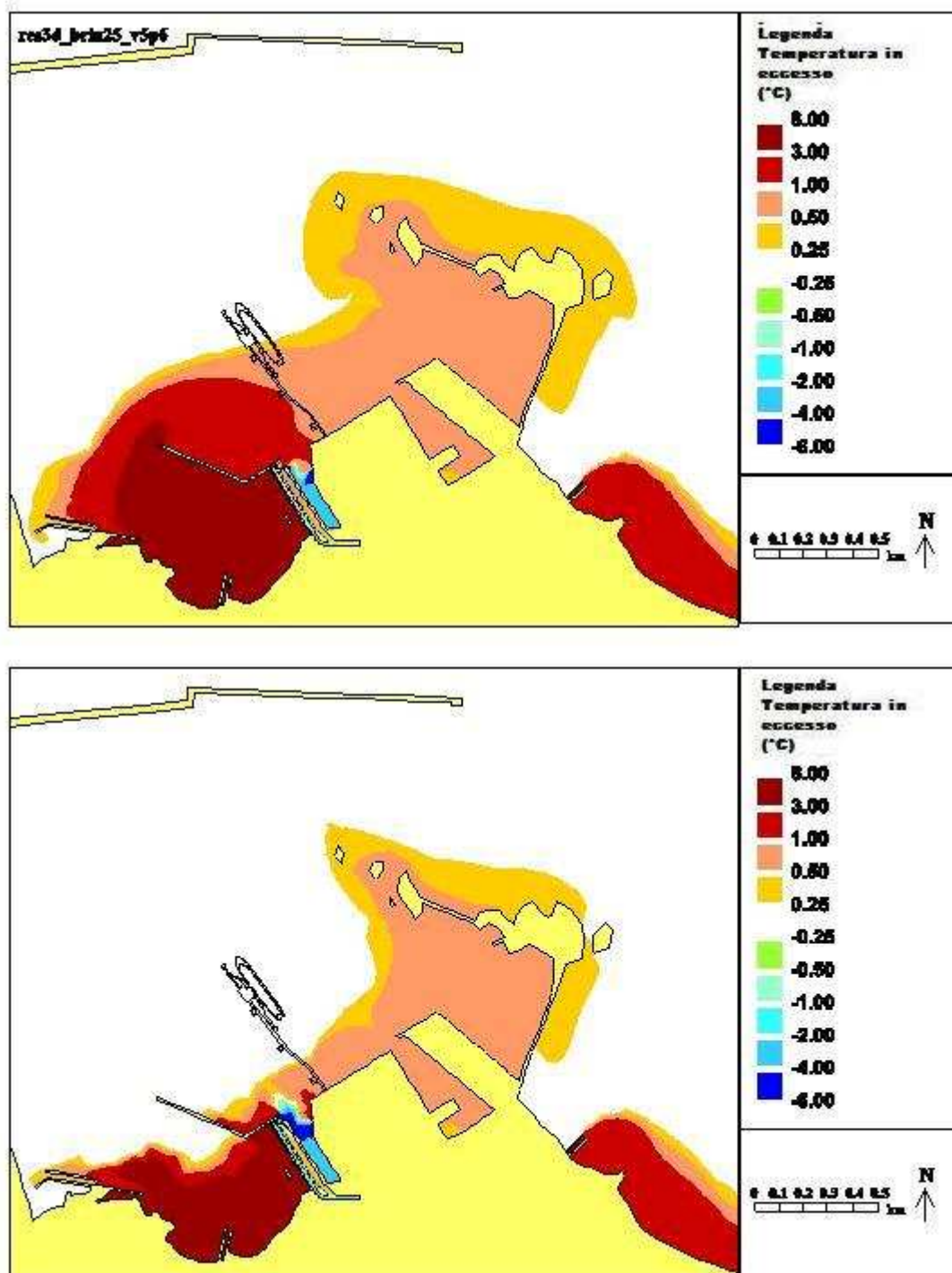


Figura 11 Campi di temperatura rappresentati tramite modello (superficie e fondo) per lo Scenario B4 Caso Base con vento da 300°N

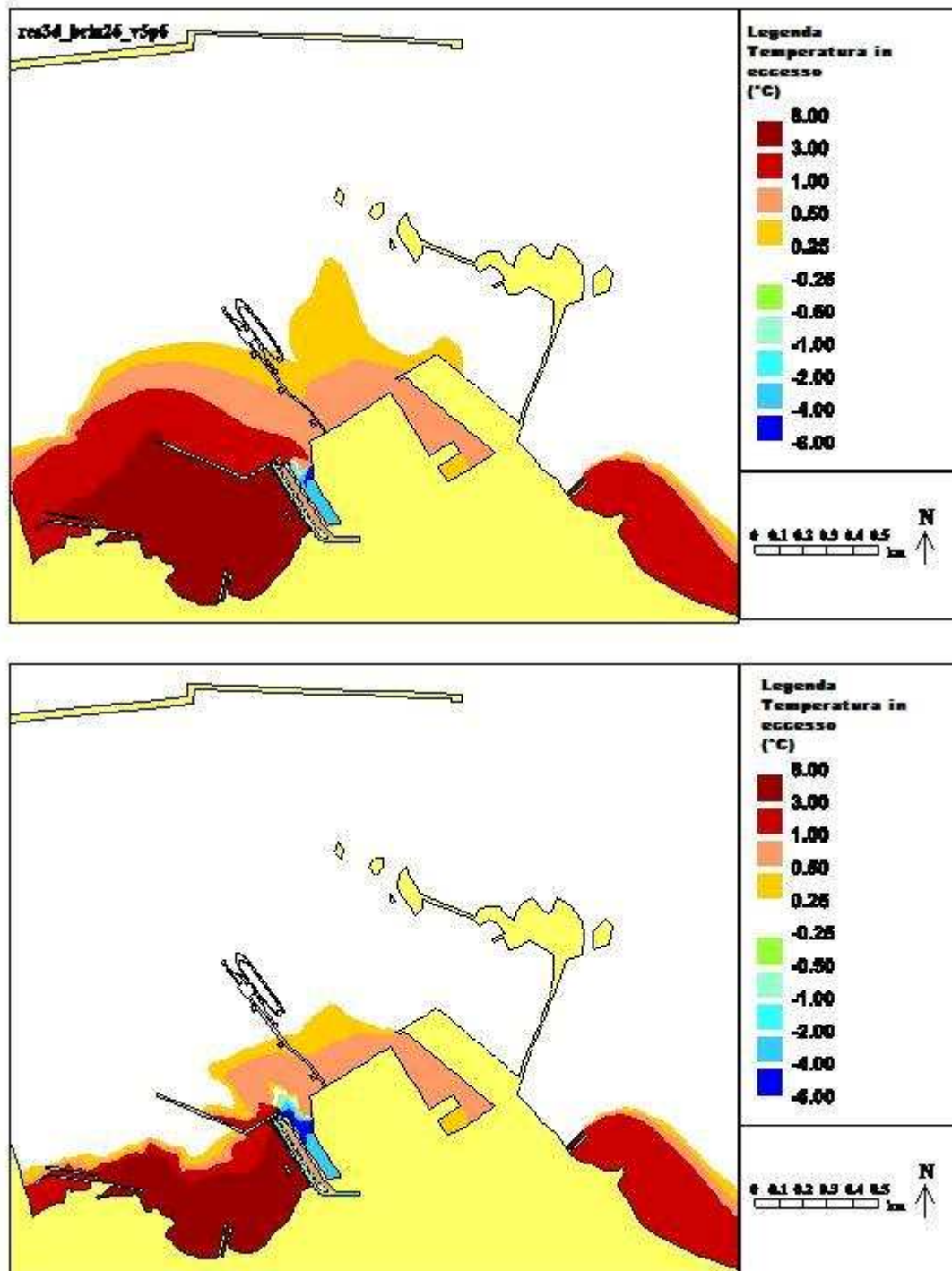


Figura 12 Campi di temperatura rappresentati tramite modello (superficie e fondo) per lo Scenario B5 Caso Base con vento da 300°N

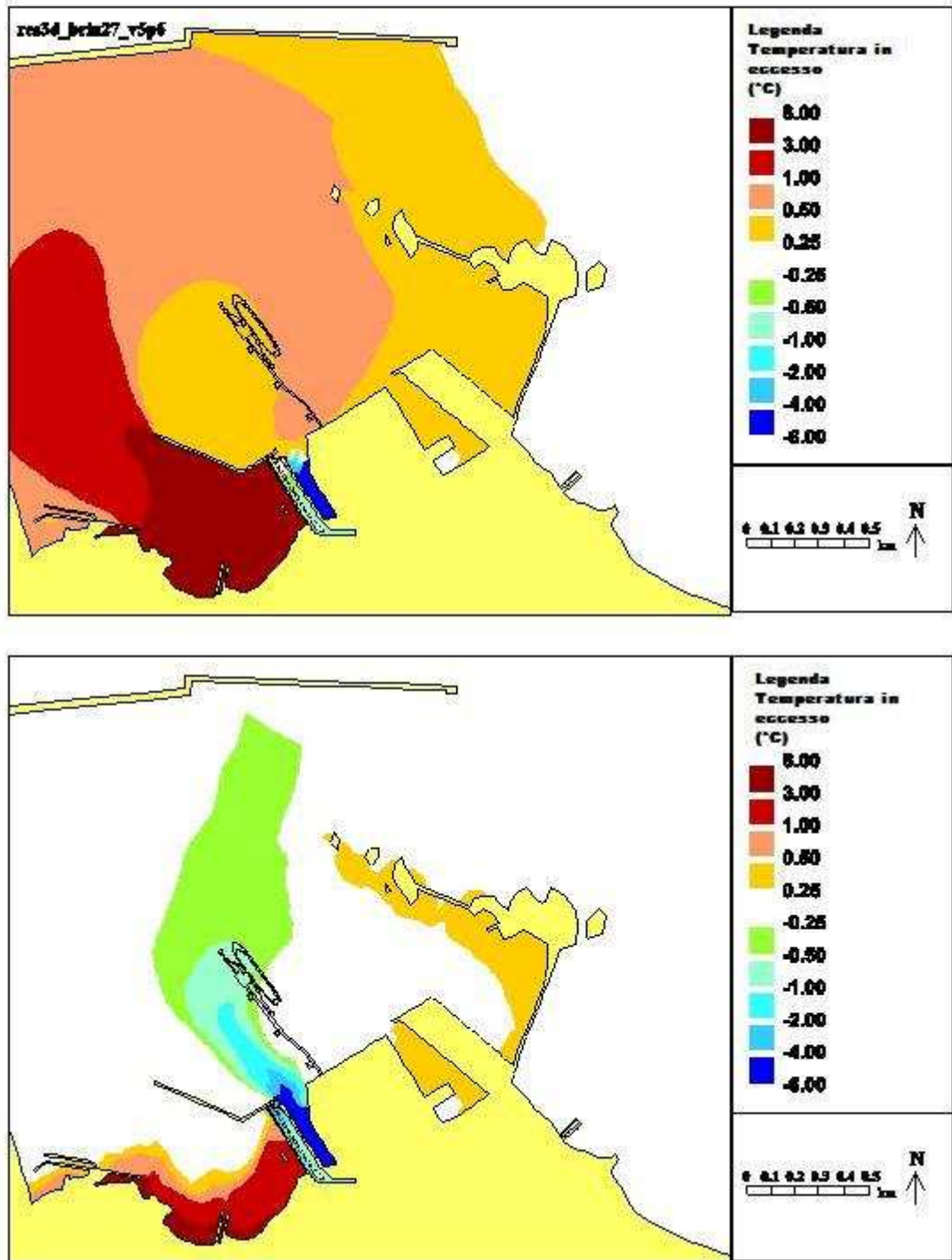


Figura 13 Campi di temperatura rappresentati tramite modello (superficie e fondo) per lo Scenario S1 presa/sbocco PE chiusi e assenza di vento

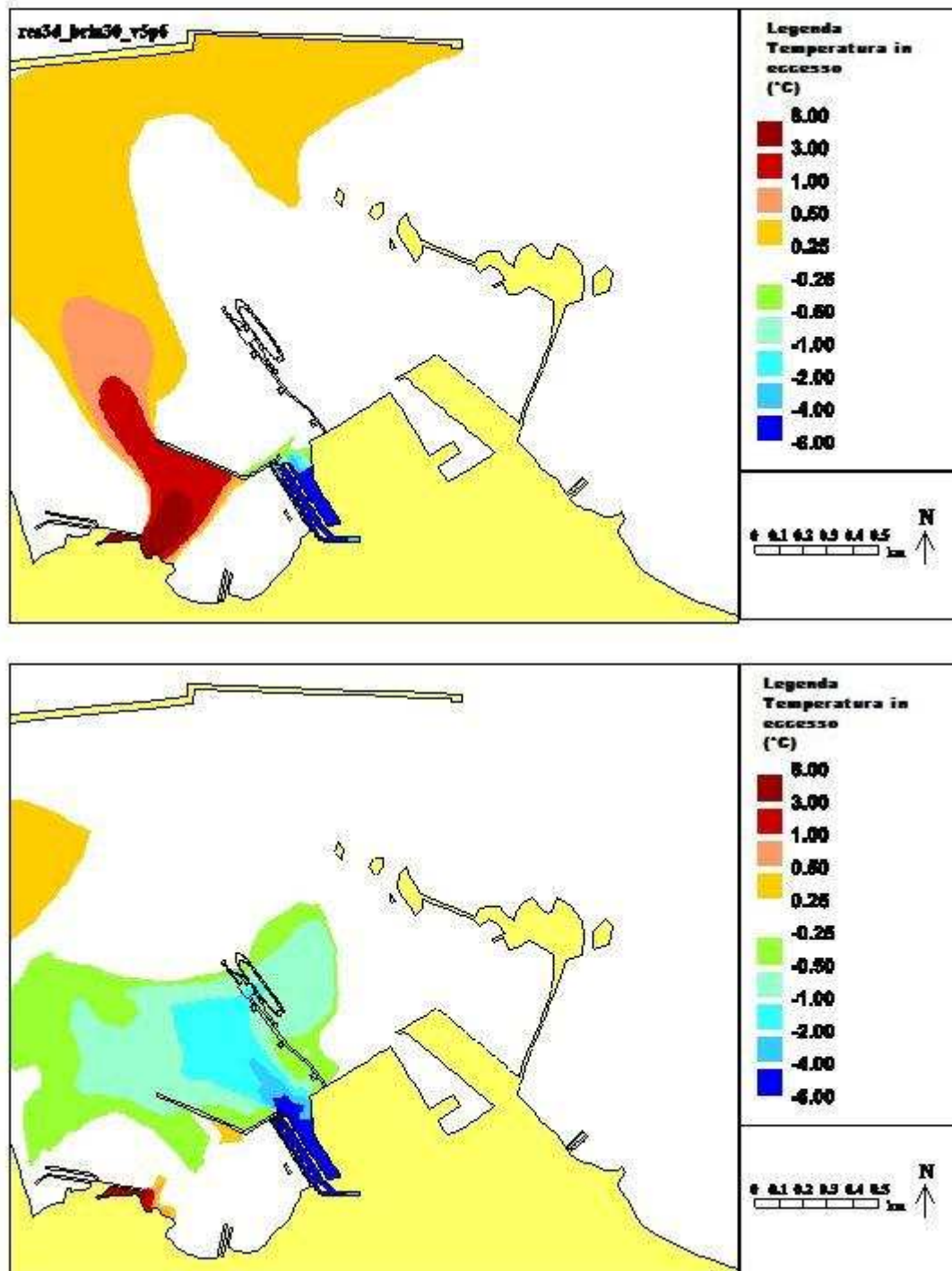


Figura 14 Campi di temperatura rappresentati tramite modello (superficie e fondo) per lo Scenario S2 presa/sbocco PE chiusi e vento da 180°N



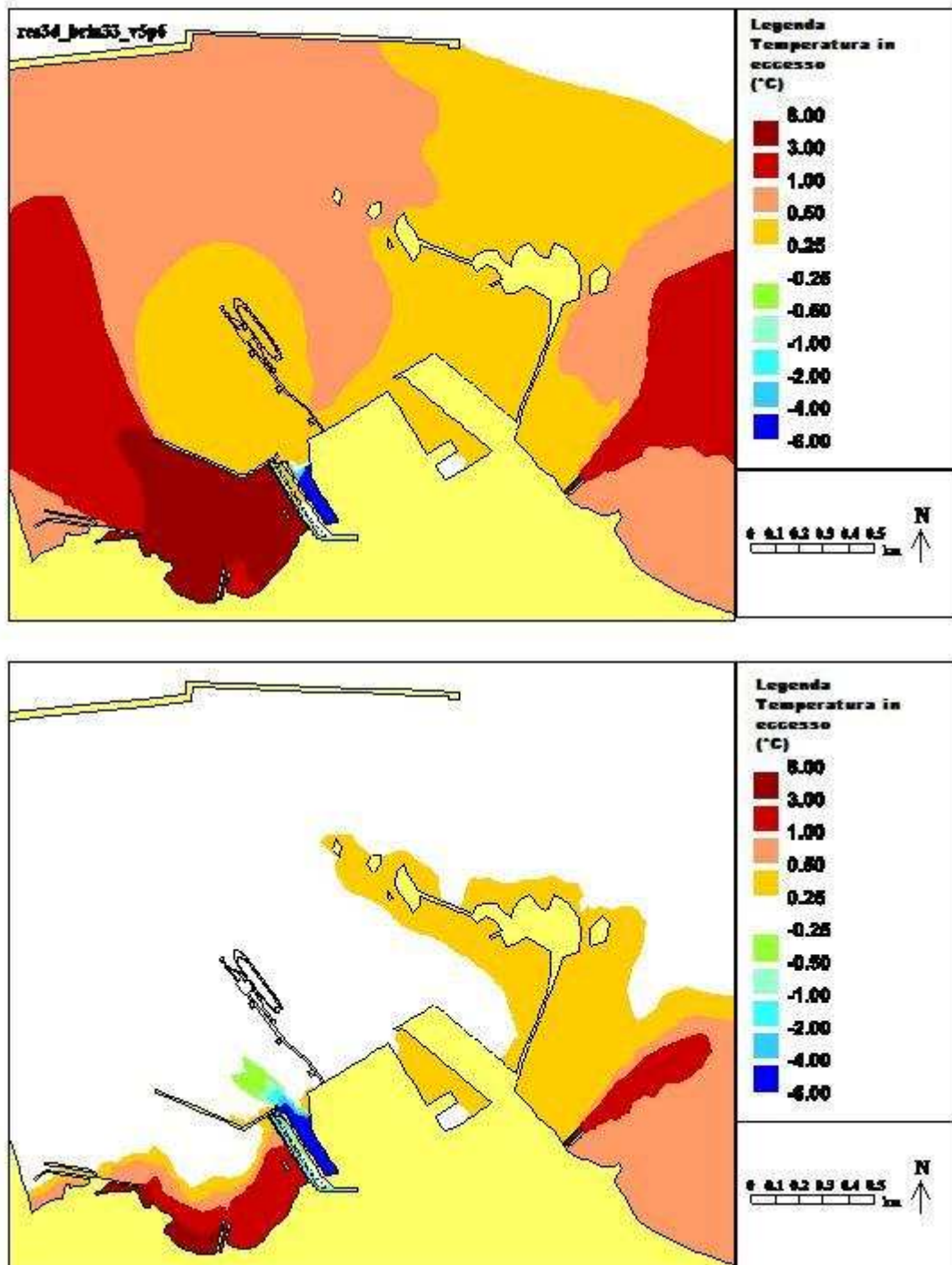


Figura 15 Campi di temperatura rappresentati tramite modello (superficie e fondo) per lo Scenario S3 con miscelazione tramite onde e assenza di vento

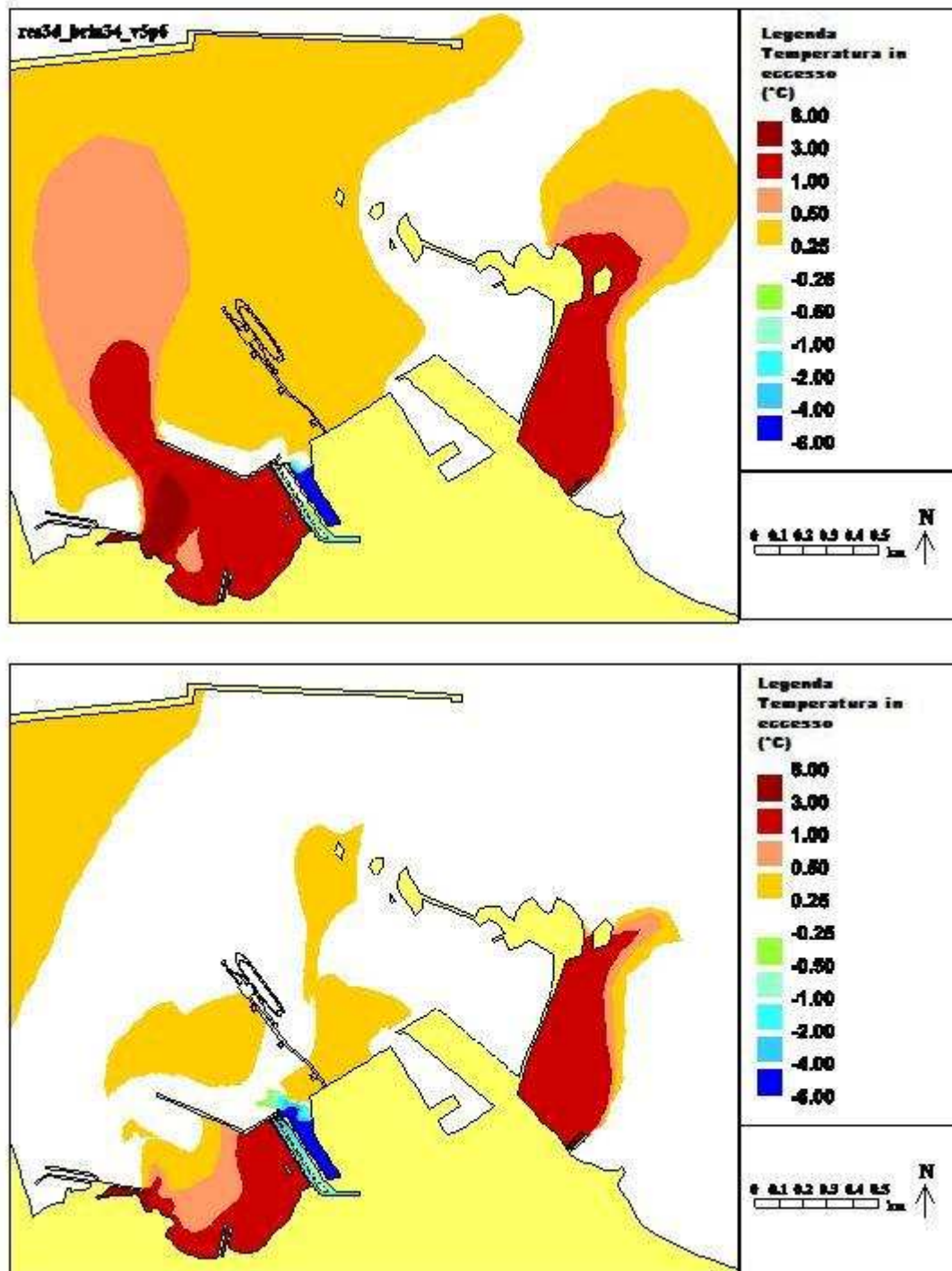


Figura 16 Campi di temperatura rappresentati tramite modello(superficie e fondo) per lo Scenario S4 con miscelazione tramite onde e vento da 180°N

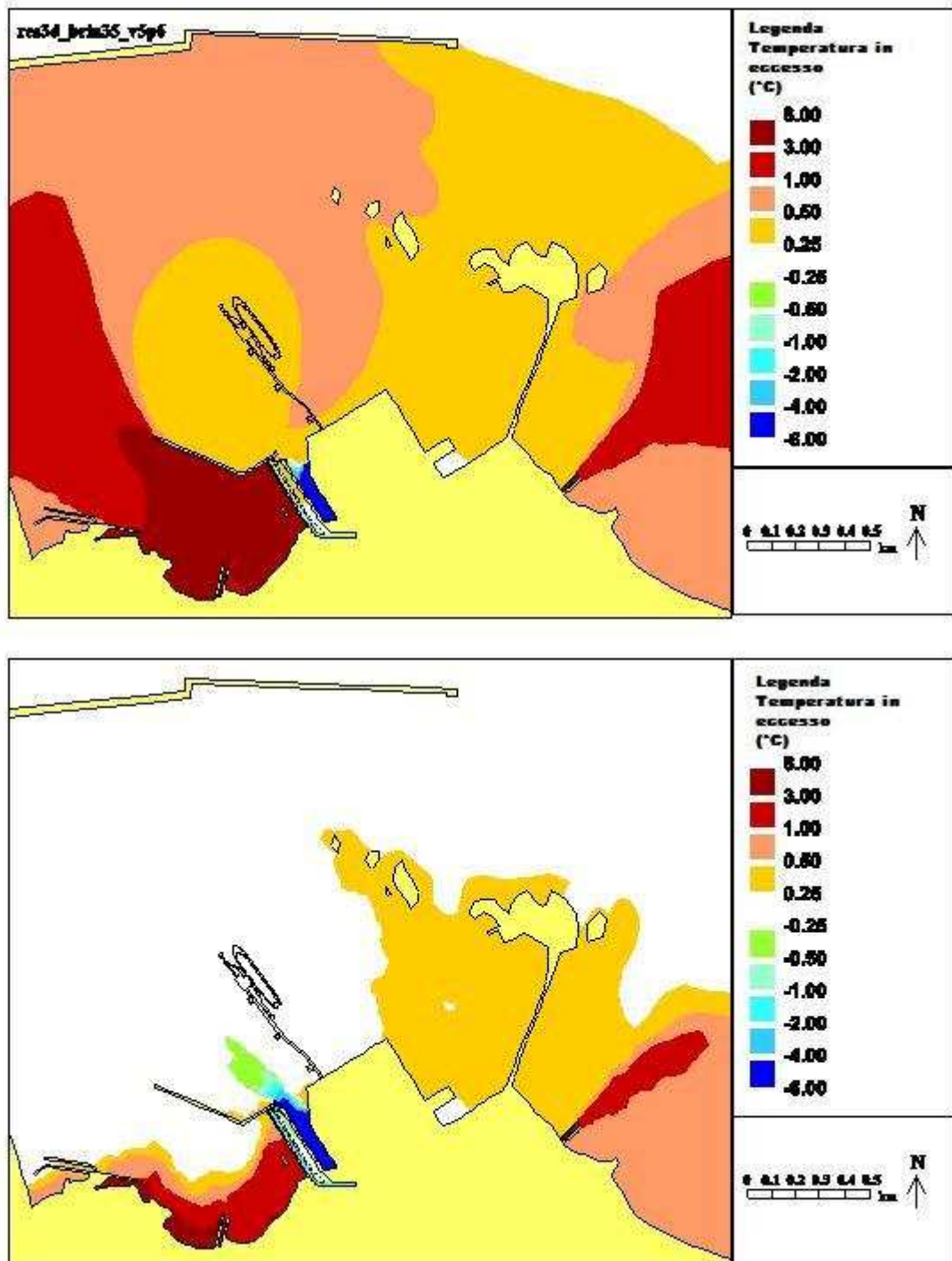


Figura 17 Campi di temperatura rappresentati tramite modello (superficie e fondo) per lo Scenario S5 senza lo sviluppo di Capo Bianco e in assenza di vento

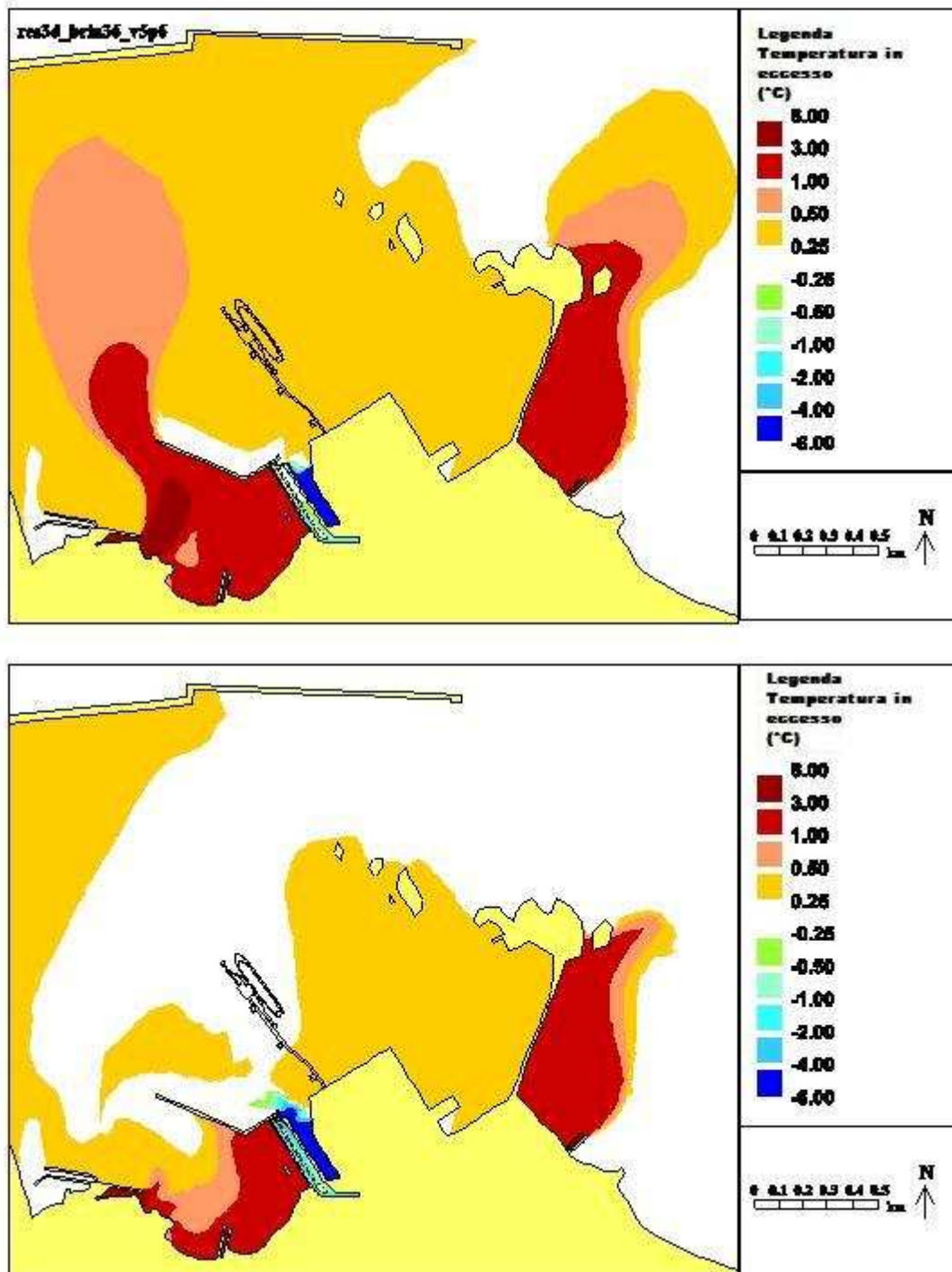


Figura 18 Campi di temperatura rappresentati tramite modello (superficie e fondo) per lo Scenario S6 senza lo sviluppo di Capo Bianco e vento da 180°N



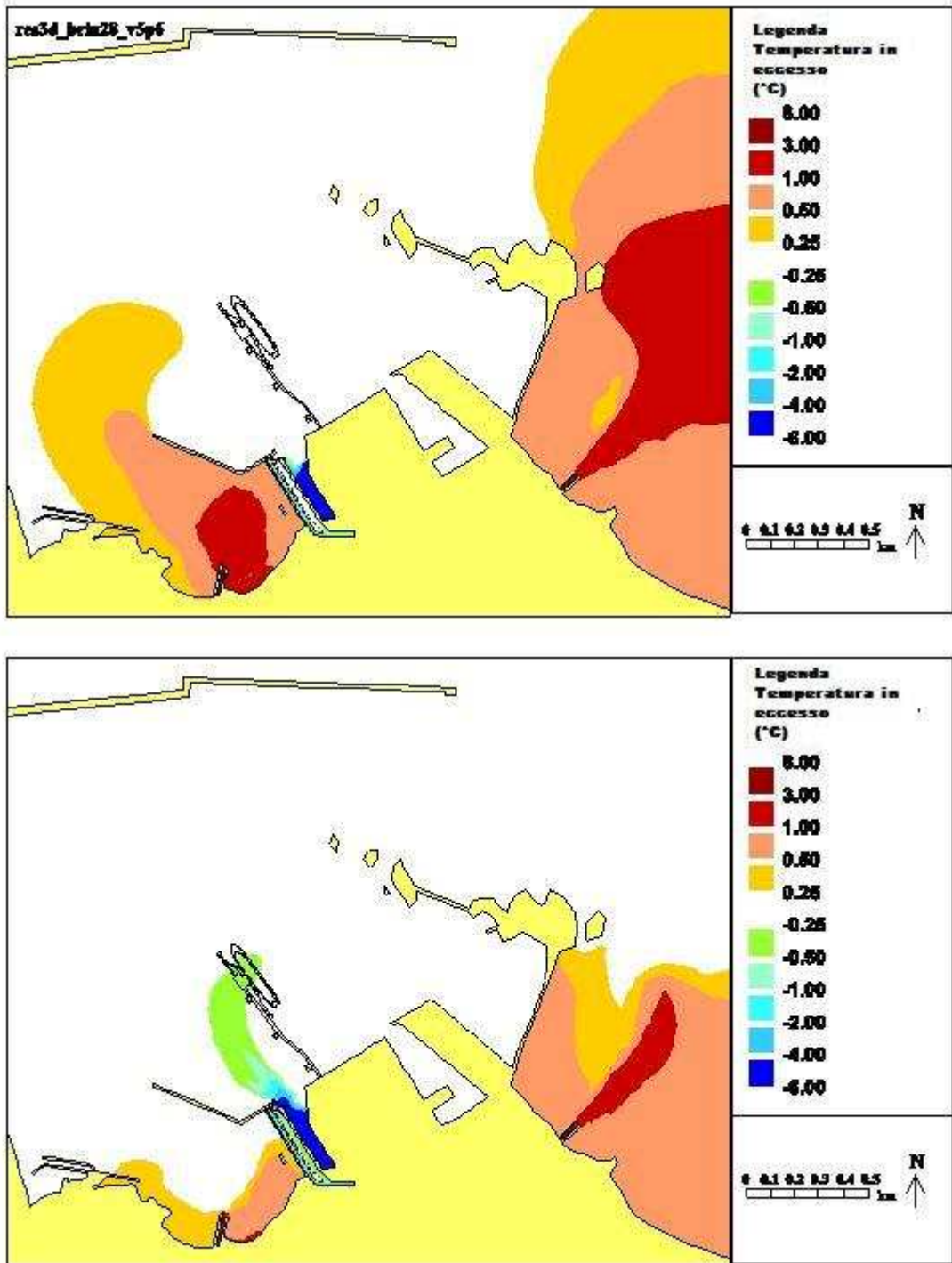


Figura 19 Campi di temperatura rappresentati tramite modello (superficie e fondo) per lo Scenario S7 CBN chiusa e assenza di vento

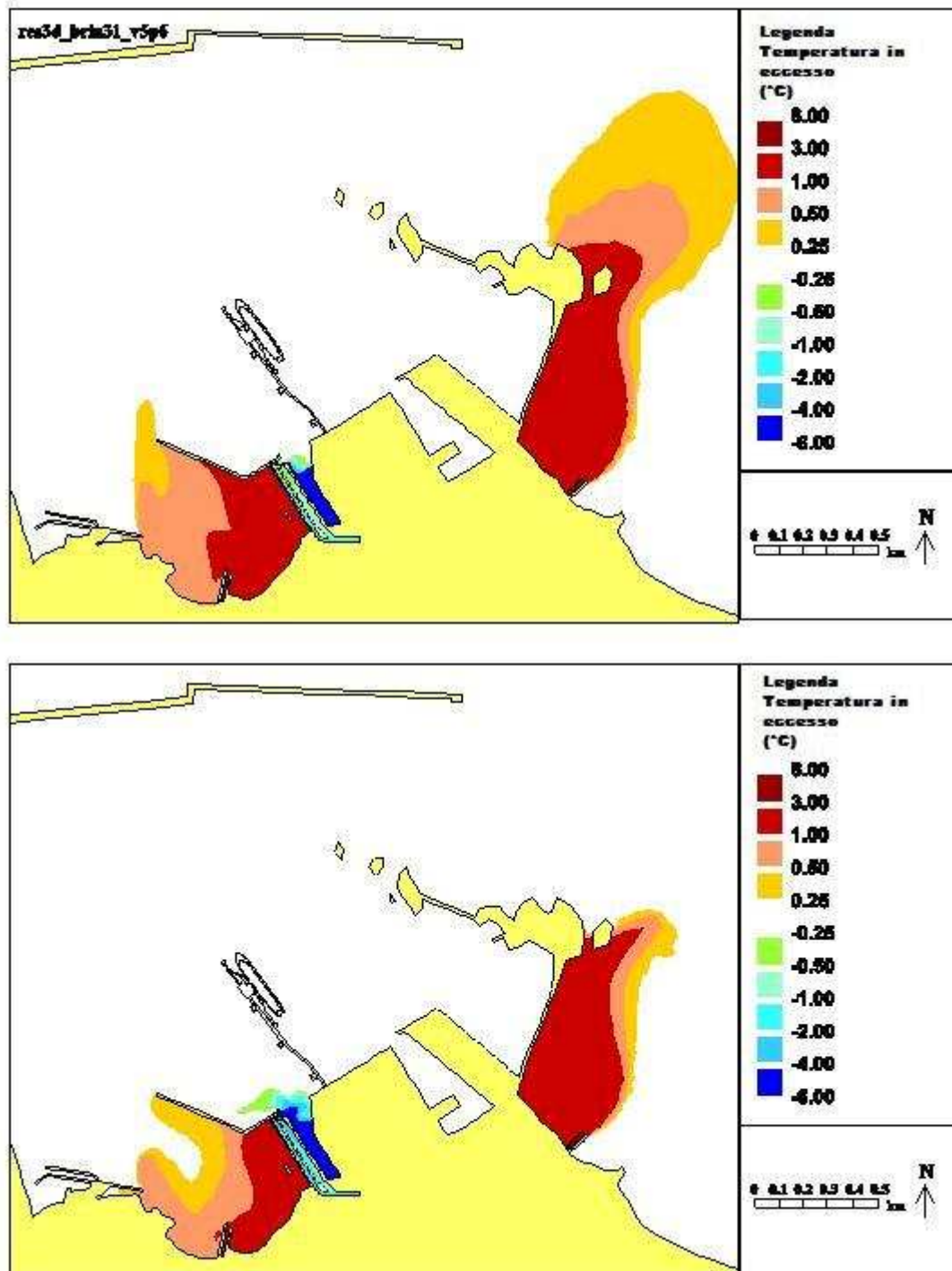


Figura 20 Campi di temperatura rappresentati tramite modello (superficie e fondo) per lo Scenario S8 CBN chiusa e vento da 180°N

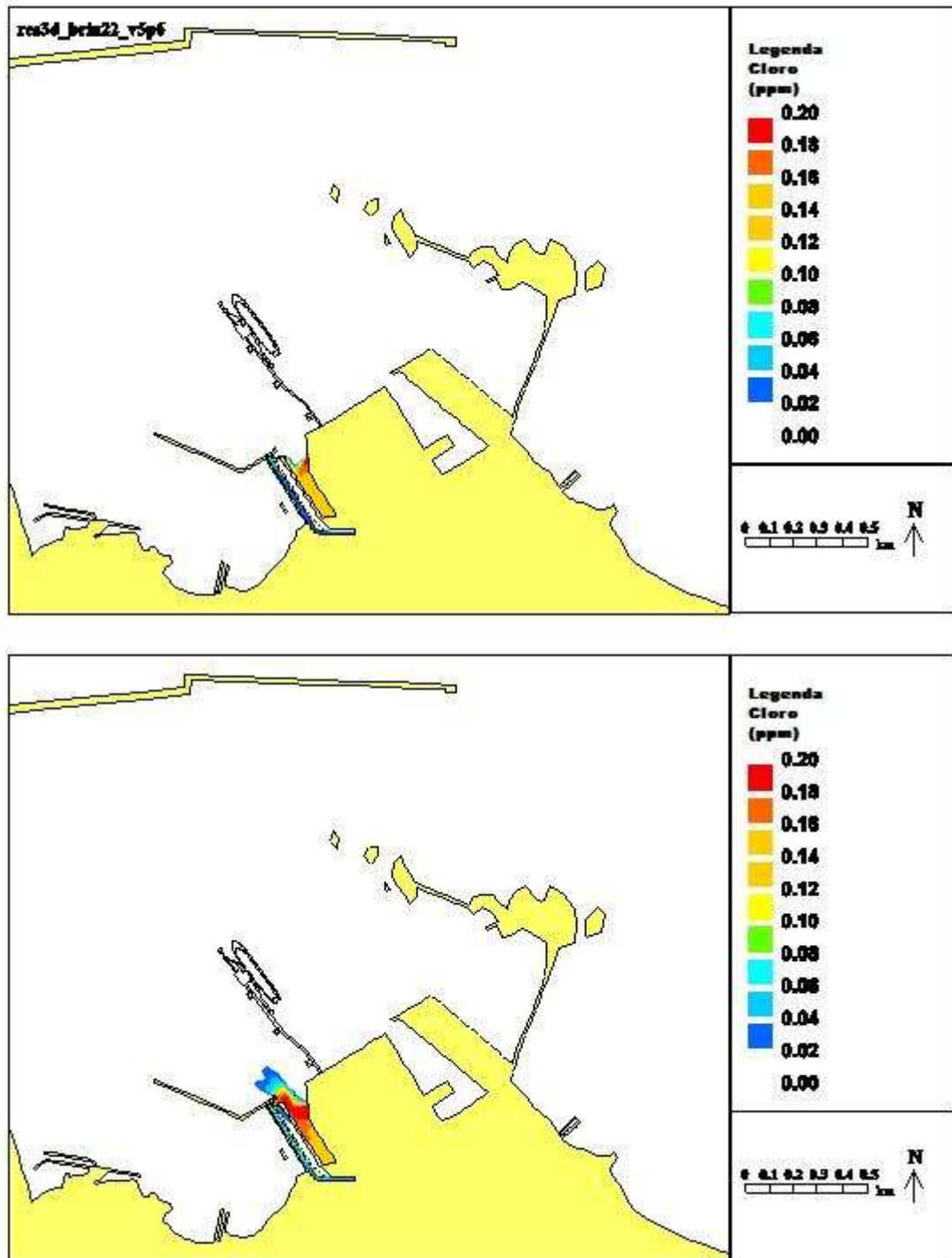


Figura 21 Distribuzione cloro in eccesso (superficie e fondo) per lo Scenario B2 Caso Base con vento da 180°N

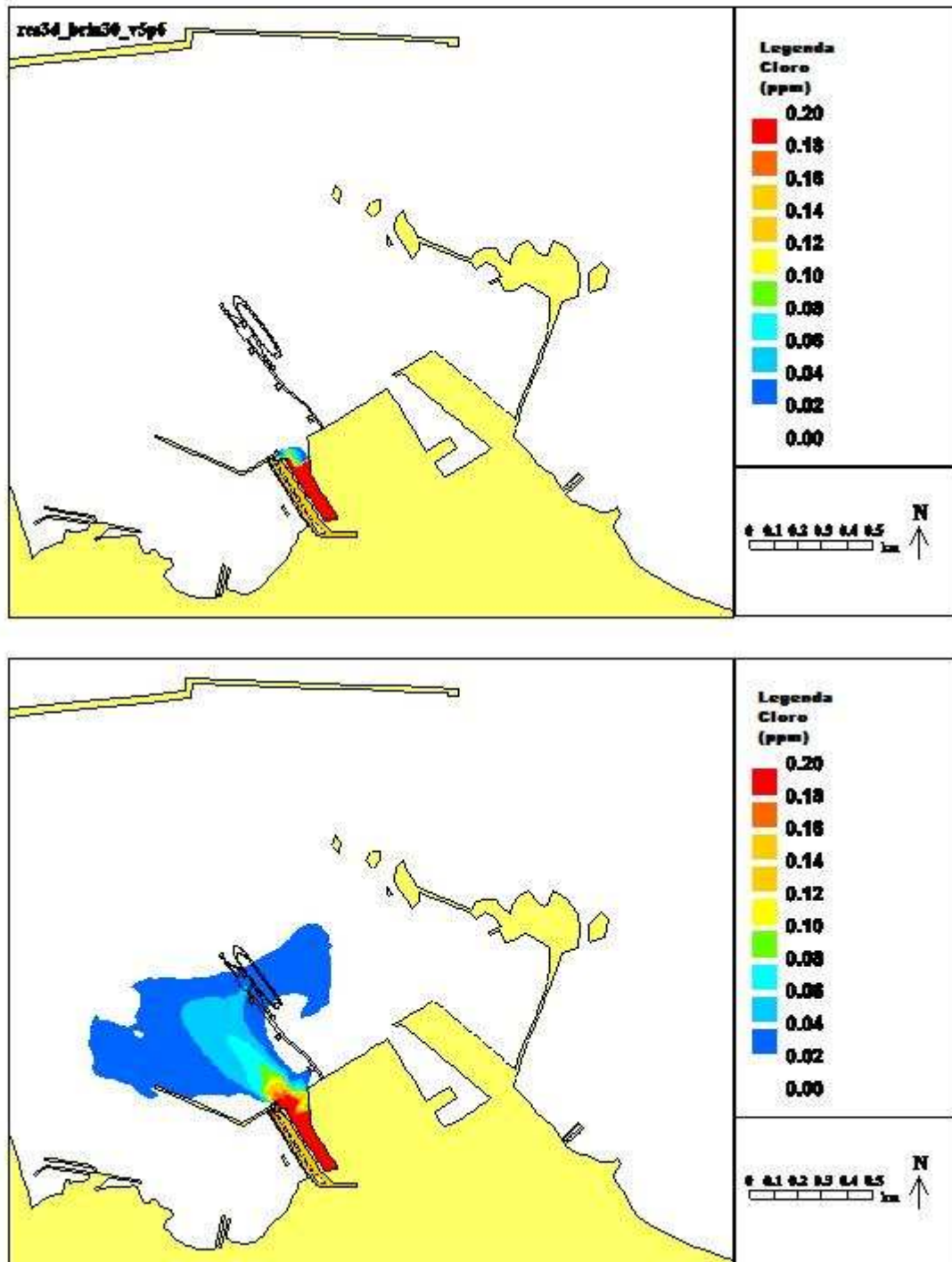
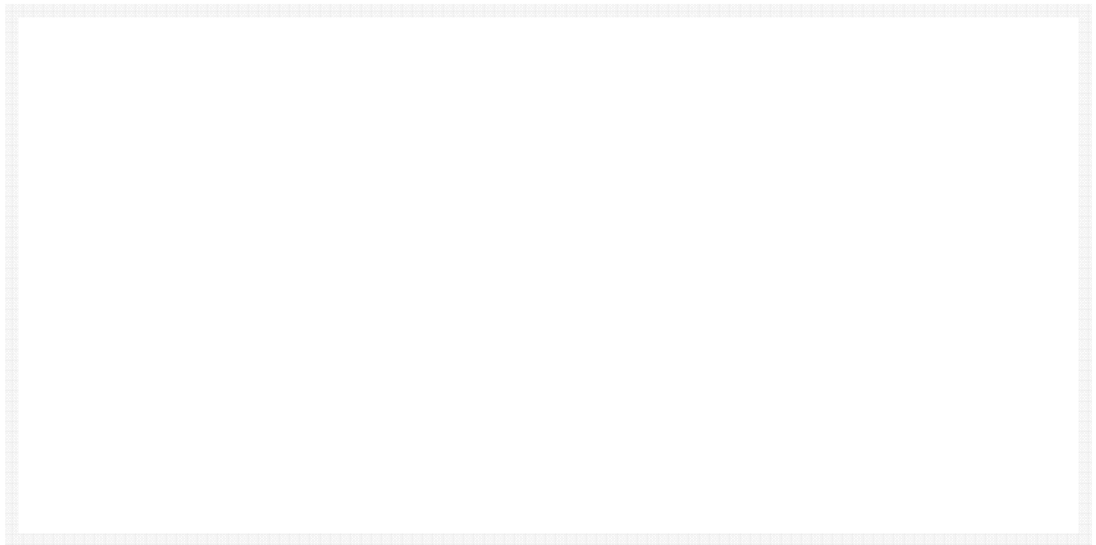


Figura 22 Distribuzione cloro in eccesso (superficie e fondo) per lo Scenario S2 presa/sbocco PE chiusi e vento da 180°N

# Brindisi LNG

## Thermal discharge impact assessment



Report EX 5673  
Release 1.0  
December 2007

## Document Information

<b>Project</b>	Brindisi LNG
<b>Report title</b>	Thermal discharge impact assessment
<b>Client</b>	BrLNG
<b>Client Representative</b>	Alex Forrest
<b>Project No.</b>	EBR4228
<b>Report No.</b>	EX 5673
<b>Project Manager</b>	Chris Hutchings
<b>Project Director</b>	Colin Skipper

## Document History

Date	Release	Prepared	Approved	Authorised	Notes
14/12/07	1.0	CJH	CTM		

© HR Wallingford Limited

*HR Wallingford accepts no liability for the use by third parties of results or methods presented in this report. The Company also stresses that various sections of this report rely on data supplied by or drawn from third party sources. HR Wallingford accepts no liability for loss or damage suffered by the client or third parties as a result of errors or inaccuracies in such third party data.*

# Summary

Brindisi LNG

Thermal discharge impact assessment

Report EX 5673  
December 2007

Brindisi LNG SpA plans to build a new LNG Terminal in Brindisi Harbour. The plant requires a supply of seawater for the regassification of the LNG. The design seawater flowrate for this process will be 25,000m<sup>3</sup>/h. The discharged seawater will be 6°C cooler than ambient. The intake for the seawater is to be located on the northwestern face of the reclamation and the discharge on the western face of the reclamation.

This study uses a validated 3D numerical model of Brindisi Outer Harbour (Porto Esterno) to investigate the potential impact of discharging cold water, for a variety of possible scenarios.

The discharge is predicted to reduce ambient temperature by 1°C or more over less than 2% of the area of the Porto Esterno and to have a negligible impact on reducing the areas of water which exceed the ambient temperature as a result of existing warm water discharges.

The discharge is predicted to introduce low concentrations of chlorine (<0.2ppm) to the Porto Esterno with concentrations more than 0.15ppm extending only 300m from the discharge point.

The conclusion is that the proposed discharge of cold water does not have a significant impact on the waters of Brindisi Harbour and contributes cooler water to the Polimera Europa intake channel which may be beneficial. These conclusions remain valid, whether the proposed Capo Bianco development is made or not.





# Contents

<i>Title page</i>	<i>i</i>
<i>Document Information</i>	<i>ii</i>
<i>Summary</i>	<i>iii</i>
<i>Contents</i>	<i>v</i>

1.	Introduction.....	1
1.1	Background.....	1
1.2	Objectives.....	1
1.3	Scope of work.....	1
1.3.1	Earlier work.....	1
1.3.2	This study.....	1
1.4	Report outline.....	2
2.	Scenarios studied.....	3
2.1	Rationale for scenarios.....	3
2.2	Scenario description.....	4
3.	Results.....	5
3.1	General behaviour of the BrLNG cold water discharge.....	5
3.2	General behaviour of the warm water discharges.....	5
3.3	existing discharges.....	5
3.4	base case results.....	6
3.5	sensistivity test results.....	6
3.6	Summary of scenario tests.....	7
4.	Interpretation of results against objectives.....	9
4.1	impacts of the BrLNG discharge on the operation of the PE Plant.....	9
4.2	Assessment of likely dispersion of the thermal plume (environmental effects)..	9
4.2.1	Regulatory framework.....	9
4.2.2	Extent of areas of warm surface or cold bed plumes.....	10
4.3	Dilution of chlorine.....	10
5.	Conclusions.....	11
6.	References.....	12

## Tables

Table 1	Average excess temperature at the BrLNG intake (°C) over last tide in simulation.....	6
Table 2	Average excess temperature at the BrLNG intake (°C) over last tide in simulation.....	8
Table 3	Average excess temperature at the BrLNG intake (°C) over last tide in simulation.....	8
Table 4	Areas of temperature excess in Porto Esterno.....	10

## Contents continued

### Figures

- Figure 1 Brindisi Outer Harbour showing existing intakes and outfalls, and BrLNG proposed intake and outfall
- Figure 2 TELEMAC-3D finite element model domain and mesh
- Figure 3 TELEMAC-3D finite element model mesh (local to BrLNG proposed development)
- Figure 4 TELEMAC-3D finite element model bathymetry
- Figure 5 TELEMAC-3D finite element model bathymetry (local to BrLNG proposed development)
- Figure 6 TELEMAC-3D finite element model bathymetry (excluding proposed Capo Bianco development)
- Figure 7 Modelled temperature fields (surface and bed) for Scenario E1 Existing intakes/outfalls only
- Figure 8 Modelled temperature fields (surface and bed) for Scenario B1 Base case no wind
- Figure 9 Modelled temperature fields (surface and bed) for Scenario B2 Base case 180°N wind
- Figure 10 Modelled temperature fields (surface and bed) for Scenario B3 Base case 150°N wind
- Figure 11 Modelled temperature fields (surface and bed) for Scenario B4 Base case 300°N wind
- Figure 12 Modelled temperature fields (surface and bed) for Scenario B5 Base case 300°N wind
- Figure 13 Modelled temperature fields (surface and bed) for Scenario S1 PE intake/outfalls off no wind
- Figure 14 Modelled temperature fields (surface and bed) for Scenario S2 PE intake/outfalls off 180°N wind
- Figure 15 Modelled temperature fields (surface and bed) for Scenario S3 with mixing by waves no wind
- Figure 16 Modelled temperature fields (surface and bed) for scenario S4 with mixing by waves 180°N wind
- Figure 17 Modelled temperature fields (surface and bed) for Scenario S5 without Capo Bianco development no wind
- Figure 18 Modelled temperature fields (surface and bed) for scenario S6 without Capo Bianco development 180°N wind
- Figure 19 Modelled temperature fields (surface and bed) for scenario S7 CBN switched off no wind
- Figure 20 Modelled temperature fields (surface and bed) for scenario S8 CBN switched off 180°N wind
- Figure 21 Excess Chlorine distribution (surface and bed) for scenario B2 base case 180°N wind
- Figure 22 Excess Chlorine distribution (surface and bed) for scenario S2 PE intake/outfalls off 180°N wind

# 1. Introduction

## 1.1 BACKGROUND

Brindisi LNG SpA plans to build a new LNG Terminal in Brindisi Harbour. The terminal will be designed for an initial nominal sendout of 6.0 MMTPA. Seawater will be used in Open-Rack Vaporisers (ORVs) as a heating medium to vaporise LNG. The design flowrate of this seawater is assumed to be 25,000m<sup>3</sup>/hr. The discharged seawater will be 6°C cooler than ambient.

This report investigates thermal impacts of the proposed intake and discharge of seawater under a variety of operating and environmental conditions.

Figure 1 shows the layout of Brindisi Outer Harbour, with locations of existing intakes and outfalls (with their discharge characteristics). Also shown is the proposed BrLNG Plant reclamation area and jetty, including the proposed BrLNG intake and discharge locations and proposed/ongoing developments at Capo Bianco. A further reclamation at Costa Morena Est is included in the model (but is outside the area shown in Figure 1).

## 1.2 OBJECTIVES

The objectives of this study are to appraise the impact of the intake and outfall under a variety of environmental conditions. Specifically to:

1. Assess the potential positive and negative impacts of the BrLNG discharge on the water intake to the existing Polimera Europa (PE) Plant located adjacent to the BrLNG development
2. Assess likely dispersion of the thermal (cold water) plume (environmental effects)
3. Assess the likely residual chlorine concentration distributions as a result of the discharge

## 1.3 SCOPE OF WORK

### 1.3.1 Earlier work

This study builds on earlier work (Reference 1) in which the location of the BrLNG cold water discharge was selected, to minimise recirculation with the BrLNG intake and maximise mixing with the waters of Brindisi harbour.

The earlier work included the set-up and use of a 3D numerical model (TELEMAC-3D) which is fully reported in Reference 1.

The earlier work included full descriptions of the existing intakes and discharges in Brindisi harbour (Polimera Europa (PE) and Centrale Brindisi Nord) and the proposed developments of Capo Bianco, Costa Morena Est and the BrLNG reclamation.

### 1.3.2 This study

This study uses the same TELEMAC-3D model as described above. The model coastline, mesh and bathymetry are shown in Figures 2-5. Figure 6 shows the model coastline and bathymetry used for two sensitivity tests which excluded the Capo Bianco proposed development.

First the model was run without the proposed BrLNG intake/outfall, to establish the existing conditions and patterns of thermal dispersion. Next, the worst-case wind condition was established for the BrLNG intake/outfall, by running the model with no wind and four alternative wind conditions. Finally a number of sensitivity tests were carried out. The results were then reviewed and interpreted to draw conclusions.

#### 1.4 REPORT OUTLINE

Section 2 details the scenarios studied. Section 3 presents the results and section 4 provides an interpretation of the results against the objectives of the study. Section 5 provides overall conclusions.

## 2. *Scenarios studied*

### 2.1 RATIONALE FOR SCENARIOS

The dispersal of spent heating water from the discharge point can be conveniently divided into three stages: the near-, mid- and far-fields. These are characterised by different dominant physical processes.

In the near-field, the initial momentum and (negative) buoyancy of the discharge govern its behaviour. The dissipation of momentum and buoyancy by the interaction of the discharge with the ambient waters characterises the important processes to be studied for this initial area of the plume. In detailed studies it is important to introduce the cooled water into any mid- and far-field models in a way that is consistent with its near-field behaviour. The near-field can be characterised by jet-like or plume-like behaviour depending on whether the effluent is discharged at high or low speed relative to the ambient water. Whatever the detail of the initial discharge, the momentum of the effluent is eventually absorbed into the ambient water and the effluent starts to move with the ambient water as a mid-field plume.

In the mid-field, buoyancy forces continue to cause horizontal spreading of the plume over the bed, and forced entrainment, transport by currents and further dilution of the cold water occurs. A three-dimensional approach to investigation of the plume movement, interaction with tidal flows and thermal balance is therefore required, typically involving the use of a multi-layer computer model.

In the far-field, the temperature contrast between the plume and the ambient water becomes so small that buoyancy forces are negligible. Effectively, the cold water is then advected as a dynamically neutral parameter and any excess negative temperature is gradually dispersed to the atmosphere and by residual currents. Although the buoyancy effects of the plume are regarded as insignificant in the far-field, the dispersion process might still be essentially three-dimensional if there are significant wind-driven currents or if there is natural stratification. Wind-driven currents tend to vary considerably in the vertical, and might reverse with depth in the case of an onshore or offshore wind.

The key issues governing the mid- and far-field dispersion will be:

- The movement of the near-/mid-/far-field plumes under the influence of the ambient tidal and wind-driven currents
- The dispersion away from the area and any subsequent build up in the far-field.

Therefore in order to assess the impact of the discharge, we need to consider the mid- and far-field dispersion under a range of external conditions that may affect it. These include changes to circulation induced by wind or waves, changes in other discharges and changes to harbour layout. The scenarios selected to demonstrate dispersion of the cold water under a range of representative conditions are discussed below.

## 2.2 SCENARIO DESCRIPTION

First a simulation was carried out with just the existing intakes and discharges (PE and Centrale Brindisi Nord) operating (Scenario E1).

Base Case model simulations were undertaken to determine the impact of wind on the thermal plume distributions. These included the proposed BrLNG intake and outfall and all other intakes/outfalls operating under normal conditions (as defined in Reference 1).

- Base Case – with all intakes/outfalls operating normally and 5 wind conditions:
  - B1 no wind,
  - B2 180°N wind (most common southerly wind)
  - B3 150°N wind (possible worst-case for surface mixing)
  - B4 300°N wind (most common wind)
  - B5 330°N wind (possible worst-case for bottom mixing)

Wind speed for all simulations was approximately the all directions 95 percentile wind (i.e. the wind is less than the given speed for 95% of the time) based on long term wind data analysis (Reference 2). This was taken to be 20 knots or 10.3 m/s.

The worst-case wind scenario was assessed by determining the wind condition which gave the lowest temperature at the BrLNG intake. The no wind and worst-case wind scenario were then selected and used in the sensitivity tests.

- Sensitivity Tests – with worst-case wind case conditions:
  - S1 PE intake/outfalls not operational (i.e. switched off), no wind
  - S2 PE intake/outfalls not operational (i.e. switched off), worst-case wind
  - S3 With impact of waves on mixing, no wind
  - S4 With impact of waves on mixing, worst-case wind
  - S5 Without Capo Bianco Nuova Area Pol Marina Militare development, no wind
  - S6 Without Capo Bianco Nuova Area Pol Marina Militare development, worst-case wind
  - S7 Centrale Brindisi Nord intake/outfall switched off - no wind
  - S8 Centrale Brindisi Nord intake/outfall switched off- worst-case wind

The increased mixing due to waves is not often considered in the application of thermal plume models, even in unprotected coastal zones where large waves may occur, because the impact of the waves is generally small. Waves act to increase mixing in two ways. Firstly, the presence of waves results in the formation of a thin wave boundary layer, within which intense turbulence is generated within a few centimetres of the seabed. Secondly, waves act to increase the eddy viscosity in the water column above this layer. For a wave height of about 1.5m with a 5s period (which might be expected to occur in the harbour some 10 times per year) the wave boundary layer would be about 3cm thick and the increase in eddy viscosity about 50% (Reference 3). The 3cm wave boundary layer is significantly less than the thickness of the cold plume at the bed in reality and as represented by the 3D model. The relatively intense turbulence in the wave boundary layer would therefore have no significant impact on the vertical mixing in the model if it were to be included. The eddy viscosity increase over the remainder of the water column is also small, and would be reduced by thermal stratification.

Scenarios S3 and S4 were used to confirm the expected insensitivity of the model results to the above increase in eddy viscosity (excluding the wave boundary layer) likely to be associated with waves.

## 3. Results

### 3.1 GENERAL BEHAVIOUR OF THE BRLNG COLD WATER DISCHARGE

The BrLNG cold water discharge generally sinks to the sea bed and spreads along the bed under the influence of gravity and the ambient current. In the vicinity of the discharge, the cold water plume is evident at the sea surface. However, in all but one simulation (S2), the ambient surface temperature is reached within about 100m of the discharge point.

When the PE intake is operational it has a strong influence on the BrLNG cold water plume. The plume at the surface and on the bed (that is, throughout the water column) is drawn into the PE intake and away from the BrLNG intake.

### 3.2 GENERAL BEHAVIOUR OF THE WARM WATER DISCHARGES

The thermal dispersion of the warm water discharges is dependant on the meteorological conditions and whether or not the PE Plant or the Centrale Brindisi Nord Plant is operational.

Under calm conditions, the combined plumes from Centrale Brindisi Nord and (when the PE Plant is operational) the Policentrica Ovest outfall spread over the surface in the area to the south of the Molo Montecatini Edison, at a temperature close to the discharge temperature. Beyond the jetty the plume spreads over the surface of the Porto Esterno. Mixing in the more open waters reduces the temperature in the plume so that at the entrance to the port the temperature is in the range 0.25-0.5°C above ambient. The warmer parts of the plume are generally confined to the top 2m of the water column, although there is some mixing downward at lower temperatures, mainly close to the shoreline in the vicinity of the two outfalls, and in the shallower waters to the east of the BrLNG reclamation.

The warm plume discharged outside the harbour, which consists of the combined discharges from PE's Policentrica Nord Ovest, Policentrica Est and Policentrica Sud outfalls, is projected towards the northeast by the alignment of the discharge channel and under calm conditions, merges with the warm water exiting the port.

Winds from the northwest (300°N and 330°N) push the surface plumes towards the southern coastline of the port leading to larger areas with high (>3°C) excess temperatures. Conversely, winds from the southeast (150°N) tend to enhance the dispersion of warm waters away from the discharge points.

### 3.3 EXISTING DISCHARGES

Results are presented for Scenario E1 in the form of excess temperature (that is, temperature differences relative to the undisturbed ambient) contour plots at the sea surface and sea bed (Figure 7). This shows that the existing warm water discharges create excess temperatures at the surface throughout the port and beyond the port entrance, including along the BrLNG reclamation frontage. These are largely surface plumes, mostly confined within the top 2m of the water column. The temperature excess extends to the bed over a much smaller area, generally confined to the shallower water within the port. Outside the port, the combined PE discharges reach a little more

of the bed through increased mixing associated with current speeds higher than those in the port.

### 3.4 BASE CASE RESULTS

Results are presented for the Base Case Scenarios (B1-B5) in the form of temperature contour plots at the sea surface and sea bed (Figures 8-12).

Scenario B1 can be compared directly with Scenario E1. The only difference is the addition of the BrLNG intake and outfall. The impact of the BrLNG cold discharge in the surface is confined to the immediate vicinity of the discharge. At the sea bed the cold water plume extends at most 500m to the northwest of the discharge point. Cold water is also drawn into the PE intake channel throughout the water column.

Scenarios B2-B5 were run to assess sensitivity of the discharge plumes to wind direction and to establish a “worst-case” wind direction. This was the wind condition which gave the lowest temperature at the BrLNG intake, as this represents the greatest likely recirculation of the BrLNG discharge. Table 1 shows the worst-case wind to be scenario B2; a wind from 180°N (a southerly wind).

**Table 1 Average excess temperature at the BrLNG intake (°C) over last tide in simulation**

<b>Scenario</b>	<b>Surface</b>	<b>Bed</b>	<b>Depth-average</b>
B1 – no wind	0.46	0.15	0.33
B2 - 180°N	0.20	0.09	0.16
B3 - 150°N	0.26	0.26	0.26
B4 - 300°N	0.95	0.96	0.96
B5 - 330°N	0.69	0.68	0.69

### 3.5 SENSISTIVITY TEST RESULTS

Sensitivity tests were run with no wind and the worst-case wind. Results are presented for each scenario in the form of temperature contour plots at the sea bed and sea surface in Figures 13-20.

Scenarios S1 (PE intake/outfall off) and S2 (as S1 with wind) can be compared with Scenarios B1 and B2 respectively. The PE intake clearly exerts a very strong influence on the spread of the BrLNG cold water plume on the bed, as S1 and S2 both show a much greater spread of the plume than in the base case runs. With no wind, the plume extends towards the entrance to the port, whereas with a southerly wind it moves further west.

Scenarios S3 and S4 (Figures 15 &16) show the impact of additional mixing that would be caused by wave activity. This is normally excluded from the modelling, particularly within fairly sheltered harbours such as Brindisi, as it is considered that waves will only make a small difference to the overall mixing. Indeed, this is what is shown in Scenario S3 when waves are acting without wind. Results are almost identical to Scenario B1 (Figure 8). Likewise, results for Scenario S4 are almost identical to Scenario B2 (Figure 9).



Scenarios S5 and S6 show plume behaviour without the Capo Bianco development – which, although part of the Port Plan, is being developed by others and is outside the control of BrLNG. The key differences in layout are removal of an area of proposed reclamation immediately to the east of the BrLNG reclamation, removal of localised dredging to the east of this, and removal of a new breakwater between Pedagna Grande and Isolotto Giorgio Treviso. Figures 17 and 18 show the plume behaviour without wind and with a southerly wind respectively. Distributions of the surface warm water plumes for Scenario S5 are almost identical to those in Scenario B1 (the equivalent scenario with the development, Figure 8). At the bed, the warm plume from the PE discharges outside the harbour extends further into the harbour. Distribution of the BrLNG cold water plume is unchanged. A similar picture is seen by comparing Figure 18 (Scenario S6) with Figure 9 (Scenario B2).

The Centrale Brindisi Nord power station operates independently of BrLNG and its intake/outfall may be shut down, for example, for maintenance. Scenarios S7 and S8 (Figures 19 & 20) show the effect of a shut down of this intake/outfall. Clearly there is a significant reduction in warm water discharged to the port. This is reflected in the reduced extent of the positive temperature excess at the surface (compare Figure 19 (S7) with Figure 8 (B1)). The BrLNG cold plume at the bed also extends a little further into the harbour. With the southerly wind, Scenario S8 shows similar characteristics, though the cold plume at the bed is little changed from that in Scenario B2 (Figure 9).

### 3.6 SUMMARY OF SCENARIO TESTS

Temperature changes (excess temperatures) are shown below for two key locations – the BrLNG intake and the PE intake. Table 2 shows the surface, bed and depth-averaged excess temperatures at the BrLNG intake averaged over the last tide of each simulation.

Note that temperature changes are presented to two or three decimal places to indicate the sense of changes, rather than to indicate the accuracy of predictions.

Warm water at the BrLNG intake is beneficial to the LNG warming process. Scenario B4 (300°N wind) is seen to give the highest temperature excess at the BrLNG intake. As this represents the most common wind direction, this is a good result, likely to assist the LNG warming processes.

Cool water at the BrLNG intake in significant quantities is undesirable. The worst-case occurs under scenario S2 when the PE intake/outfalls are not operating and there is a southerly wind. However, the temperature reduction is small (<0.05°C).

**Table 2 Average excess temperature at the BrLNG intake (°C) over last tide in simulation**

Scenario	Surface	Bed	Depth-average
E1	0.44	0.20	0.35
B1	0.46	0.15	0.33
B2	0.20	0.09	0.16
B3	0.26	0.26	0.26
B4	0.95	0.96	0.96
B5	0.69	0.68	0.69
S1	0.47	0.11	0.32
S2	-0.02	-0.03	-0.03
S3	0.46	0.15	0.33
S4	0.22	0.12	0.20
S5	0.43	0.17	0.32
S6	0.27	0.28	0.27
S7	0.11	0.01	0.06
S8	0.001	0.002	0.002

Table 3 shows the temperature excess for the PE intake (at the landward end of the combined intake channel). It has been assumed that the PE Plant will draw water from across the width and depth of the channel. Therefore, the temperatures presented in Table 3 are from the centre of the channel.

Cool water at the PE intake should assist in the cooling purposes to which the water is put. The greatest cooling effect from the BrLNG discharge at the PE intake is when the PE intake is switched off and a southerly wind blows (Scenario S2). The next best situation simulated is when the Centrale Brindisi Nord discharge is switched off and a southerly wind blows (Scenario S8), when a temperature reduction of about 1.5°C is predicted. Similarly, warm water at the PE intake is not desirable. All of the simulations show a reduction in temperature at the PE intake as a result of the BrLNG discharge.

**Table 3 Average excess temperature at the BrLNG intake (°C) over last tide in simulation**

Scenario	Surface	Bed	Depth-average
E1	0.37	0.37	0.37
B1	-0.52	-1.26	-0.99
B2	-1.25	-1.41	-1.35
B3	-0.86	-1.32	-1.16
B4	-0.34	-0.80	-0.62
B5	-0.02	-0.67	-0.41
S1	-0.86	-0.91	-0.89
S2	-4.05	-4.04	-4.05
S3	-0.55	-1.23	-1.00
S4	-1.24	-1.44	-1.37
S5	-0.53	-1.26	-0.99
S6	-1.24	-1.39	-1.33
S7	-0.87	-1.45	-1.24
S8	-1.50	-1.63	-1.57

## 4. *Interpretation of results against objectives*

### 4.1 IMPACTS OF THE BRLNG DISCHARGE ON THE OPERATION OF THE PE PLANT

The impact of the BrLNG plant operation on the PE plant could include:

- effects on the hydraulics of the intake, including flow patterns,
- thermal changes, and
- sediment changes.

The BrLNG discharge is small and of low velocity, and will probably be discharged from a surface culvert. It is unlikely to have any discernable impact on the hydraulics of the PE intake.

The addition of the BrLNG flow to the harbour in the vicinity of the PE intake is predicted to reduce the intake temperature. It is presumed that this reduction in temperature would improve the plant efficiency as well as reducing its thermal impact on the environment.

For the range of tests carried out, the temperature changes at the intake are small, but all show a reduction as a result of the BrLNG discharge. With the PE intake in operation, results range from about  $-0.4^{\circ}\text{C}$  to  $-1.6^{\circ}\text{C}$  for the scenarios tested.

The water from the BrLNG plant will be screened to remove solids down to a maximum concentration of 80ppm. If this contains a significant proportion of sand, it will most probably settle out in the harbour. Sediment smaller than 0.06mm diameter may be carried into the PE intake channel and then possibly into the PE pumping station. As the BrLNG intake is more exposed than the PE plant intake, it is possible that the suspended sediment concentration at the BrLNG intake will be higher, so that more sediment will enter the PE intake channel than at present after passing through the BrLNG plant. However, it is likely that much of any sediment discharged would deposit before reaching the PE intake channel, although occasional maintenance dredging may be required in the vicinity of the channel entrance.

### 4.2 ASSESSMENT OF LIKELY DISPERSION OF THE THERMAL PLUME (ENVIRONMENTAL EFFECTS)

#### 4.2.1 *Regulatory framework*

There is a considerable body of legislation and regulation covering warm water discharges in the EU and elsewhere, but apparently very little covering cool discharges (which are much less common). Many regulatory authorities (for example, the UK Environment Agency) adopt a pragmatic, case-by-case approach, taking into account the range of temperatures found naturally, the sensitivity of the local biological communities and the desires of the regulator for improvement of a particular area. Other authorities may impose an absolute temperature limit or a limit on temperature change at the edge of a mixing zone. Mixing zones of a hundred to a few hundred metres in extent are quite commonly accepted, depending on the allowed impact at the edge.

The dispersion patterns arising from the various test scenarios have been described in the previous sections. The following section aims to provide some quantitative measure of the temperature changes resulting from the proposed BrLNG intake and outfall.

#### 4.2.2 Extent of areas of warm surface or cold bed plumes

The area of the Porto Esterno in which the temperature is predicted to exceed at least 1°C warmer than ambient temperature and the area of the Porto Esterno in which the temperature is predicted to be at least 1°C cooler than the ambient temperature were calculated for the existing situation (without the BrLNG discharge, Scenario E1) and the future situation (with the BrLNG discharge, Scenario B1). The results are presented in Table 4 below, in terms of total area (m<sup>2</sup>) and as a percentage of the surface area of the Porto Esterno, which was estimated as 4.1km<sup>2</sup>. This shows that the BrLNG discharge creates temperatures of more than 1°C cooler than the ambient in less than 2% of the area of the Porto Esterno, and has negligible effect on the areas with temperatures in excess of 1°C above ambient.

**Table 4 Areas of temperature excess in Porto Esterno**

Scenario	Level in water column	Area (m <sup>2</sup> )		Percentage of Porto Esterno Area (%)	
		<-1°C	>1°C	<-1°C	>1°C
E1 – existing, no BrLNG discharge	Surface	0	898961	0%	64%
	Bed	0	120602	0%	9%
B1 – with BrLNG discharge	Surface	17394	899701	1%	64%
	Bed	32773	119922	2%	9%

#### 4.3 DILUTION OF CHLORINE

It is understood that the water supply to the Open Rack Vapourisers (ORVs) will be chlorinated to prevent biofouling. The system will be controlled to ensure a maximum residual chlorine concentration at the discharge point of 0.2ppm. This chlorine will be diluted by mixing with the receiving water and will be reduced by chemical reaction and evaporation. A conservative indication of the concentration of residual chlorine can be obtained by ignoring the evaporation and reaction and assuming that the concentration decreases by dilution at the same rate as the temperature contrast.

Under this assumption, the extent of the excess chlorine plume from the BrLNG discharge alone has been assessed. No account is taken for chlorine which may come from other discharges.

For the no wind situation (Scenario B1) the conservative (high) estimate of chlorine plume extent is as shown in Figure 21. The plume is largely contained within the immediate vicinity of the discharge as much of the discharge is drawn in to the PE intake channel. Chlorine concentrations in the PE intake channel are less than 0.1ppm.

For the scenario with the largest extent of cold water plume (Scenario S2, PE intake switched off and a southerly wind), the chlorine plume is similar in extent to Scenario B1 at the surface, though with higher concentrations. The chlorine concentration in the PE intake channel does not exceed 0.16ppm. At the bed, the plume extends some 600m into the Port, mostly at concentrations less than 0.1ppm. Simulated chlorine concentrations above 0.15ppm do not extend more than about 200m into the Port.

## 5. *Conclusions*

The BrLNG discharge creates a reduction in temperature at the PE intake for all of the scenarios tested. Recirculation of the discharge to the BrLNG intake is predicted to be limited.

The impact of the BrLNG discharge on temperatures in the port is small, and appears to be beneficial to the nearby PE intake.

The increase in residual chlorine in the harbour is very small and extends over only a small area.

These conclusions remain valid, whether the proposed Capo Bianco development is made or not.

## 6. *References*

1. HR Wallingford 2007, Brindisi discharge location assessment EX5671 Rel\_0-1.
2. HR Wallingford 2003 Brindisi Extreme Winds and Wind Persistence. Report EX4856.
3. Soulsby 1995 Bed shear stresses due to combined waves and currents: In Advances in Coastal Morphodynamics Eds Stive, De Vriend, Fredsoe, Hamm, Soulsby, Teisson and Winterwerp, Delft Hydraulics

## *Figures*





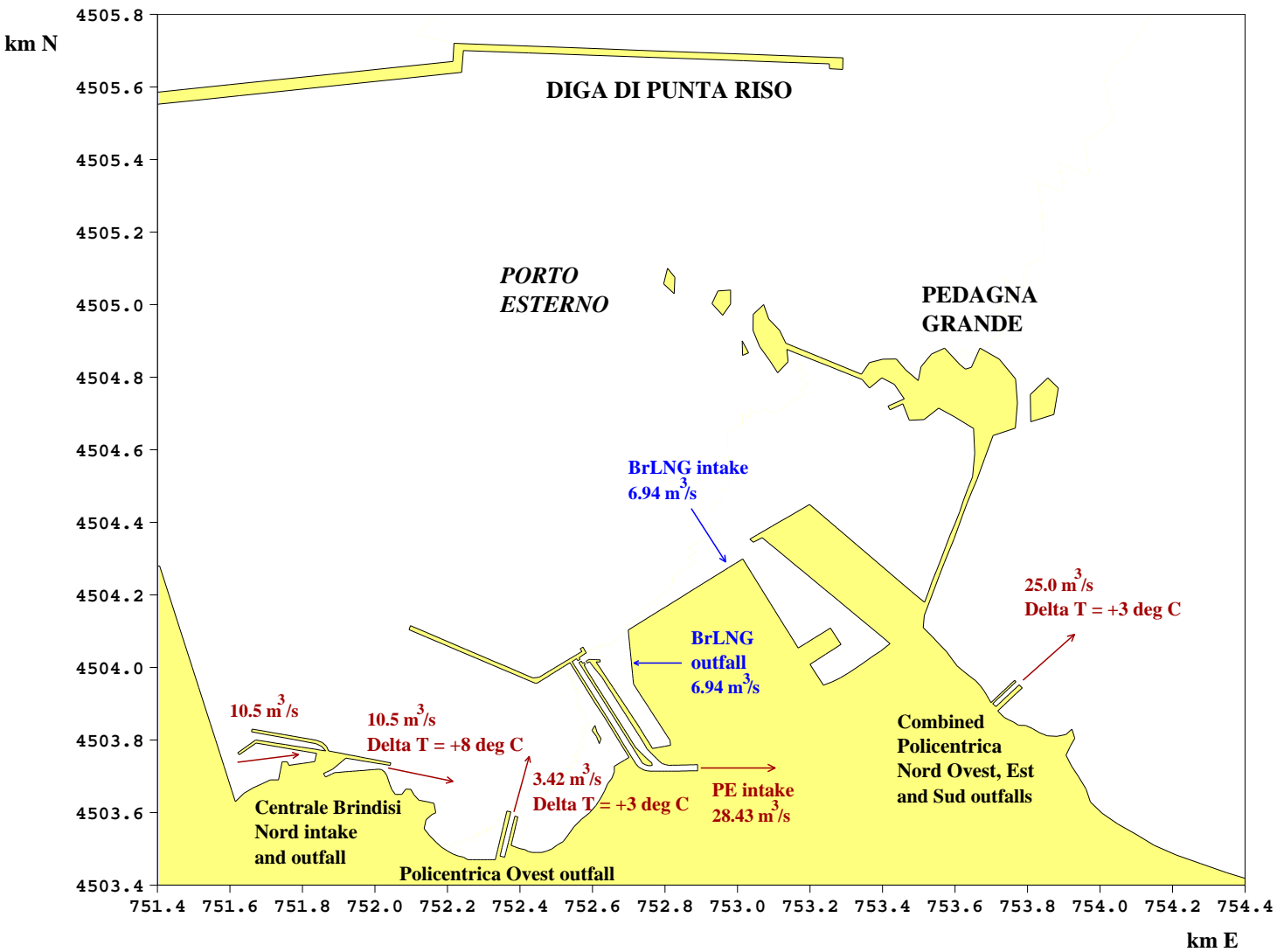
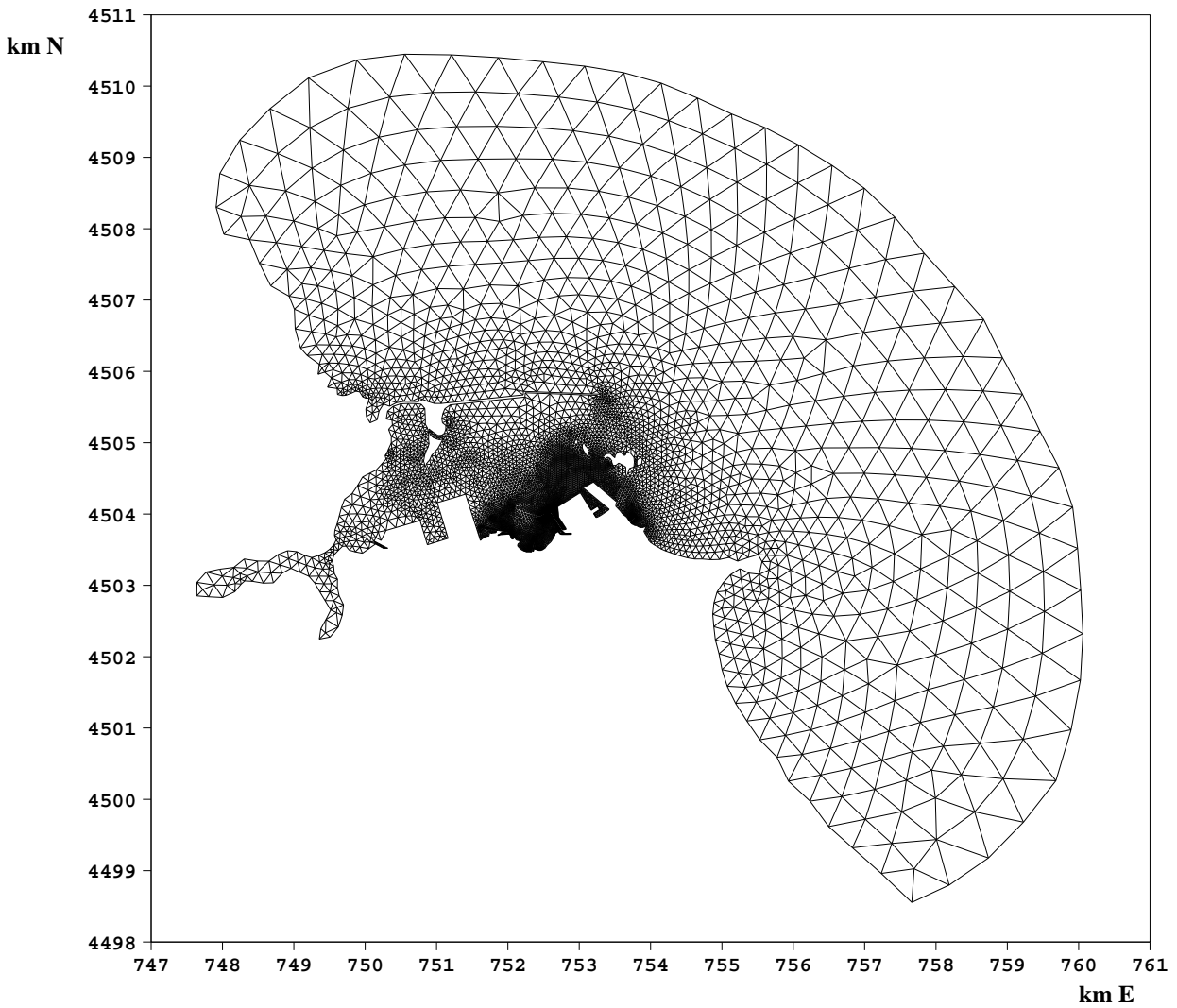
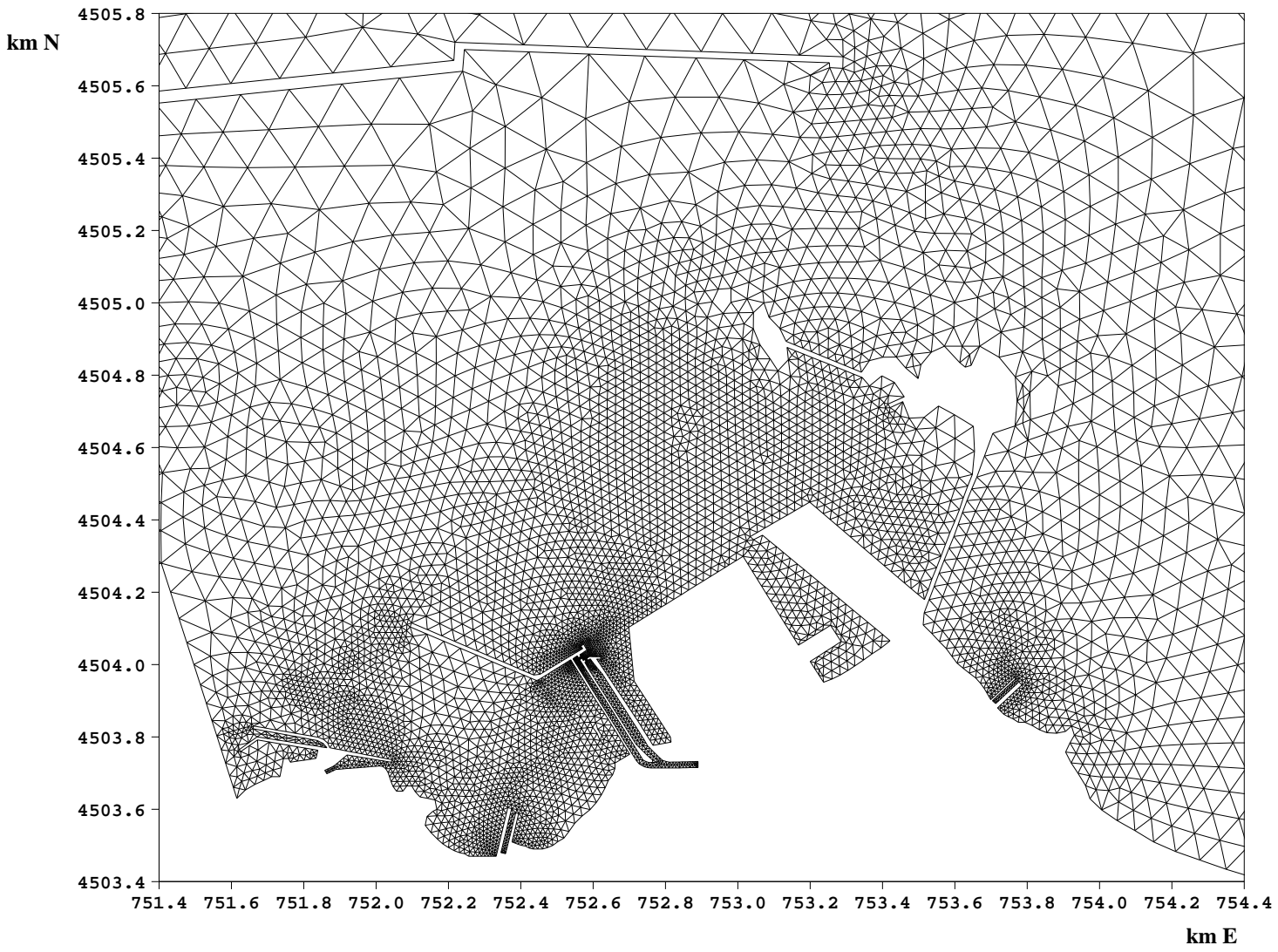


Figure 1 Brindisi Outer Harbour showing existing intakes and outfalls, and BrLNG proposed intake and outfall



**Figure 2 TELEMAC-3D finite element model domain and mesh**



**Figure 3 TELEMAC-3D finite element model mesh (local to BRLNG proposed development)**

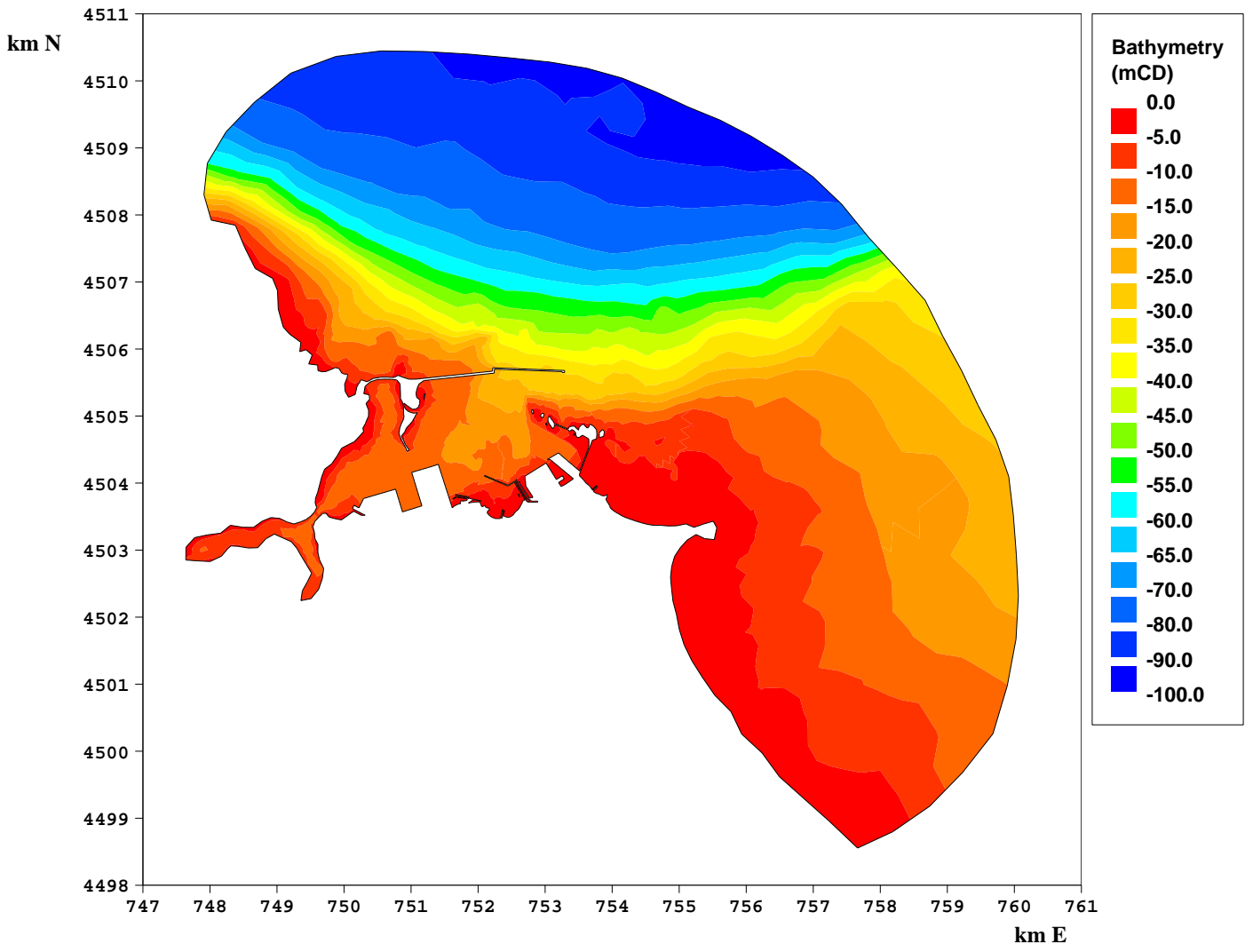


Figure 4 TELEMAC-3D finite element model bathymetry

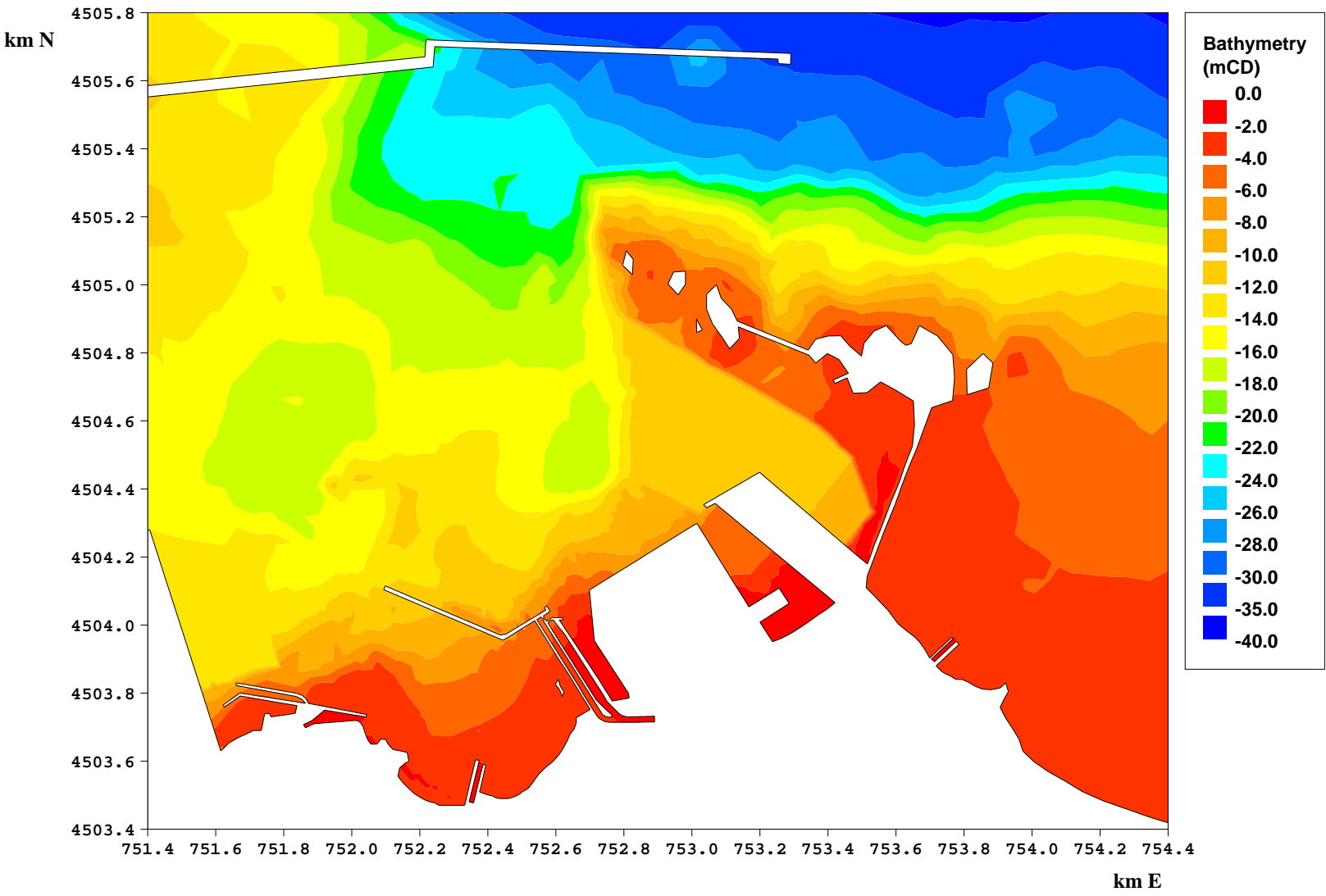


Figure 5 TELEMAC-3D finite element model bathymetry (local to BrLNG proposed development)

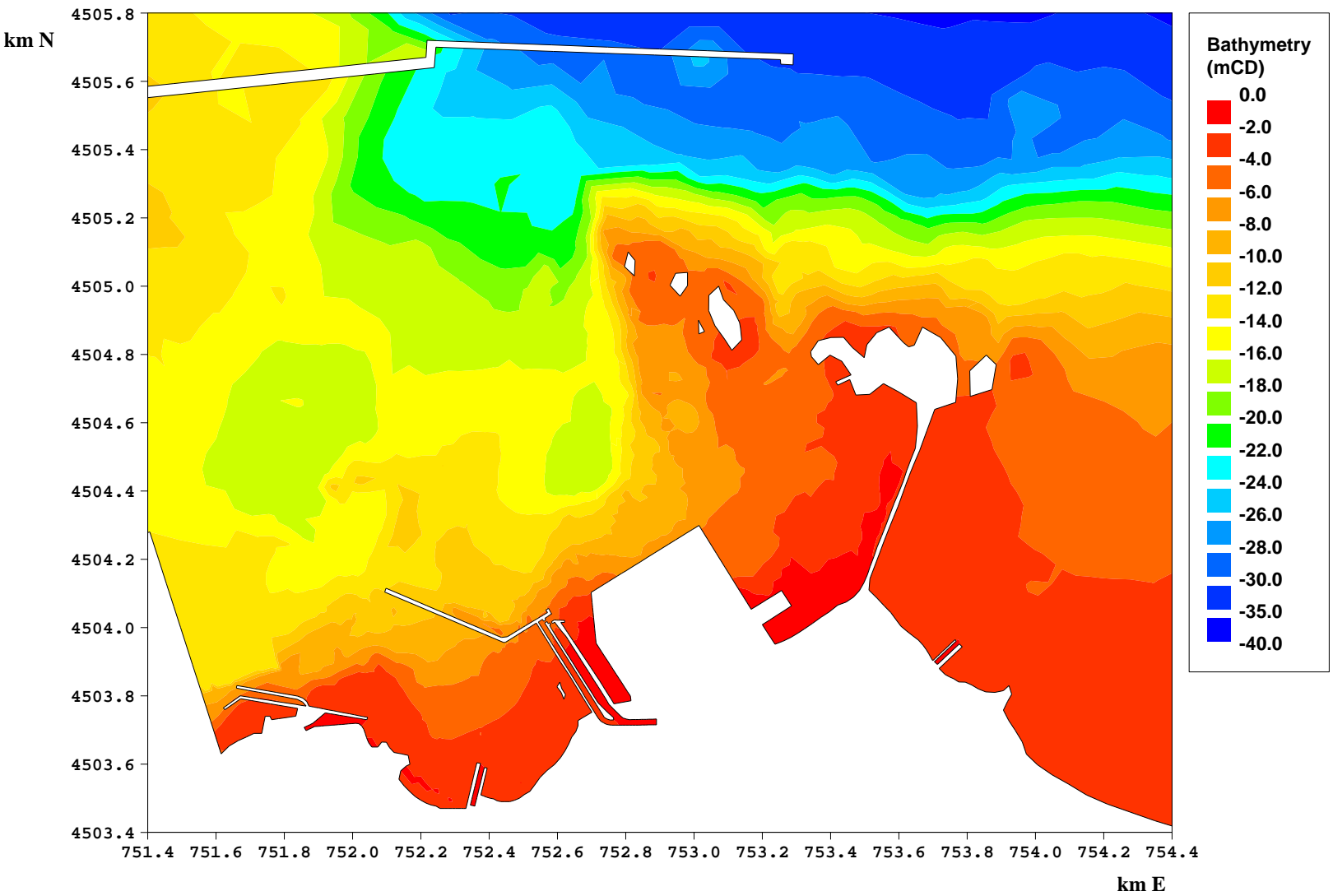
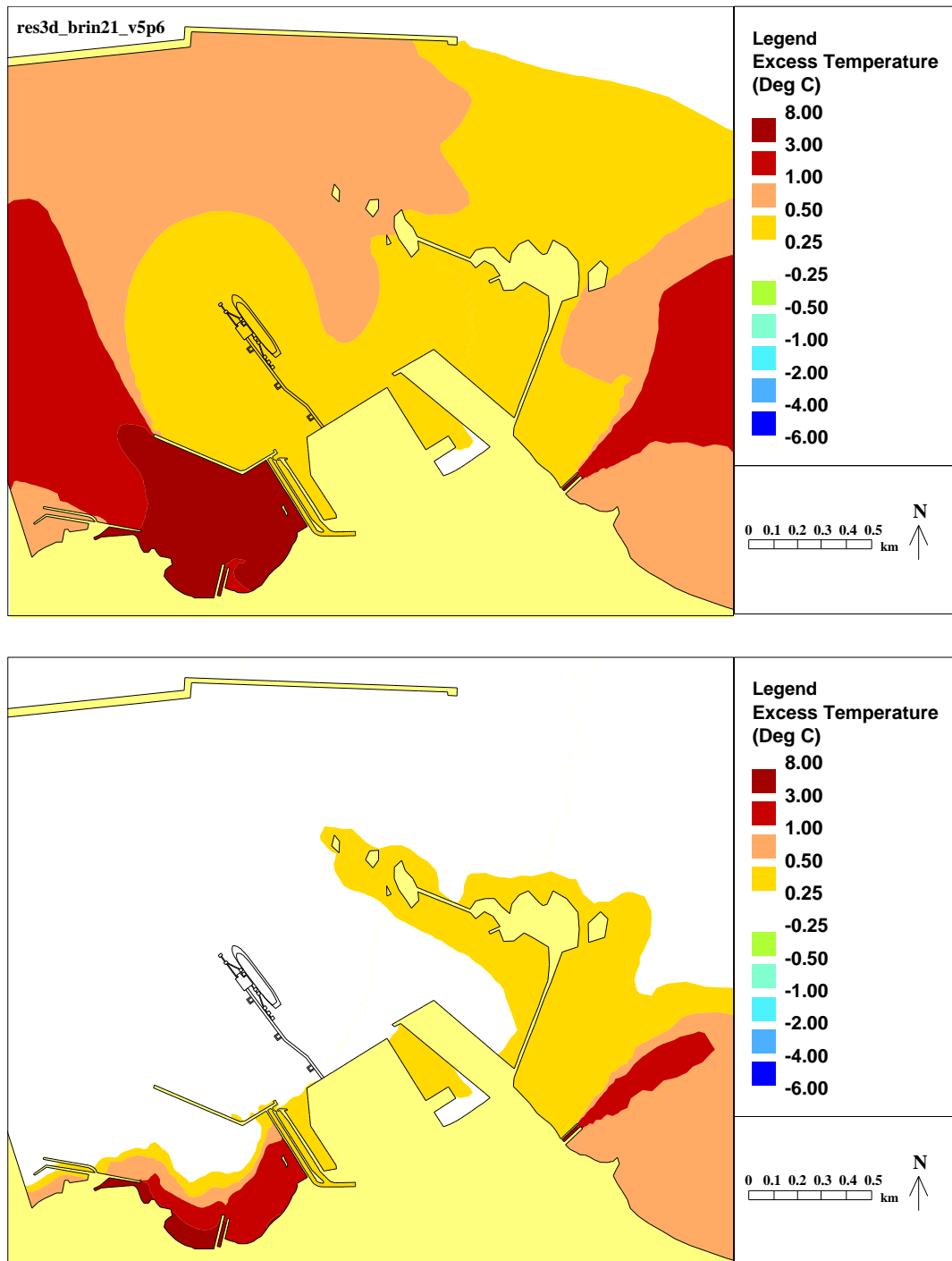
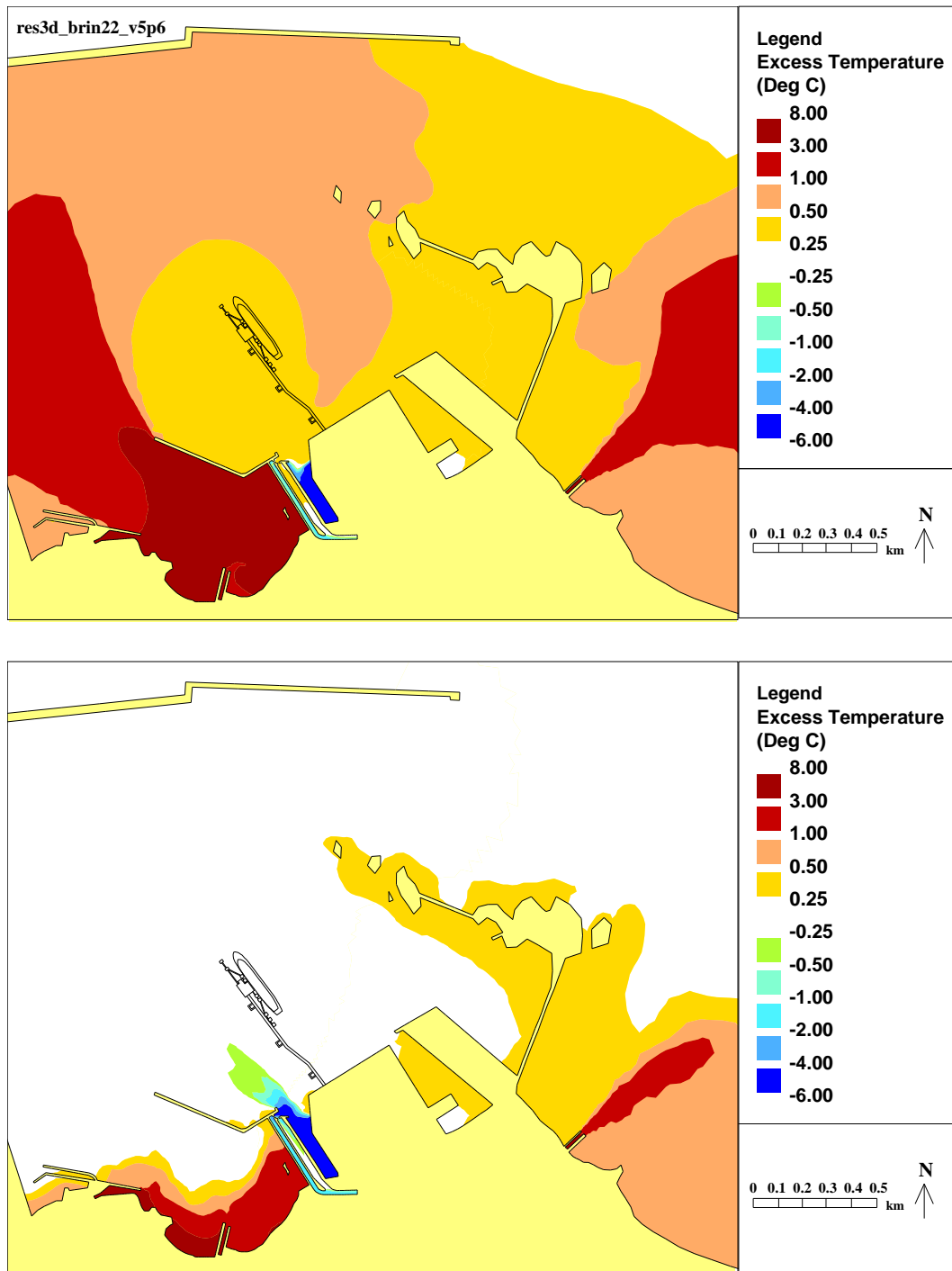


Figure 6 TELEMAR-3D finite element model bathymetry (excluding proposed Capo Bianco development)

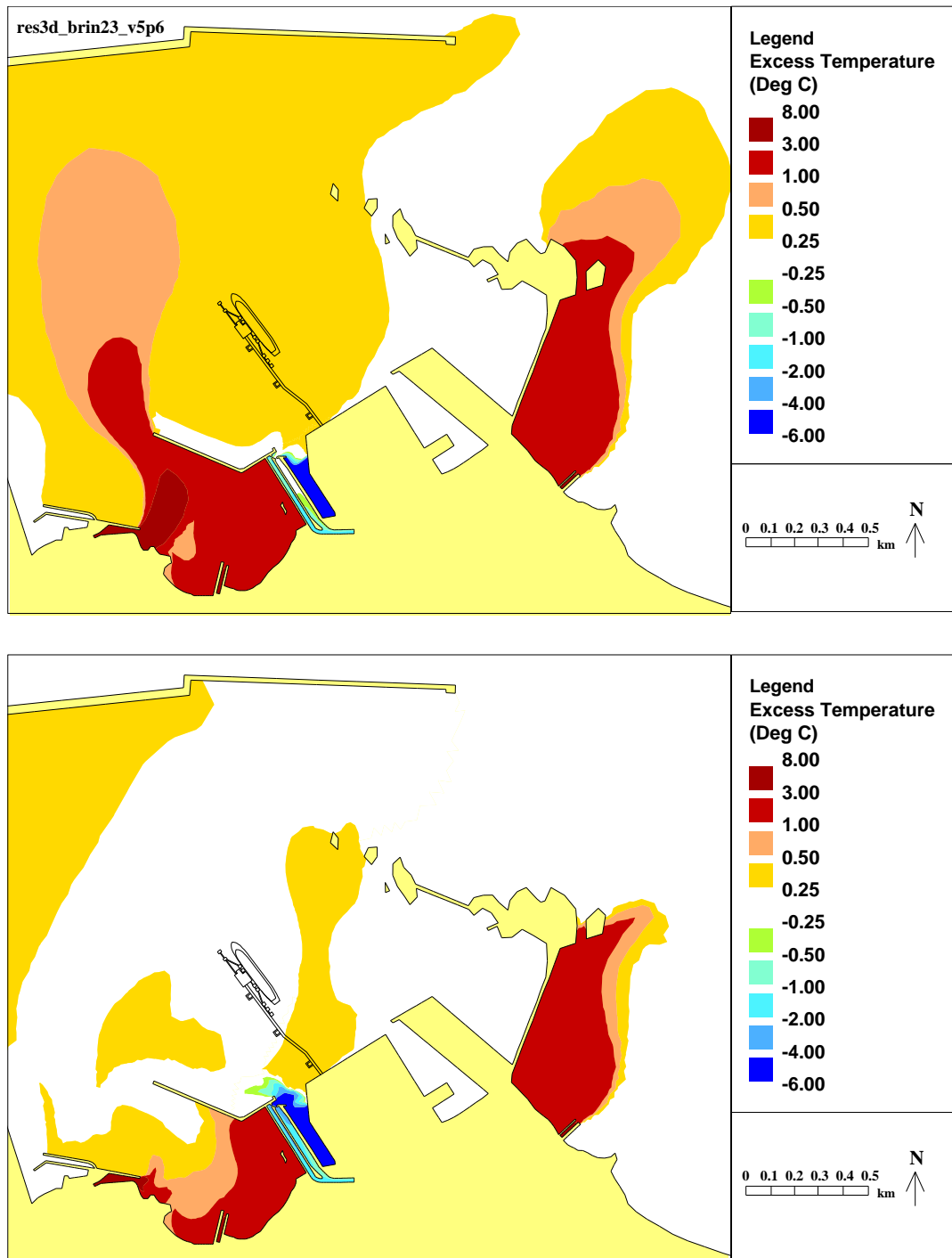


**Figure 7** Modelled temperature fields (surface and bed) for Scenario E1 Existing intakes/outfalls only



**Figure 8** Modelled temperature fields (surface and bed) for Scenario B1 Base case no wind





**Figure 9** Modelled temperature fields (surface and bed) for Scenario B2 Base case 180°N wind

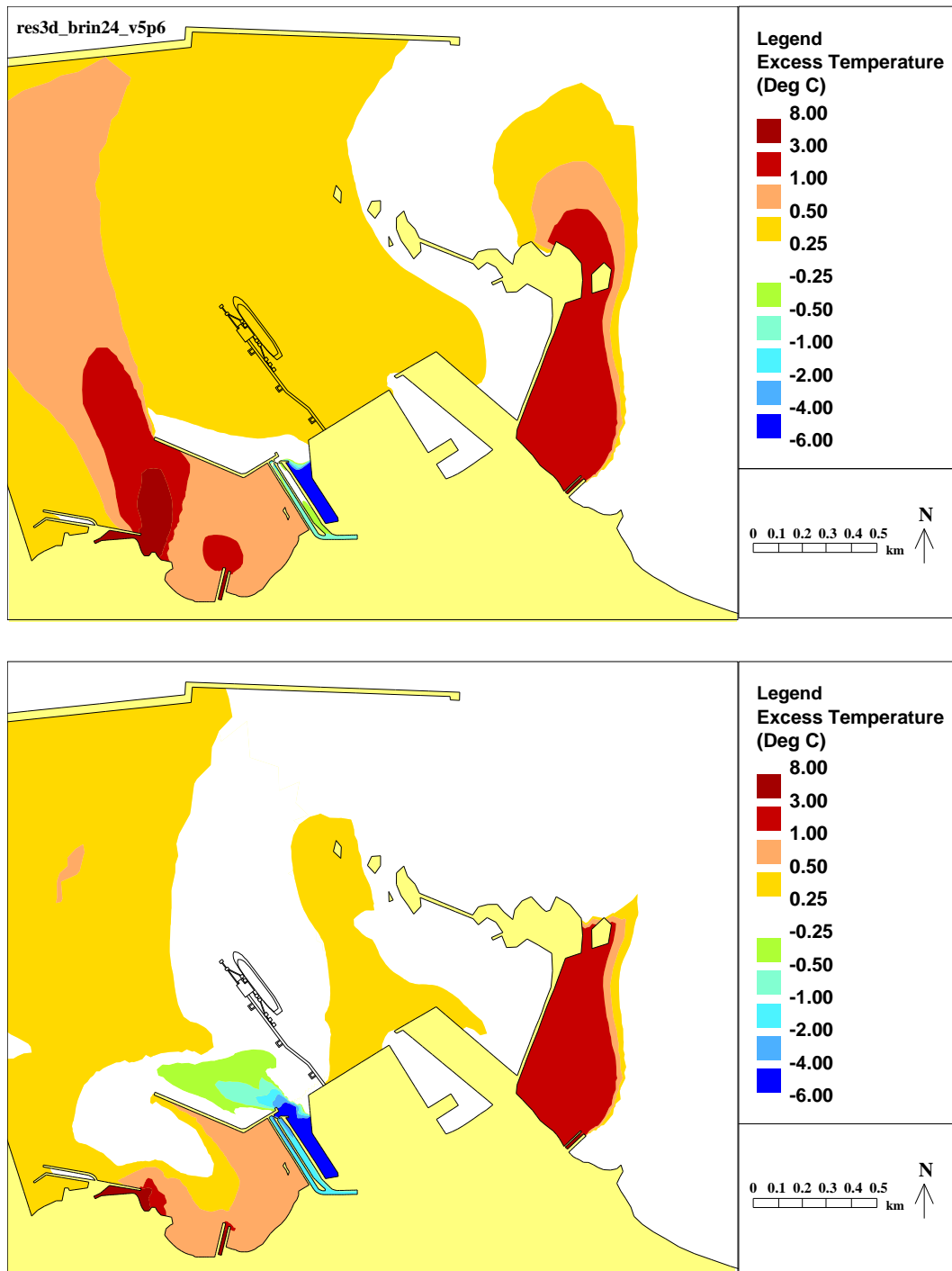
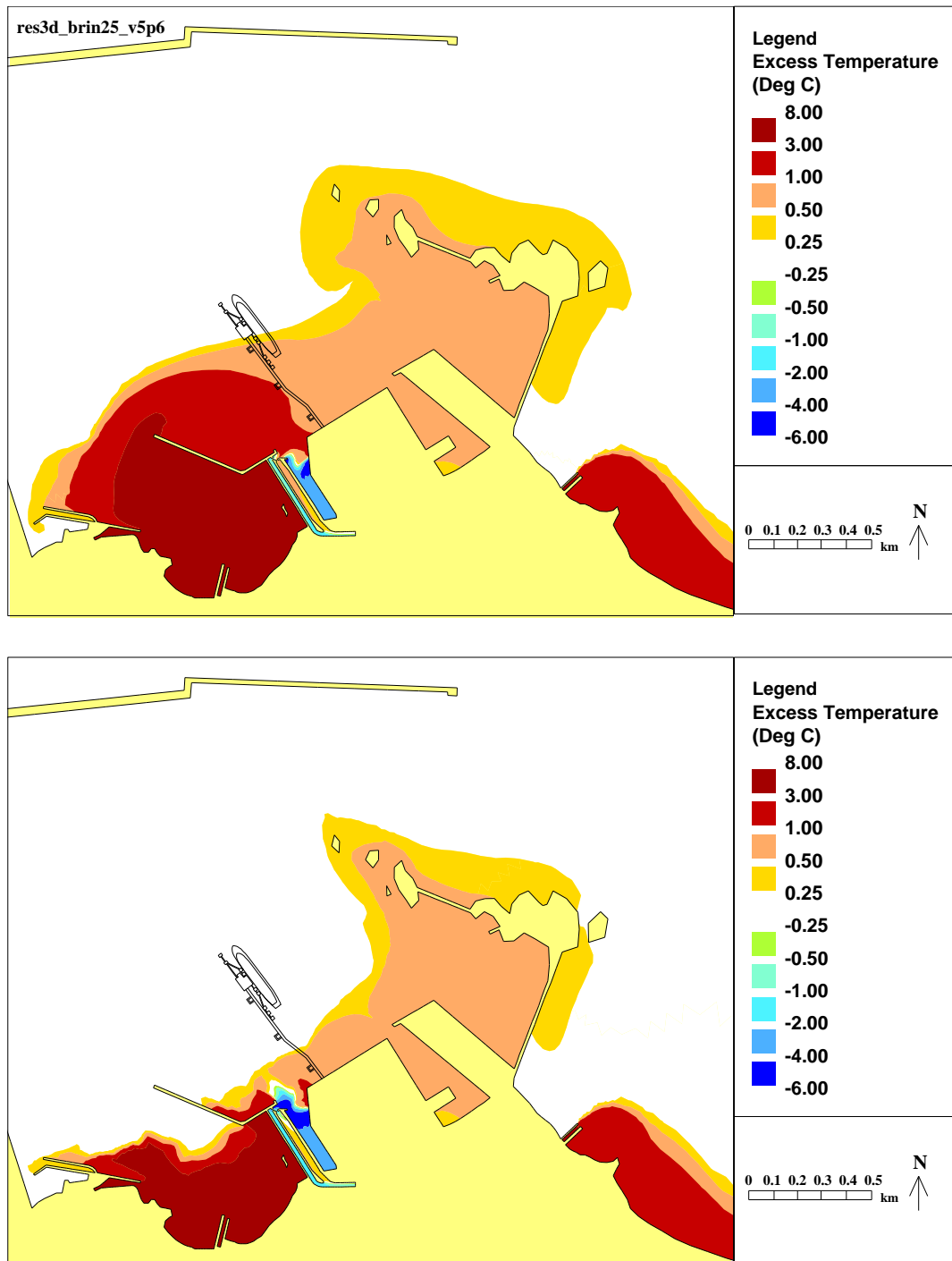
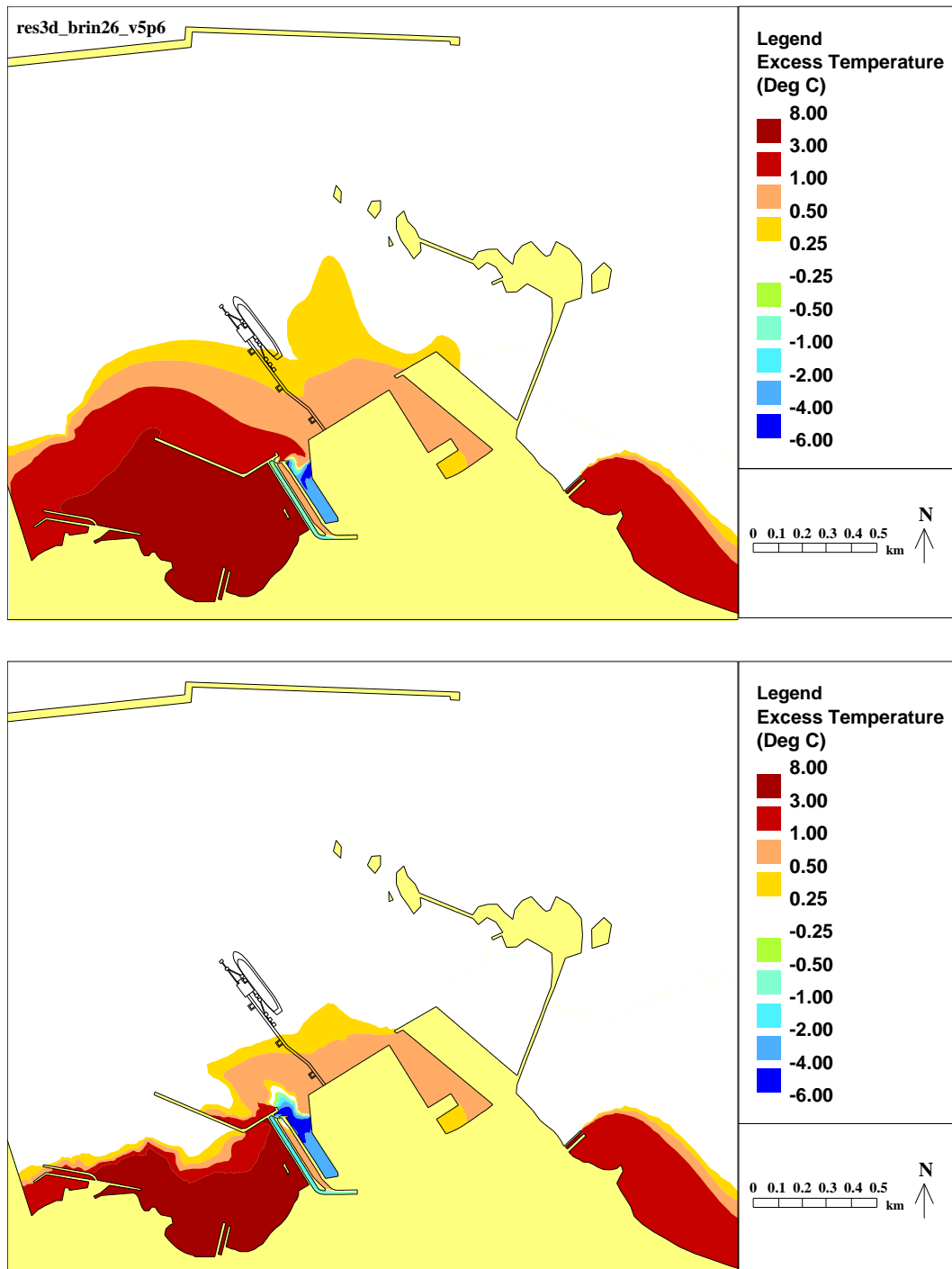


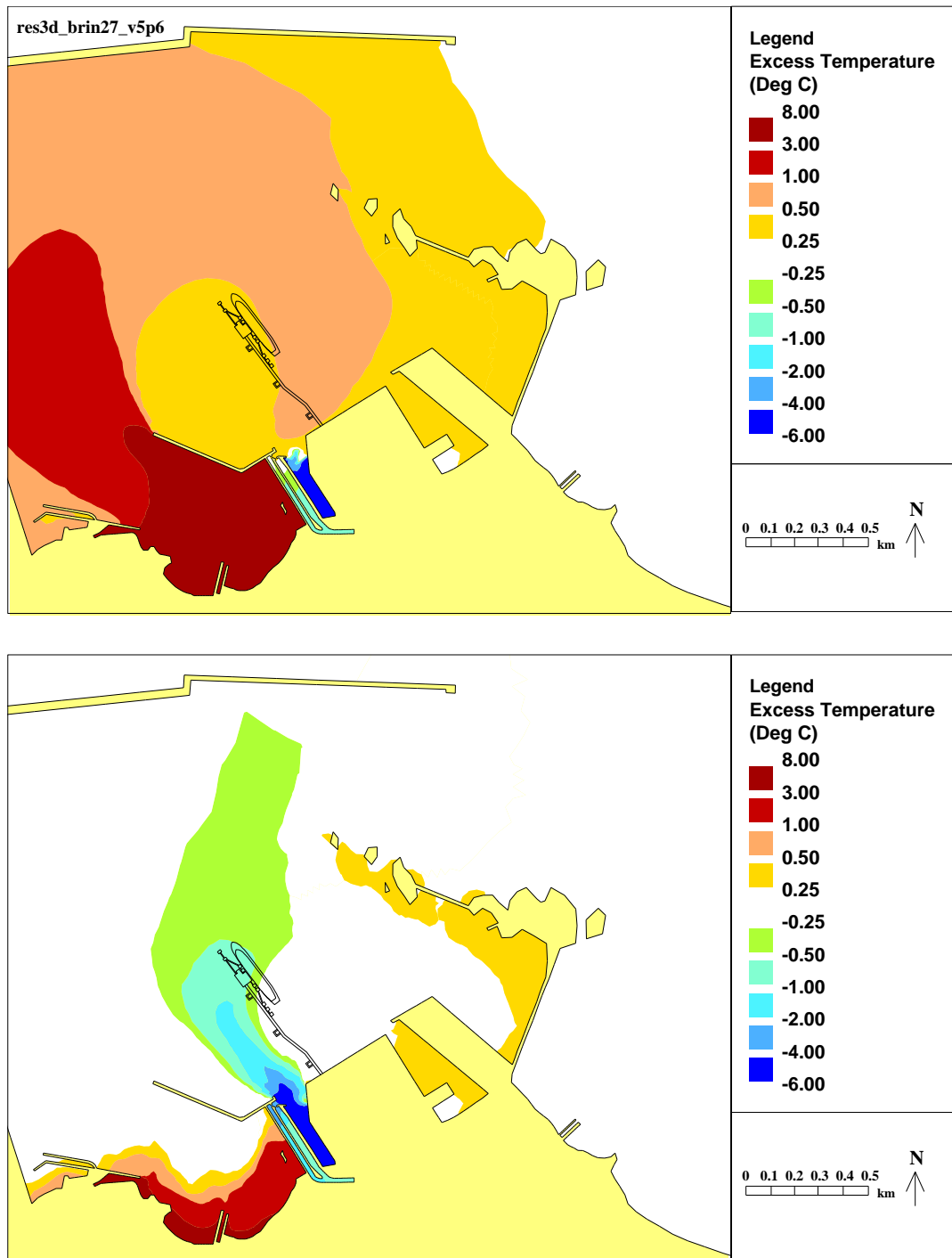
Figure 10 Modelled temperature fields (surface and bed) for Scenario B3 Base case 150°N wind



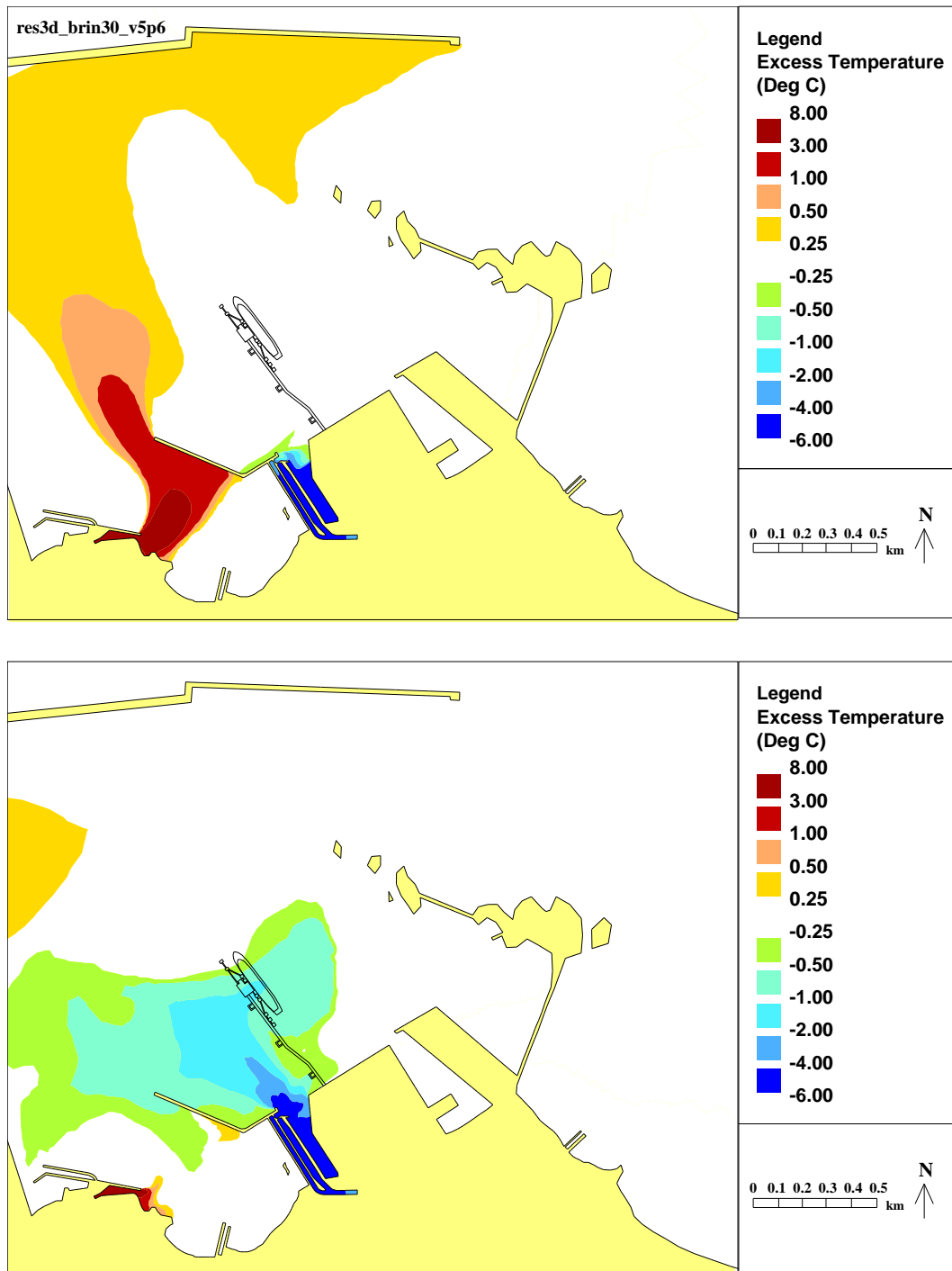
**Figure 11 Modelled temperature fields (surface and bed) for Scenario B4 Base case 300°N wind**



**Figure 12** Modelled temperature fields (surface and bed) for Scenario B5 Base case 300°N wind



**Figure 13 Modelled temperature fields (surface and bed) for Scenario S1 PE intake/outfalls off no wind**



**Figure 14 Modelled temperature fields (surface and bed) for Scenario S2 PE intake/outfalls off 180°N wind**

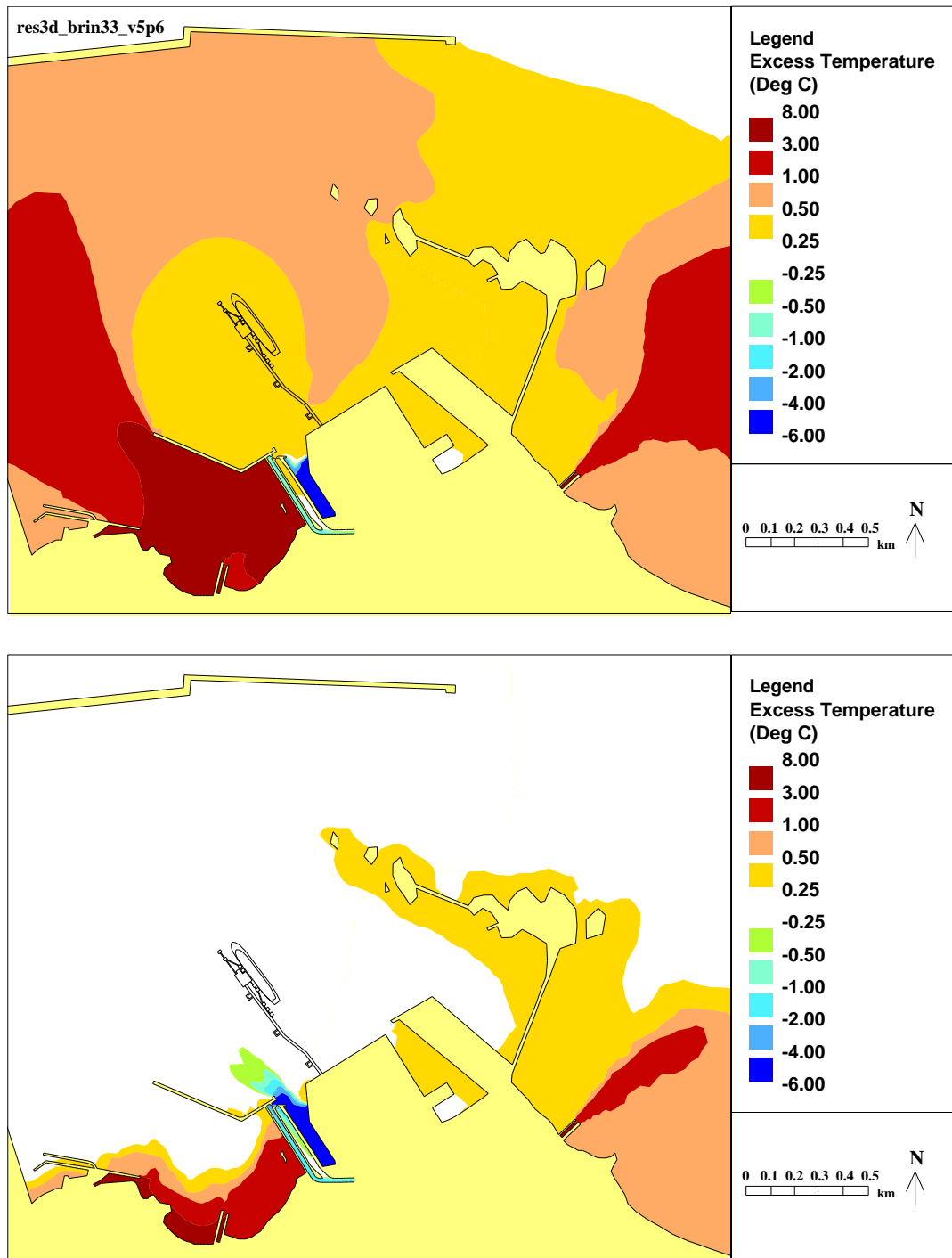
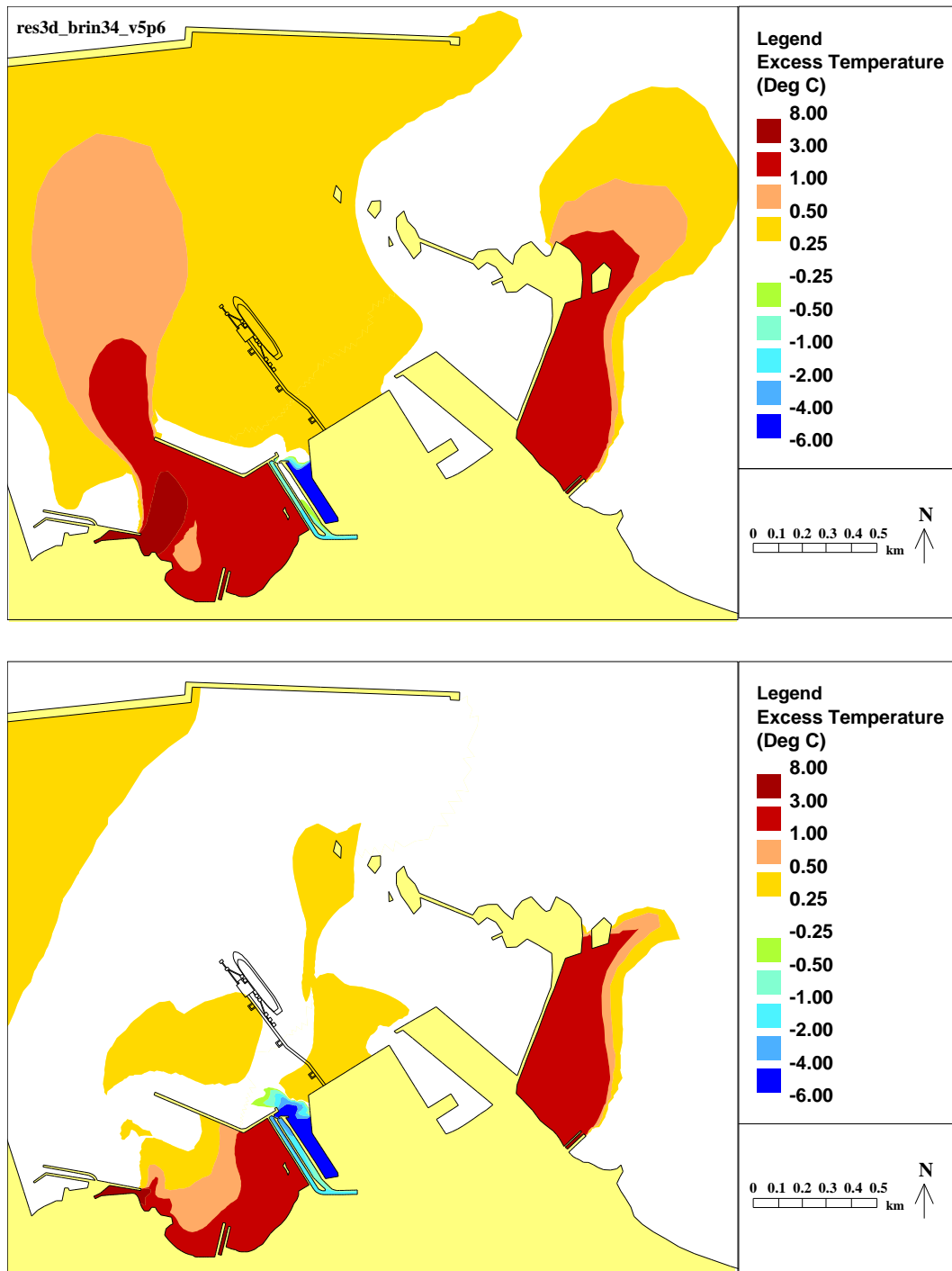


Figure 15 Modelled temperature fields (surface and bed) for Scenario S3 with mixing by waves no wind



**Figure 16** Modelled temperature fields (surface and bed) for scenario S4 with mixing by waves 180°N wind



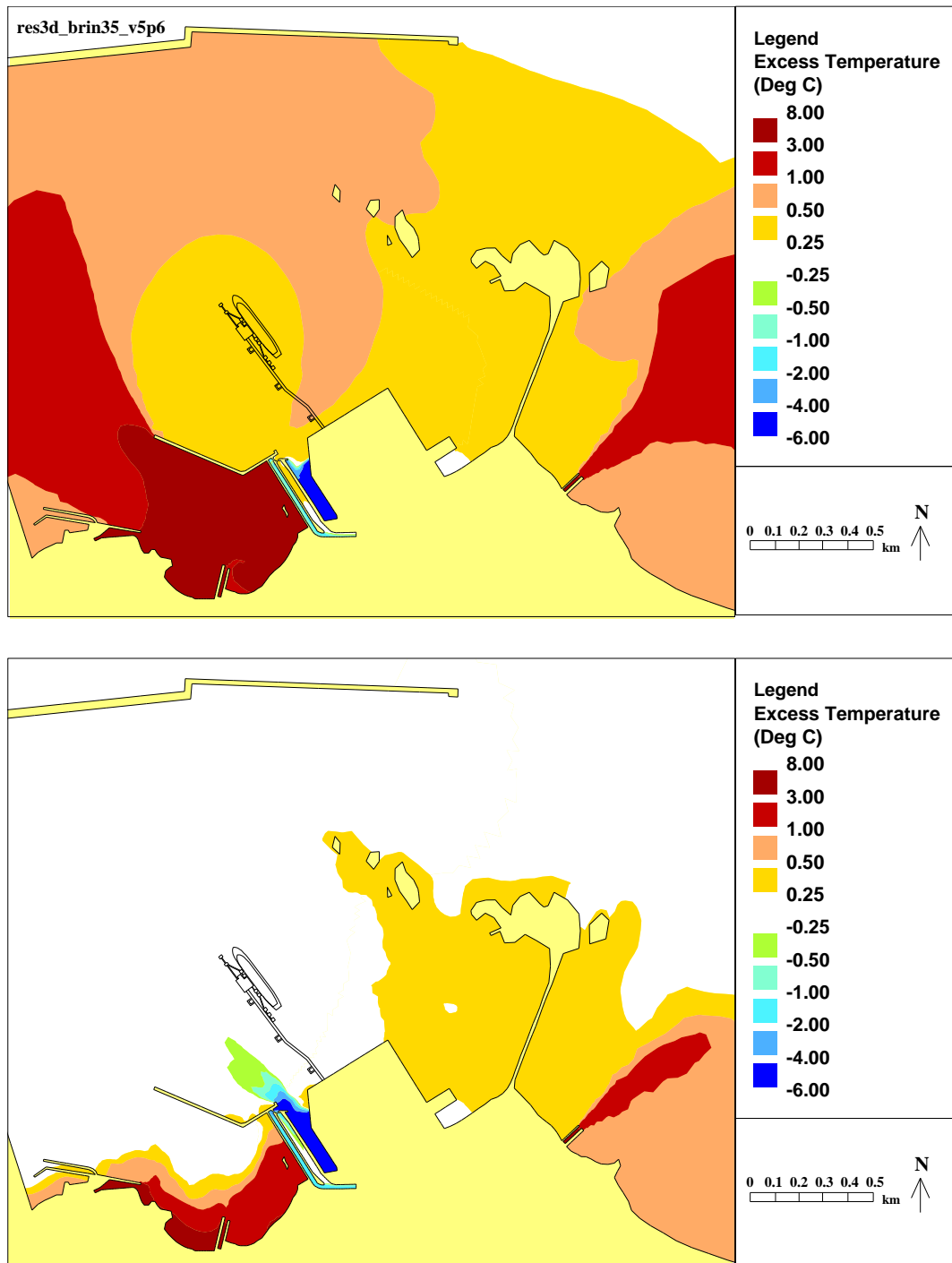
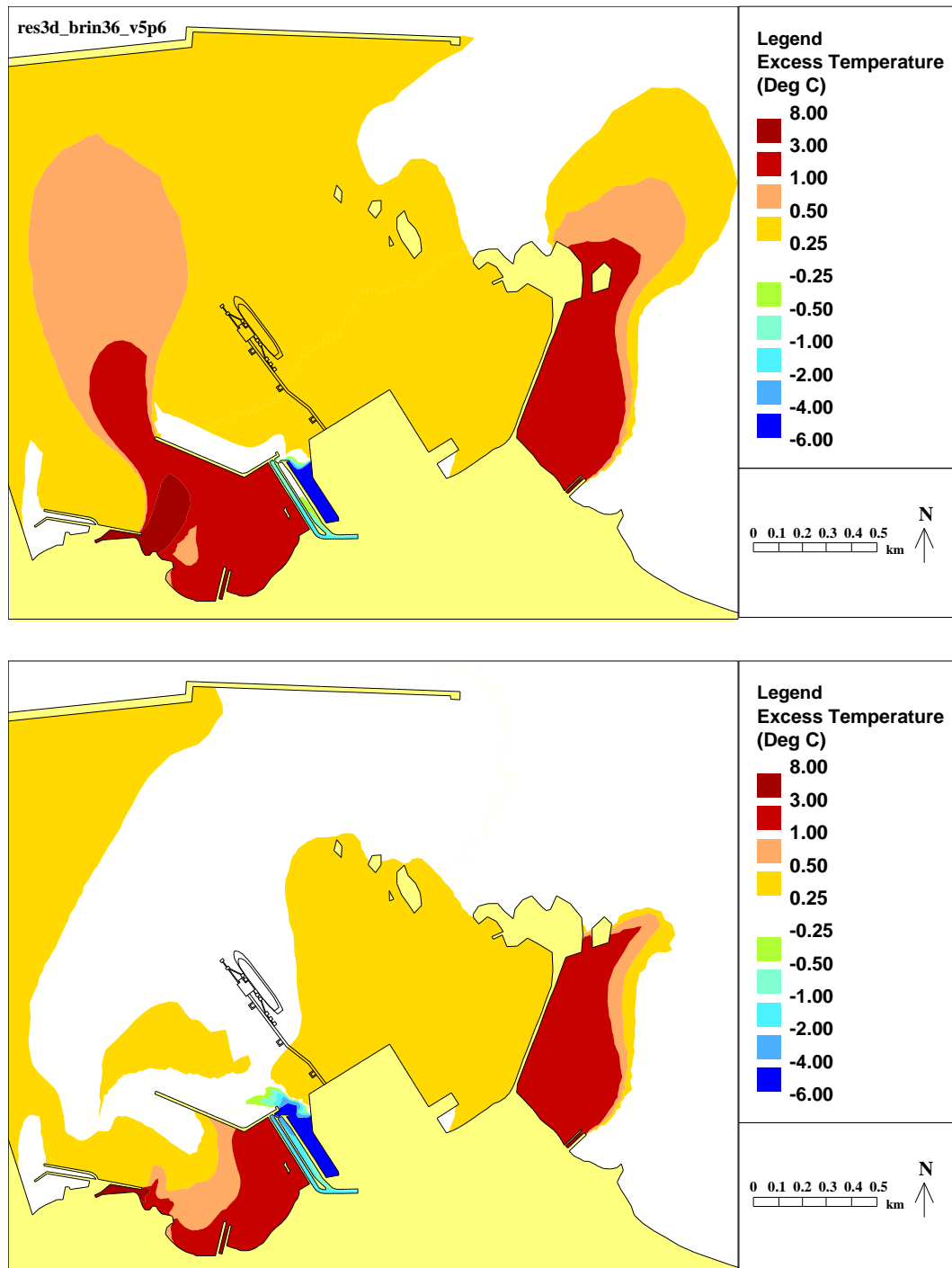
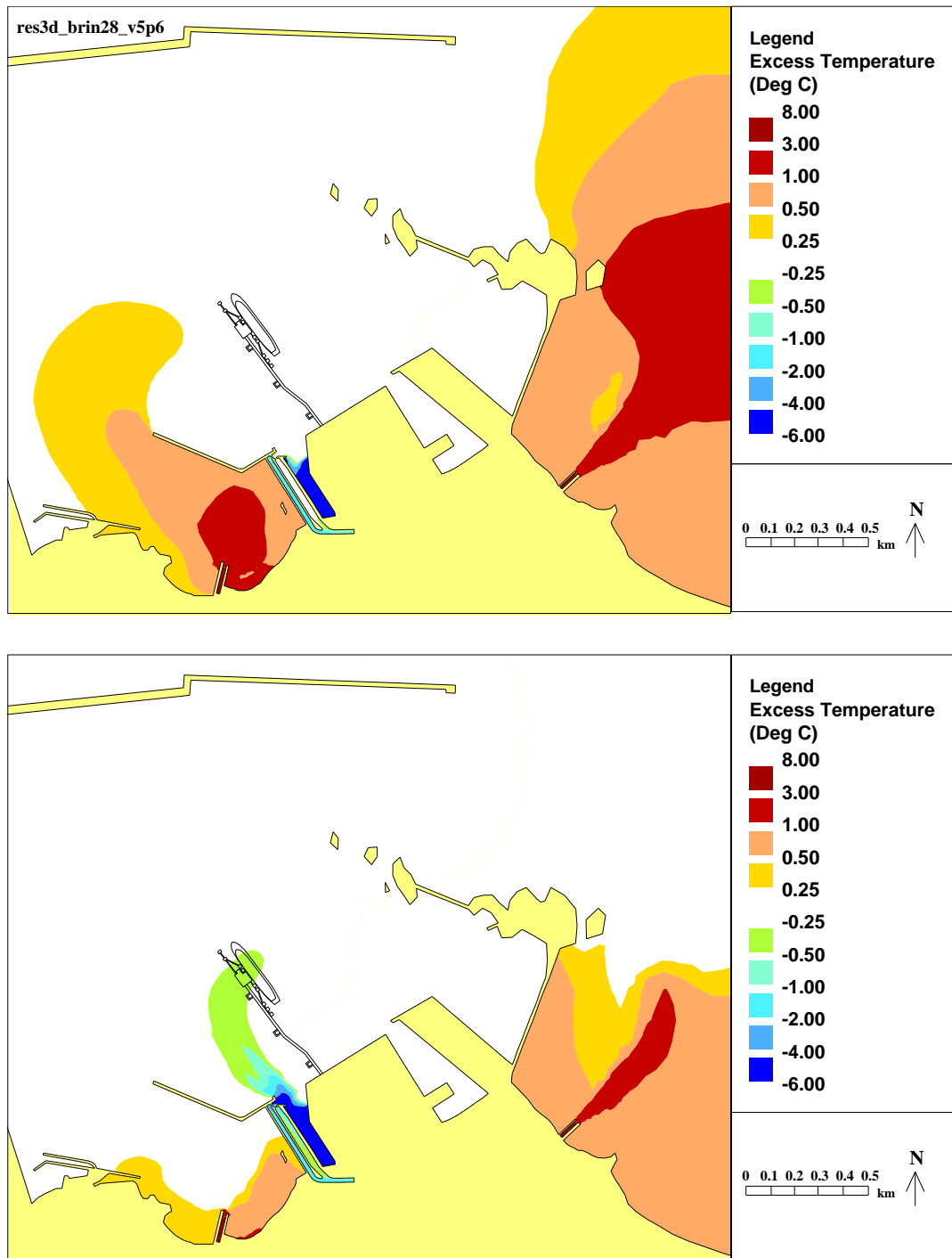


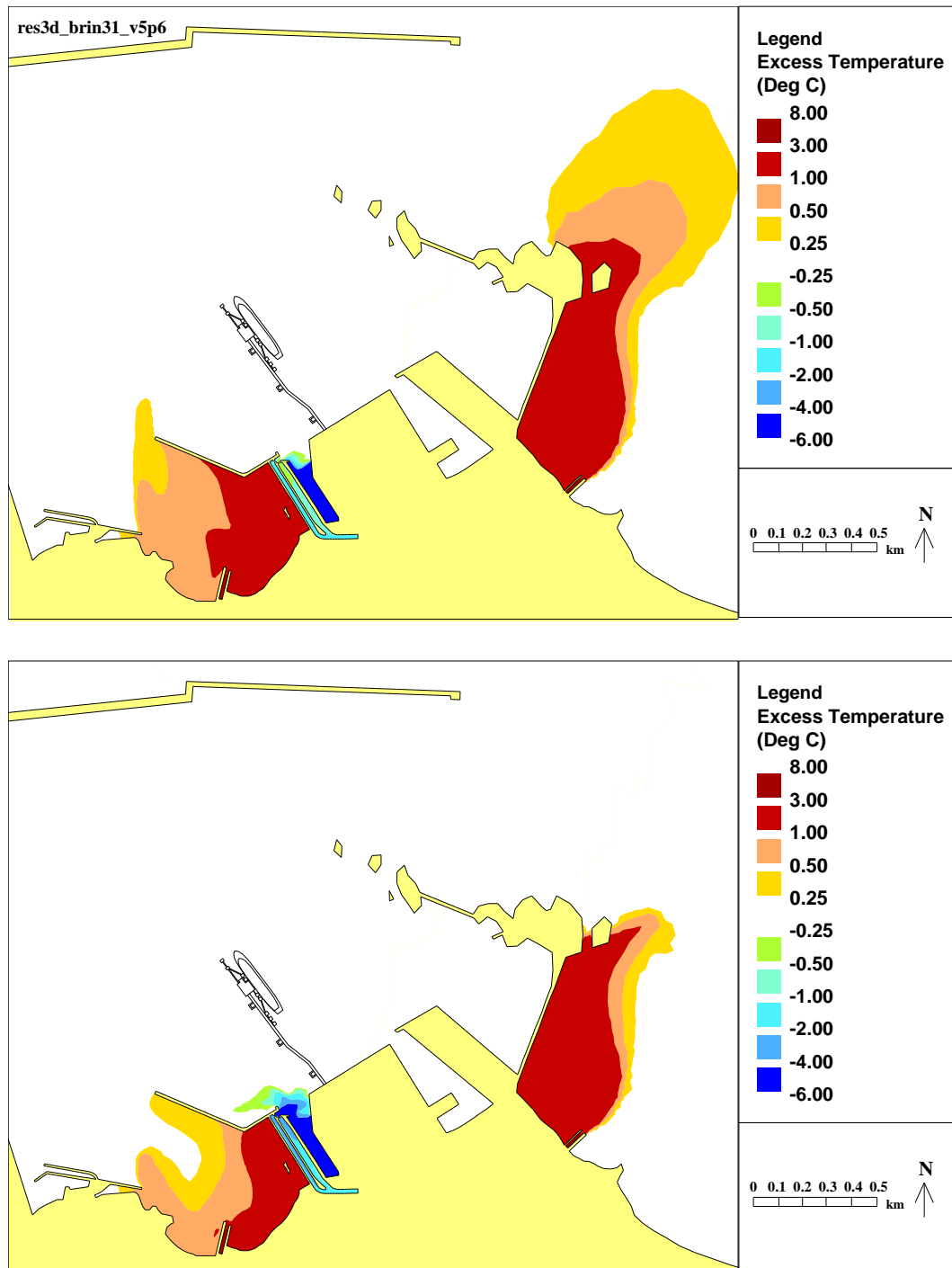
Figure 17 Modelled temperature fields (surface and bed) for Scenario S5 without Capo Bianco development no wind



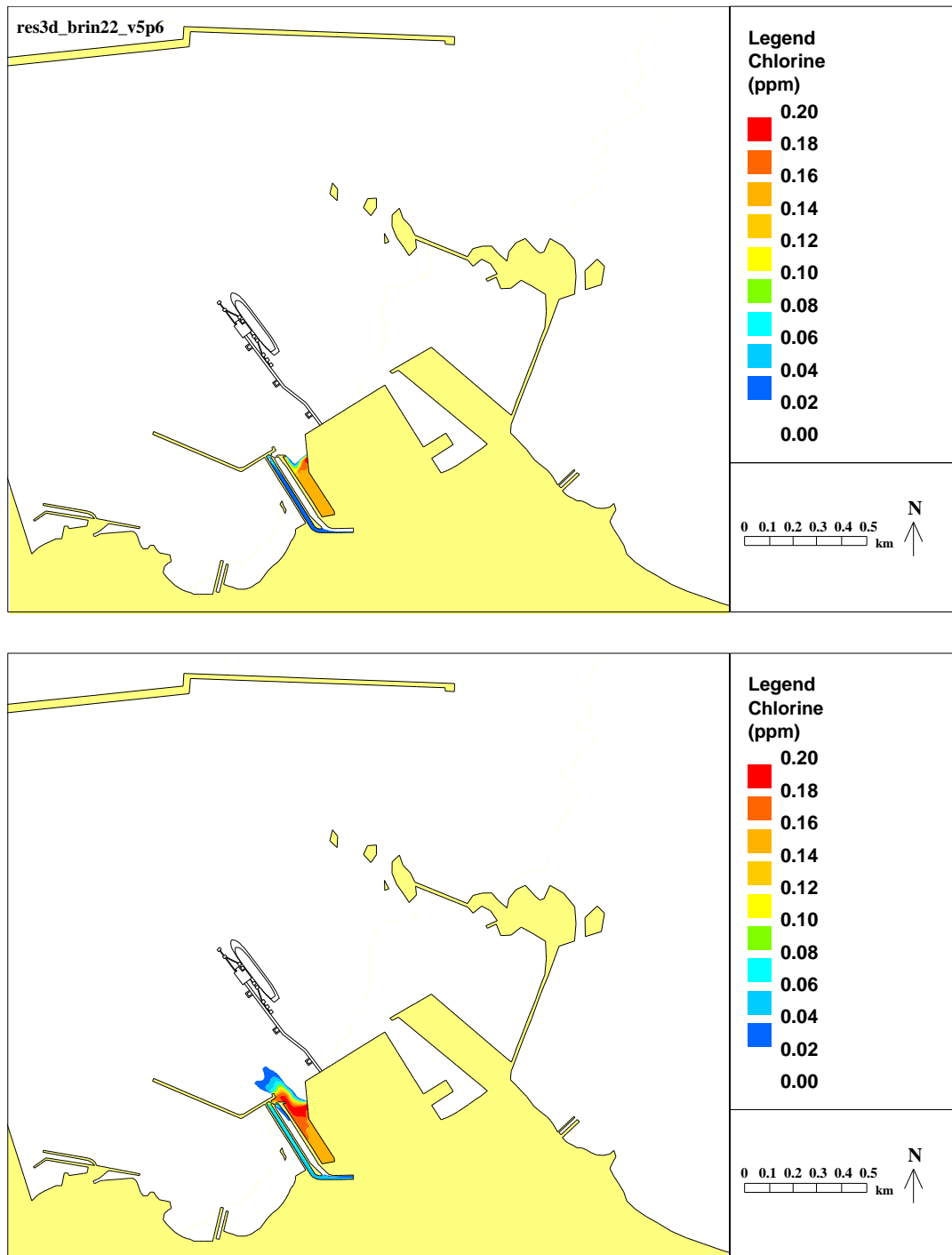
**Figure 18** Modelled temperature fields (surface and bed) for scenario S6 without Capo Bianco development 180°N wind



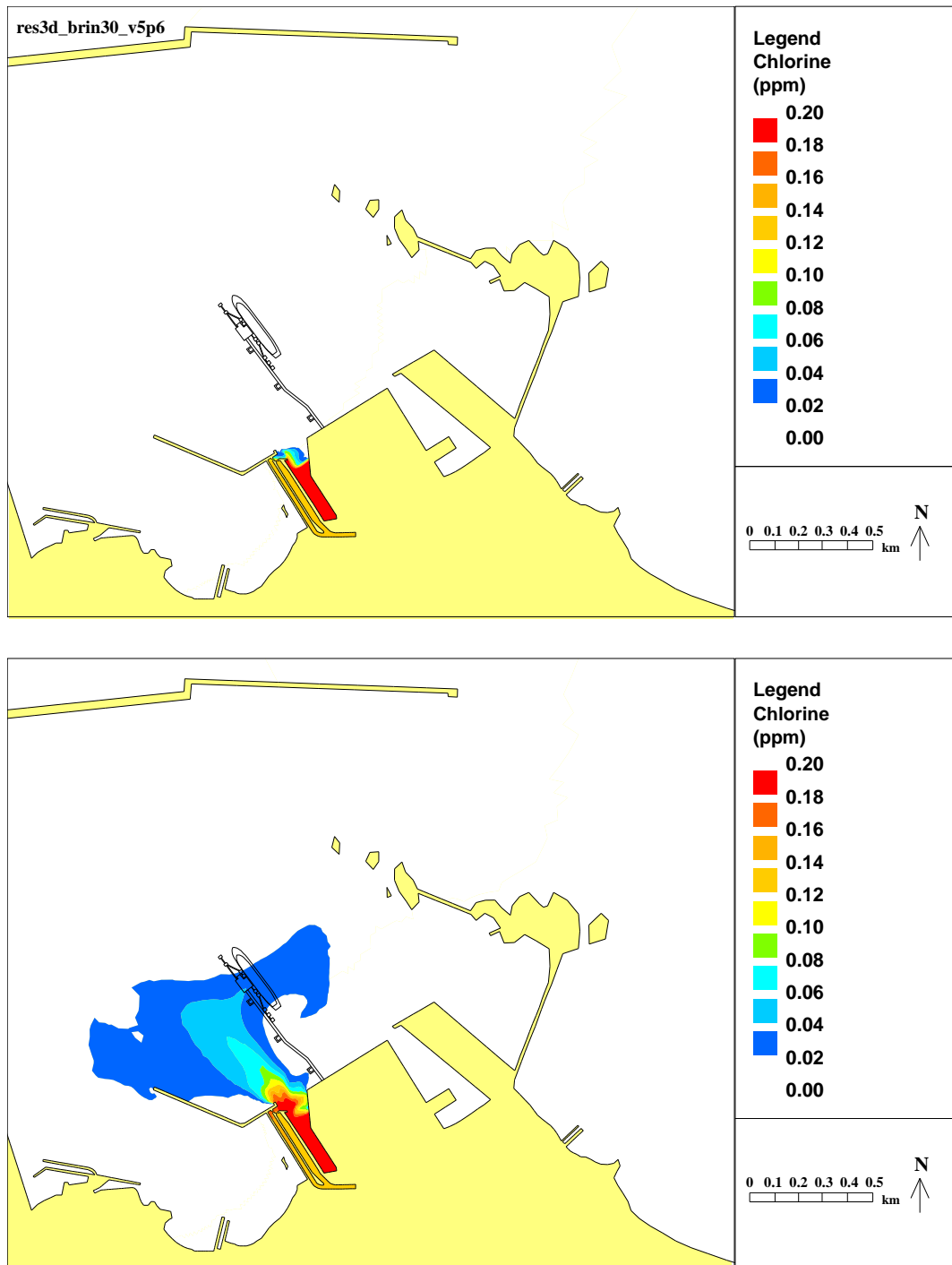
**Figure 19** Modelled temperature fields (surface and bed) for scenario S7 CBN switched off no wind



**Figure 20** Modelled temperature fields (surface and bed) for scenario S8 CBN switched off 180°N wind



**Figure 21 Excess Chlorine distribution (surface and bed) for scenario B2 base case 180°N wind**



**Figure 22 Excess Chlorine distribution (surface and bed) for scenario S2 PE intake/outfalls off 180°N wind**