

# **ALLEGATO 10**

Elaborato MAR\_RIM\_E - Analisi della Dinamica Litoranea

- Da progetto Siculiana Navigando -



# REGIONE SICILIANA

## ASSESSORATO REGIONALE TERRITORIO E AMBIENTE

### COMUNE DI SICULIANA



**Siculiana Navigando**  
RETE ITALIA NAVIGANDO



## PROGETTO DEFINITIVO PER LA RIQUALIFICAZIONE DEL NUOVO PORTO TURISTICO

ISTANZA DI CONCESSIONE DEMANIALE MARITTIMA AI SENSI DEL D.P.R. 509/97

ELABORATO:

### ANALISI DELLA DINAMICA LITORANEA

PROGETTO INDIRIZZO E COORDINAMENTO:

Italia Navigando S.p.A.

CONSULENZE SPECIALISTICHE

Modellistica e consulenza idraulica marittima: **Consorzio Inter-Universitario per la Previsione e Prevenzione dei Grandi Rischi**

Opere marittime, strutture ed impianti: Progettazioni Integrate srl

ELABORATO:

**MAR\_RIM\_E**

DATA:

Giugno 2006

SCALA:

NOME FILE:

Codice Commessa

Stato

Gruppo

Tipo

Progr.

REV:

S I C

1 4

C

D E F

M A R

R I M

E

0

**“Analisi della dinamica litoranea dell’Unità  
Fisiografica nella zona del Porto di Siculiana  
(AG)”**

**Relazione**

Il Consulente:

(dott. ing. Rosaria Ester Musumeci)

## **Indice**

<b>1 ...Introduzione</b>	<b>- 3 -</b>
<b>2 ...Dati disponibili</b>	<b>- 4 -</b>
<b>3 ...Descrizione dell'unità fisiografica della zona del Porto di Siculiana</b>	<b>- 5 -</b>
<b>4 ...Metodologia adottata</b>	<b>- 7 -</b>
<b>4.1 Trasformazione del moto ondoso dal largo alla riva</b>	<b>- 7 -</b>
<b>4.2 Modello a una linea</b>	<b>- 9 -</b>
<b>5 ...Elaborazioni effettuate</b>	<b>- 12 -</b>
<b>6 ...Analisi della dinamica litoranea nella zona del porto di Siculiana</b>	<b>- 14 -</b>
<b>7 ...Conclusioni</b>	<b>- 16 -</b>
<b>Bibliografia</b>	<b>- 17 -</b>

## **1 Introduzione**

Le elaborazioni che seguono riportano gli studi effettuati sul trasporto solido litoraneo e la conseguente dinamica litoranea del tratto di litorale circostante il porto di Siculiana.

Pur tenendo conto dello studio sedimentologico svolto in sede di redazione del PRP e dello studio redatto con il progetto preliminare della presente iniziativa, le elaborazioni sono interamente nuove e forniscono un quadro abbastanza chiaro dei processi litoranei di breve-medio termine.

Per le elaborazioni matematiche è stato impiegato un modello “ad una linea” di concezione recente, ma ampiamente collaudato in situazioni simili, e si è fatto uso di rilievi recenti della linea di costa, evidenziando la presenza dei piccoli bacini fluviali che sboccano nell'unità fisiografica.

## 2 Dati disponibili

Per quanto riguarda l'analisi delle tendenze evolutive dell'unità fisiografica all'interno della quale si trova il Porto di Siculiana, al fine di ricostruire l'andamento della linea di costa e delle batimetrie al largo, sono state utilizzate le informazioni cartografiche desunte da:

- Carta Nautica dell'Istituto Idrografico della Marina n. 19 "Da Sciacca a Licata" del 1993, in scala 1:100000, realizzata in coordinate U.T.M.;
- Carta Tecnica Regionale (fogli n.: 628150, 628160, 636010, 636050, 636060, 636070, 636100), realizzata in coordinate Gauss – Boaga ;
- Aerofotogrammetria del litorale in prossimità del Porto di Siculiana, realizzata con un volo del 27 maggio 2004, finalizzato alla presente progettazione.

Per quanto concerne i dati sedimentologici relativi alla composizione granulometrica delle spiagge ricadenti all'interno dell'unità fisiografica, sono state utilizzate le informazioni desunte dalle curve granulometriche di alcuni campioni prelevati dalla spiaggia emersa e prelevati durante la campagna di indagini svolta nei primi mesi del corrente anno.

Per l'analisi della dinamica del trasporto solido litoraneo, è stata considerata una distribuzione direzionale del moto ondoso energeticamente equivalente alle condizioni medie annuali del paraggio. A tal fine sono stati utilizzati i dati di moto ondoso forniti dalla boa della Rete Ondametrica Nazionale ubicata a Mazara del Vallo, trasposti sul paraggio di Siculiana utilizzando la procedura di Leenknecht et al. (1992). In particolare, si è fissata una soglia minima all'altezza d'onda pari a 1 m, al fine di eliminare le calme dalla serie storica dei dati, si sono individuati i settori di generazione prevalente del moto ondoso e si sono considerate le condizioni di moto ondoso riportate in Tabella 2.1.

**Tabella 2.1** Condizioni del moto ondoso energeticamente equivalente al moto ondoso medio annuo (soglia per le calme uguale a 1 m).

Settore di provenienza [°N]	H <sub>s</sub> [m]	ore/anno [h]
260-320	1.90	1588.3
115-170	1.65	791.4

### 3 Descrizione dell'unità fisiografica della zona del Porto di Siculiana

Per lo studio delle tendenze evolutive del litorale su cui si trova ubicato il porto di Siculiana si è provveduto all'individuazione dell'unità fisiografica all'interno della quale si trova il porto stesso. Si ricorda come per unità fisiografica si intende quella porzione di costa che evolve in termini di trasporto solido costiero in maniera indipendente rispetto alle porzioni di costa adiacenti; il concetto evidentemente non è assoluto, perché l'indipendenza non è quasi mai totale, ma risponde bene alle condizioni effettive prevalenti del fenomeno fisico allo studio.

Risulta dall'esame della cartografia disponibile che, in assenza della struttura portuale, il paraggio di Siculiana Marina appartiene ad una unità fisiografica che si estende da Capo Bianco, a Ovest, fino a Capo Rossello, a Est (vedi Tavola 1). In Figura 3.1 e in Figura 3.2 sono riportate rispettivamente le foto aeree di Capo Bianco e Capo Rossello, dalle quali si può dedurre come non si abbia un notevole scambio di sedimenti al di fuori dei limiti dell'unità sopra definita.



**Figura 3.1** Vista dall'alto del limite ovest dell'unità fisiografica in corrispondenza di Capo Bianco (fonte GoogleEarth 2006).

E' necessario sottolineare, tuttavia, che il porto esistente, realizzato con un layout a moli convergenti che si spingono entrambi fino a profondità rilevanti, rappresenta già allo stato attuale un ostacolo per la propagazione della portata solida litoranea, oltre che un punto di accumulo e di dispersione dei sedimenti. Pertanto l'unità fisiografica anzi descritta è in realtà costituita da due sotto unità fisiografiche, una a Est ed una ad Ovest del Porto di Siculiana, che evolvono in maniera parzialmente indipendente l'una dall'altra.



**Figura 3.2** Vista dall'alto del limite est dell'unità fisiografica in corrispondenza di Capo Rossello (fonte GoogleEarth 2006).

L'esame della cartografia disponibile, ha mostrato come a Ovest del Porto di Siculiana si abbiano tre ampie spiagge orientate in direzione NO-SE e interrotte da piccole cuspidi sabbiose, mentre a Est del porto le tre principali spiagge presenti siano piuttosto ridotte in larghezza e interrotte da promontori prevalentemente rocciosi.

Poiché l'interesse principale del presente studio è focalizzato sull'analisi della dinamica dei tratti di costa adiacenti al Porto, nella presente trattazione si sono considerate entrambe le sotto-unità fisiografiche.

Per quanto riguarda gli apporti solidi, diversi corsi d'acqua sfociano a mare in corrispondenza del tratto di costa in esame. Di questi solo il Fosso delle Canne, la cui foce si trova subito a Est del porto di Siculiana sembra essere l'unico in grado di fornire sedimenti alla spiaggia. Infatti, la foce del corso d'acqua subito a Est di Capo Bianco, che pure sottende un bacino idrografico piuttosto ampio, non sembra possa contribuire in maniera significativa al naturale ripascimento dei litorali, in quanto preceduto, secondo quanto risulta dalla cartografia disponibile, da un ampio pantano, ovvero da una zona in cui i sedimenti trasportati dal corso d'acqua vengono con ogni probabilità intrappolati prima di raggiungere la spiaggia.

La Tavola 2 riporta la delimitazione del bacino idrografico sotteso dalla foce del Fosso delle Canne, la cui area è risultata pari 99.8 km<sup>2</sup>.

## 4 Metodologia adottata

### 4.1 Trasformazione del moto ondoso dal largo alla riva

La trasformazione dovuta alla rifrazione ed allo *shoaling* è stata già studiata e riportata nella relazione di idraulica marittima; ai fini del calcolo del trasporto solido litoraneo è comunque necessario ricalcolare questi effetti, cosa che è stata fatta con un codice diverso, ma basato sugli stessi principi: è il codice WAVERAY, sviluppato dal prof. Enrico Foti, dell'Università di Catania. Esso utilizza la seguente strategia per la determinazione dei raggi d'onda:

-si stabilisce un sistema di riferimento (x, y) con l'asse x in direzione ortogonale alla costa (*cross-shore*) e l'asse y in direzione parallela alla costa (*longshore*) ed inoltre si fissa un sistema di riferimento curvilineo solidale al raggio d'onda (s,θ) con s direzione di propagazione dell'onda e θ inclinazione del raggio d'onda rispetto all'asse x;

- essendo nota la batimetria e la frequenza dell'onda di cui si vuole studiare l'evoluzione e si determina il numero d'onda k (e quindi la lunghezza d'onda) come zero della funzione  $\omega^2 = gk \tanh(kh)$ ;

- si determinano quindi le derivate parziali del numero d'onda k;

- si fissa un  $\Delta s$ ,

- si procede all'integrazione numerica dell'equazione differenziale dei raggi d'onda:

$$ky'' - \frac{\partial k}{\partial y} y'^4 + \left(\frac{\partial k}{\partial x}\right) y'^3 - 2 \frac{\partial k}{\partial y} y'^2 + \left(\frac{\partial k}{\partial x}\right) y' - \frac{\partial k}{\partial y} = 0$$

che può essere ricondotta alla risoluzione del sistema:  $\begin{cases} y' = z(x) \\ z' = \frac{1}{k}(\dots) \end{cases}$  da cui si ricava  $\Delta y$ ;

noto  $\Delta y$  dal passo precedente si possono ricavare le due grandezze che permettono di

ricostruire i raggi d'onda e precisamente:  $\begin{cases} \Delta s = \sqrt{(\Delta x)^2 + (\Delta y)^2} \\ \vartheta = \arctan\left(\frac{\Delta y}{\Delta x}\right) \end{cases}$ .

La strategia per la determinazione dell'altezza d'onda lungo i raggi d'onda per effetto della rifrazione e del fenomeno di shoaling può essere riassunta come segue:

- indicando con  $b_0$  e  $b$  le distanze tra i due raggi d'onda limitrofi in due punti, si può definire il fattore di separazione dei raggi d'onda:

$$\beta = \frac{b_0}{b}$$

si definisce con  $C$  la celerità con cui viaggiano le onde lungo la direzione rappresentata dalla coordinata curvilinea  $s$  e con  $\theta$  l'inclinazione del raggio d'onda rispetto all'asse  $x$ .

L'equazione che governa il fattore di separazione di due raggi d'onda è la seguente:

$$\frac{\partial^2 \beta}{\partial s^2} + p(s, \theta) \frac{\partial \beta}{\partial s} + q(s, \theta) \beta = 0$$

in cui:

$$p(s, \theta) = -\frac{\cos \theta}{C} \frac{\partial C}{\partial x} - \frac{\sin \theta}{C} \frac{\partial C}{\partial y}$$

$$q(s, \theta) = \frac{\sin^2 \theta}{C} \frac{\partial^2 C}{\partial x^2} - \frac{2 \sin \theta \cos \theta}{C} \frac{\partial^2 C}{\partial x \partial y} + \frac{\cos^2 \theta}{C} \frac{\partial^2 C}{\partial y^2}$$

Dall'integrazione dell'equazione differenziale sopra descritta lungo i raggi d'onda si perviene alla determinazione delle caratteristiche dell'onda, la cui altezza in corrispondenza della generica ascissa " $s$ " è data dalla seguente relazione:

$$H = H_0 K_s \sqrt{\frac{1}{\beta}}$$

dove  $H_0$  è l'altezza d'onda iniziale (su profondità infinita) e  $K_s$  è il coefficiente di shoaling, definito dalla seguente relazione:

$$K_s = \sqrt{\frac{2 \cosh^2(kh)}{2kh + \sinh(2kh)}}$$

essendo  $h$  la profondità locale e  $k$  il numero d'onda locale.

I raggi d'onda si propagano all'interno della griglia di calcolo partendo da una situazione di profondità infinita e proseguendo verso la costa fino a quando l'altezza d'onda  $H$  non raggiunge le condizioni di frangimento, quest'ultimo determinato sulla base della relazione proposta da Weggel (1972).

In corrispondenza delle condizioni di frangimento, per ogni raggio, sono state determinate le seguenti grandezze da cui dipendono le correnti litoranee:

- $H_f$  = altezza d'onda al frangimento;
- $h_f$  = profondità al frangimento;
- $\theta$  = angolo di attacco al frangimento;
- $L$  = lunghezza d'onda;
- $C_g$  = celerità di gruppo;
- $E_{cn}$  = flusso di energia.

I raggi d'onda tracciati e riportati nelle Tavole 3, 4, 5 e 6 si riferiscono alle condizioni energeticamente medie riportate in Tabella 2.1.

#### 4.2 Modello a una linea

In letteratura sono riportate diverse metodologie per la stima del trasporto solido litoraneo, tuttavia, tra le più diffuse e accreditate vi è quella del Civil Engineering Research Center dell'U.S. Army Corps of Engineers (S.P.M., 1984), più nota come CERC formula.

Le relazioni di questo genere si basano sulla semplice idea di esprimere il trasporto solido longitudinale in funzione della componente parallela alla spiaggia del flusso di energia delle onde frangenti. Più precisamente, la generazione della corrente litoranea viene ascritta alla componente litoranea del tensore "spinta totale". Sulla base delle considerazioni di carattere energetico, la portata solida nella direzione parallela alla costa risulta dipendere dal flusso di energia litoranea definito come:

$$P_l = (EC_g \cos \varphi \sin \varphi)_f$$

precisato nelle condizioni di frangimento.

Nell'equazione sopra riportata, detto  $\varphi$  l'angolo formato dalla direzione del moto ondoso con l'ortogonale alla linea di costa, si ha:

$EC_g =$  flusso di energia per unità di larghezza ortogonale al raggio d'onda;

$EC_g \cos \varphi =$  flusso di energia per unità di larghezza batimetrica;

$EC_g \cos \varphi \sin \varphi =$  flusso di energia per unità di larghezza di batimetrica, proiettato lungo la batimetrica.

A partire dal flusso di energia  $P_l$  si definisce quindi la grandezza:

$$I_l = AP_l$$

che rappresenta la portata complessiva, in peso immerso, dalla sezione di frangimento alla sezione di riva. La grandezza sopra rappresentata permette di ottenere una relazione tra il flusso di energia e il trasporto di sedimenti mediante l'uso di un coefficiente adimensionale solitamente posto pari a  $A = 0.77$  per l'onda energeticamente equivalente

(cioè a dire per l'onda caratterizzata da un'energia pari a:  $E = \rho g \frac{H^2}{8}$ ).

La portata volumetrica di sedimenti complessiva si ottiene quindi dalla relazione:

$$Q = \frac{I_l}{(1-n)(\rho_s - \rho)g}$$

in cui:

$n =$  porosità dei sedimenti nella zona compresa tra la linea di costa e la linea di frangimento (assunta pari a 0.4);

$\rho =$  densità dell'acqua;

$\rho_s =$  densità della sabbia assunta pari a  $2.65\rho$ .

Il modello implementato nel codice CERCPLAN – anch'esso sviluppato dal prof. Enrico Foti, e ampiamente validato in situazioni simili - si basa sulla risoluzione alle differenze finite dell'equazione:

$$\frac{d\xi}{dt} = -\frac{1}{h} \frac{dQ}{dy}$$

in cui, ragionando alle differenze finite:

$\Delta\xi$  = indica l'avanzamento o arretramento della linea di costa;

h = profondità caratteristica della spiaggia nella regione costiera (profondità al frangimento);

Q = portata volumetrica dei sedimenti longitudinale definita attraverso la CERC formula.

Introducendo le relazioni viste precedentemente e i valori sopra riportati di porosità e densità dei sedimenti e del liquido, si ottiene:

$$Q_l = (1.2 \times 10^4) H_{br}^{\frac{5}{2}} \sin(2\alpha_b)$$

in cui compare l'altezza d'onda al frangimento. La formula C.E.R.C. ha dunque come dato di input soltanto le caratteristiche dell'onda incidente, ed il suo coefficiente nella formula dovrebbe quindi rappresentare un valore medio per il quale l'ordine in cui si trovano i sedimenti ed il profilo di spiaggia siano in equilibrio con le onde.

Altre formule analoghe ammettono altri parametri di ingresso; ma questa apparente maggiore completezza si scontra col fatto che le incertezze dei fenomeni di trasporto solido sono talmente tante che comunque la modellazione deve essere calibrata caso per caso.

## 5 Elaborazioni effettuate

Per il tracciamento dei raggi d'onda, è stata innanzitutto digitalizzata la batimetria corrispondente all'unità fisiografica in esame, utilizzando le informazioni desunte dalla Carta Nautica in scala 1:100000 (da Sciacca a Licata).

Per quanto concerne il moto ondoso, sulla base delle condizioni riportate in Tabella 2.1, ed assumendo come valida la relazione di Boccotti (1997) per determinare il periodo di picco

$$T_p = 8.5\pi \sqrt{\frac{H_s}{4g}}$$

e la relazione

$$T_m = 4.5\sqrt{H_s}$$

Inoltre, è necessario sottolineare che, per quanto riguarda la direzione di attacco del moto ondoso, si è considerata la direzione centrale dei due settori indicati in Tabella 2.1, ovvero rispettivamente 290° e 142.5°.

Sono stati quindi utilizzati i valori riportati in Tabella 5.1 per lo studio della propagazione dal largo alla riva del moto ondoso, attraverso il programma WAYERAY. Il tracciamento dei raggi d'onda, per le diverse condizioni di moto ondoso descritte in Tabella 5.1 è riportato nelle Tavole 3, 4, 5 e 6.

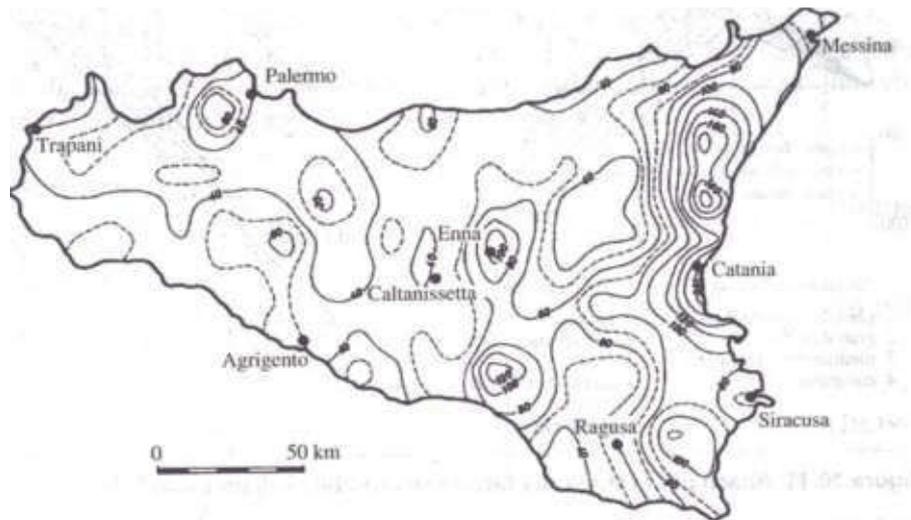
**Tabella 5.1** Tracciamento dei raggi d'onda: condizioni del moto ondoso energeticamente equivalente al moto ondoso medio annuo (soglia per le calme uguale a 1 m).

Direzione di provenienza [°N]	H <sub>s</sub> [m]	T <sub>p</sub> [s]	T <sub>m</sub> [s]
290°	1.90	5.9	6.2
142.5°	1.65	5.5	5.8

I risultati sulle caratteristiche del moto ondoso al frangimento, ottenuti dal tracciamento dei raggi d'onda sopra citati, sono stati quindi usati come dati di input per la simulazione dell'evoluzione della linea di costa a 5 e a 10 anni, ottenuta attraverso l'uso del modello CERCPLAN e riportata nelle Tavole 7 e seguenti.

In particolare per quanto riguarda gli apporti terrigeni dall'entroterra, come già illustrato precedentemente, si è considerato il solo contributo del Fosso delle Canne. Per la stima della portata solida si è considerato che il territorio su cui insiste il bacino di interesse ha un valore del coefficiente di aggressività erosiva di circa il 60 %, come risulta dalla carta

delle isoerodenti dell'intero territorio siciliano (vedi Figura 5.1) e che per un'area vicina nel territorio ragusano con un simile coefficiente di aggressività erosiva esistono delle stime di erosione globale di bacino, ottenute dall'analisi dell'interrimento del serbatoio Ragoletto, che forniscono un valore di  $4.3 \text{ m}^3/\text{ha} \times \text{anno}$  di materiale eroso. La portata solida del Fosso delle Canne quindi, considerando una superficie del bacino pari a  $99.8 \text{ km}^2$ , è stata stimata pari a  $117.6 \text{ m}^3/\text{giorno}$ , pari a circa  $40.000 \text{ m}^3/\text{anno}$ .



**Figura 5.1** Carta delle isoerodenti del territorio siciliano (Ferro, 2002).

Naturalmente bisogna tener conto che il Bacino del Fosso Canne, secondo la relazione geologica *“si slarga dando luogo ad una estesa pianura alluvionale caratterizzata da alluvioni limo-sabbiose con ghiaia di spessore variabile”*. E' dunque probabile che il materiale che arriva alla foce sia in effetti minore di quello fornito dalla stima sopra indicata. Ancora, va notato che il regime idrologico è fortemente torrentizio e quindi variabile tra valori molto piccoli in alcuni anni e valori molto alti in occasione di rare piene eccezionali.

## 6 Analisi della dinamica litoranea nella zona del porto di Siculiana

E' necessario premettere che i risultati sull'evoluzione della linea di costa ottenuti tramite l'applicazione CERCPLAN – come tutte quelle basate su modelli matematici - sono da intendersi come indicazioni di natura qualitativa, piuttosto che stime quantitative vere e proprie. Questo a causa della complessità dei fenomeni, solo parzialmente rappresentabili mediante un modello matematico, che necessariamente tiene in conto, per esempio, in maniera piuttosto semplificata della morfologia dei fondali; il modello, soprattutto, è condizionato dalla difficoltà di stima del trasporto solido litoraneo che, a parità di energia e direzione incidente, risente di forti incertezze nella definizione della interazione con il litorale. Sottolineati questi limiti, si comprende quindi anche il senso della calibrazione del modello su dati storici. Tale calibrazione è stata effettuata esaminando l'evoluzione che si è evidenziata dall'analisi comparata della Cartografia Tecnica Regionale (volo del 1999) con l'aerofotogrammetria appositamente prodotta (volo del 2004), vedi Tavola 8.

In generale, si evidenzia un trasporto litoraneo prevalente orientato da Ovest verso Est. Tale risultato è, naturalmente, in accordo con quanto emerso dall'analisi direzionale della distribuzione dell'energia del moto ondoso che attacca il paraggio, i cui risultati principali ai fini del presente studio sono riportati in Tabella 2.I, in quanto le onde più importanti, sia dal punto di vista energetico, sia in termini di frequenza, sono quelle che provengono dal settore 260-320°N (schematizzato nel presente studio con un attacco proveniente da 290°N). Esso peraltro concorda con i risultati dello studio svolto in fase preliminare.

Con riferimento al porto di Siculiana, dall'analisi dei risultati ottenuti dal modello di evoluzione della linea di costa, si nota un accumulo all'esterno di entrambi i moli foranei.

Nei limiti e con le tecniche descritte sopra è possibile effettuare una valutazione dell'ordine di grandezza del trasporto litoraneo di sedimenti in direzione Ovest - Est: esso è dell'ordine dei 7.000 m<sup>3</sup> anno.

Nelle condizioni attuali il porto agisce come una barriera scarsamente permeabile e come un "pozzo" per i sedimenti, a causa dei fenomeni di riflessione e diffrazione del moto ondoso che si producono all'imboccatura e all'interno del bacino portuale. Parte di tali sedimenti convogliati sui paramenti esterni delle dighe vengono inghiottiti dall'imboccatura del porto, provocandone l'interrimento, ed in parte spinti verso il largo. I risultati forniti dal modello supportano questa tendenza, peraltro dimostrata dall'analisi dello stato attuale dei

luoghi ed in particolar modo dalla presenza di un'ampia spiaggia sabbiosa all'interno dello stesso bacino portuale.

Può essere a questo proposito utile osservare la sovrapposizione tra la linea di costa rilevata dalla Cartografia Tecnica Regionale (1999) ed un rilievo fotografico recente.



In un periodo di circa cinque anni la superficie coperta risulta aumentata di circa un ettaro e mezzo, ed il volume accumulato può quindi ritenersi dell'ordine dei 30.000 m<sup>3</sup>., corrispondenti ad un apporto di circa 6000 m<sup>3</sup>/anno

Con la realizzazione delle modifiche proposte l'interrimento causato dal flusso Ovest-Est dovrebbe ridursi fino quasi a scomparire, mentre dovrebbe continuare la perdita verso il largo. Non c'è quindi da aspettarsi oneri di dragaggio da questo lato, anche perchè un eventuale accumulo in corrispondenza del molo di sopraflutto presenterebbe vantaggio sia dal punto di vista della protezione delle opere sia da quello della fruibilità della spiaggia.

Sul lato est è invece presente un apporto, rilevante ma discontinuo, di materiale sedimentario proveniente dal Fosso Canne (stimato, sulla base di dati regionali in 40.000 m<sup>3</sup>/anno in media). Tale materiale, prevalentemente argilloso e gessoso viene in parte

spinto verso il largo, mentre in parte potrà essere trasportato verso l'imboccatura dall'azione del mare. Come si è detto, non tutto il materiale dovrà essere rimosso, perché in parte esso è disperso dal mare essendo costituito in gran parte da sedimenti a granulometria molto fine. Poiché l'apporto fluviale è estremamente irregolare, l'azione di dragaggio potrà essere necessaria in occasione di piene particolarmente intense. Il pennello ortogonale alla diga di sopraflutto permetterà di ridurre la frequenza degli interventi.

## **7 Conclusioni**

Le opere che vanno a realizzarsi, a completamento e riqualificazione del bacino portuale, sostituiscono o si sovrappongono alle opere già esistenti; il regime della dinamica litoranea attuale, pertanto, non sarà modificato in maniera determinante dal nuovo intervento, per cui l'opera proposta non esercita rilevanti effetti sull'equilibrio dinamico della costa adiacente. Resta comunque evidente che nella struttura portuale e nelle sue vicinanze si verifica un accumulo, proveniente sia dal Fosso Canne, sia dal litorale adiacente, e maggiormente dal lato di levante. La ristrutturazione progettata non modificherà in maniera sostanziale questo fenomeno che, tuttavia, comporterà un onere di dragaggio manutentivo per l'imboccatura portuale; tale onere dovrà essere affrontato con l'impegno a riportare i sedimenti nelle zone di origine, garantendo per quanto possibile la conservazione della linea di costa nel suo attuale stato di equilibrio dinamico come determinato dalla costruzione dell'opera.

## Bibliografia

BOCCOTTI, P. (1997) "Idraulica Marittima", UTET.

FERRO, V. (2002) "La sistemazione dei bacini idrografici", McGraw-Hill.

LEENKNECHT D.A., SZUWALSKI A., SHERLOCK, A. (1992) "ACES Technical Reference Version 1.06", U.S.A.C.E.

Civil Engineering Research Center - U.S. Army Corps of Engineers: Shore Protection Manual (S.P.M., 1984)

## Elenco delle tavole

Tavola 1: Individuazione del paraggio e dell'unità fisiografica

Tavola 2: Individuazione del principale bacino idrografico che alimenta l'unità fisiografica in esame

Tavola 3: Tracciamento dei raggi d'onda per la condizione di moto ondoso con angolo d'attacco pari a  $290^\circ$  ( $H_s=1,90$  m,  $T_p=5,9$  s)

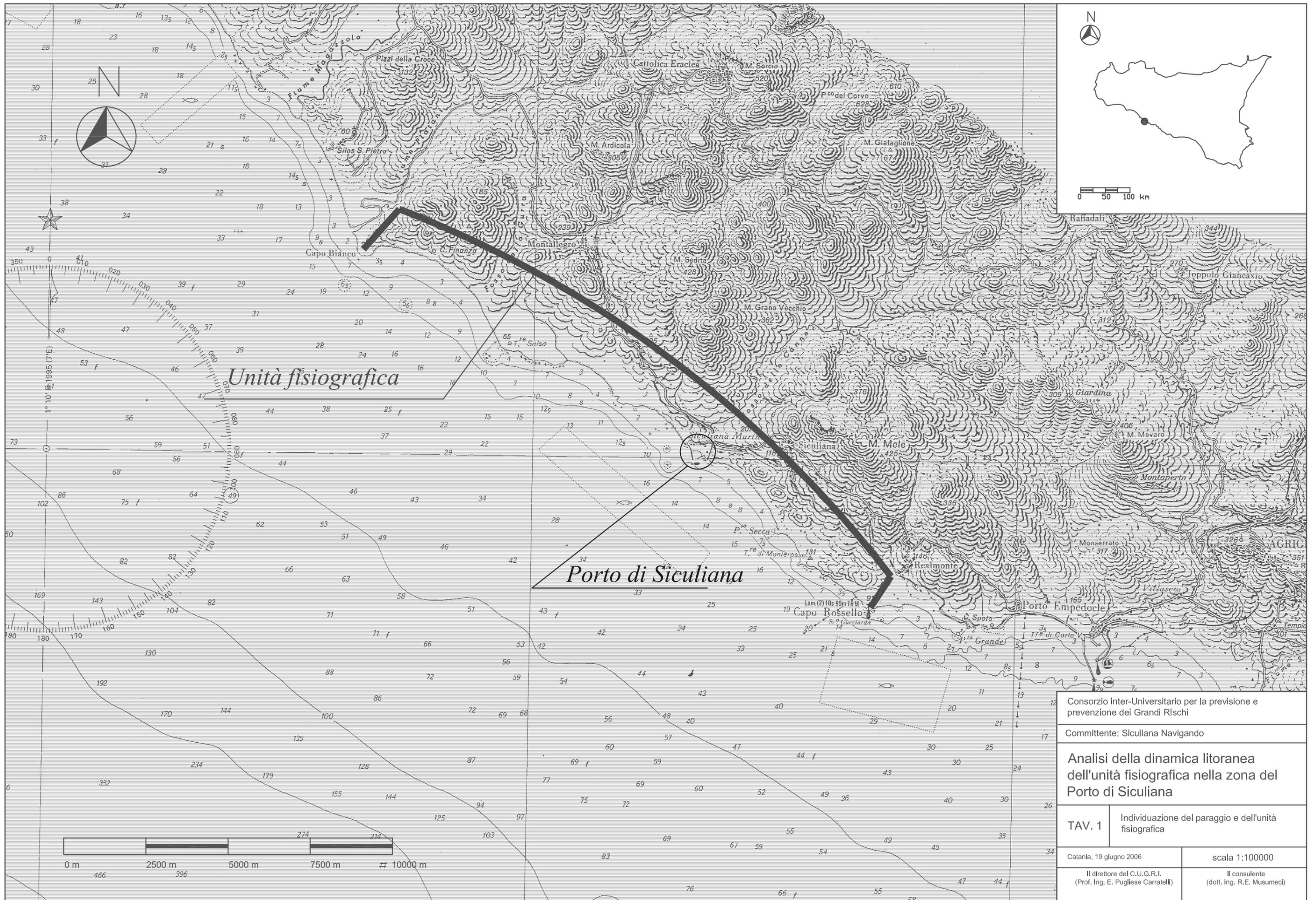
Tavola 4: Tracciamento dei raggi d'onda per la condizione di moto ondoso con angolo d'attacco pari a  $290^\circ$  ( $H_s=1,90$  m,  $T_m=6,2$  s)

Tavola 5: Tracciamento dei raggi d'onda per la condizione di moto ondoso con angolo d'attacco pari a  $142.5^\circ$  ( $H_s=1,65$  m,  $T_p=5,5$  s)

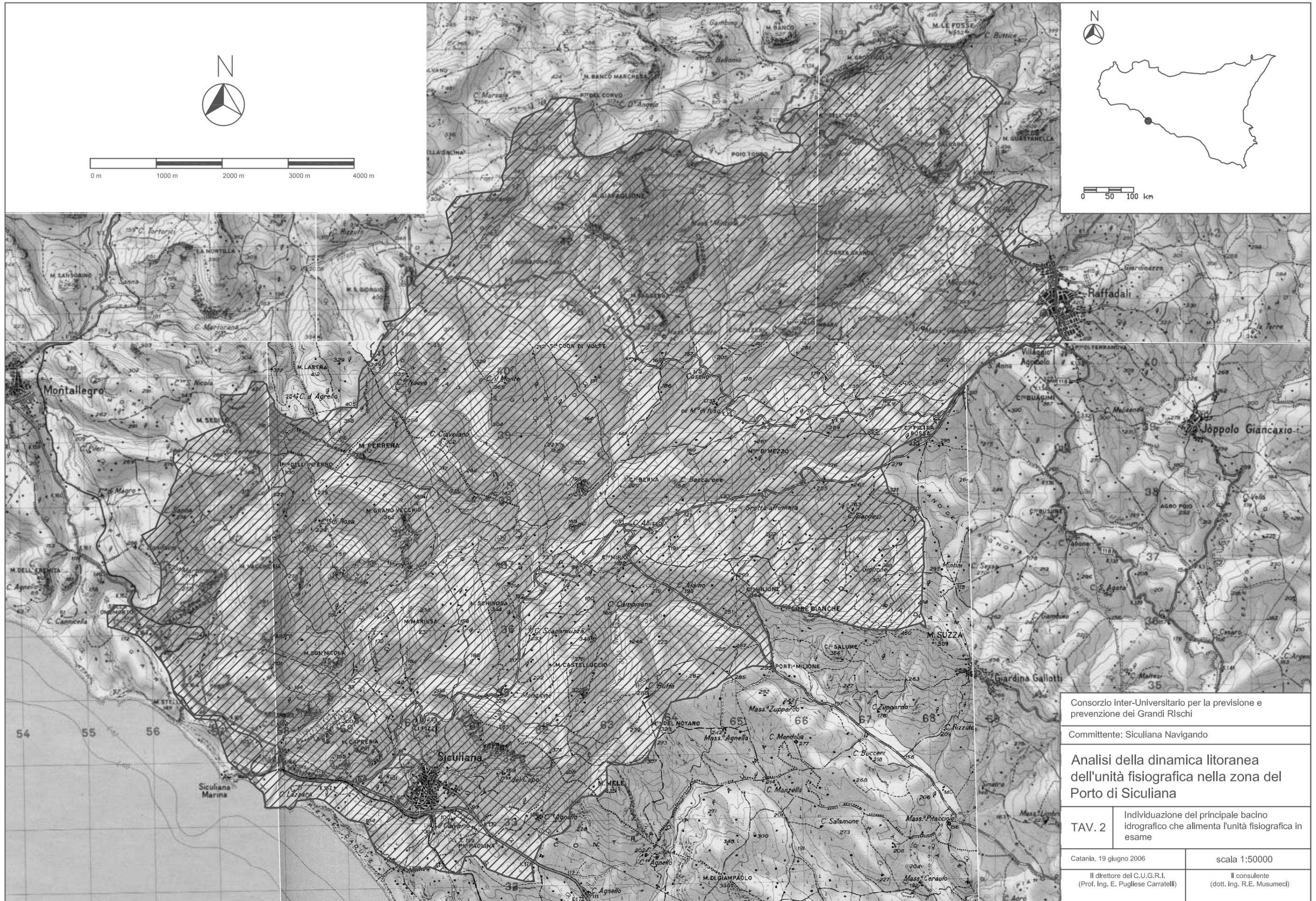
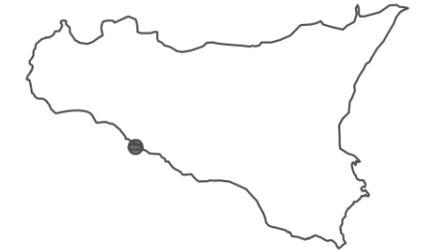
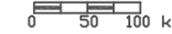
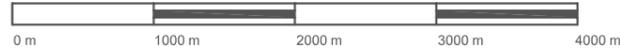
Tavola 6: Tracciamento dei raggi d'onda per la condizione di moto ondoso con angolo d'attacco pari a  $142.5^\circ$  ( $H_s=1,65$  m,  $T_m=5,8$  s)

Tavola 7.1: Evoluzione della linea di spiaggia a 5 e a 10 anni valutata mediante il modello CERCPLAN (N.2 TAVOLE A3)

Tavola 8: Confronto tra i risultati del modello CERCPLAN e dati aerofotogrammetrici (volo del 27/05/2004).



Consorzio inter-Universitario per la previsione e prevenzione dei Grandi Rischi	
Committente: Siculiana Navigando	
<b>Analisi della dinamica litoranea dell'unità fisiografica nella zona del Porto di Siculiana</b>	
<b>TAV. 1</b>	Individuazione del paraggio e dell'unità fisiografica
Catania, 19 giugno 2006	scala 1:100000
Il direttore del C.U.G.R.I. (Prof. Ing. E. Pugliese Carratelli)	Il consulente (dott. ing. R.E. Musumeci)



Consorzio inter-Universitario per la previsione e prevenzione dei Grandi Rischi

Committente: Siculiana Navigando

### Analisi della dinamica litoranea dell'unità fisiografica nella zona del Porto di Siculiana

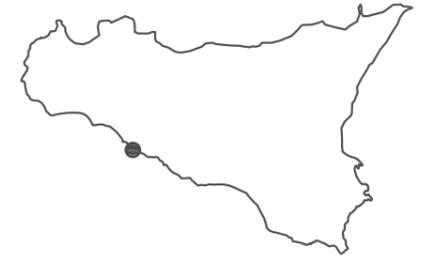
TAV. 2 Individuazione del principale bacino idrografico che alimenta l'unità fisiografica in esame

Catania, 19 giugno 2006

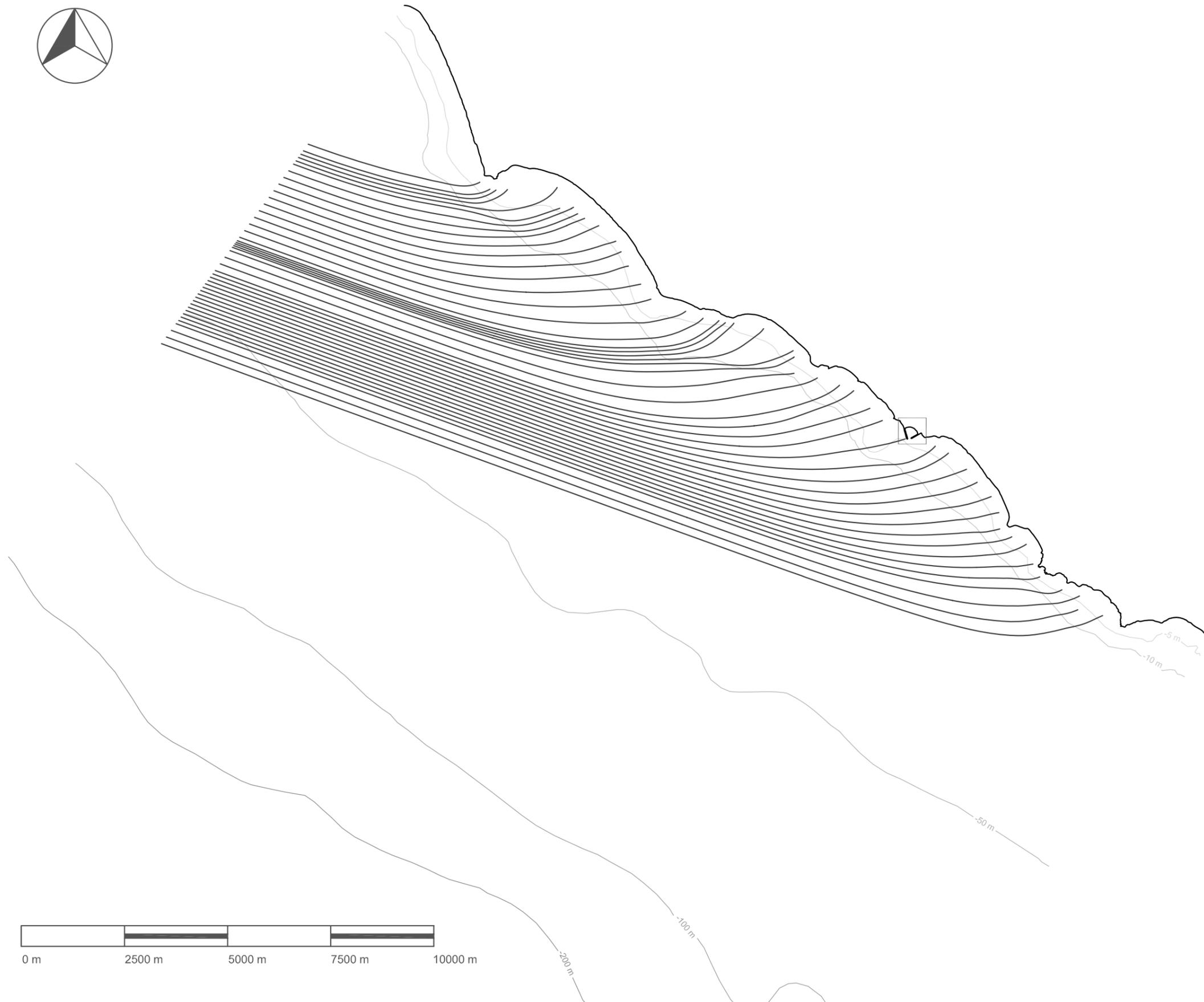
scala 1:50000

Il direttore del C.U.G.R.I.  
(Prof. Ing. E. Pugliese Carratelli)

Il consulente  
(dott. ing. R.E. Musumeci)



0 50 100 km



Consorzio inter-Universitario per la previsione e prevenzione dei Grandi Rischi

Committente: Siculiana Navigando

### Analisi della dinamica litoranea dell'unità fisiografica nella zona del Porto di Siculiana

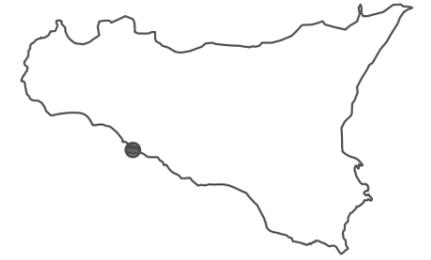
TAV. 3 Tracciamento dei raggi d'onda per la condizione di moto ondoso con angolo d'attacco pari a  $290^\circ$  ( $H_s=1.90$  m,  $T_p=5.9$  s)

Catania, 19 giugno 2006

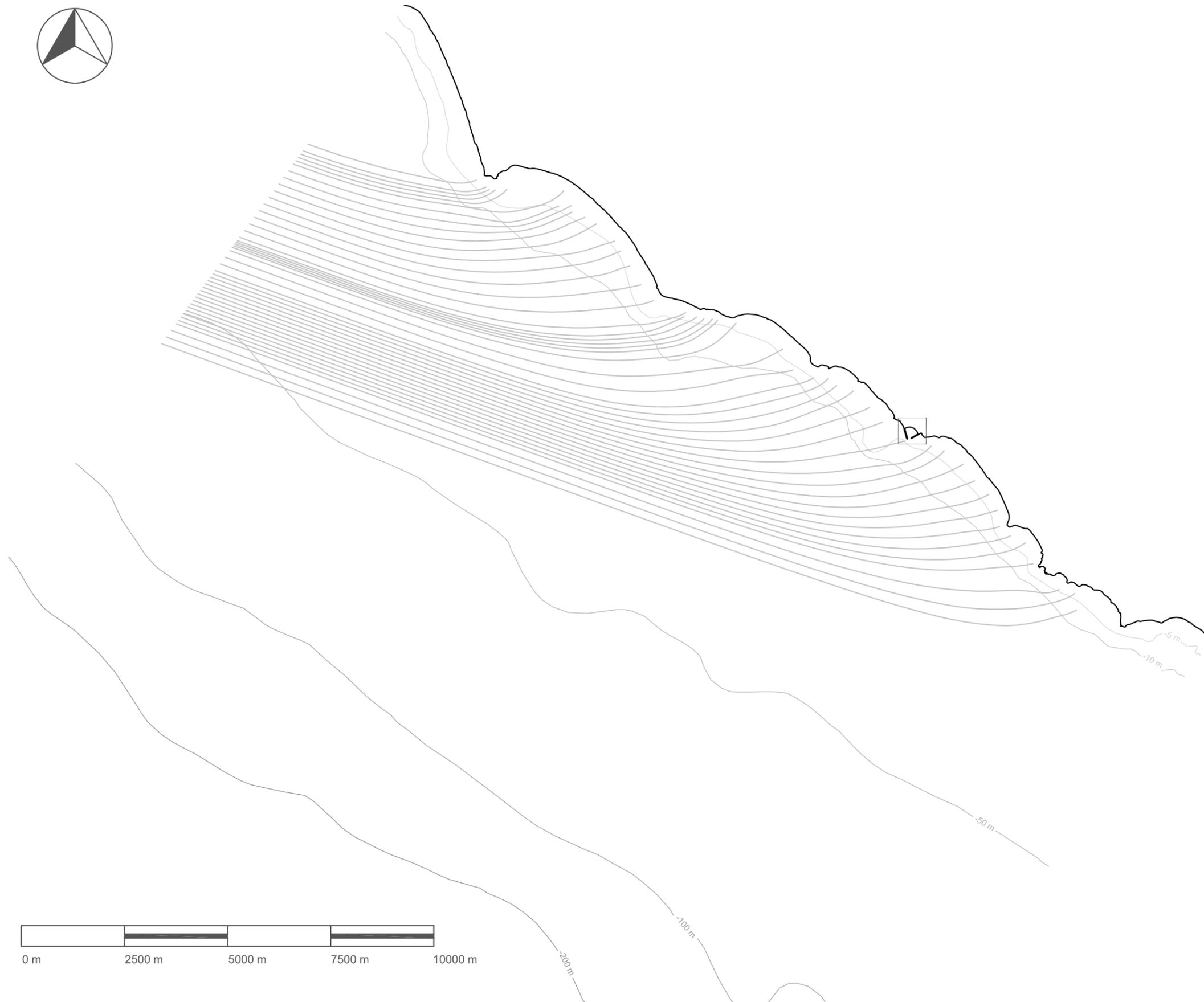
scala 1:100000

Il direttore del C.U.G.R.I.  
(Prof. Ing. E. Pugliese Carratelli)

Il consulente  
(dott. ing. R.E. Musumeci)



0 50 100 km



0 m 2500 m 5000 m 7500 m 10000 m

Consorzio inter-Universitario per la previsione e prevenzione dei Grandi Rischi

Committente: Siculiana Navigando

### Analisi della dinamica litoranea dell'unità fisiografica nella zona del Porto di Siculiana

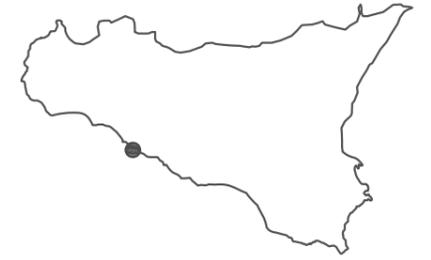
TAV. 4 Tracciamento dei raggi d'onda per la condizione di moto ondoso con angolo d'attacco pari a  $290^\circ$  ( $H_s=1.90$  m,  $T_m=6.2$  s)

Catania, 19 giugno 2006

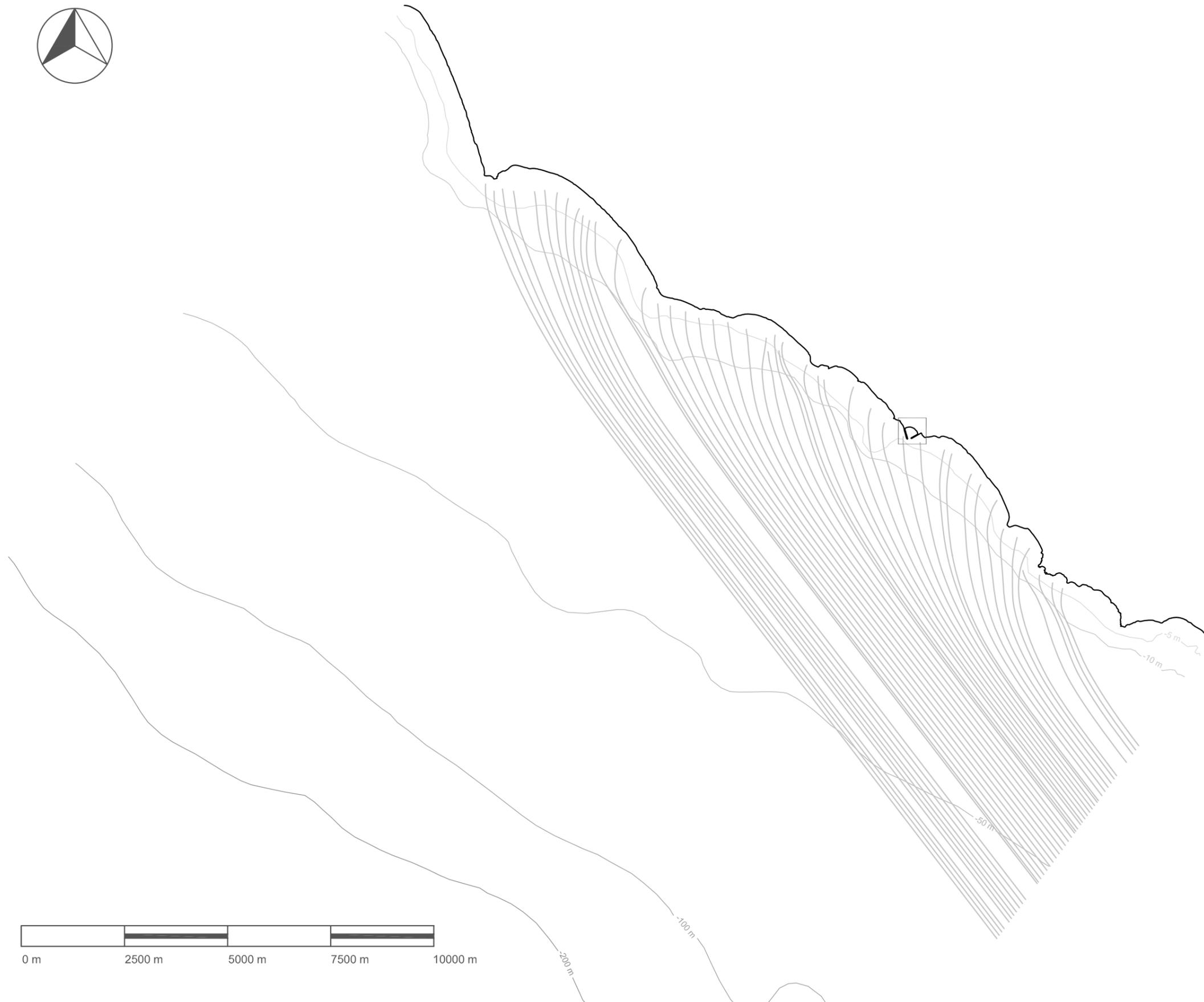
scala 1:100000

Il direttore del C.U.G.R.I.  
(Prof. Ing. E. Pugliese Carratelli)

Il consulente  
(dott. ing. R.E. Musumeci)



0 50 100 km



0 m 2500 m 5000 m 7500 m 10000 m

Consorzio inter-Universitario per la previsione e prevenzione dei Grandi Rischi

Committente: Siculiana Navigando

### Analisi della dinamica litoranea dell'unità fisiografica nella zona del Porto di Siculiana

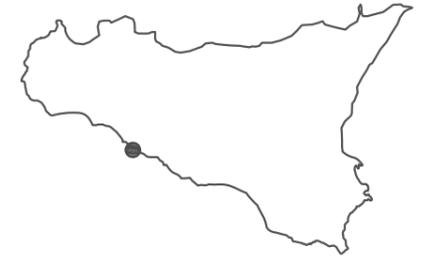
TAV. 5 Tracciamento dei raggi d'onda per la condizione di moto ondoso con angolo d'attacco pari a  $142.5^\circ$  ( $H_s=1.65$  m,  $T_p=5.5$  s)

Catania, 19 giugno 2006

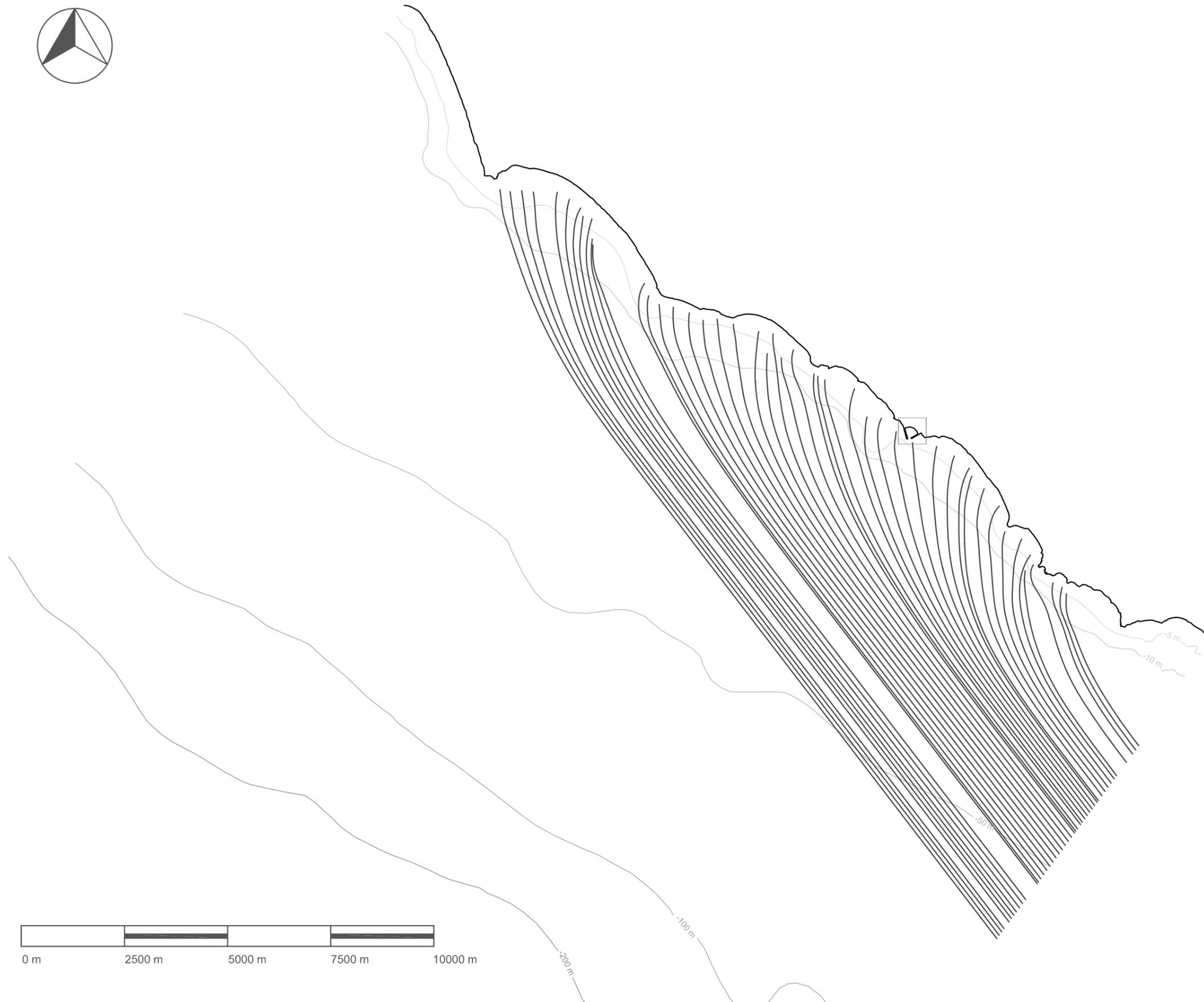
scala 1:100000

Il direttore del C.U.G.R.I.  
(Prof. Ing. E. Pugliese Carratelli)

Il consulente  
(dott. ing. R.E. Musumeci)



0 50 100 km



Consorzio inter-Universitario per la previsione e prevenzione dei Grandi Rischi

Committente: Siciliana Navigando

### Analisi della dinamica litoranea dell'unità fisiografica nella zona del Porto di Siciliana

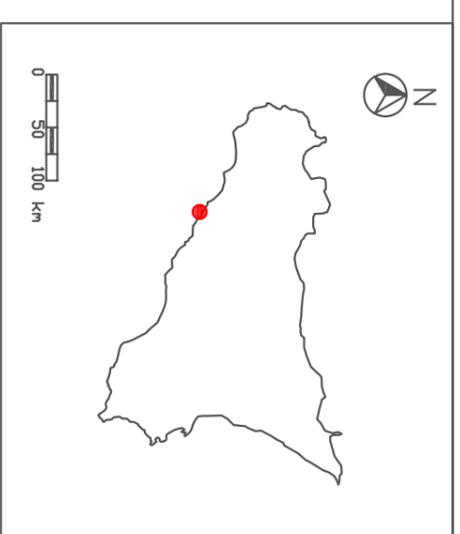
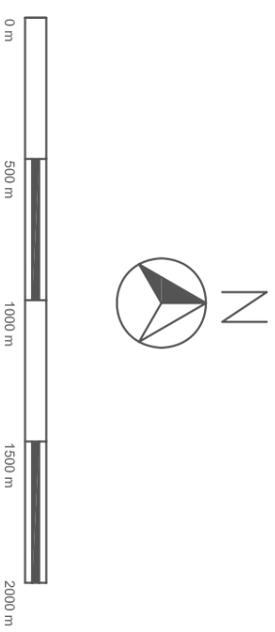
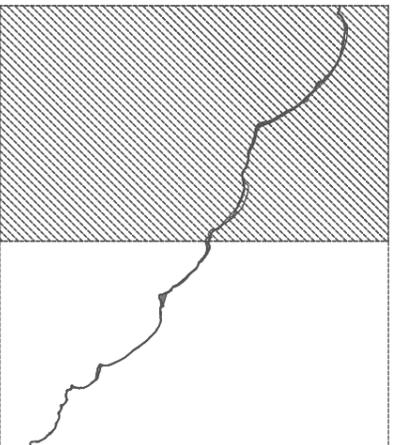
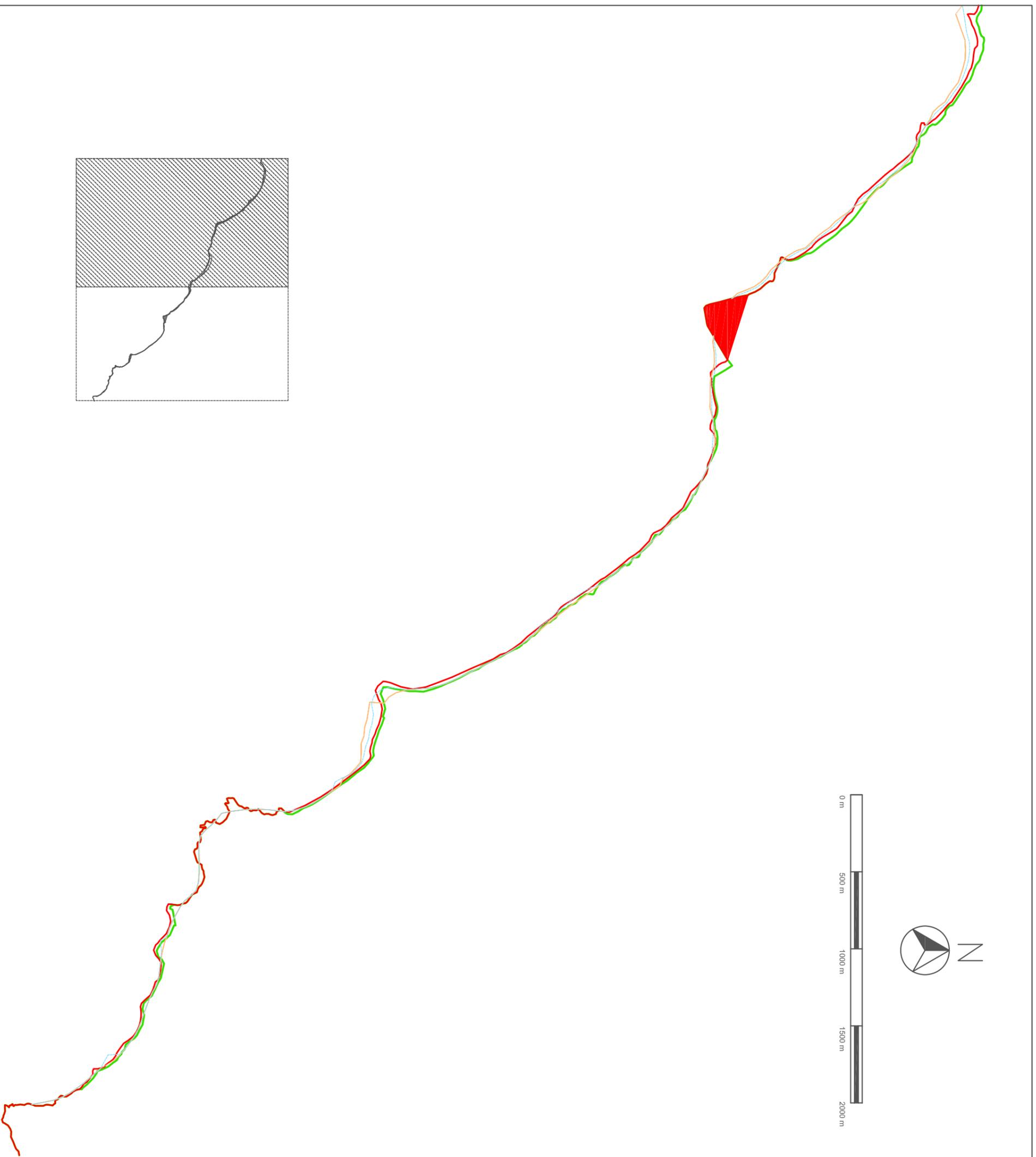
TAV. 6 Tracciamento dei raggi d'onda per la condizione di moto ondoso con angolo d'attacco pari a  $142.5^\circ$  ( $H_s=1.65$  m,  $T_m=5.8$  s)

Catania, 19 giugno 2006

scala 1:100000

Il direttore del C.U.G.R.I.  
(Prof. Ing. E. Pugliese Carratelli)

Il consulente  
(dott. ing. R.E. Musumeci)



- limite ineroditabile
- linea di costa iniziale (CTR 2001, volo 1999)
- evoluzione dopo 5 anni
- evoluzione dopo 10 anni

Consorzio inter-Universitario per la previsione e prevenzione dei Grandi Rischi

Committente: Siculiana Navigando

### Analisi della dinamica litoranea dell'unità fisiografica nella zona del Porto di Siculiana

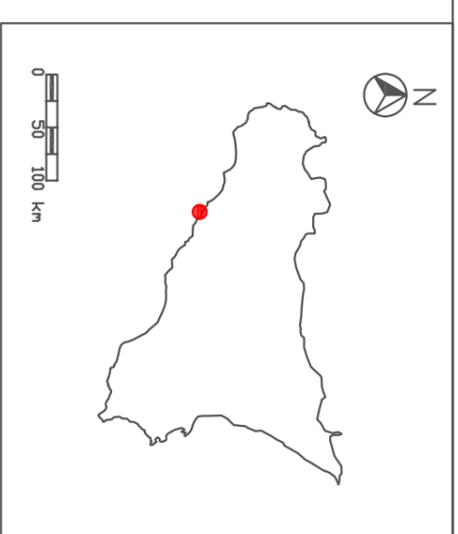
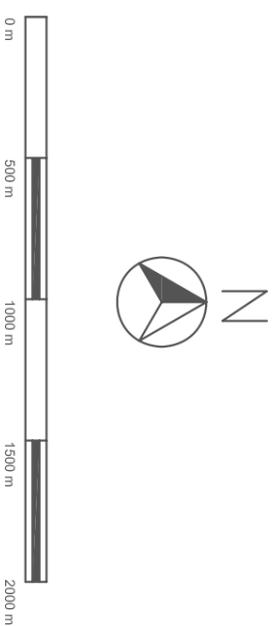
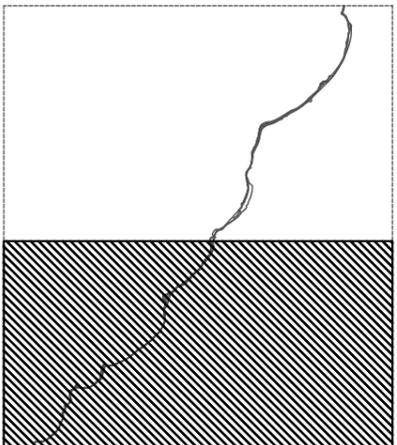
TAV. 7.1  
Evoluzione della linea di costa a 5 e a 10 anni valutata mediante il modello CERCPLAN

Catania, 19 giugno 2006

scala 1:25000

Il direttore del C.U.G.R.I.  
(Prof. Ing. E. Pugliese Carratelli)

Il consulente  
(dott. Ing. R.E. Musumeci)



- limite inerosibile
- linea di costa iniziale (CTR 2001, volo 1999)
- evoluzione dopo 5 anni
- evoluzione dopo 10 anni

Consorzio inter-Universitario per la previsione e prevenzione dei Grandi Rischi

Committente: Siculiana Navigando

### Analisi della dinamica litoranea dell'unità fisiografica nella zona del Porto di Siculiana

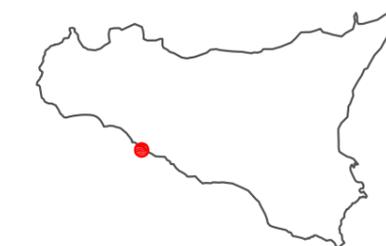
TAV. 7.1  
Evoluzione della linea di costa a 5 e a 10 anni valutata mediante il modello CERCPLAN

Catania, 19 giugno 2006

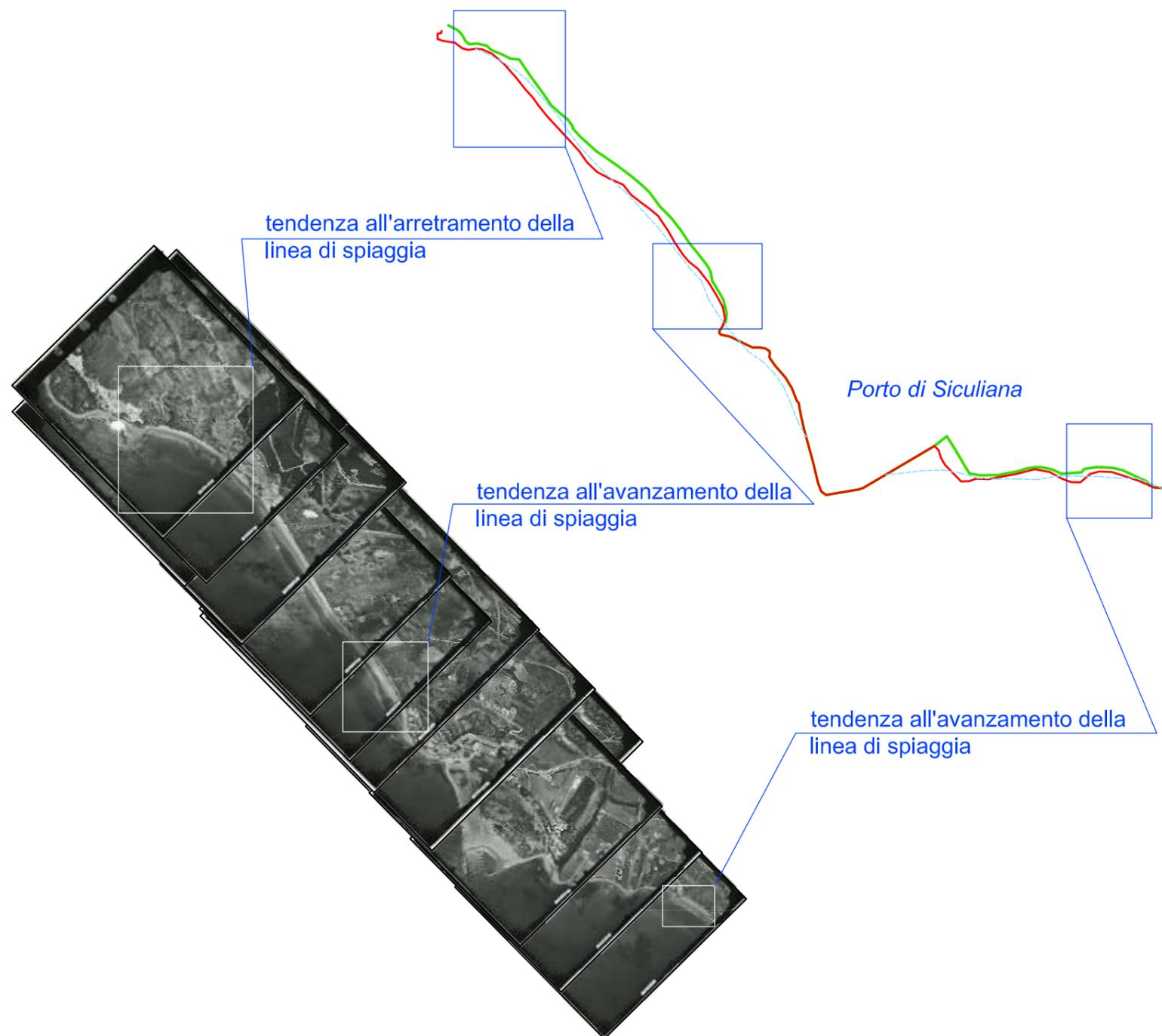
scala 1:25000

Il direttore del C.U.G.R.I.  
(Prof. Ing. E. Pugliese Carratelli)

Il consulente  
(dott. Ing. R.E. Musumeci)



0 50 100 km



- linea di costa iniziale (CTR 2001, volo 1999)
- limite inerodabile
- - - linea di costa dopo 5 anni (ottenuta dal modello CERCPLAN)

0 m 500 m 1000 m 1500 m 2000 m

Consorzio inter-Universitario per la previsione e prevenzione dei Grandi Rischi

Committente: Siculiana Navigando

**Analisi della dinamica litoranea dell'unità fisiografica nella zona del Porto di Siculiana**

TAV. 8 Confronto tra i risultati del modello CERCPLAN e i dati aerofotogrammetrici (volo 27/05/2004)

Catania, 19 giugno 2006

scala 1:15000

Il direttore del C.U.G.R.I.  
(Prof. Ing. E. Pugliese Carratelli)

Il consulente  
(dott. ing. R.E. Musumeci)