

Atlante delle zone esposte al rischio di maremoto nell'area di Catania

SIXTH FRAMEWORK PROGRAMME



ALMA MATER STUDIORUM
UNIVERSITÀ DI BOLOGNA

Redatto dal Dipartimento di Fisica dell'Università di Bologna
nell'ambito del progetto SCHEMA (Scenarios for Hazard induced Emergencies
Management) co-finanziato dalla Commissione Europea

Giugno 2010

Indice

pag. 3	Il progetto SCHEMA
pag. 4	Introduzione
pag. 5	Presentazione degli scenari
pag. 7	Scenario 1: basato sul maremoto del 365 d.C., causa: terremoto
pag. 11	Scenario 2: basato sul maremoto del 1693, causa: terremoto
pag. 15	Scenario 3: basato sul maremoto del 1693, causa: frana
pag. 19	Scenario 4: basato sul maremoto del 1908, causa: terremoto
pag. 23	Scenario 5: basato sul maremoto del 1908, causa: terremoto e frana
pag. 27	Vulnerabilità: classificazione di edifici e strade
pag. 31	Stima del danno sugli edifici
pag. 38	Stima dell'inondazione delle strade

Tsunami Research Team
Dipartimento di Fisica, Università di Bologna

Professor Stefano Tinti (stefano.tinti@unibo.it)
Dr. Alberto Armigliato
Dr. Gianluca Pagnoni
Dr. Roberto Tonini
Dr. Filippo Zaniboni



Il Progetto SCHEMA

- 3) Progettare e sviluppare una metodologia per l'elaborazione degli scenari.
- 4) Proporre in cinque aree test (situate in Portogallo, Marocco, Francia, Italia e Bulgaria) scenari di disastro basati su maremoto, fornendo possibili schemi di evacuazione.
- 5) Validare la metodologia basata sugli scenari nelle aree test in collaborazione con i responsabili della sicurezza e del pronto intervento, della protezione civile e delle autorità locali.
- 6) Divulgare la metodologia sviluppata.

Le cinque aree test sono:

- Rabat (Marocco)
- Varna (Bulgaria)
- Mandelieu (Francia)
- Setubal (Portogallo)
- Catania (Italia)

In Italia, è stata scelta come area test la città di Catania perché storicamente è stata interessata diverse volte da maremoti. Infatti Catania sorge vicina a una serie di strutture potenzialmente tsunamigiche, come le faglie dell'Arco Calabro e le faglie della Scarpata Ibleo-Maltese nello Ionio. Inoltre anche le frane sottomarine che si possono staccare dal margine continentale sono in grado di produrre maremoti. Infine Catania è anche esposta all'attacco di maremoti generati da sorgenti lontane come le faglie situate nell'Arco Ellenico nel Mediterraneo orientale.

Il progetto di ricerca **SCHEMA** (Scenarios for Hazard induced Emergencies Management), finanziato nell'ambito del Sesto Programma Quadro dell'Unione Europea, riunisce un consorzio internazionale composto da 11 enti e società, tra le quali l'Università di Bologna (UNIBOL), ed è coordinato da Geosciences Consultants con sede a Bagnoux presso Parigi.

Il progetto SCHEMA si propone di elaborare tecniche e dati per la definizione di criteri di vulnerabilità e per la produzione di mappe di impatto da maremoto - utilizzando una combinazione di codici per la modellazione numerica, indagini sul campo, osservazioni da satellite e dati GIS.

Lo scopo principale del progetto è di elaborare, sviluppare e validare una metodologia generale in grado di consentire a esperti e responsabili della gestione delle emergenze l'individuazione di possibili indicatori di vulnerabilità da maremoto e l'utilizzo di strumenti per la stima del rischio.

A tale scopo, il progetto ha definito sei campi di attività qui di seguito elencati:

- 1) Definire, in base agli studi relativi al maremoto dell'Oceano Indiano del 2004, i dati di input e output necessari per la modellazione dei maremoti, i dati necessari per la definizione della vulnerabilità e la stima del danno, e per la gestione dell'emergenza.
- 2) Specificare, anche in accordo con i responsabili della sicurezza, del pronto intervento e della protezione civile, una serie di standard per la descrizione della vulnerabilità al maremoto e degli scenari di danno.





Introduzione

È importante sottolineare che generalmente i database topografici e batimetrici non hanno lo stesso datum di riferimento e ciò può portare a discrepanze nell'altimetria della fascia costiera e nella determinazione della linea di costa. Si rende quindi necessario un lavoro supplementare per l'armonizzazione dei diversi set di dati.

Le principali fonti di dati utilizzate per lo studio sono state:

- GEBCO (General Bathymetric Chart of the Oceans) con risoluzione di 1 minuto d'arco.

- SRTM. È un DEM con risoluzione orizzontale a 90 metri (<http://www.cgiar-csi.org/data/elevation>), fornito da CGIAR-CSI e realizzato in origine dal Shuttle Radar Topographic Mission (SRTM).

- carte tematiche regionali sviluppate in collaborazione con il Dipartimento Regionale di Protezione Civile – Servizio per la Provincia di Catania.

- dataset digitale di batimetria fornito dall'ISMAR-CNR (Istituto di Scienze Marine) in coordinate geografiche, riguardante la regione con latitudine 36°N-40°N e longitudine 14°E-19°E
- mappe IIM (Istituto Idrografico della Marina) digitalizzate allo scopo da UNIBOL.

Tutti i dati di topografia e batimetria sono stati integrati in un unico sistema di riferimento cartesiano, il sistema di coordinate UTM per la città di Catania (fuso 33N-WGS84). Le aree fuori da questa zona sono state trattate come un'estensione del fuso 33N, per garantire la continuità del sistema di coordinate nell'intera regione in esame.

Nello studio dell'area test di Catania e nella realizzazione di questo atlante, il gruppo di ricerca sui maremoti dell'Università di Bologna (UNIBOL) ha seguito in gran parte l'approccio sviluppato dal Consorzio del progetto europeo SCHEMA, principalmente consistente in:

1. Definire alcuni scenari sulla base dei peggiori (più disastrosi) casi credibili (credible worst-case scenarios), elaborati tenendo conto anche di un livello di incertezza (quantificato nel 20% per convenzione);
2. Calcolare mappe di massima inondazione e di massima colonna d'acqua per ogni scenario;
3. Calcolare uno scenario aggregato, come combinazione dei vari scenari
4. Stimare sia per i singoli scenari che per lo scenario aggregato il livello di danno sugli edifici e le infrastrutture
5. Individuare le possibili vie di evacuazione

Per lo studio specifico dell'area test di Catania sono stati adottati 5 scenari di maremoto, in base a considerazioni di tipo tettonico ed agli eventi storici più disastrosi che hanno colpito la città nei secoli scorsi: tali scenari comprendono sia sorgenti remote che sorgenti locali.

Le simulazioni della propagazione del maremoto nei diversi scenari sono state effettuate tramite un codice numerico realizzato e mantenuto da UNIBOL.

Nella realizzazione di questo studio sono stati raccolti dati batimetrici e topografici provenienti da diverse fonti.

Presentazione degli scenari

SCENARIO 3. Recenti indagini batimetriche effettuate dal CNR Scarpatà Ibleo-Maltese, con rilevante potenziale tsunamiigenico. La sorgente qui considerata è un corpo di frana localizzato ai piedi della scarpata a 1800 metri di profondità, con volume di poco meno di 5 km³. Alcuni ritengono che il maremoto del 1693 sia stato prodotto da una frana simile a questa provocata dal terremoto. Secondo questa ipotesi, la faglia del terremoto sarebbe situata nell'entroterra e non in mare.

SCENARIO 4. Si basa sul maremoto del 1908. Il 28 dicembre del 1908 un terremoto disastroso colpì lo Stretto di Messina, distruggendo le città di Messina e Reggio Calabria. Lo Stretto e la costa orientale della Sicilia furono attaccati da un forte maremoto per il quale esistono molte testimonianze e molte misurazioni strumentali. Al momento tutte le ipotesi formulate sulla sorgente non spiegano in modo esauriente le osservazioni sugli effetti del maremoto. Questo scenario utilizza come sorgente un terremoto di $M_w=7.0$ con una faglia situata nello Stretto che ha uno scorrimento non uniforme con valor medio di 1.4 metri.

SCENARIO 5. Si basa sul maremoto del 1908. Per spiegare gli effetti del maremoto non è sufficiente considerare un terremoto con faglia nello Stretto di Messina Recentemente è stata avanzata l'ipotesi di una frana sottomarina come possibile concausa. In questo scenario aggiungiamo alla faglia utilizzata nello scenario 4 un'ulteriore depressione di forma ellittica, capace di generare un primo ritiro del mare (riportato nelle osservazioni), che può essere considerata come un'approssimazione dell'effetto di una frana sottomarina.

Per l'area test di Catania sono stati considerati cinque scenari rimanti sono basati su due maremoti disastrosi con origine in Sicilia avvenuti nel 1693 e nel 1908. Per il maremoto del 1693 sono stati considerati come sorgente un terremoto (**SCENARIO 2**) ed una frana (**SCENARIO 3**), mentre per il maremoto del 1908 sono stati considerati un terremoto con scorrimento cosismico eterogeneo sul piano di faglia (**SCENARIO 4**) ed una sorgente composta, formata dalla precedente con l'aggiunta di una estensione verso Sud (**SCENARIO 5**).

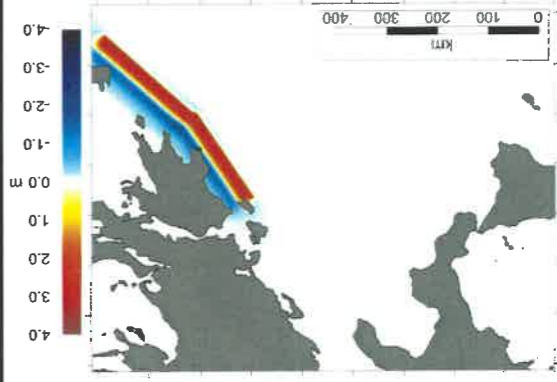
SCENARIO 1. Si basa sul maremoto del 365 d.C. Il 21 luglio di quell'anno un terremoto molto violento, di magnitudo $M_w=8.3$, colpì l'area ionica della Grecia. Il suo ipocentro è stato localizzato a ovest di Creta, in mare, lungo un piano di faglia parallelo all'Arco Ellenico Occidentale. Il terremoto provocò un maremoto di grandi proporzioni, che inondò molte zone costiere in Grecia, Sicilia e Nord Africa. Lo scenario utilizza un modello semplificato della faglia sorgente che è formata da due segmenti paralleli all'Arco Ellenico lunghi complessivamente più di 400 km, con uno scorrimento cosismico uniforme di 10 metri.

SCENARIO 2. Si basa sul maremoto dell'11 gennaio 1693 che colpì la Sicilia Orientale. Il terremoto che lo precedette fu la scossa più forte di una sequenza sismica cominciata due giorni prima ed ebbe una magnitudo stimata $M_w=7-7.3$. L'identificazione della faglia responsabile di questo evento è un problema ancora aperto. Lo scenario utilizza una faglia complessa situata in mare al largo di Catania-Augusta in corrispondenza della Scarpata Ibleo-Maltese

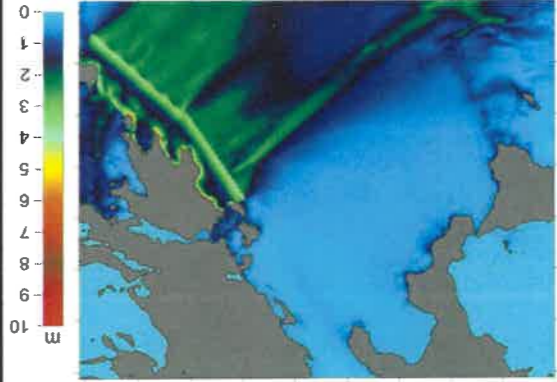


Scenari di maremoto per la città di Catania

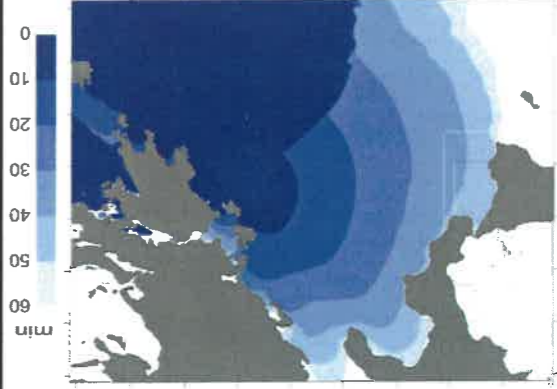
SCENARIO 1
Basato sul caso del 365 d.C.
Causa: Terremoto ($M_w = 8.3$)



Livello del mare al tempo iniziale



Massimo sollevamento del livello del mare



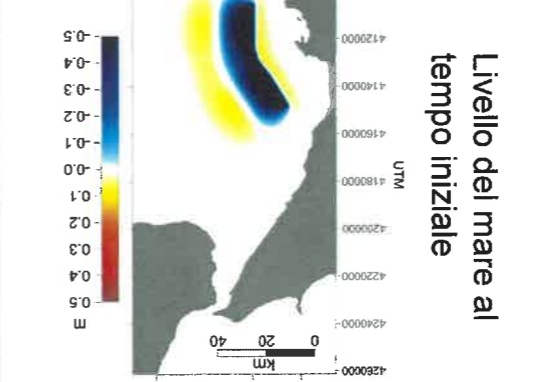
Tempi di propagazione

Parametri medi della faglia

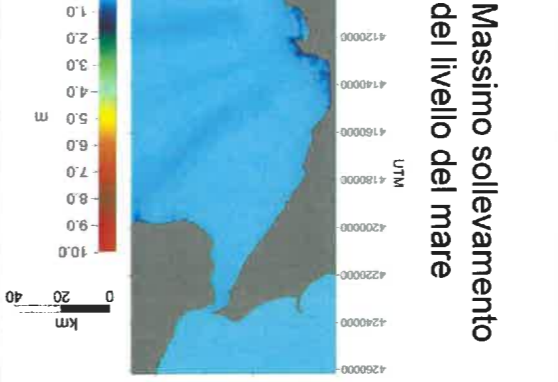
Lunghezza = 439 km
Larghezza = 38 km
Strike = 319°
Dip = 20°
rake = 90°
Scorrimento = 10 m
Profondità = 1 km

Simulazione effettuata da Dip. Fisica, Università di Bologna
Codice Numero: UBO-TSUF0
Max risoluzione griglia: 40 m

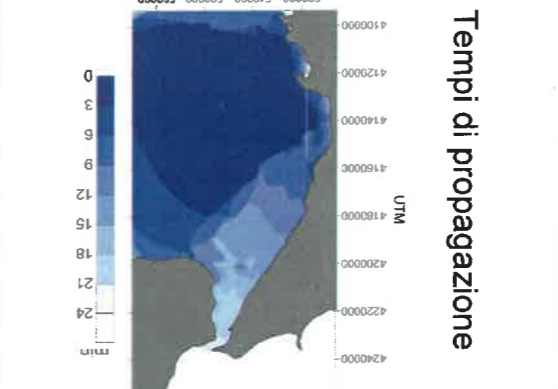
SCENARIO 2
Basato sul caso del 1693
Causa: Terremoto ($M_w = 7.3$)



Livello del mare al tempo iniziale



Massimo sollevamento del livello del mare



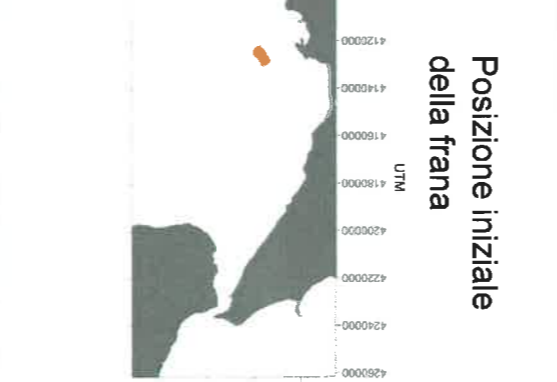
Tempi di propagazione

Parametri medi della faglia

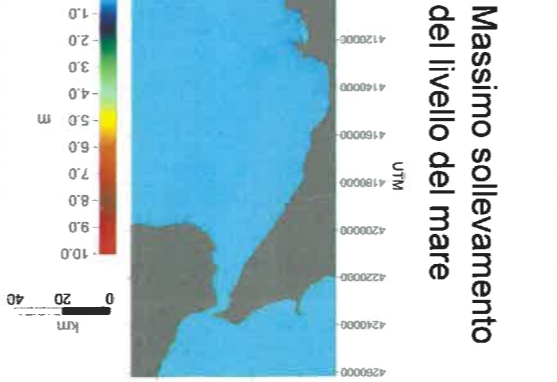
Lunghezza = 47.6 km
Larghezza = 16.5 km
Strike = 342°
Dip = 35°
rake = 270°
Scorrimento = 1.6 m
Profondità = 0.5 km

Simulazione effettuata da Dip. Fisica, Università di Bologna
Codice Numero: UBO-TSUF0
Max risoluzione griglia: 40 m

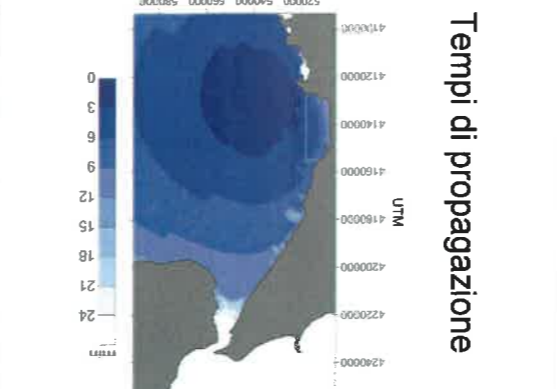
SCENARIO 3
Basato sul caso del 1693
Causa: Frana



Posizione iniziale della frana



Massimo sollevamento del livello del mare



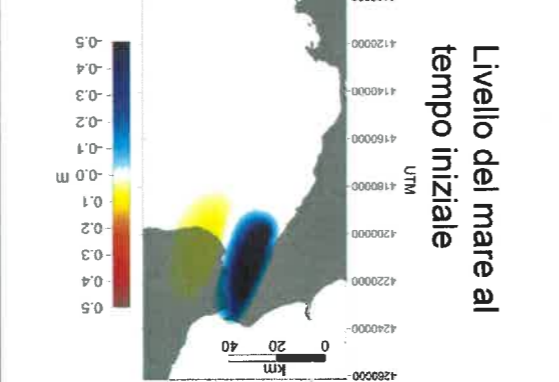
Tempi di propagazione

Parametri della frana

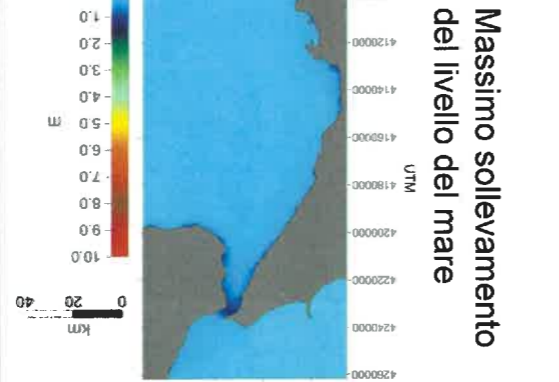
Volume = 4.81 km³
Massa = 12.75 · 10⁹ kg
Massimo spessore = 250 m
Profondità minima della nicchia di distacco ~ 1850 m
Massima distanza percorsa ~ 200 m

Simulazione effettuata da Dip. Fisica, Università di Bologna
Codici Numerici: UBO-BLOCK1 e UBO-TSUF0
Max risoluzione griglia: 40 m

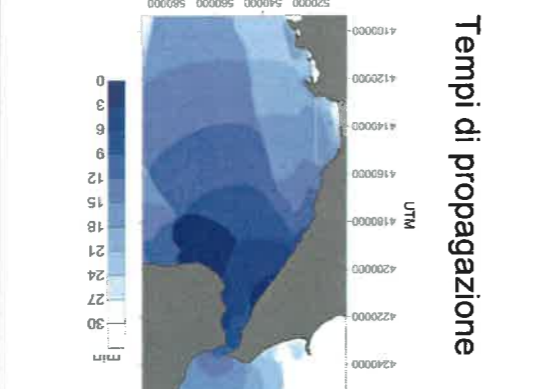
SCENARIO 4
Basato sul caso del 1908
Causa: Terremoto ($M_w = 7.0$)



Livello del mare al tempo iniziale



Massimo sollevamento del livello del mare



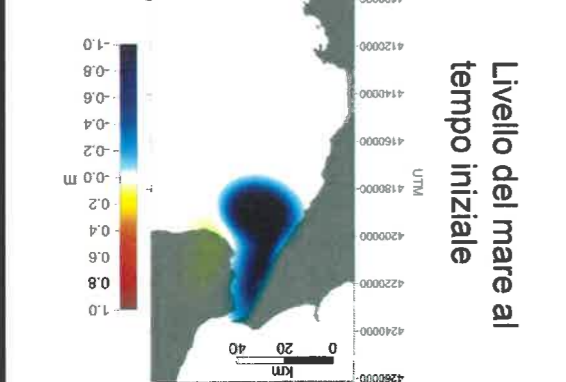
Tempi di propagazione

Parametri medi della faglia

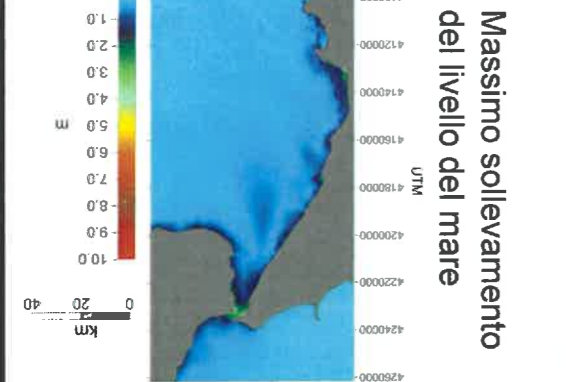
Lunghezza = 40 km
Larghezza = 20 km
Strike = 20°
Dip = 29°
rake = 270°
Scorrimento = 1.4 m
Profondità = 3 km

Simulazione effettuata da Dip. Fisica, Università di Bologna
Codice Numero: UBO-TSUF0
Max risoluzione griglia: 40 m

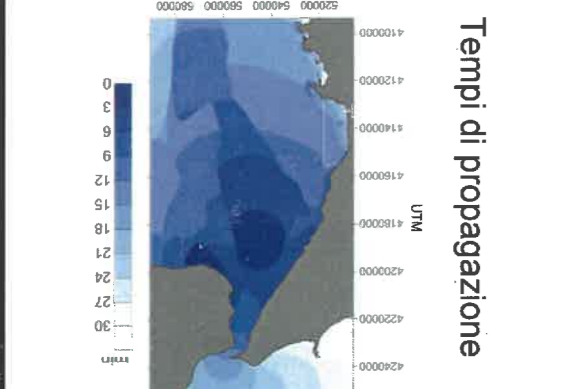
SCENARIO 5
Basato sul caso del 1908
Causa: Terremoto e Frana



Livello del mare al tempo iniziale



Massimo sollevamento del livello del mare



Tempi di propagazione

Parametri medi della faglia

Vedi Scenario 4
NOTA: alla sorgente dello scenario 4 è aggiunta una depressione iniziale del mare di forma ellittica

Simulazione effettuata da Dip. Fisica, Università di Bologna
Codice Numero: UBO-TSUF0
Max risoluzione griglia: 40 m



SCENARIO 1 Basato sul maremoto del 365 d.C. Causa: terremoto

Carte di Scenario Regionale

L'evento del 365 d.C. ha avuto effetti in buona parte del Mediterraneo orientale, ma in questo caso ci si concentra sulla sua propagazione verso ovest, in direzione della città di Catania.

Il grafico di massimo sollevamento del mare mostra che la maggior parte dell'energia del maremoto si distribuisce vicino alla sorgente e in direzione perpendicolare alla faglia sorgente, cioè verso SSO, e non direttamente sull'area di Catania. Verso ovest il maremoto viaggia più velocemente, come mostrato dal grafico dei tempi di propagazione, perché risente della maggior profondità del mare che implica una maggior velocità di propagazione dell'onda.

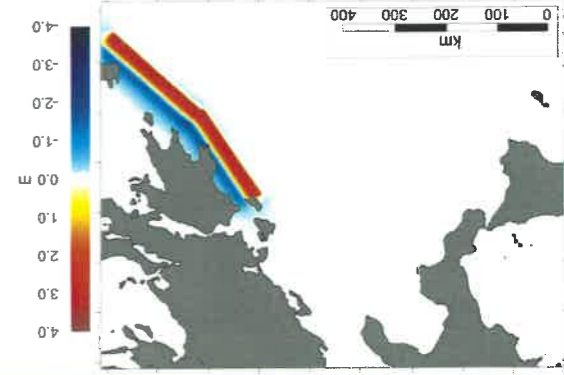
Il fronte di maremoto mostra una forma ad arco nell'avvicinarsi alla Sicilia, e colpisce la costa di Catania circa 50 minuti dopo la generazione.

I grafici di propagazione mostrano un primo debole segnale negativo, che si attenua al passare del tempo fino a scomparire. Il maremoto colpisce Catania con un fronte positivo (cioè con sollevamento del livello del mare), come confermato anche dai mareogrammi calcolati nella zona del porto.

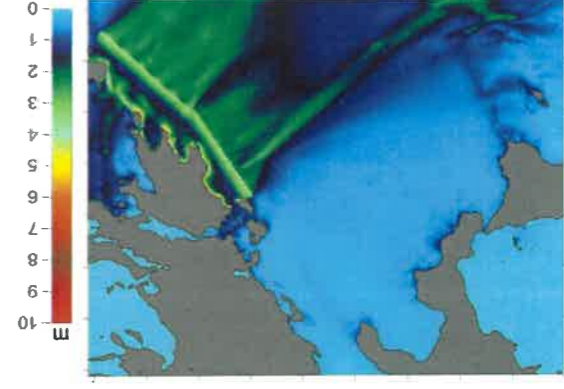
Dalle carte regionali è inoltre chiaro come la zona più interessata dagli effetti di maremoto sia quella della Plaia, a sud di Catania. Qui sono più intensi sia il massimo sollevamento del livello del mare, sia il massimo abbassamento (con ritiro del mare per qualche centinaio di metri), sia la maggiore velocità del flusso.

SCENARIO REGIONALE

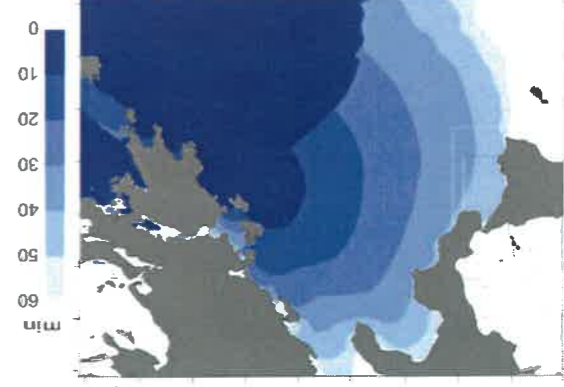
SCENARIO 1
 Basato sul maremoto del 365 d.C.
 Causa: terremoto (Mw = 8.3)



Livello del mare al tempo iniziale



Massimo sollevamento del livello del mare

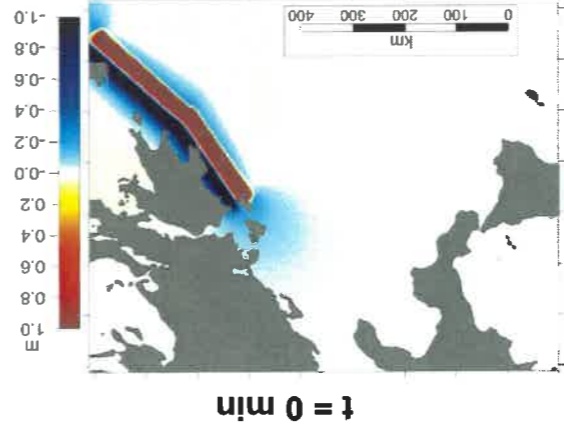


Tempi di propagazione

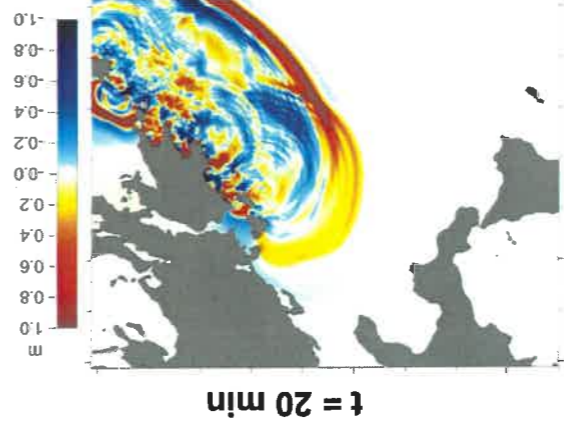
Parametri medi della faglia

Lunghezza = 439 km
 Larghezza = 38 km
 Strike = 319°
 Dip = 20°
 Rake = 90°
 Scorrimento = 10 m
 Profondità = 1 km

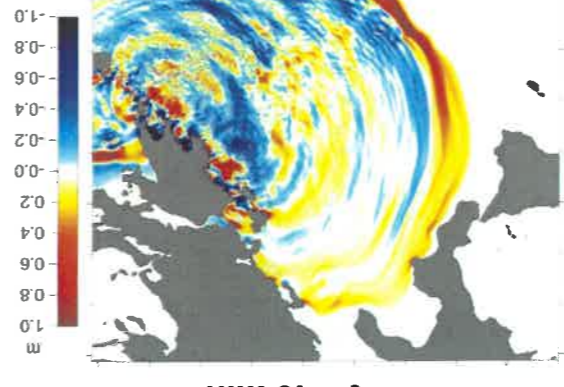
Simulazione effettuata da Dip. Fisica, Università di Bologna
 Codice Numerico: UBO-TSUF0
 Max risoluzione griglia: 40 m



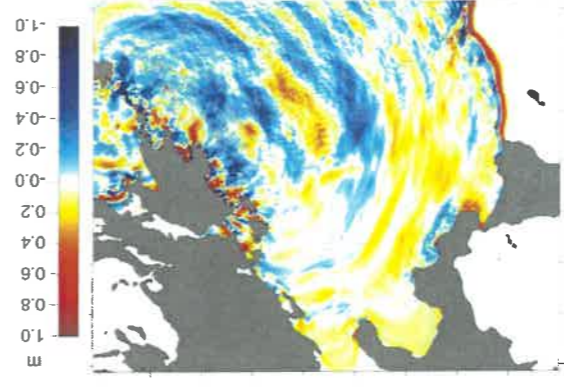
Campi di Propagazione



t = 20 min



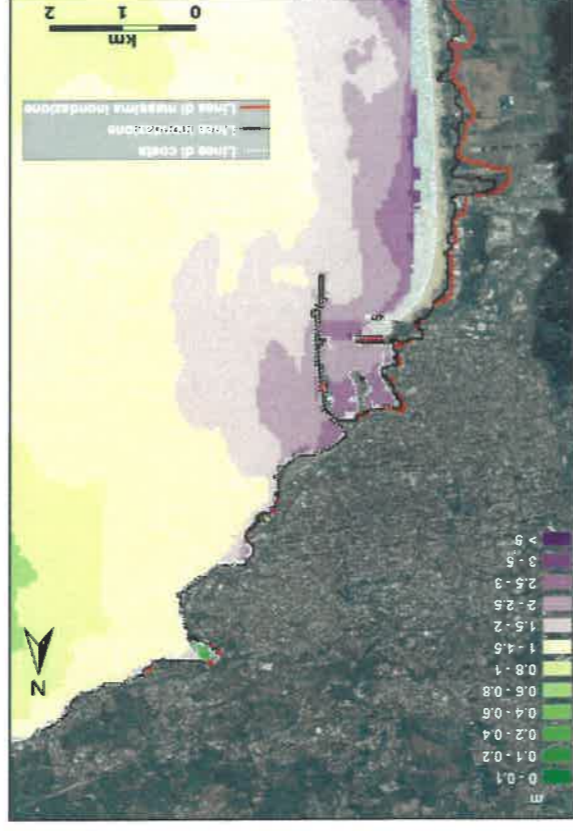
t = 40 min



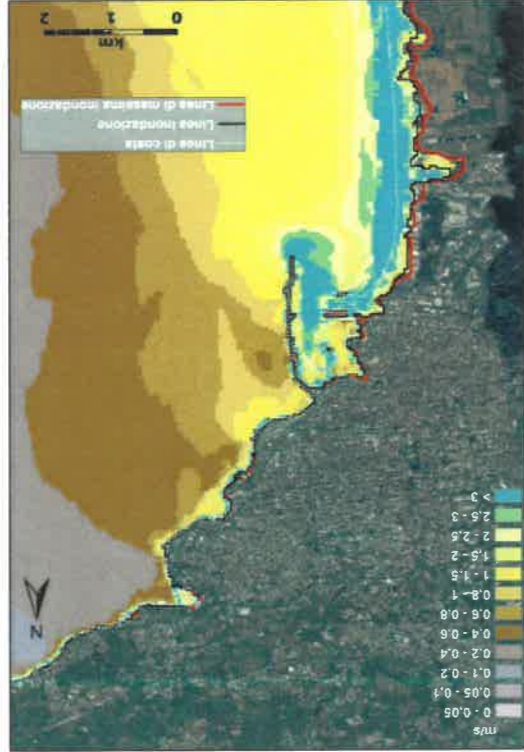
t = 60 min



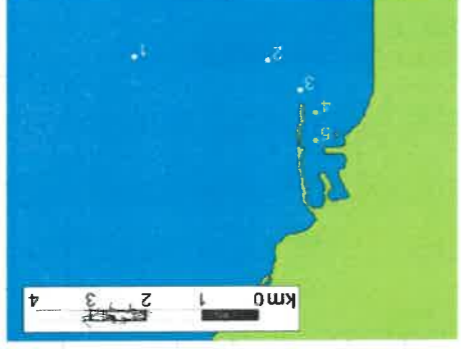
Massimo sollevamento del livello del mare



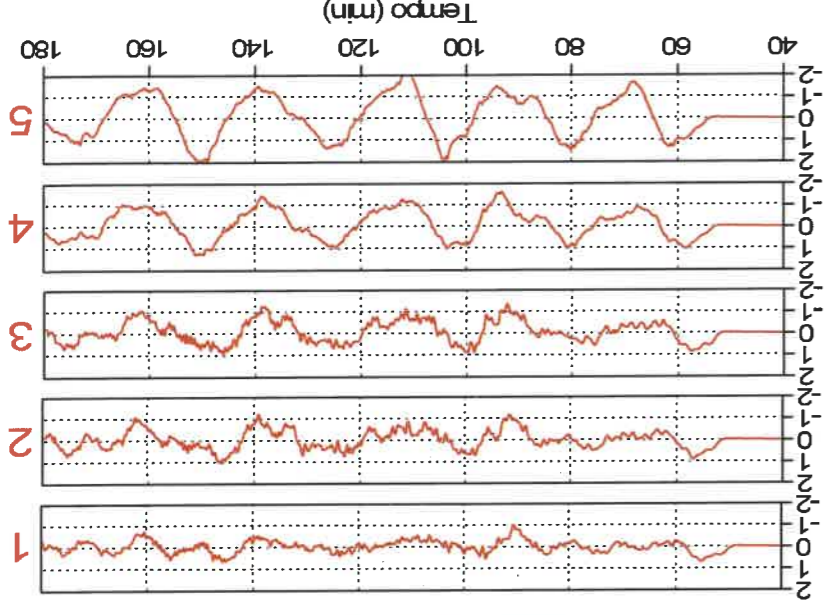
Massimo abbassamento del livello del mare



Punti di calcolo dei maregrammi



Mareogrammi



Tempo (min)

Elevazione (m)



Contract n° 030963





SCENARIO 1

Basato sul maremoto del 365 d.C.

Causa: terremoto

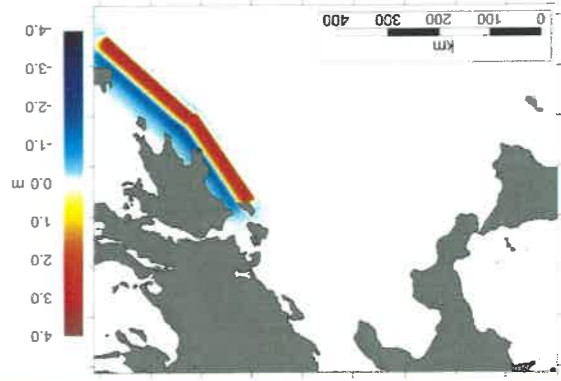
Carte di Scenario Locale

Gli effetti locali dei diversi scenari di maremoto sulla città di Catania sono valutati, in questo studio, nella zona a sud del porto, denominata La Plaia: quest'area, bassa e piatta, presenta una morfologia ben diversa dal resto della costa a nord (caratterizzata per molti chilometri da un'alta scogliera), ed è caratterizzata da numerose strutture ricettive e in estate da un notevole afflusso turistico. Per questo motivo si ritiene di particolare interesse studiare gli effetti di un maremoto specificamente in questa zona.

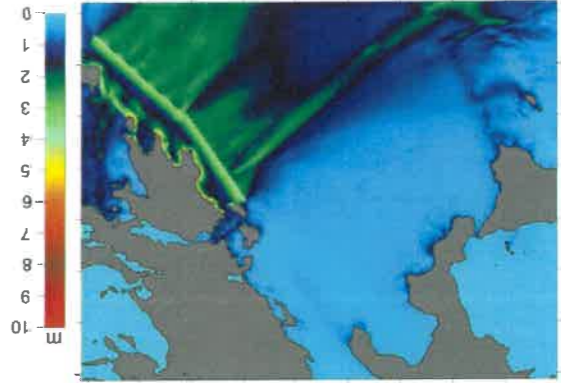
La linea di inondazione è tracciata in nero. In rosso è tracciata la linea di massima inondazione, ossia una linea corrispondente ad uno scenario simile, che differisce dal precedente solo in quanto lo scorrimento del terremoto alla sorgente è incrementato del 20%. Tale valore è stato assunto in modo convenzionale dal consorzio del progetto SCHEMA. Il confronto tra i due scenari (di riferimento e con incremento) serve per evidenziare quanto i risultati sono sensibili alla variazione dei parametri dello scenario. Il massimo livello raggiunto dal mare è di 3-4 metri, con una penetrazione media dell'onda a terra di 200-300 metri e una punta di 1 km nella zona di Fontanarossa, nei pressi dell'aeroporto, dove evidentemente la conformazione del terreno favorisce particolarmente l'avanzare del maremoto.

SCENARIO LOCALE

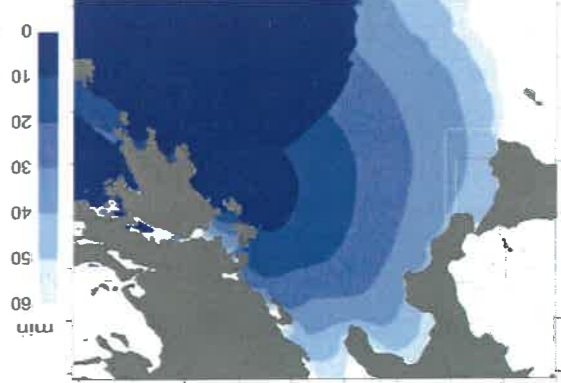
SCENARIO 1
 Basato sul maremoto del 365 d.C.
 Causa: terremoto (Mw = 8.3)



Livello del mare al tempo iniziale



Massimo sollevamento del livello del mare



Tempi di propagazione

Parametri medi della faglia

Lunghezza = 439 km
 Larghezza = 38 km
 Strike = 319°
 Dip = 20°
 Rake = 90°
 Scorrimento = 10 m
 Profondità = 1 km

Simulazione effettuata da Dip. Fisica, Università di Bologna
 Codice Numerico: UBQ-TSUF3
 Max risoluzione griglia: 40 m

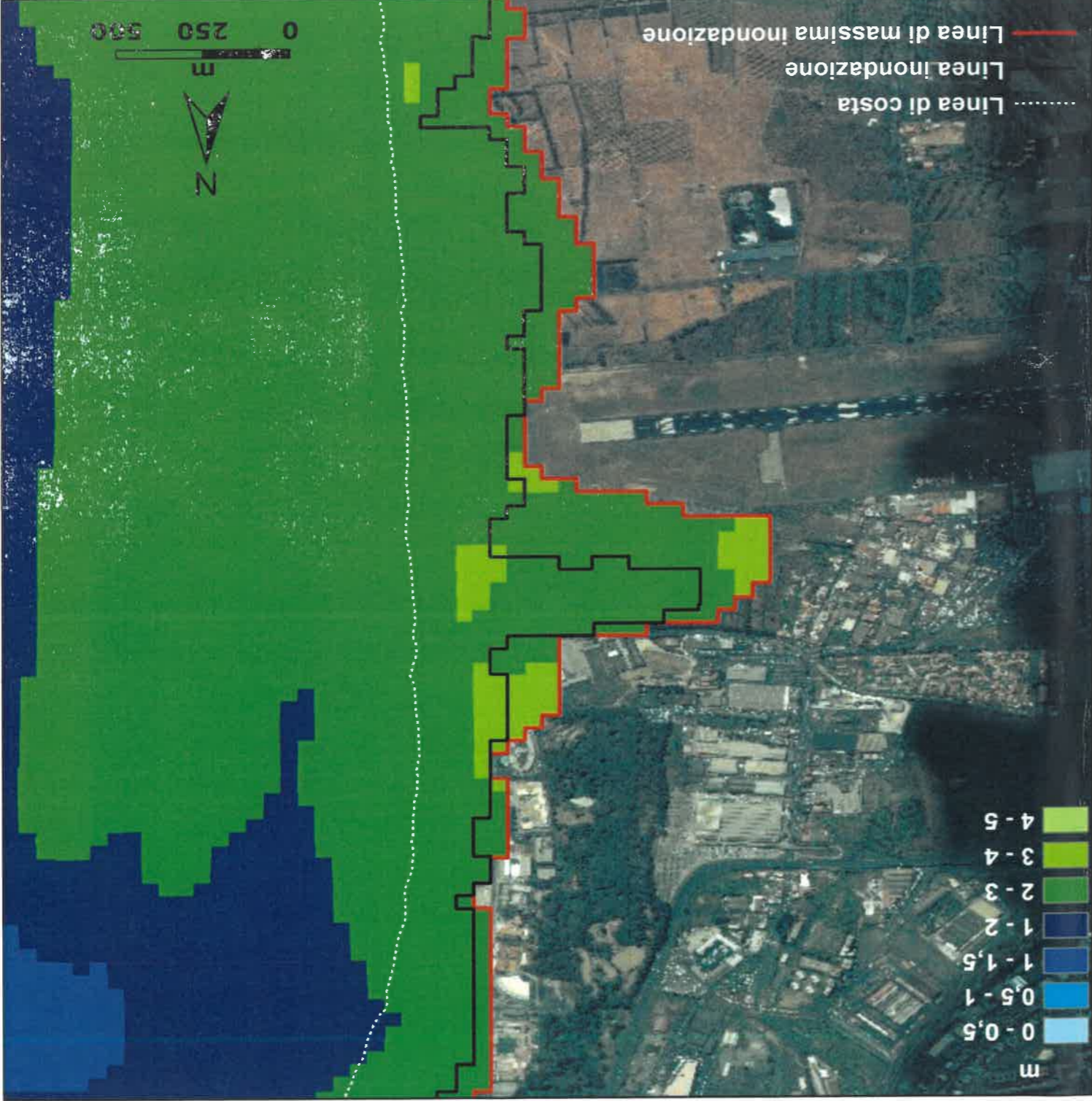
Massimo sollevamento del livello del mare



Matrice di decisione adottata dall'CG/NEAMTWS: basata sulla magnitudo del terremoto, la distanza dalla sorgente dalla costa e la profondità ipocentrale. Lo scenario considerato darà luogo al massimo livello di allerta

Profondità	Localizzazione	(M _w)	Potenziale del maremoto	Tipo di bollettino
< 100 km	In mare o in prossimità del mare (< 30 km)	5,5 to 6,0	Potenziale ridotto per un maremoto locale	Nota informativa
> 100 km	Omunque	≥ 5,5	Nessun potenziale di generazione di maremoto	Nota informativa
> 100 km	A terra (> 30 km)	5,5	Nessun potenziale di generazione di maremoto	Nota informativa
> 100 km	Omunque	≥ 7,0	Potenziale per un maremoto distruttivo ad ampio raggio > 400 km	Allerta per possibile maremoto a scala mediterranea
> 100 km	Omunque	7,0	Potenziale per un maremoto regionale distruttivo < 400 km	Allerta per possibile maremoto a scala regionale
> 100 km	Omunque	6,5 to 7,0	Potenziale per un maremoto regionale distruttivo < 100 km	Allerta per possibile maremoto a scala regionale
> 100 km	Omunque	6,5 to 7,0	Potenziale per un maremoto regionale distruttivo < 100 km	Allerta per possibile maremoto a scala regionale
> 100 km	Omunque	6,5 to 7,0	Potenziale per un maremoto regionale distruttivo < 100 km	Allerta per possibile maremoto a scala regionale

Massimo sollevamento del livello del mare



Run-up	Avviso	Effetti attesi
> 1m	< 1m	Correnti anomale, onde anomale di marea (bore), ritiro del mare, danni nei porti, piccole imbarcazioni trascinate sulla spiaggia
> 0,5 m	0,2-0,5 m	Correnti anomale, onde anomale di marea (bore), ritiro del mare, danni nei porti, piccole imbarcazioni trascinate sulla spiaggia

Corrispondenza fra tipo di bollettino ed effetti a costa secondo lo schema adottato dall'CG/NEAMTWS



Contract n° 030963



SCENARIO 2

Basato sul maremoto del 1693

Causa: terremoto

Carte di Scenario Regionale

Per questo scenario si ottengono livelli di massimo sollevamento del mare relativamente bassi, non oltre i due metri, nella zona costiera vicino alla sorgente. L'energia del maremoto si propaga secondo due direzioni principali, guidata dalla batimetria: in direzione NNE, verso la Calabria, e verso Est. La costa vicino alla sorgente (parte centrale e meridionale della costa siciliana) e la costa meridionale della Calabria sono raggiunte dal maremoto in un tempo compreso tra i 6 e i 9 minuti, mentre la zona dello Stretto, a causa della lenta propagazione lungo la costa, è interessata dal maremoto non prima di 15-18 minuti.

Il fronte del maremoto è formato da due onde che si irradiano dai due segmenti di faglia principali. Il fronte che più interessa la città di Catania è quello che si muove dal segmento settentrionale. Si propaga come una cresta di piccola ampiezza, seguita da un cavo d'onda più rilevante. La lunghezza d'onda del maremoto che viaggia verso le acque profonde tende ad aumentare durante la propagazione. Viceversa, quando si avvicina alla costa, la lunghezza d'onda diminuisce, così come la velocità. L'onda raggiunge la zona a sud di Catania (La Plaia) più o meno contemporaneamente a quando raggiunge la costa meridionale della Calabria, anche se le due zone si trovano a distanze molto diverse dalla sorgente. Infatti, il fronte del maremoto che attacca Catania viaggia molto più lentamente a causa della bassa profondità del mare nel Golfo di Catania.

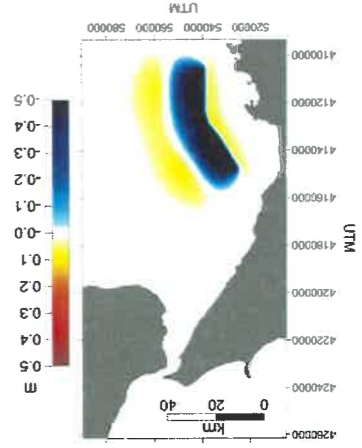


SCENARIO REGIONALE

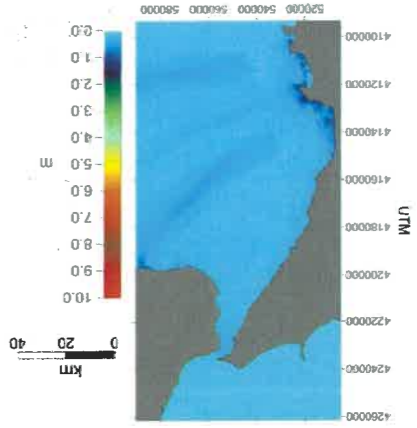
SCENARIO 2

Basato sul maremoto del 1693
Causa: terremoto ($M_w = 7.3$)

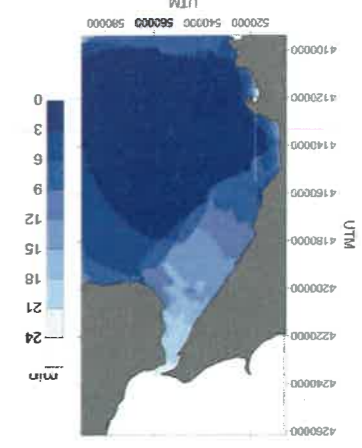
Livello del mare al tempo iniziale



Massimo sollevamento del livello del mare



Tempi di propagazione



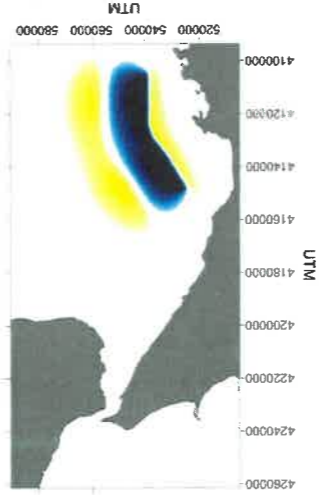
Parametri medi della faglia

Lunghezza = 47.6 km
Larghezza = 16.5 km
Strike = 342°
Dip = 35°
Rake = 270°
Scorrimento = 1.6 m
Profondità = 0.5 km

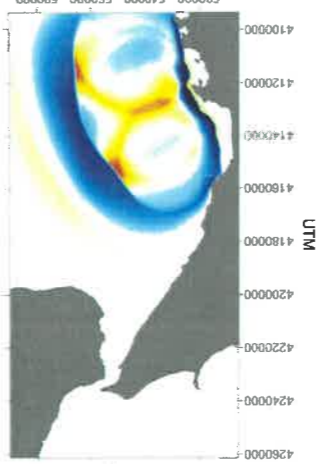
Simulazione effettuata da Dip. Fisica, Università di Bologna
Codice Numero: UBO-TSUF
Max risoluzione griglia: 40 m

Campi di Propagazione

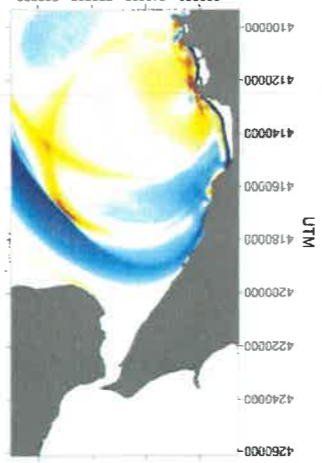
$t = 0 \text{ min}$



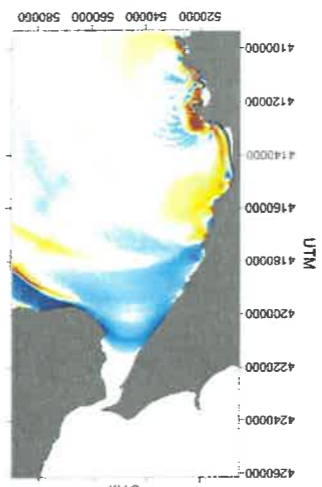
$t = 3 \text{ min}$



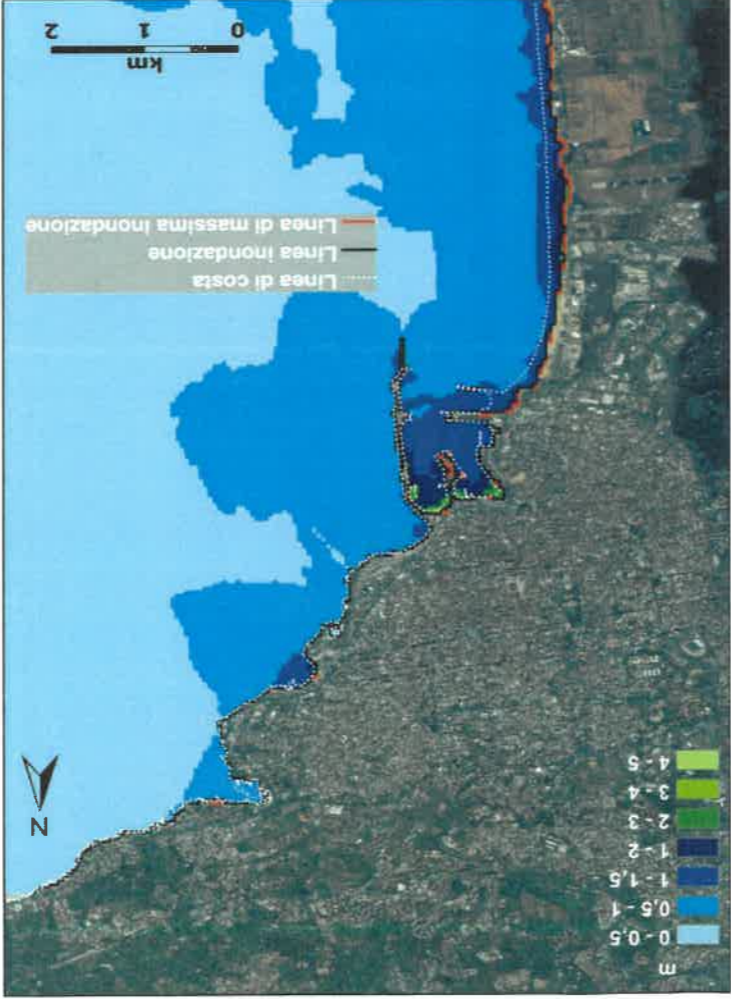
$t = 6 \text{ min}$



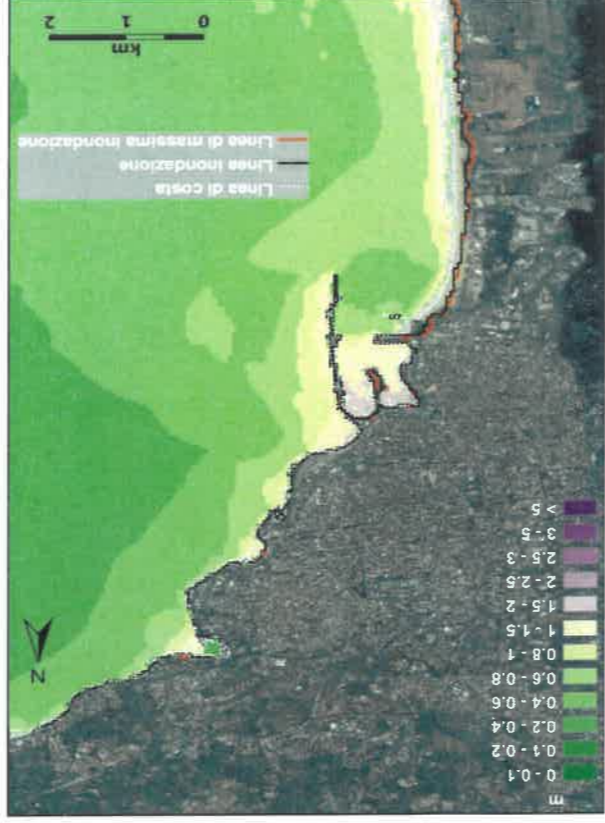
$t = 9 \text{ min}$



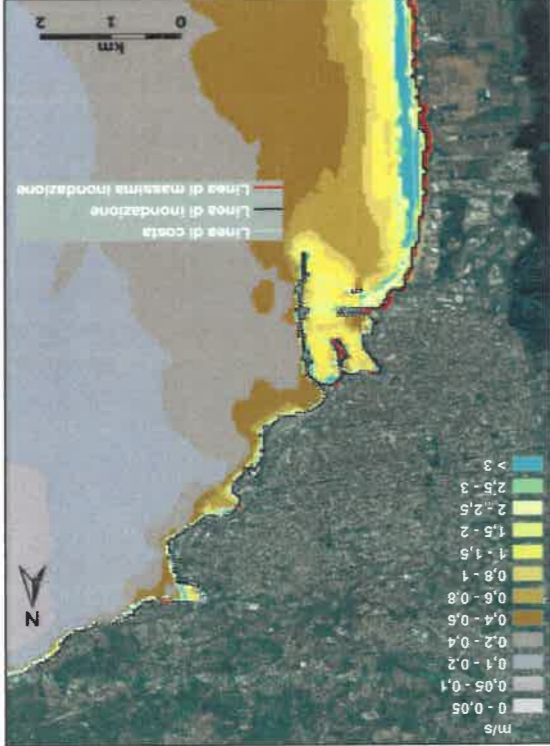
Massimo sollevamento del livello del mare



Massimo abbassamento del livello del mare



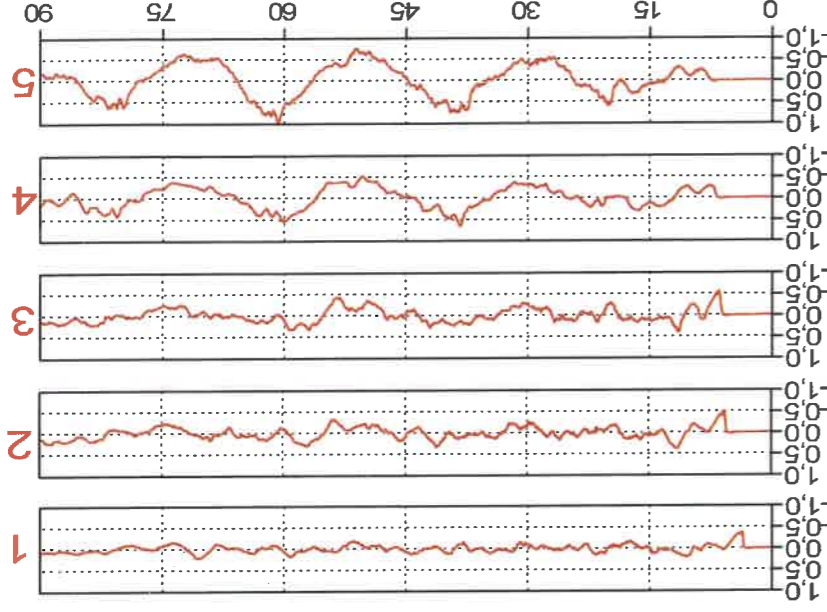
Massima velocità del flusso



Punti di calcolo dei maregrammi



Mareogrammi



Tempo (min)



Contract n° 030963



SCENARIO 2

Basato sul maremoto del 1693

Causa: terremoto

Carte di Scenario Locale

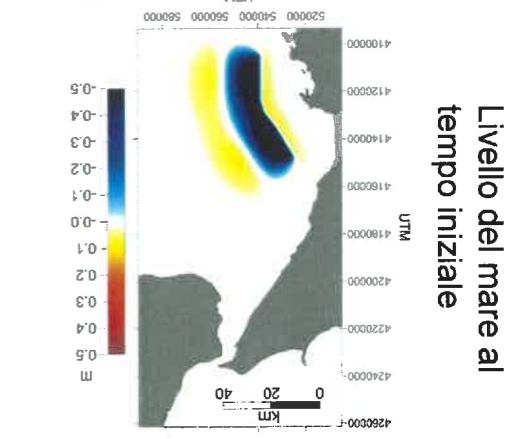
A scala locale (zoom sulla zona de La Plaia), il maremoto dello scenario 2 produce effetti molto limitati, assai minori rispetto a quelli dello scenario 1. La massima elevazione del livello del mare viene riscontrata all'interno del porto di Catania (circa 2 metri), mentre ne La Plaia si osservano run-up di 1-2 metri. La linea di inondazione (scenario di riferimento) penetra per una cinquantina di metri, mentre la linea di massima inondazione corre in alcuni punti a oltre 200 metri dalla costa. Essa corrisponde al caso in cui lo scorrimento del terremoto è incrementato convenzionalmente del 20% rispetto a quello dello scenario di riferimento.



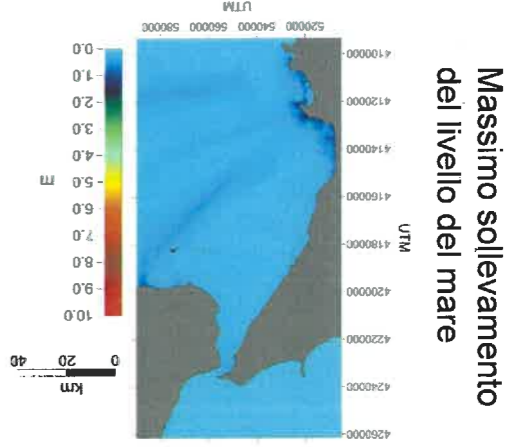
SCENARIO LOCALE

SCENARIO 2

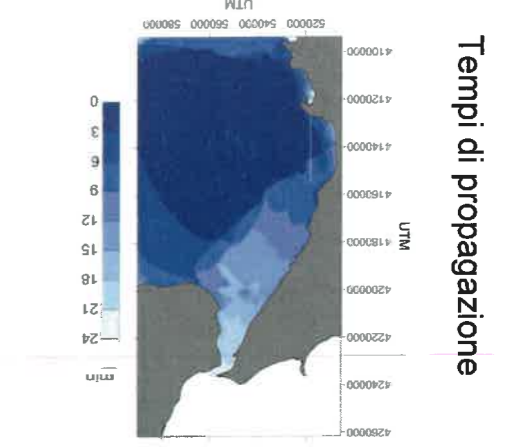
Basato sul maremoto del 1693
Causa: terremoto (Mw = 7.3)



Livello del mare al tempo iniziale



Massimo sollevamento del livello del mare

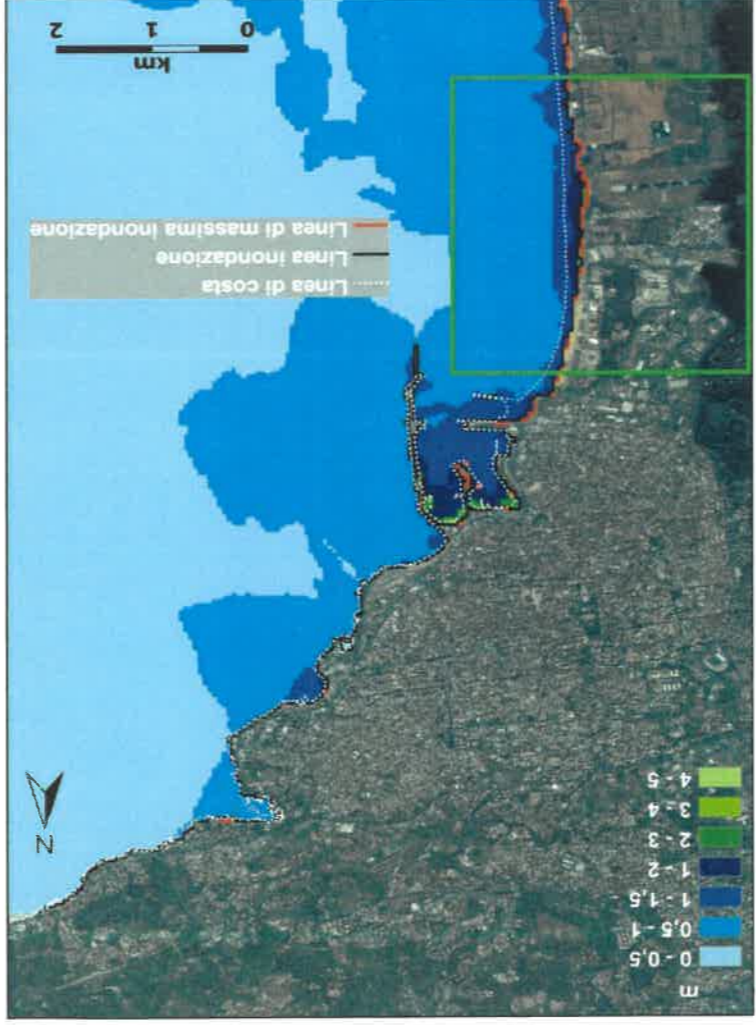


Tempi di propagazione

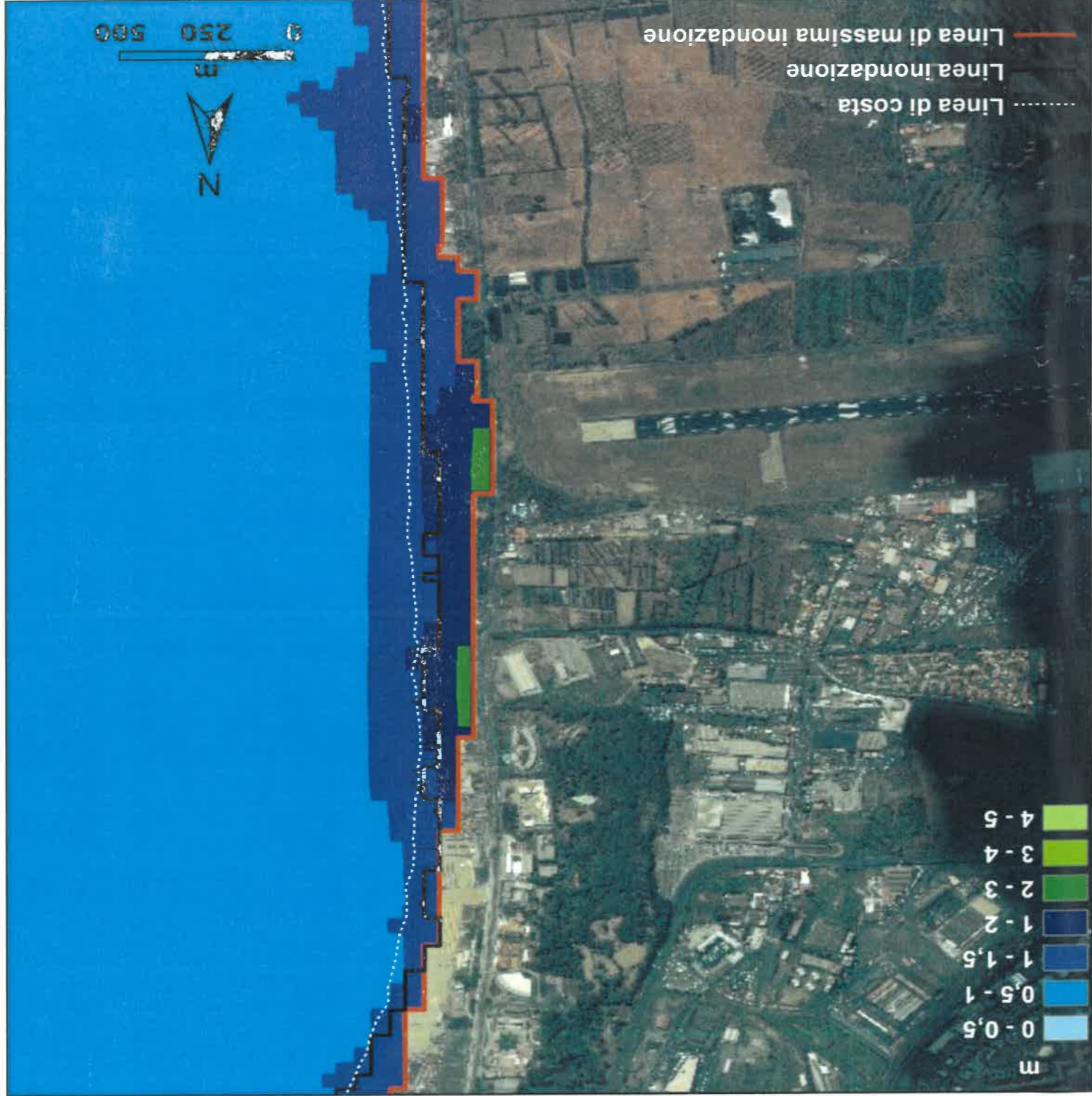
Parametri medi della faglia

Lunghezza = 47,6 km
Larghezza = 16,5 km
Strike = 342°
Dip = 35°
rake = 270°
Scorrimento = 1,6 m
Profondità = 0,5 km

Simulazione effettuata da Dip. Fisica, Università di Bologna
Codice Numero: UBO-TSUFD
Max risoluzione griglia: 40 m



Massimo sollevamento del livello del mare



Massimo sollevamento del livello del mare

Matrice di decisione adottata dall'CG/NEAMTWS: basata sulla magnitudo del terremoto, la distanza dalla sorgente dalla costa e la profondità ipocentrale. Lo scenario considerato darà luogo al massimo livello di allerta

Profondità	Localizzazione (M _w)	Potenziale del maremoto	Tipo di bollettino
< 100 km	In mare o in prossimità del mare (< 30 km)	5,5 to 6,0 locale 5,5 to 6,0 to 6,5 potenziale per un maremoto locale regionale	Nota informativa
> 100 km	Ovunque	≥ 5,5 Nessun potenziale di generazione di maremoto 5,5 to 6,5 Nessun potenziale di generazione di maremoto	Nota informativa

Run-up	Altezza dell'onda	Effetti attesi
> 1m	< 0,2-0,5 m	Correnti anomale, onde anomale di marea (bore), ritiro del mare, danni nei porti, piccole imbarcazioni trascinate sulla spiaggia
> 0,5 m	> 0,5 m	Inondazione delle coste

Corrispondenza fra tipo di bollettino ed effetti a costa secondo lo schema adottato dall'CG/NEAMTWS



Contract n° 030963



SCENARIO 3

Basato sul maremoto del 1693

Causa: frana

Carte di Scenario Regionale

In questo caso lo scenario basato sul maremoto del 1693 utilizza una sorgente alternativa rispetto al terremoto. Si tratta di una frana sottomarina, il cui movimento è stato simulato con uno specifico codice numerico sviluppato da UNIBOL. Il codice considera la massa come una matrice di blocchi interagenti, che conservano il proprio volume pur modificando la loro forma, e calcola la velocità e la posizione istantanea di ogni blocco durante lo scioglimento della frana. La frana muovendosi sott'acqua produce una variazione locale del fondo marino che si alza e si abbassa in corrispondenza del suo passaggio e di conseguenza anche il livello del mare localmente cambia, dando luogo al maremoto. Tecnicamente, l'effetto del movimento della frana sul livello del mare viene espresso attraverso delle funzioni di impulso che rappresentano la variazione locale del livello del mare forzato dalla frana. Il maremoto generato non è di grandi dimensioni, anzi risulta il più debole fra i casi considerati in questo studio. Il maremoto si propaga radialmente dalla sorgente, ed è composto da una fitta serie di creste e ventri. Le onde sono di piccola lunghezza, il che segna una notevole differenza con i maremoti di origine sismica.

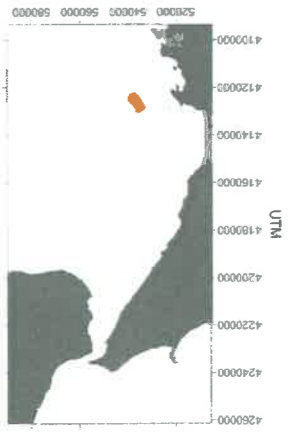
Nel caso della frana, lo studio di sensibilità del maremoto alla variazione dei parametri di sorgente viene effettuato aumentando del 20% convenzionale l'intensità delle funzioni di impulso menzionate in precedenza.



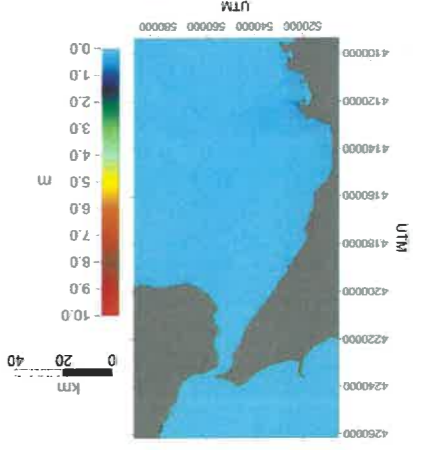
SCENARIO REGIONALE

SCENARIO 3
 Basato sul maremoto del 1693
 Causa: frana

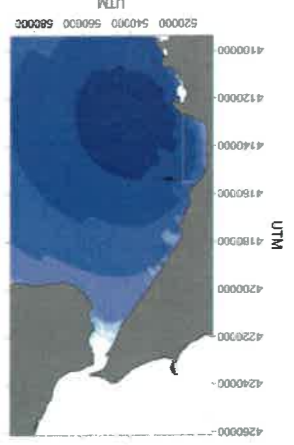
Posizione iniziale della frana



Massimo sollevamento del livello del mare



Tempi di propagazione

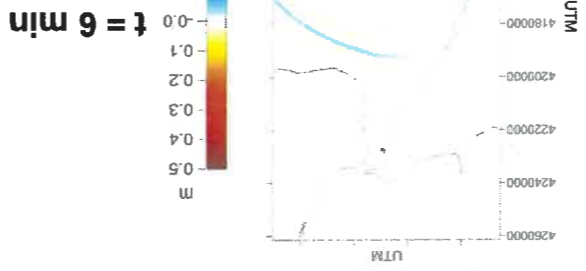
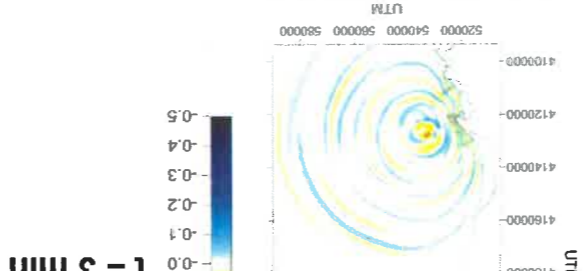
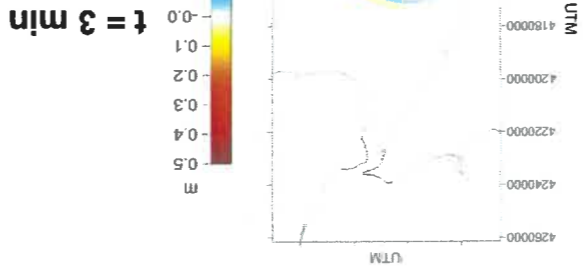
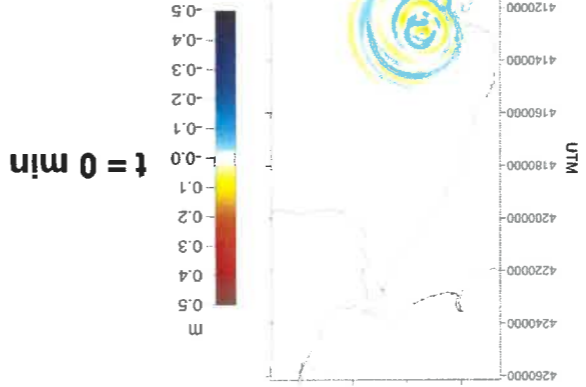


Parametri della frana

Volume = 4,81 km³
 Massa = 12,75 · 10⁹ kg
 Massimo spessore = 250 m
 Profondità minima della nicchia di distacco ~ 1850 m
 Massima distanza percorsa ~ 200 m

Simulazione effettuata da Dip. Fisica, Università di Bologna
 Codici Numerici: UBO-BLOCK1 e UBO-TSUF
 Max risoluzione griglia: 40 m

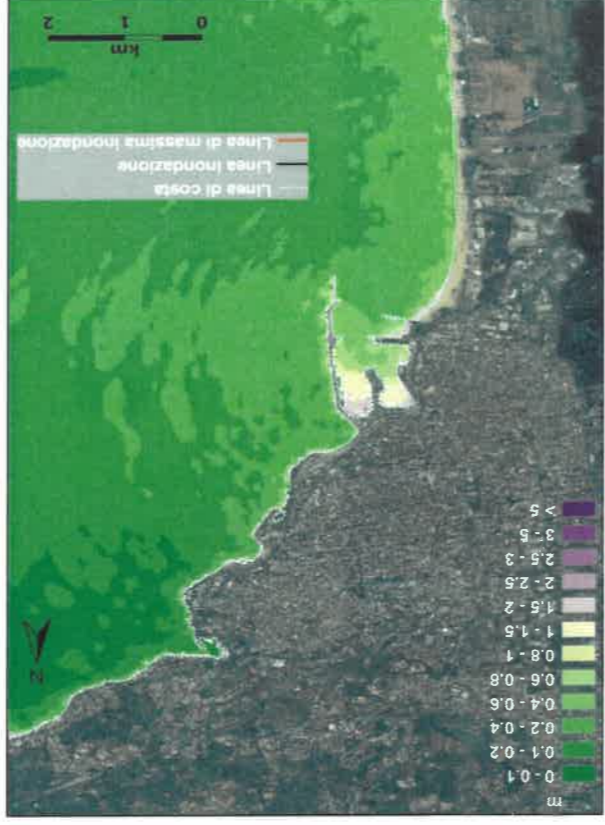
Campi di Propagazione



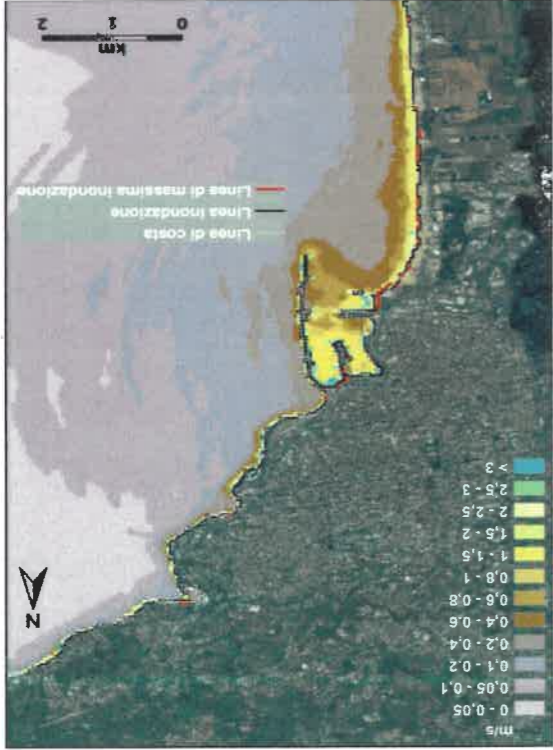
Massimo sollevamento del livello del mare



Massimo abbassamento del livello del mare



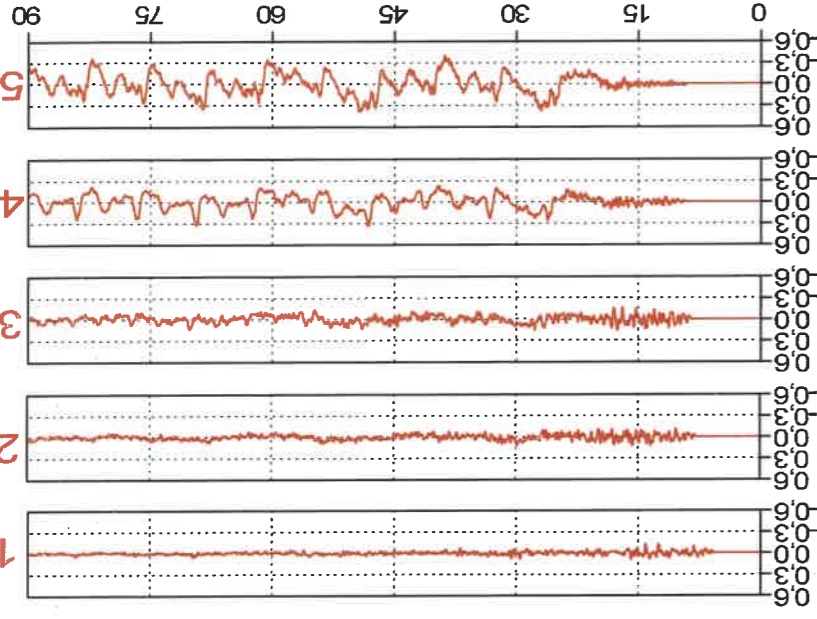
Massima velocità del flusso



Punti di calcolo dei maregrammi



Mareogrammi



SCHEMA
 Contract n° 030963



SCENARIO 3

Basato sul maremoto del 1693

Causa: frana

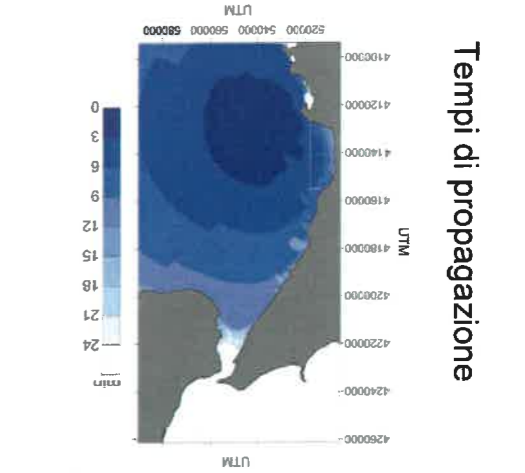
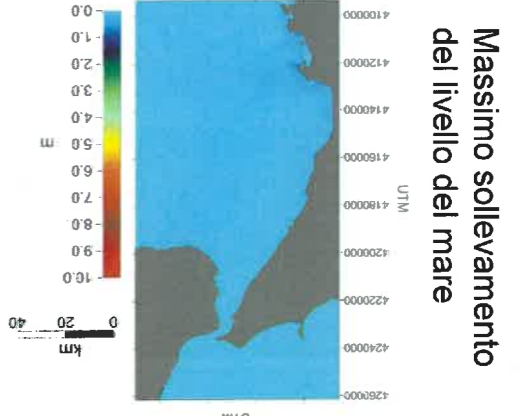
Carte di Scenario Locale

Alla scala locale viene confermato ciò che è stato osservato per la scala regionale: il maremoto generato in questo scenario è assolutamente trascurabile nei suoi effetti nella zona de La Plaia. Solo dentro al porto, dove il maremoto viene amplificato, si ha un segnale rilevante. La linea di inondazione e di massima inondazione (con incremento convenzionale del 20% degli impulsi esercitati dalla frana sul livello del mare) si distinguono solo in brevi tratti dalla linea di costa. Ciò indica che la penetrazione del maremoto è modesta.



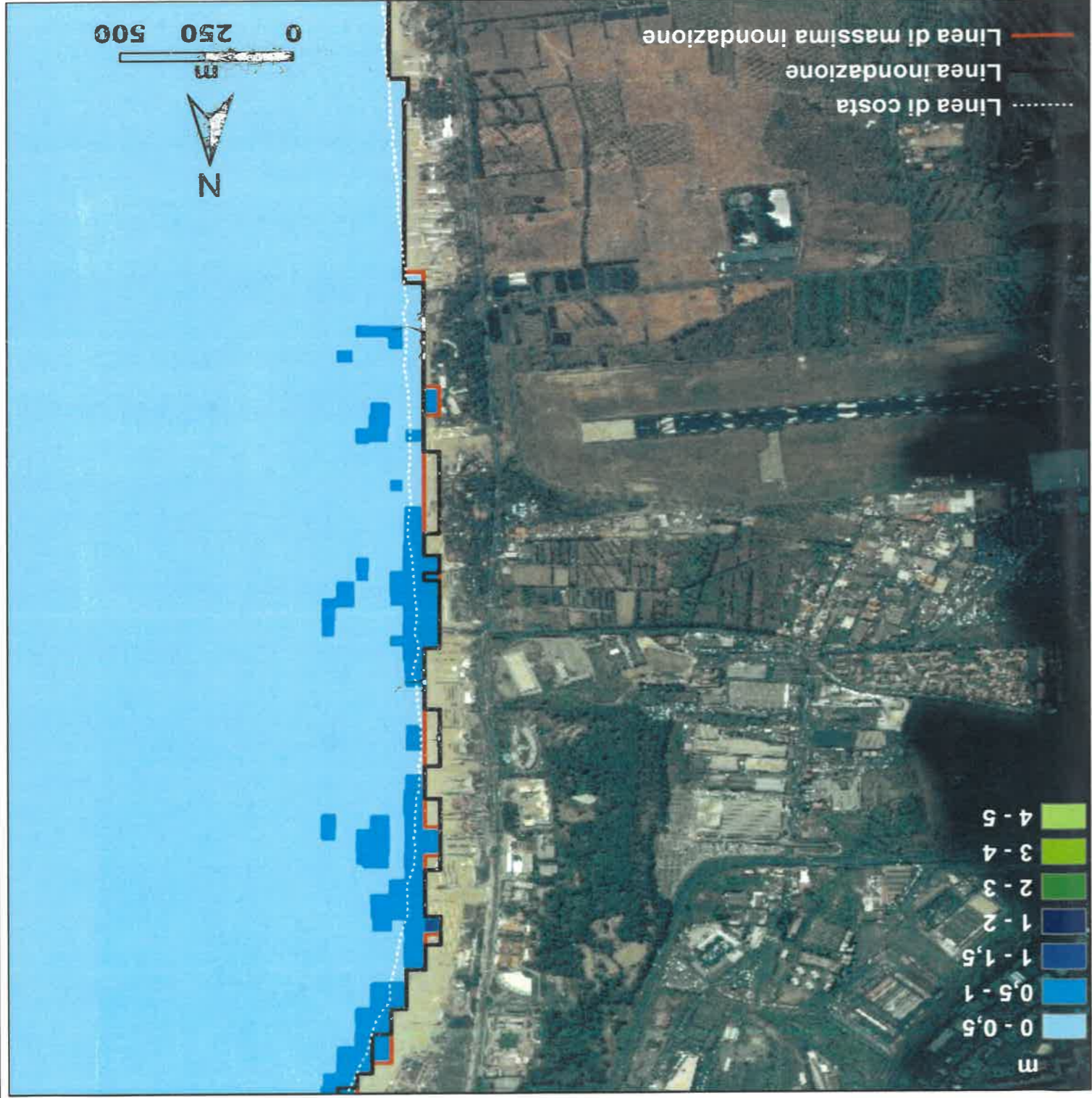
SCENARIO LOCALE

SCENARIO 3
 Basato sul maremoto del 1693
 Causa: frana



Parametri della frana
 Volume = 4,81 km³
 Massa = 12,75 · 10⁹ kg
 Massimo spessore = 250 m
 Profondità minima della nicchia di distacco ~ 1850 m
 Massima distanza percorsa ~ 200 m

Simulazione effettuata da Dip. Fisica, Università di Bologna
 Codici Numerici: UBO-BLOCK1 e UBO-TSUFD
 Max risoluzione griglia: 40 m



Matrice di decisione adottata dall'ICG/NEAMTWS: basata sulla magnitudo del terremoto, la distanza della sorgente della costa e la profondità ipocentrale. Lo scenario considerato riguarda un maremoto generato da frana, pertanto in questo caso la matrice di decisione non viene applicata

Profondità	Localizzazione	(M _w)	Potenziale del maremoto	Tipo di bollettino
< 100 km	In mare o in prossimità del mare (< 30 km)	5,5 to 6,0	Potenziale ridotto per un maremoto locale	Nota informativa
		6,0 to 6,5	Potenziale per un maremoto locale distruttivo < 100 km regionale	Avviso di possibile maremoto a scala regionale
		6,5 to 7,0	Potenziale per un maremoto regionale distruttivo < 400 km	Avviso per possibile maremoto a scala regionale
		≥ 7,0	Potenziale per un maremoto distruttivo ad ampio raggio > 400 km mediterranea	Allerta per possibile maremoto a scala mediterranea
A terra (> 30 km)		5,5	Nessun potenziale di generazione	Nota informativa
> 100 km	Ovunque	≥ 5,5	Nessun potenziale di generazione	Nota informativa

Corrispondenza fra tipo di bollettino ed effetti a costa secondo lo schema adottato dall'ICG/NEAMTWS

Allerta	Avviso	Run-up	Altezza dell'onda	Effetti attesi
	< 1m	> 1m	> 0,5 m	Correnti anomale, onde anomale di marea (bore), ritiro del mare, danni nei porti, piccole imbarcazioni trascinate sulla spiaggia
				Inondazione delle coste



Contract n° 030963

SCENARIO 4

Basato sul maremoto del 1908

Causa: terremoto

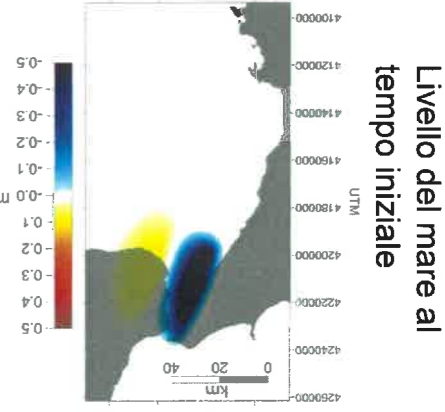
Carte di Scenario Regionale

Il maremoto risulta essere abbastanza debole al di fuori dello Stretto di Messina, tranne che nella zona costiera della Calabria meridionale e a sud di Catania, nella zona de La Plaia. Nello Stretto il maremoto è significativo soprattutto a Nord, tra Messina e Reggio Calabria, con più di due metri di elevazione, mentre al largo è molto debole. La perturbazione si manifesta inizialmente come una grande depressione del livello del mare nello Stretto, che si propaga con un fronte negativo (il che si traduce in un primo ritiro del mare a riva) verso Sud e colpisce l'area di Catania dopo 9 minuti.

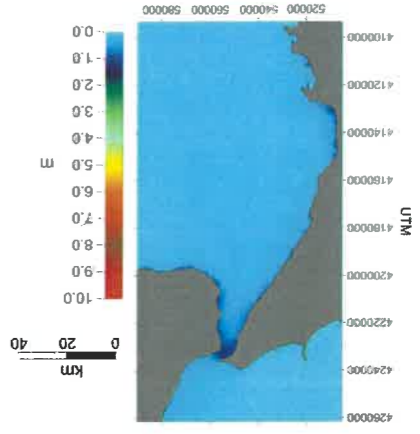


SCENARIO REGIONALE

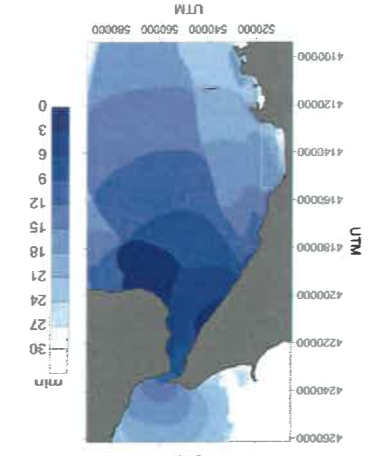
SCENARIO 4
 Basato sul maremoto del 1908
 Causa: terremoto (Mw = 7.0)



Livello del mare al tempo iniziale



Massimo sollevamento del livello del mare

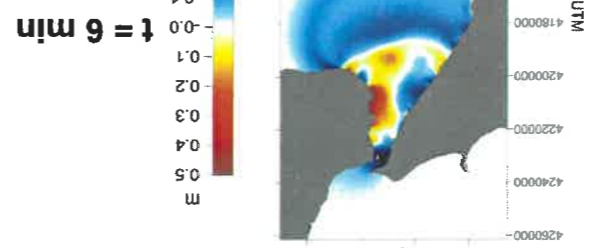
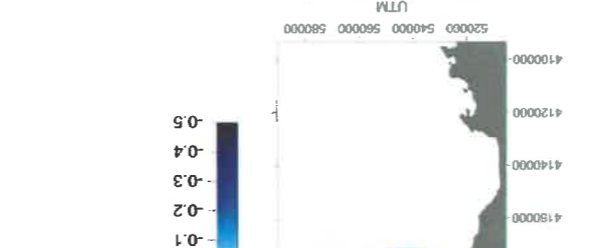
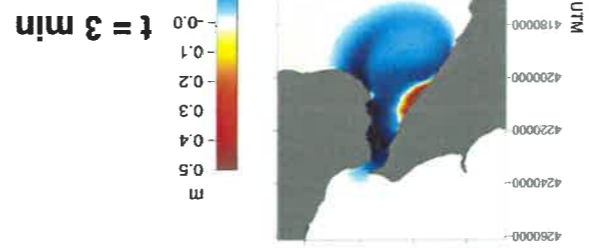
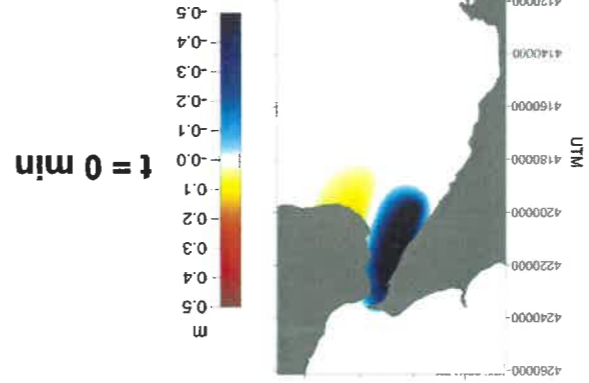


Tempi di propagazione

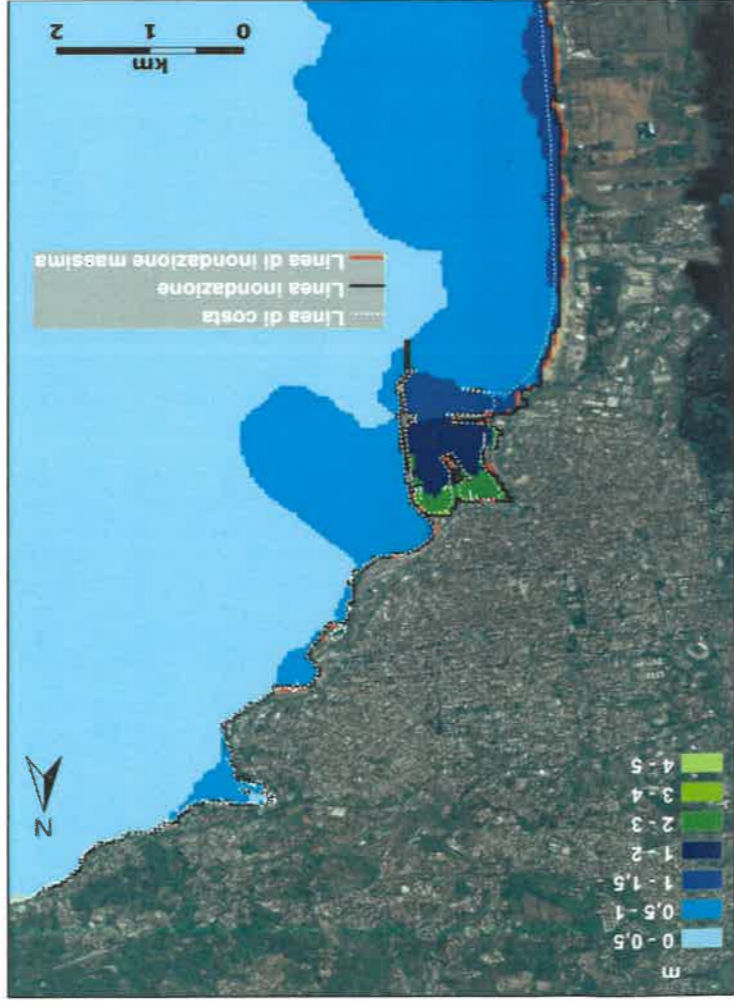
Parametri medi della faglia
 Lunghezza = 40 km
 Larghezza = 20 km
 Strike = 20°
 Dip = 29°
 Rake = 270°
 Scorrimento = 1.4 m
 Profondità = 3 km

Simulazione effettuata da Dip. Fisica, Università di Bologna
 Codice Numerico: UBO-TSUF0
 Max risoluzione griglia: 40 m

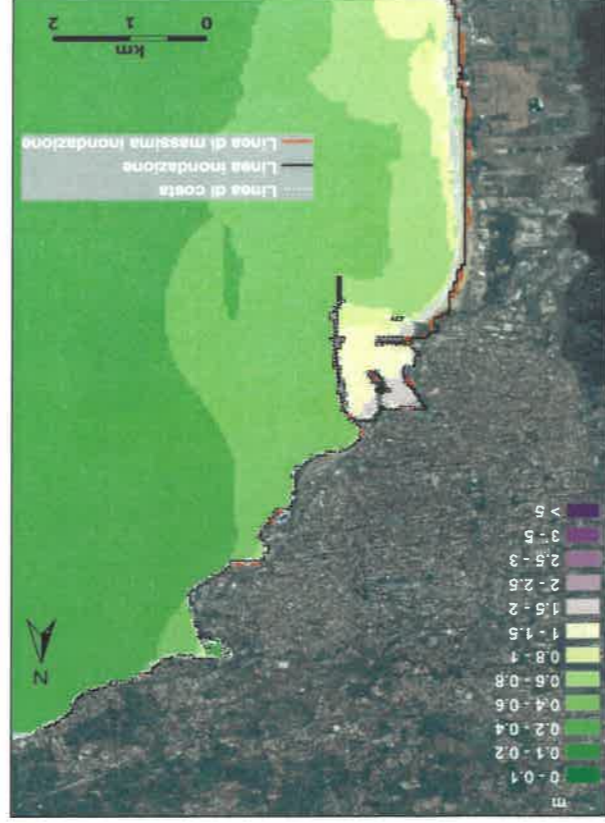
Campi di Propagazione



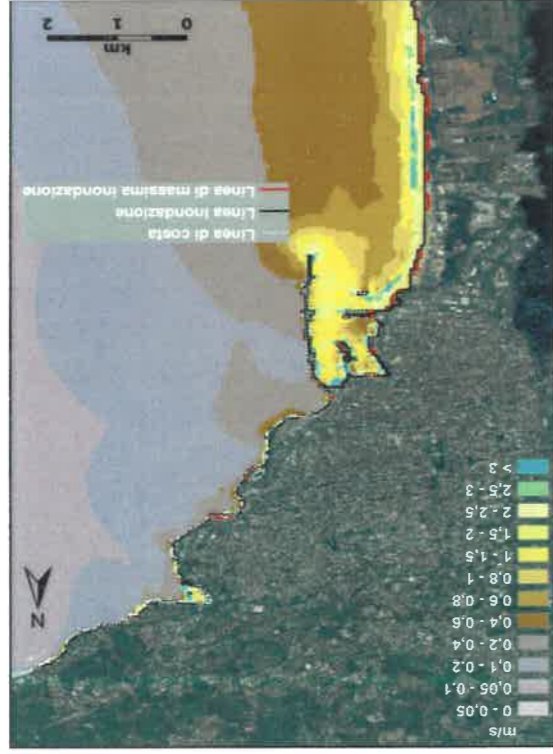
Massimo sollevamento del livello del mare



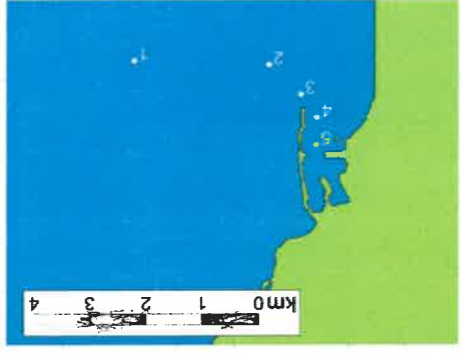
Massimo abbassamento del livello del mare



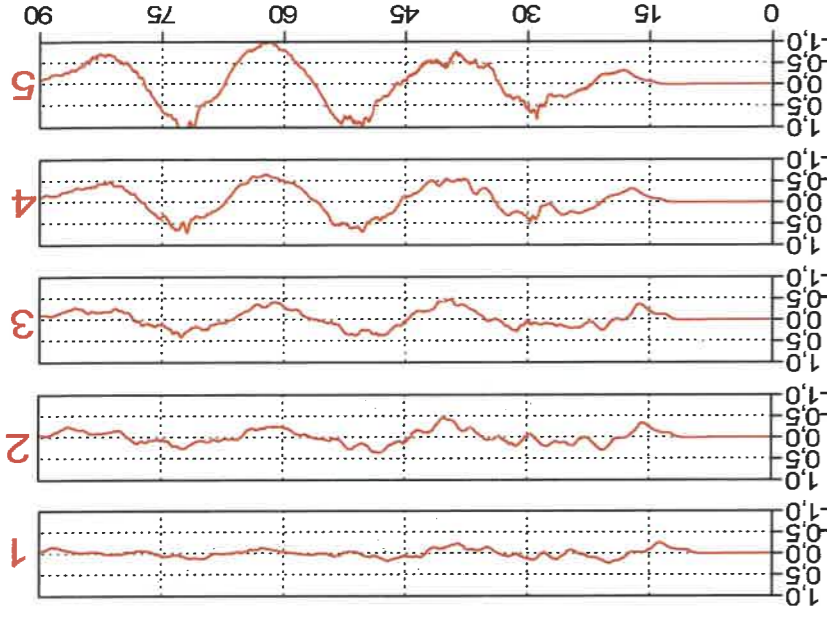
Massima velocità del flusso



Punti di calcolo dei maregrammi



Mareogrammi



Contract n° 030963



SCENARIO 4

Basato sul maremoto del 1908

Causa: terremoto

Carte di Scenario Locale

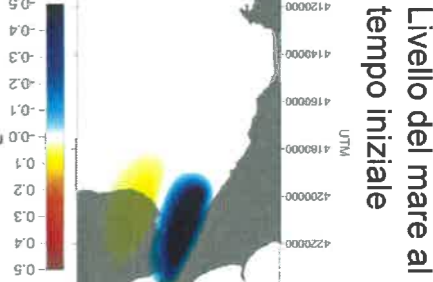
Nell'area di Catania il maremoto ha effetti non trascurabili. La massima elevazione del mare nella zona de La Plaia è di oltre 1 metro, mentre all'interno del porto si raggiungono i 3 metri. Il maremoto penetra mediamente per alcune decine di metri ne La Plaia. Non esiste significativa differenza fra lo scenario di riferimento e lo scenario con incremento convenzionale del 20% dello scorrimento sul piano di faglia. Le linee di inondazione e di massima inondazione sono molto simili.



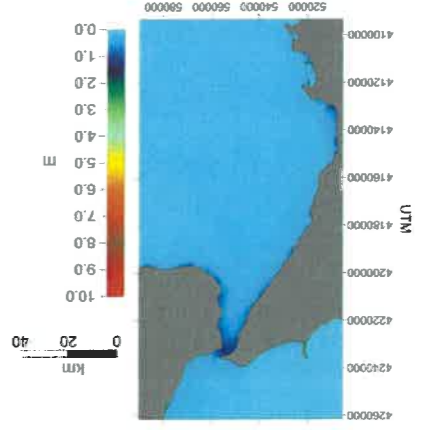
SCENARIO LOCALE

SCENARIO 4

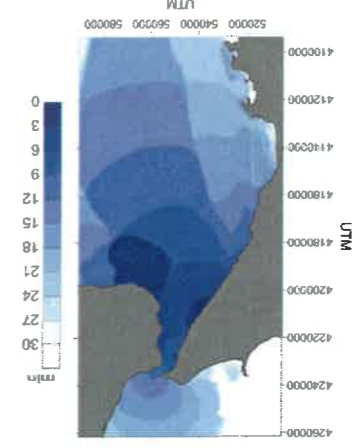
Basato sul maremoto del 1908
Causa: terremoto (Mw = 7.0)



Livello del mare al tempo iniziale



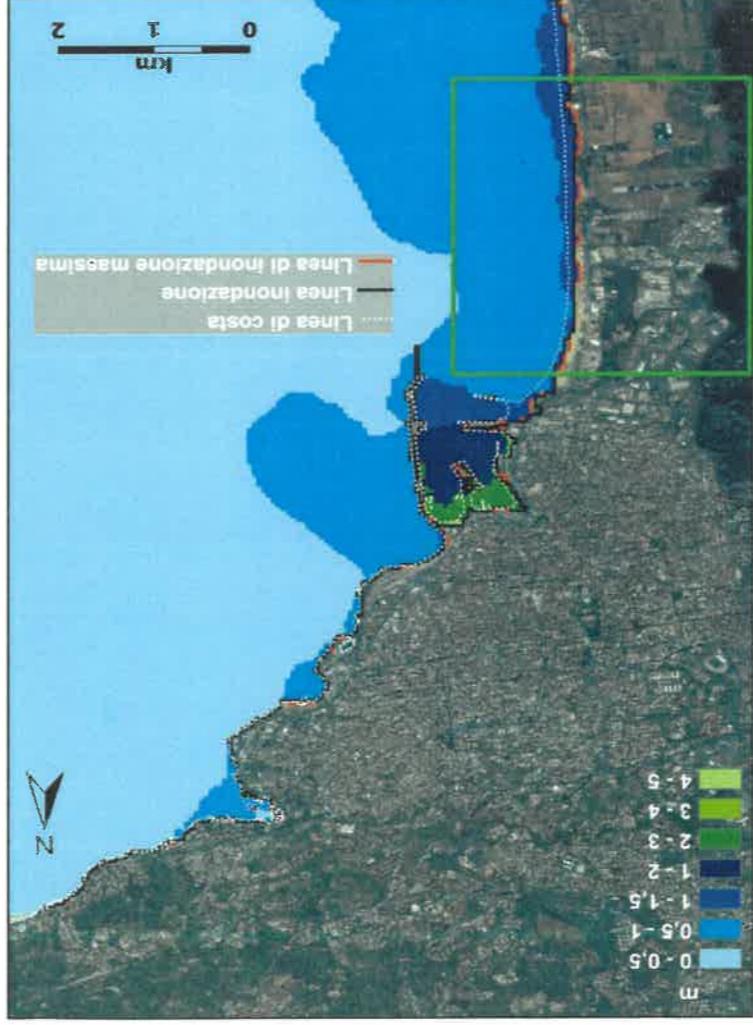
Massimo sollevamento del livello del mare



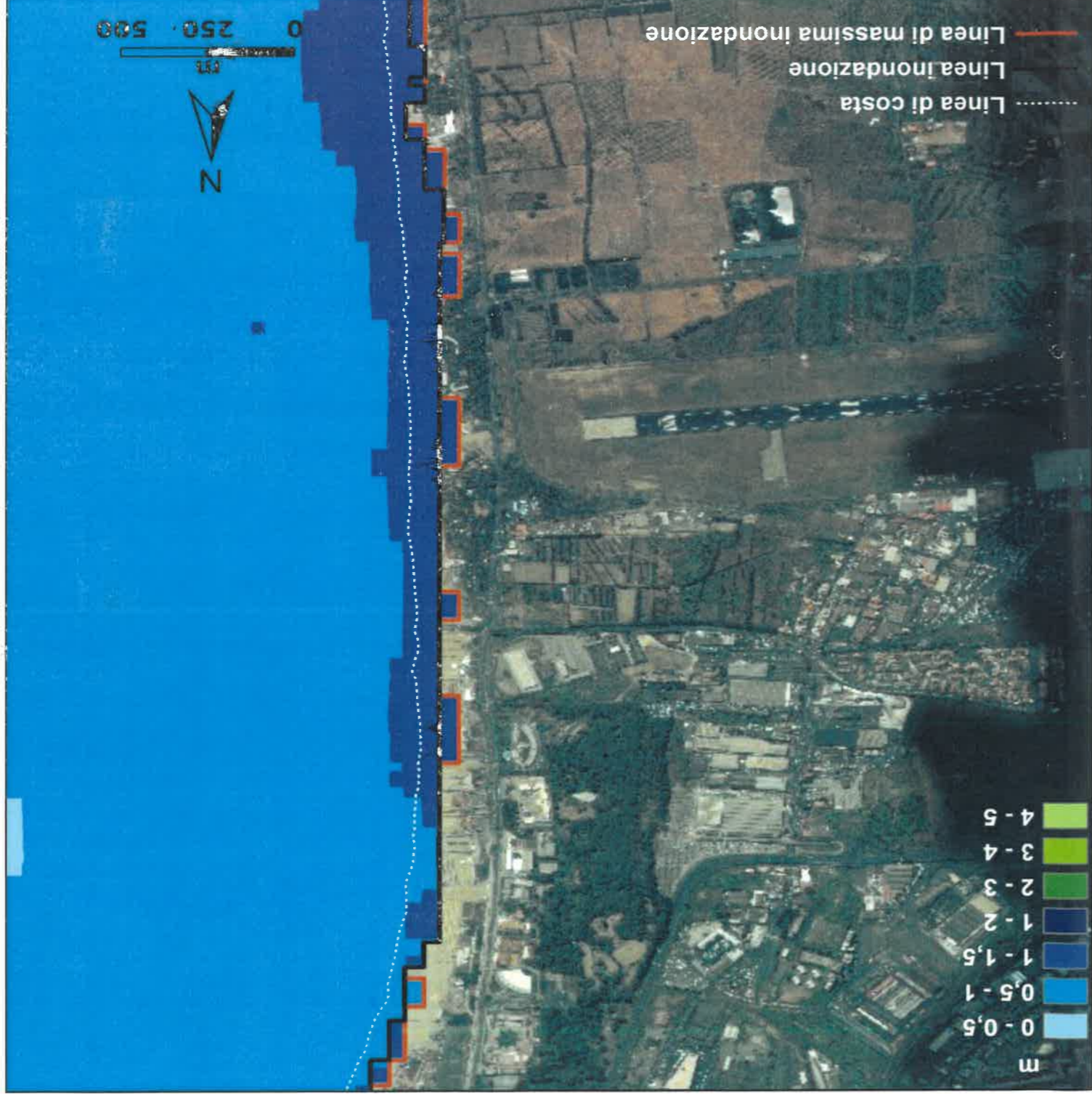
Parametri medi della faglia

Lunghezza = 40 km
Larghezza = 20 km
Strike = 20°
Dip = 29°
rake = 270°
Scorrimento = 1,4 m
Profondità = 3 km

Simulazione effettuata da Dip. Fisica, Università di Bologna
Codice Numero: UBO-TSUF-D
Max risoluzione griglia: 40 m



Massimo sollevamento del livello del mare



Massimo sollevamento del livello del mare

Matrice di decisione adottata dall'ICG/NEAMTWS: basata sulla magnitudo del terremoto, la distanza dalla sorgente dalla costa e la profondità ipocentrale. Lo scenario considerato darà luogo al massimo livello di allerta

Profondità	Localizzazione	(M _w)	Potenziale del maremoto	Tipo di bollettino
< 100 km	In mare o in prossimità del mare (< 30 km)	6,0 to 5,5	Potenziale ridotto per un maremoto locale	Nota informativa
		6,0 to 6,5	Potenziale per un maremoto locale	Avviso di possibile regionale
		6,5 to 7,0	Potenziale per un maremoto regionale	Allerta per possibile maremoto a scala regionale
		7,0 to ≥ 7,0	Potenziale per un maremoto distruttivo ad ampio raggio > 400 km	Allerta per possibile maremoto a scala mediterranea
A terra (> 30 km)		5,5	Nessun potenziale di generazione maremoto	Nota informativa
		≥ 5,5	Nessun potenziale di generazione maremoto	Nota informativa
> 100 km	Ovunque			

Run-up	Avviso	Altezza dell'onda	Effetti attesi
> 1m		> 0,5 m	Inondazione delle coste
< 1m	Avviso	0,2-0,5 m	Correnti anomale, onde anomale di marea (bore), ritiro del mare, danni nei porti, piccole imbarcazioni trascinate sulla spiaggia

Corrispondenza fra tipo di bollettino ed effetti a costa secondo lo schema adottato dall'ICG/NEAMTWS



Contract n° 030963



SCENARIO 5

Basato sul maremoto del 1908

Causa: terremoto e frana

Carte di Scenario Regionale

Lo scenario 5 si differenzia dal 4 per l'aggiunta di un contributo equivalente a quello apportato da una frana: esso prende la forma di una iniziale depressione statica che produce un primo arrivo negativo lungo la costa. La sorgente aggiuntiva non è una vera e propria frana, in quanto una massa franosa sottomarina nella zona non è ancora stata individuata con certezza dalle diverse indagini geofisiche effettuate, e quindi per il calcolo di questo scenario non viene applicato il codice di simulazione per la frana utilizzato nello scenario 3.

Il massimo sollevamento del livello del mare non mostra differenze significative rispetto allo scenario 4, pur avendo il chiaramente valori più alti: nella baia di Catania esso supera il metro, con tempi di arrivo inferiori a quelli già visti per lo scenario 4, in quanto la sorgente complessiva dello scenario 5 è più estesa verso Sud.

Il fronte del maremoto che si propaga verso Sud è un ventre molto profondo, seguito da una cresta. Il maremoto è amplificato in modo consistente dalla bassa profondità del mare nei pressi di Catania.

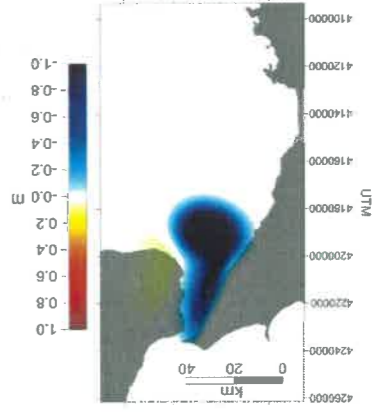


SCENARIO REGIONALE

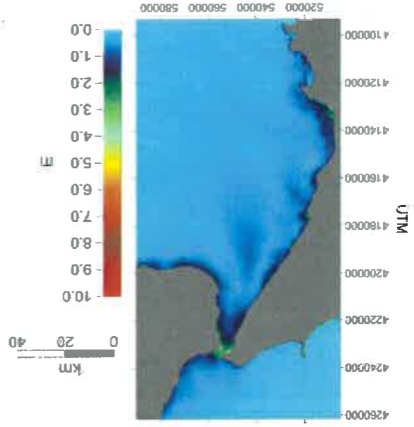
SCENARIO 5

Basato sul maremoto del 1908
Causa: terremoto e frana

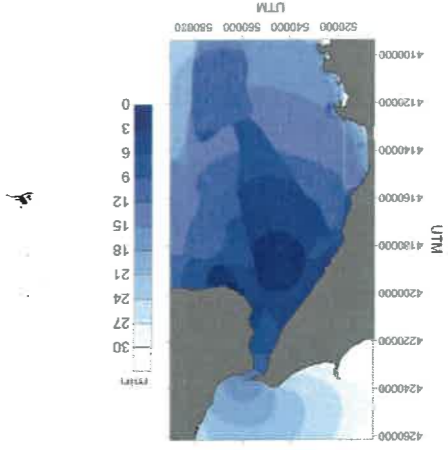
Livello del mare al tempo iniziale



Massimo sollevamento del livello del mare



Tempi di propagazione



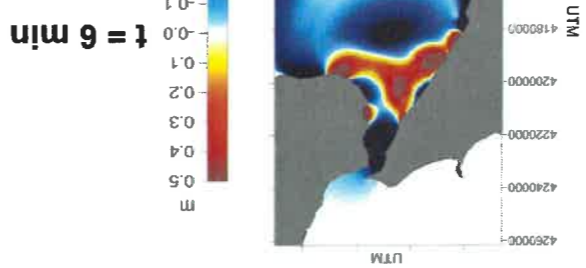
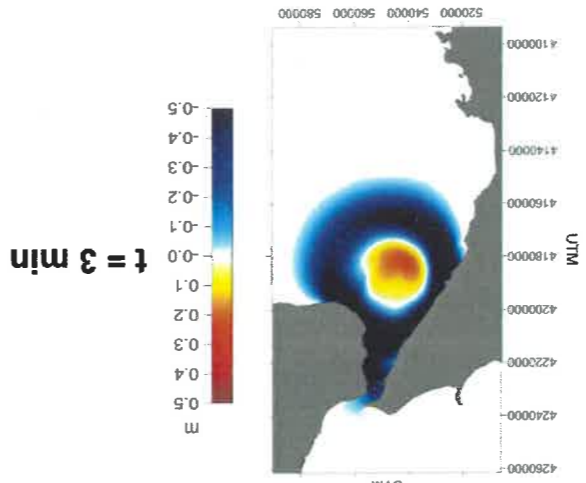
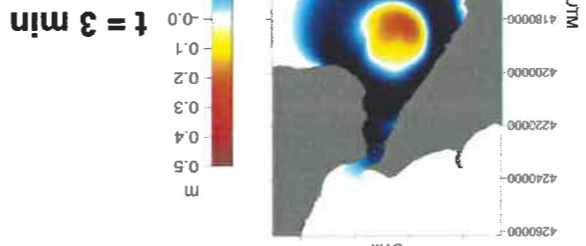
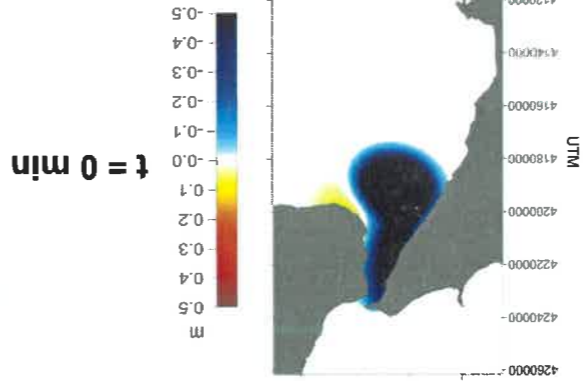
Parametri medi della faglia

Vedi Scenario 4

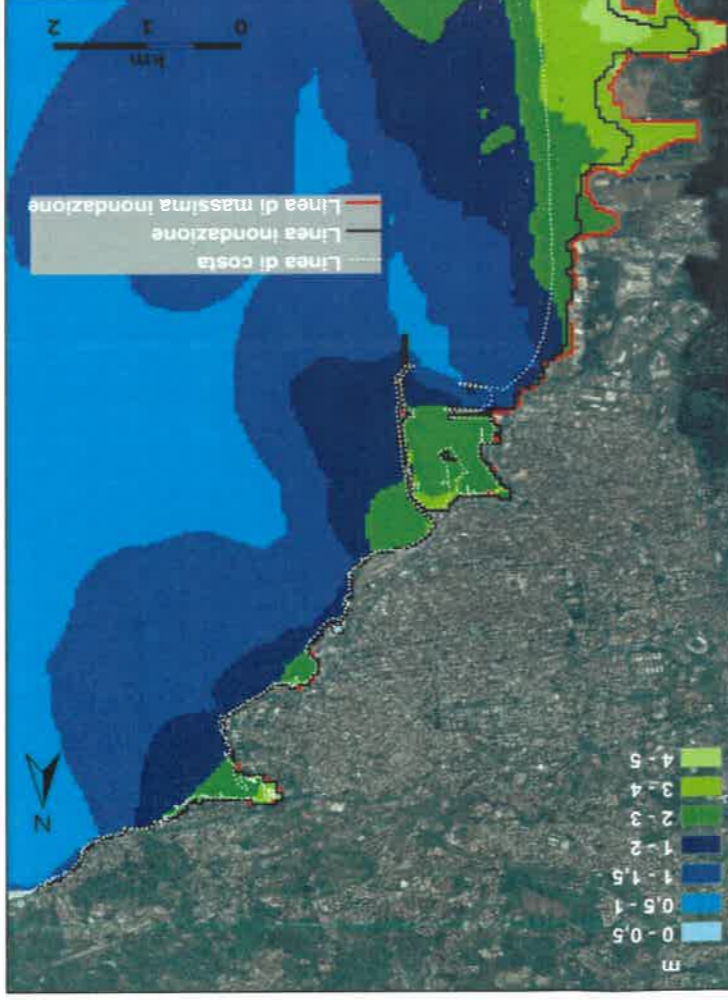
NOTA: alla sorgente dello scenario 4 è aggiunta una depressione iniziale del mare di forma ellittica

Simulazione effettuata da Dip. Fisica, Università di Bologna
Codice Numero: UBO-TSUFDF
Max risoluzione griglia: 40 m

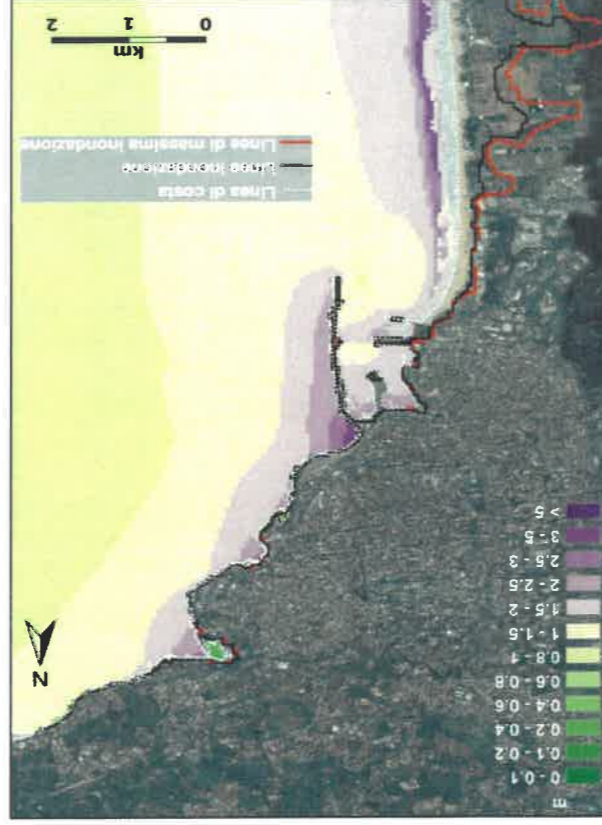
Campi di Propagazione



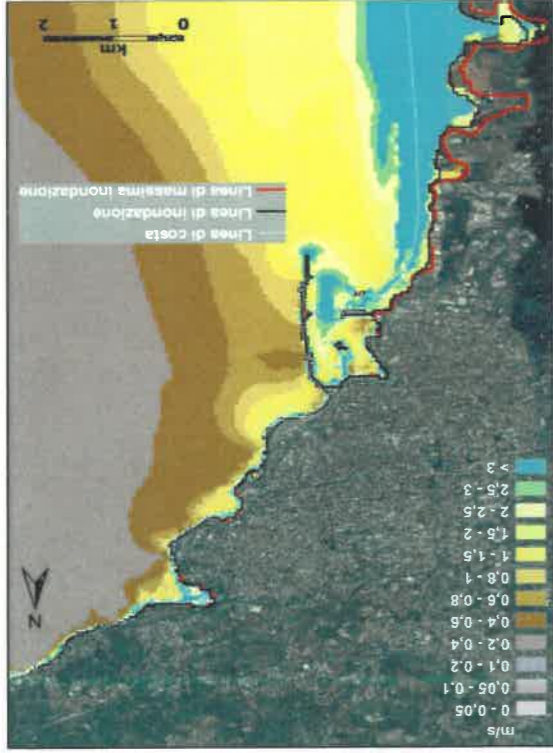
Massimo sollevamento del livello del mare



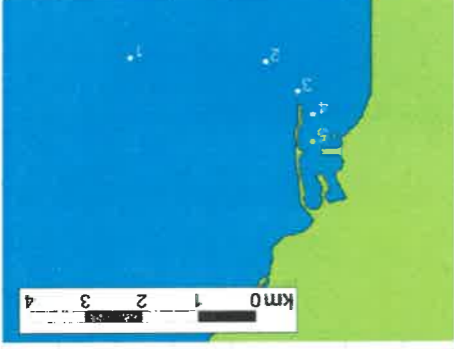
Elevazione (m)



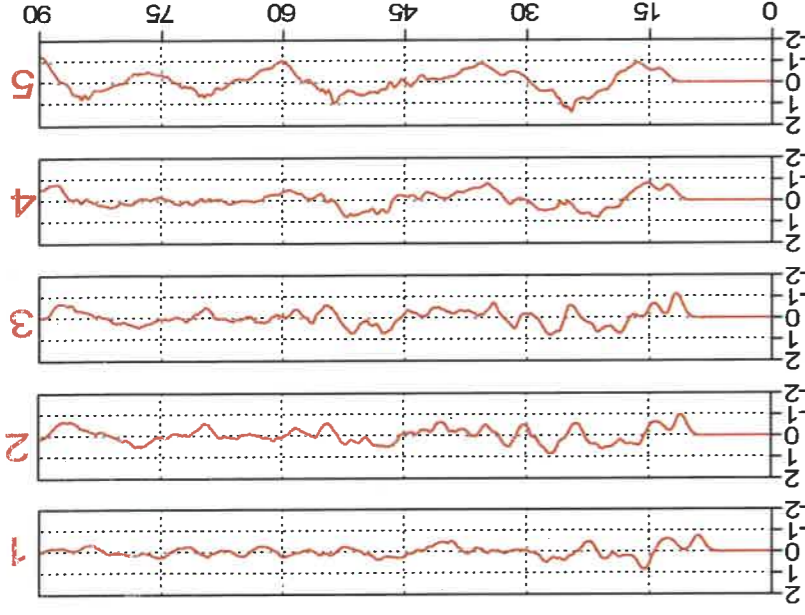
Massima velocità del flusso



Punti di calcolo dei mareogrammi



Mareogrammi



Contract n° 030963



SCENARIO 5

Basato sul maremoto del 1908

Causa : terremoto e frana

Carte di Scenario Locale

Gli effetti del maremoto dello scenario 5 sono più evidenti nella zona in esame rispetto a quelli dello scenario 4: l'area de La Plaia viene inondata fino a 1 km verso l'interno, con massimo sollevamento del livello del mare tra i 4 e i 5 metri. Il maremoto mostra un primo arrivo negativo, che si traduce in un ritiro del mare.

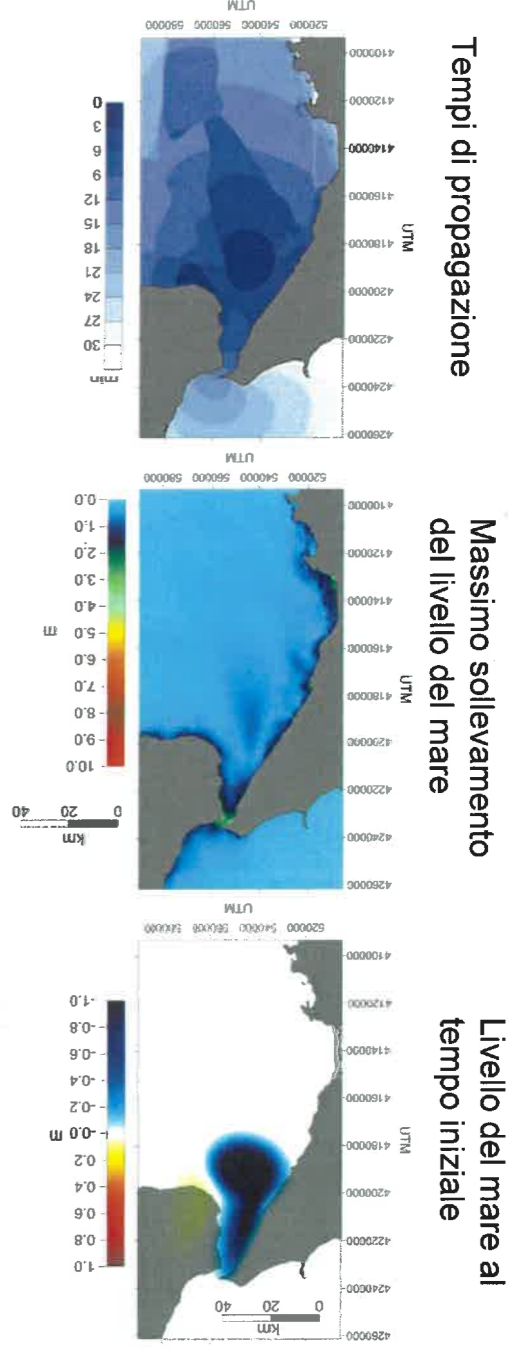
Le linee di inondazione e di massima inondazione sono in alcuni punti assai distanti. Ciò significa che l'aumento convenzionale del 20% delle condizioni iniziali del maremoto produce effetti importanti.



SCENARIO LOCALE

SCENARIO 5

Basato sul maremoto del 1908
Causa: terremoto e frana



Parametri medi della faglia

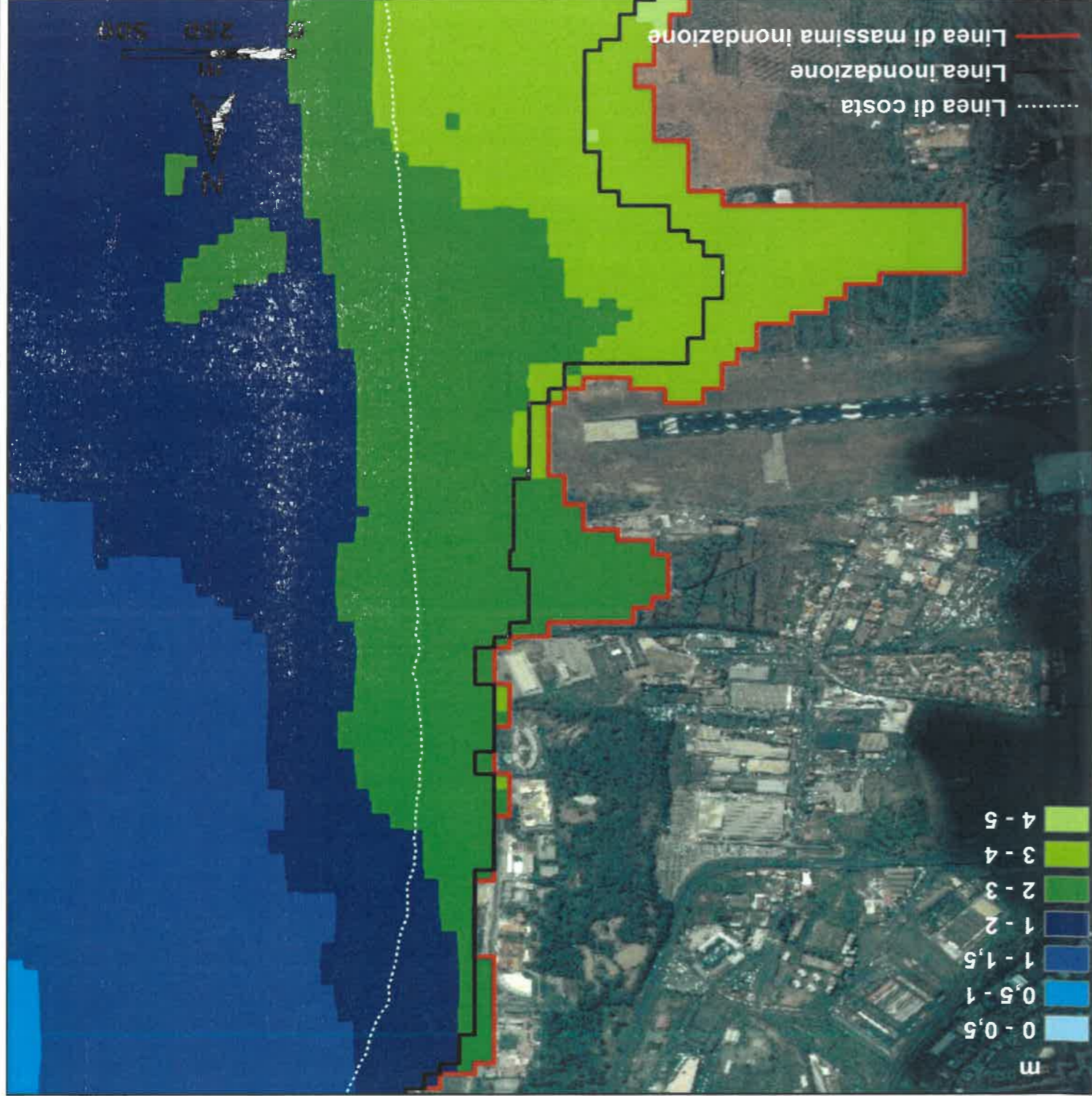
Vedi Scenario 4

NOTA: alla sorgente dello scenario 4 è aggiunta una depressione iniziale del mare di forma ellittica

Simulazione effettuata da Dip. Fisica, Università di Bologna
Codice Numero: UBO-TSUF
Max risoluzione griglia: 40 m



Massimo sollevamento del livello del mare



Massimo sollevamento del livello del mare

Matrice di decisione adottata dall'ICG/NEAMTWS: basata sulla magnitudo del terremoto, la distanza dalla sorgente dalla costa e la profondità ipocentrale. Lo scenario considerato darà luogo al massimo livello di allerta

Profondità	Localizzazione	(M _w)	Potenziale del maremoto	Tipo di bollettino
< 100 km	In mare o in prossimità del mare (< 30 km)	6.0 to 6.5	Potenziale ridotto per un maremoto locale	Nota informativa
< 100 km	6.0 to 6.5	Potenziale per un maremoto locale	Avviso di possibile maremoto a scala regionale	Allerta
> 100 km	6.5 to 7.0	Potenziale per un maremoto regionale distruttivo < 400 km	Avviso per possibile maremoto a scala regionale	Allerta
> 100 km	7.0	Potenziale per un maremoto regionale distruttivo < 400 km	Avviso per possibile maremoto a scala regionale	Allerta
> 100 km	≥ 7.0	Potenziale per un maremoto distruttivo ad ampio raggio > 400 km	Allerta per possibile maremoto a scala mediterranea	Run-up
> 100 km	5.5	Nessun potenziale di generazione maremoto	Nota informativa	Altezza dell'onda
> 100 km	5.5	Nessun potenziale di generazione maremoto	Nota informativa	Altezza dell'onda
> 100 km	≥ 5.5	Nessun potenziale di generazione maremoto	Nota informativa	Altezza dell'onda

Run-up	Altezza dell'onda	Effetti attesi
> 1m	> 0.5 m	Correnti anomale, onde anomale di marea (bore), ritiro del mare, danni nei porti, piccole imbarcazioni trascinate sulla spiaggia
< 1m	0.2-0.5 m	Correnti anomale, onde anomale di marea (bore), ritiro del mare, danni nei porti, piccole imbarcazioni trascinate sulla spiaggia

Corrispondenza fra tipo di bollettino ed effetti a costa secondo lo schema adottato dall'ICG/NEAMTWS



Contract n° 030963

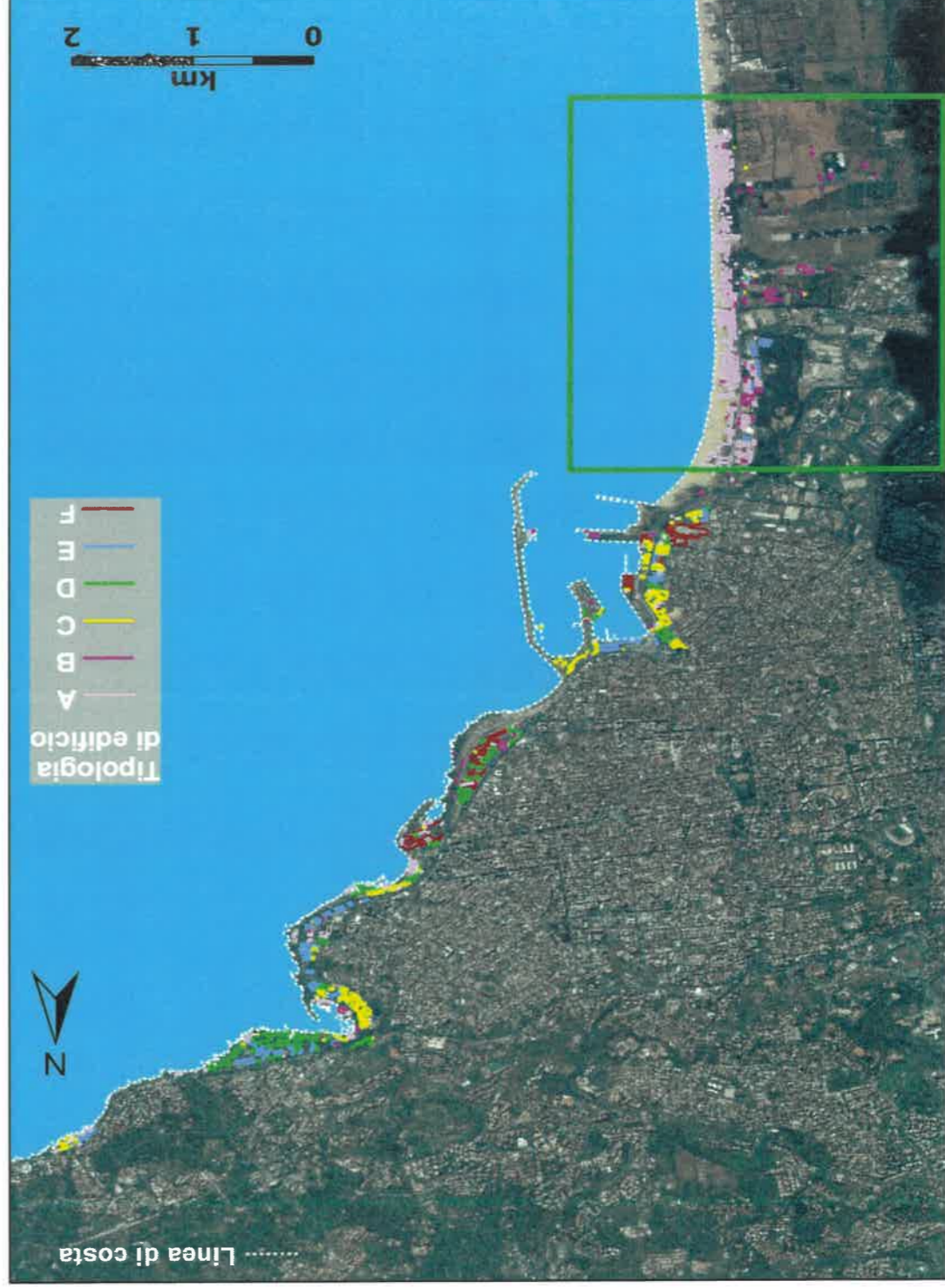


Vulnerabilità: classificazione di edifici e strade

La stima del danno sugli edifici è effettuata seguendo la tecnica adottata da tutti i partner del progetto SCHEMA. L'analisi di vulnerabilità applicata agli edifici è basata sulla classificazione degli edifici in otto categorie o classi (da A a H) utilizzata da tutti i partner e per ognuna delle cinque aree test del progetto. Di queste solo sei classi sono applicabili all'area di Catania. La classificazione degli edifici nel sito di Catania è stata effettuata utilizzando dati da satelliti, con rilevamenti diretti sul posto che sono serviti per risolvere situazioni di ambiguità o incertezza. L'area censita copre la parte costiera potenzialmente inondata da maremoto secondo quanto emerge dall'analisi degli scenari illustrati nelle pagine precedenti dell'Atlante. Il numero totale di edifici catalogati è 879, dei quali oltre 400 assegnati alla classe A che include le costruzioni "leggere", le più vulnerabili ai maremoti. Per quanto riguarda il sistema viario, si osserva che la zona in esame (La Plaia) è caratterizzata da una litoranea che costeggia la spiaggia, per tutta la sua lunghezza, mentre praticamente non esistono vie di fuga verso l'interno.



Classificazione degli edifici in zona costiera per la città di Catania

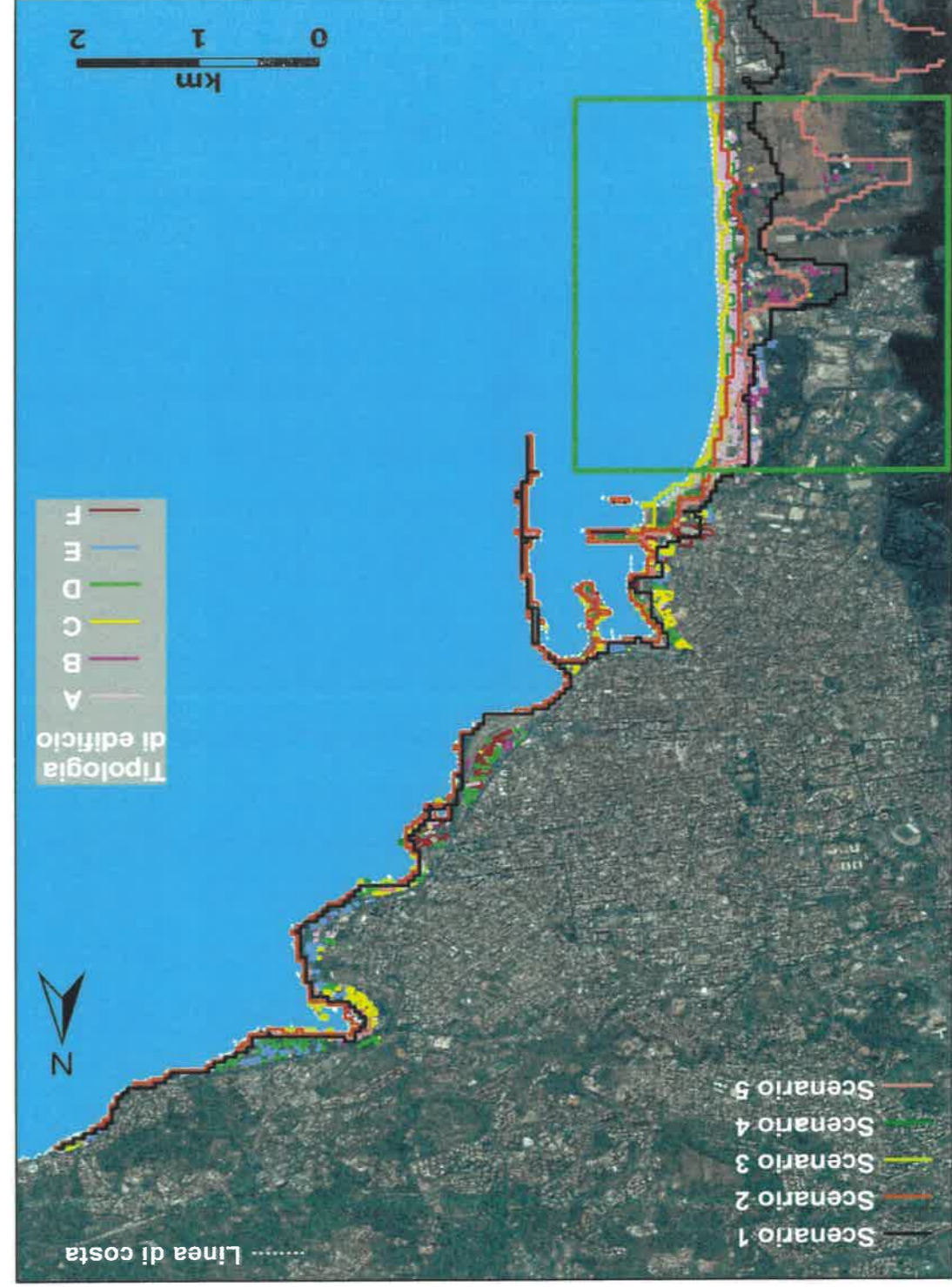


Numero di edifici per tipologia (nella zona de La Plaia):

A (Costruzioni leggere):	412	(314)
B (Costruzioni di mattoni)	100	(70)
C (Costruzioni miste):	142	(6)
D (Costruzioni di cemento armato inferiori a 3 piani):	126	(3)
E (Costruzioni di cemento armato pari o superiori a 3 piani)	55	(10)
F (Industrie e opifici):	44	(0)
Totale	879	(403)

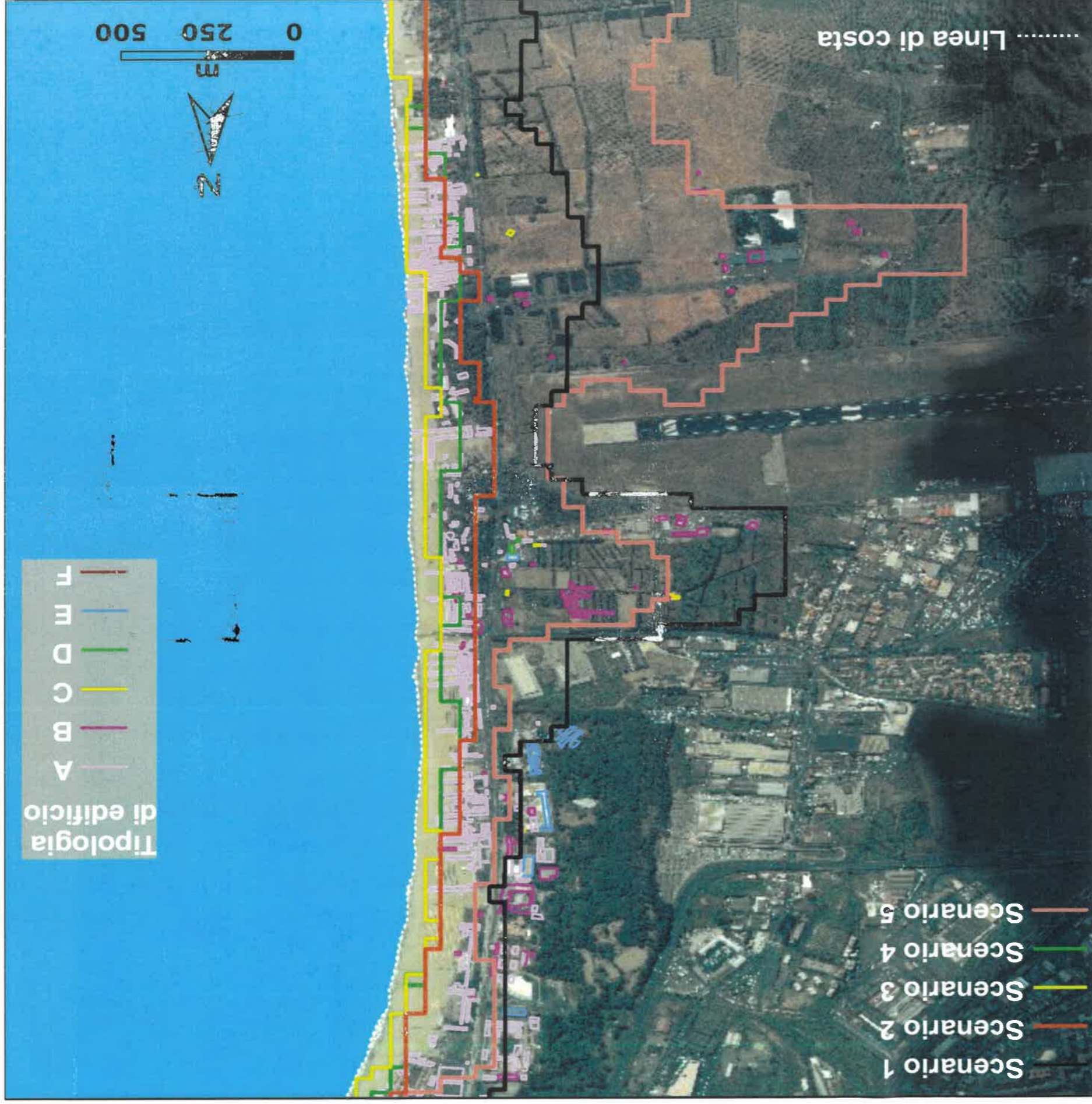


Classificazione degli edifici in zona costiera (con linee di massima inondazione degli scenari)

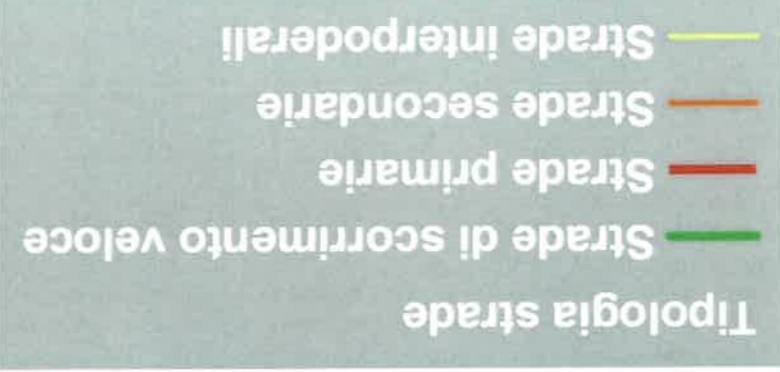


Numero di edifici per tipologia (nella zona de La Plaia):

A (Costruzioni leggere):	412 (314)
B (Costruzioni di mattoni)	100 (70)
C (Costruzioni miste):	142 (6)
D (Costruzioni di cemento armato inferiori a 3 piani):	126 (3)
E (Costruzioni di cemento armato pari o superiori a 3 piani)	55 (10)
F (Industrie e opifici):	44 (0)
Totale	879 (403)



Classificazione delle strade in zona costiera per la città di Catania



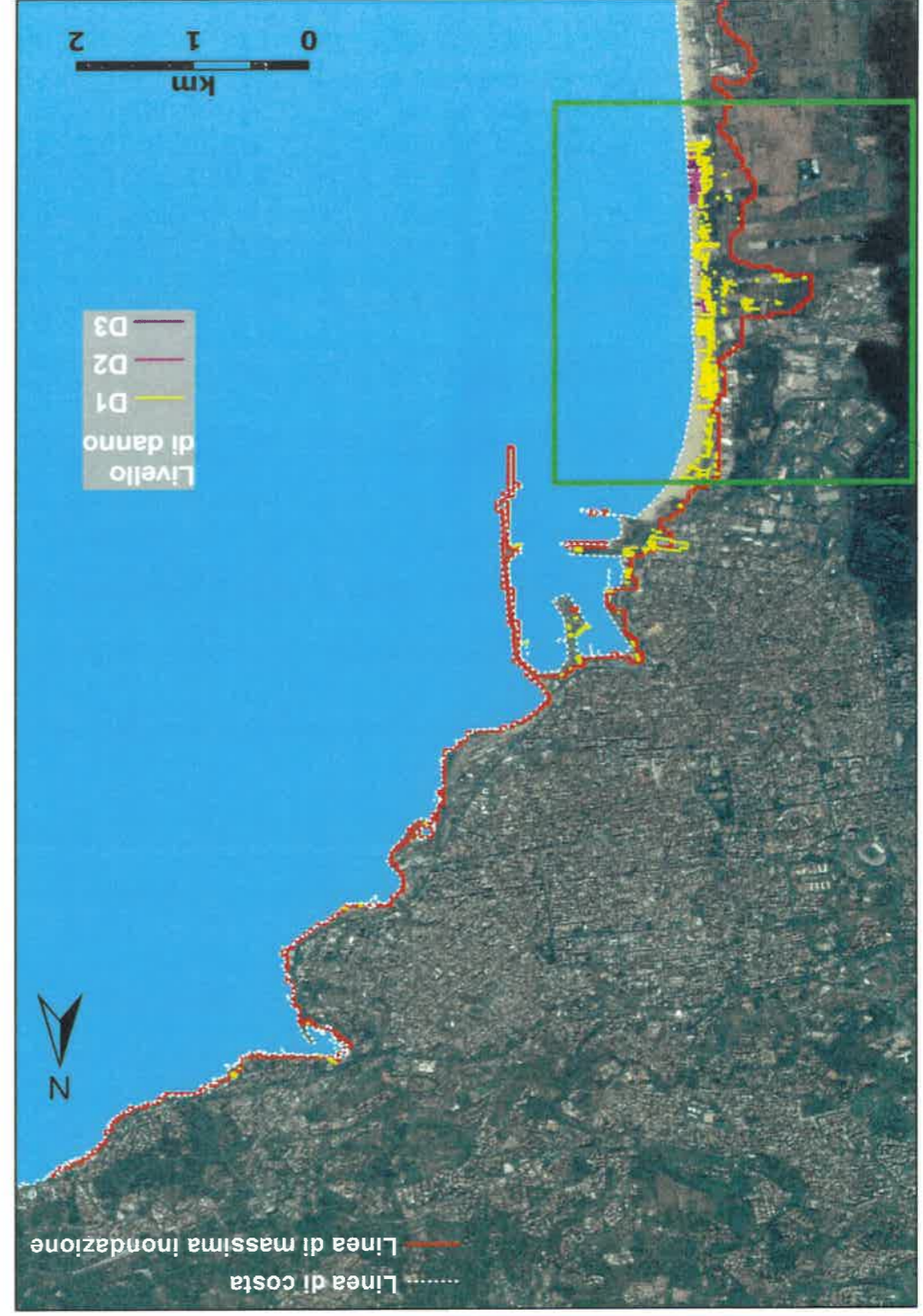
Stima del danno sugli edifici

Date le classi di vulnerabilità, la stima del danno viene effettuata tramite la matrice di danno (o fragilità) degli edifici, che associa il danno subito da ogni classe di edifici all'altezza della colonna d'acqua che li investe. Il livello di danno è misurato in una scala da D0 (nessun danno) a D5 (collasso totale).
Le mappe per i diversi scenari, mostrate di seguito, evidenziano che per lo scenario 1 più del 40% degli edifici risulta interessato da qualche danno (classi D1-D2), mentre solo alcuni subiscono danni pesanti (classe D3).



Danno sugli edifici

SCENARIO 1
 Basato sul maremoto del 365 d.C.
 Causa: terremoto (Mw = 8.3)



Numero di edifici per livello di danno (nella zona de La Plaia):

D1 (Danni lievi)	335 (288)
D2 (Danni importanti – non strutturali)	31 (31)
D3 (Danni strutturali)	7 (7)
Totale	373 (326)

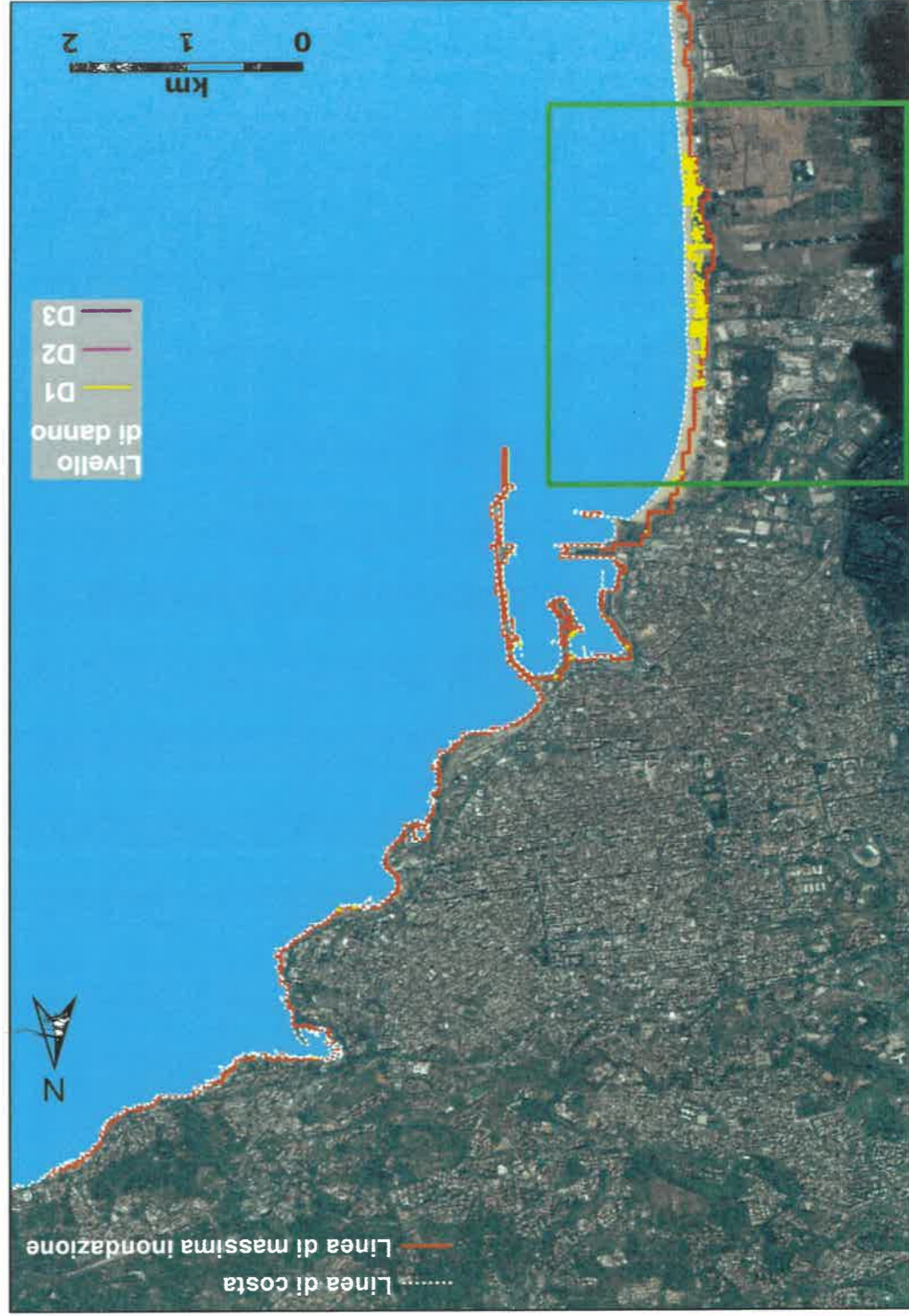


Il livello di danno è stimato sulla base del massimo sollevamento del livello del mare



Danno sugli edifici

SCENARIO 2
 Basato sul maremoto del 1693
 Causa: terremoto ($M_w = 7.3$)



Numero di edifici per livello di danno (nella zona de La Plaia):

D1 (Danni lievi)	159	(149)
D2 (Danni importanti – non strutturali)	0	(0)
D3 (Danni strutturali)	0	(0)
Totale	159	(149)



Il livello di danno è stimato sulla base del massimo sollevamento del livello del mare



Danno sugli edifici

SCENARIO 3
 Basato sul maremoto del 1693
 Causa: frana



Numero di edifici per livello di danno (nella zona de La Plaia):

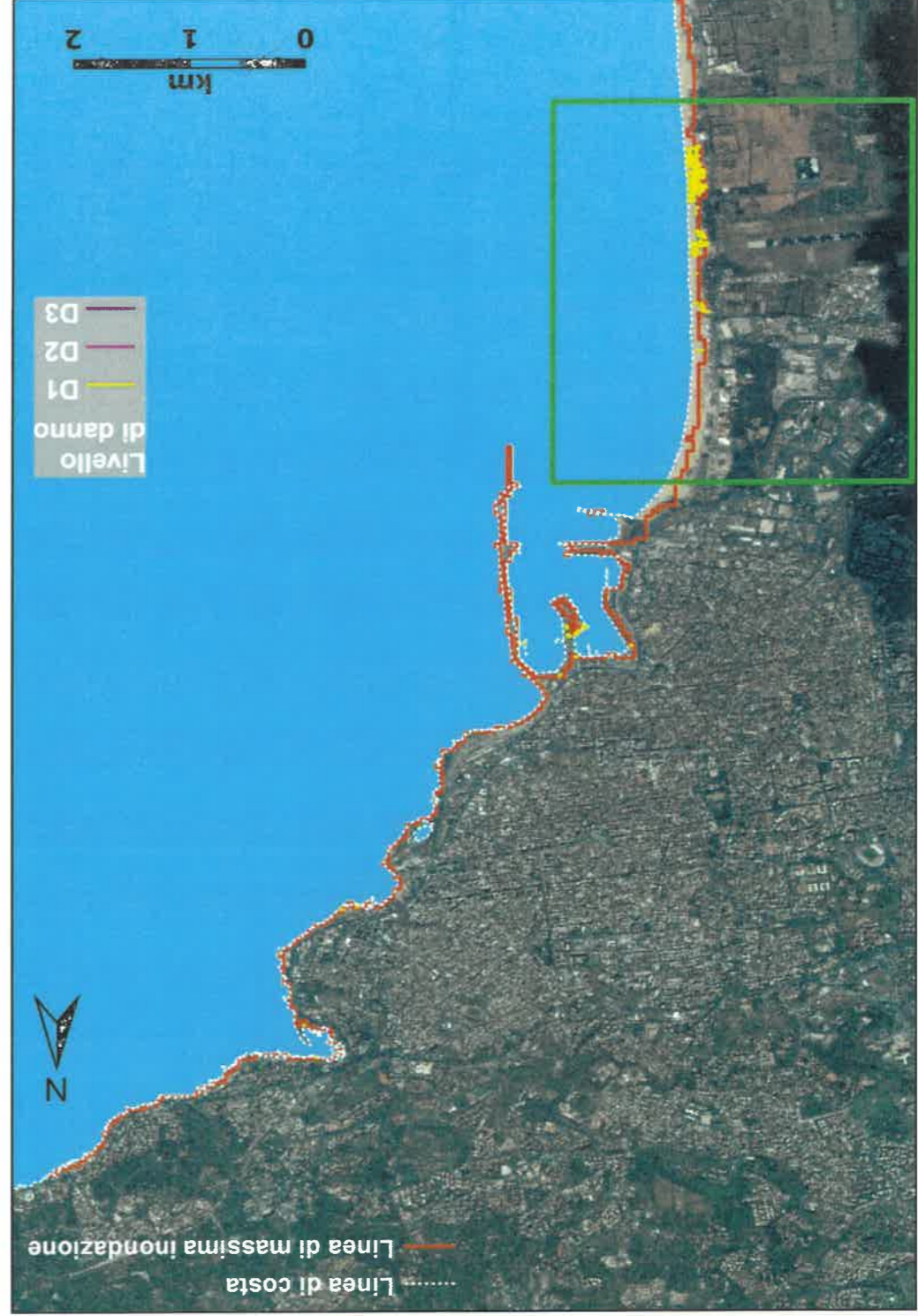
D1 (Danni lievi)	11	(5)
D2 (Danni importanti – non strutturali)	0	(0)
D3 (Danni strutturali)	0	(0)
Totale	11	(5)

Il livello di danno è stimato sulla base del massimo sollevamento del livello del mare



Danno sugli edifici

SCENARIO 4
 Basato sul maremoto del 1908
 Causa: terremoto (Mw = 7.0)



Numero di edifici per livello di danno (nella zona de La Plaia):

D1 (Danni lievi)	86	(72)
D2 (Danni importanti – non strutturali)	0	(0)
D3 (Danni strutturali)	0	(0)
Totale	86	(72)

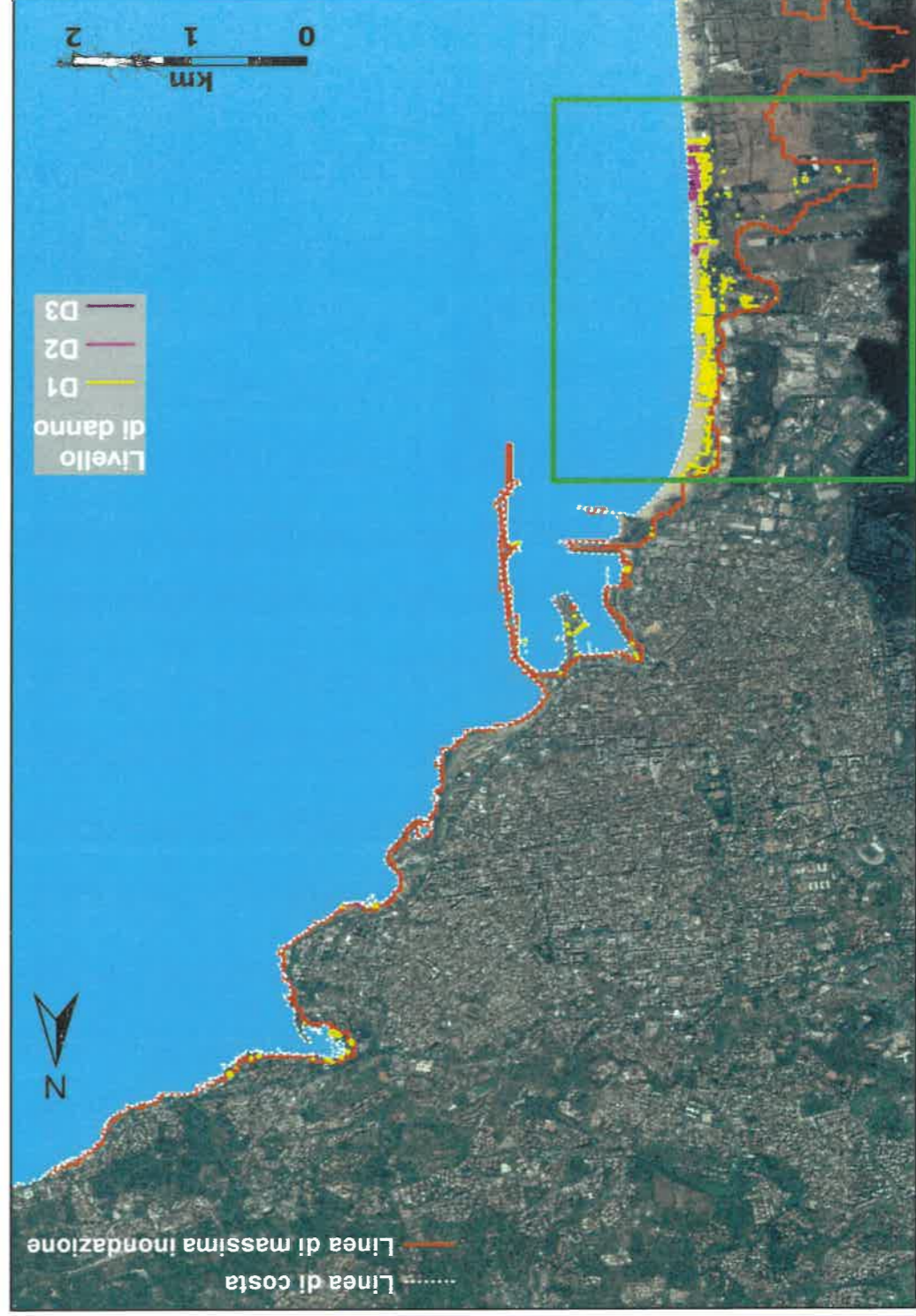


Il livello di danno è stimato sulla base del massimo sollevamento del livello del mare



Danno sugli edifici

SCENARIO 5
 Basato sul maremoto del 1908
 Causa: terremoto e frana



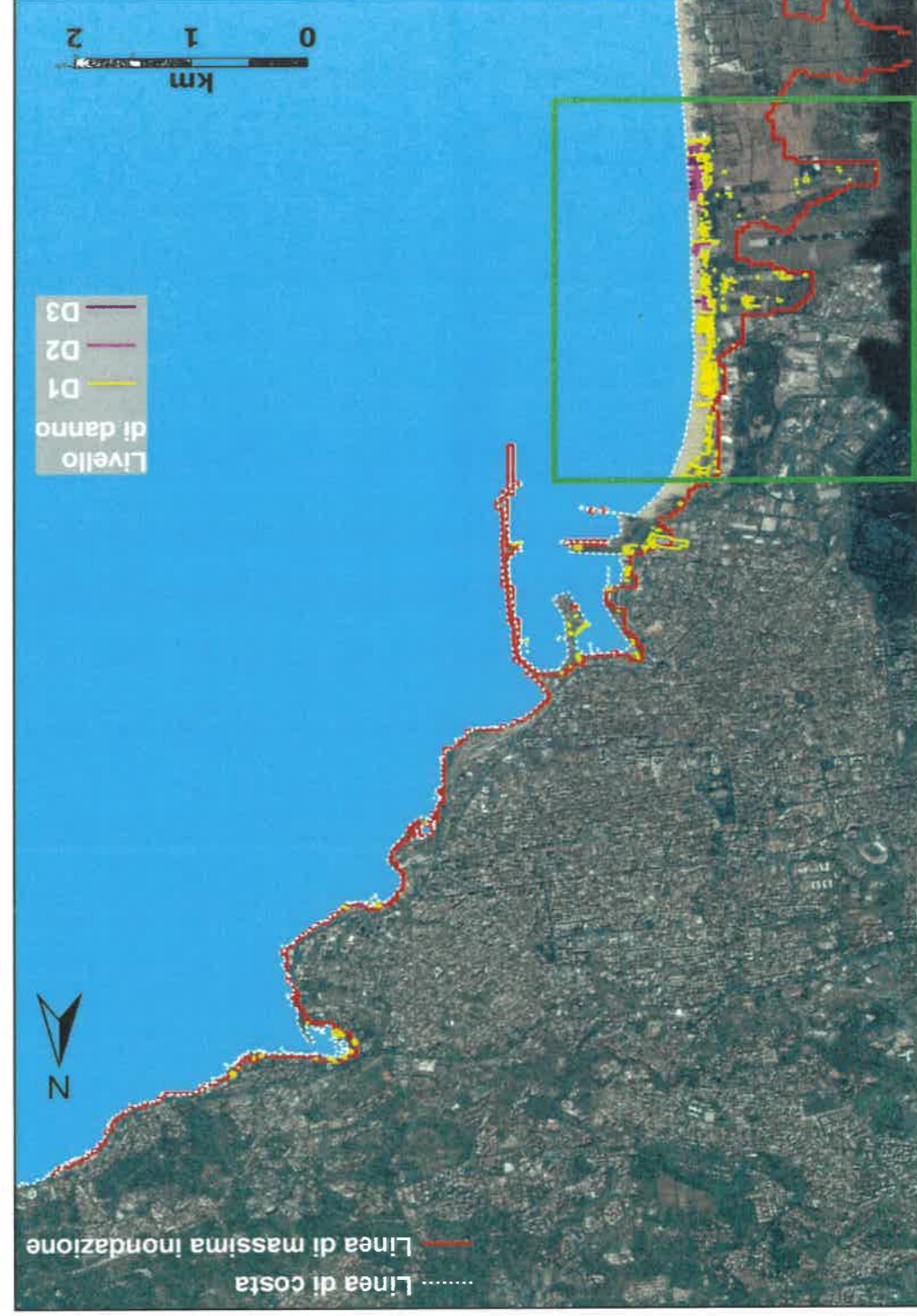
Numero di edifici per livello di danno (nella zona de La Praia):

D1 (Danni lievi)	314	(278)
D2 (Danni importanti – non strutturali)	35	(33)
D3 (Danni strutturali)	7	(7)
Totale	356	(318)

Il livello di danno è stimato sulla base del massimo sollevamento del livello del mare



Danno sugli edifici (scenario aggregato)



Numero di edifici per livello di danno (nella zona de La Plaia):

D1 (Danni lievi)	344	(287)
D2 (Danni importanti – non strutturali)	40	(38)
D3 (Danni strutturali)	10	(10)
Totale	394	(335)

Il livello di danno è stimato sulla base del massimo sollevamento del livello del mare



Stima dell'inondazione delle strade

Per lo studio dell'inondazione delle strade è stato utilizzato l'aggregato dei cinque scenari, cioè per ogni punto viene considerato il massimo livello di inondazione raggiunto nei vari scenari presi in esame.

Nelle mappe vengono anche indicate le aree in cui sono presenti oggetti che possono essere sollevati e trasportati dal maremoto, costituendo così elementi di potenziale pericolo ulteriore. Si tratta in questo caso prevalentemente di oggetti mobili che costituiscono l'attrezzatura di spiagge e piscine (lettini, ombrelloni, ecc.).



Inondazione delle strade (scenario aggregato)

