



MINISTERO DELL'AMBIENTE
E DELLA SICUREZZA ENERGETICA



Rete dei Laboratori Universitari di
Ingegneria Sismica



Best practice Evaluation for triggered Seismicity and Tsunami

Vulnerabilità del patrimonio costruito per rischio maremoto

Il team ReLUIS

Andrea Prota



Professore ordinario

Gian Piero Lignola



Professore ordinario

Marco Di Ludovico



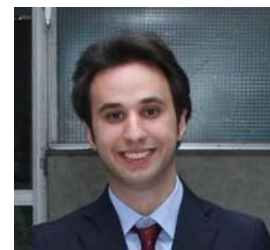
Professore associato

Marta Del Zoppo



Ricercatore

Stefano Belliazi



*Dottore di ricerca
Borsista ReLUIS*

Vulnerabilità del patrimonio costruito per rischio maremoto

Patrimonio costruito =



2004 Indian Ocean Tsunami



**Patrimonio edilizio e infrastrutturale presente
sul territorio**

- **Edifici residenziali**
- **Edifici scolastici**
- **Edifici strategici per la gestione dell'emergenza
(ospedali, caserme, porti, aeroporti, ecc.)**
- **Ponti**
- **Aree produttive/industriali**
- **...**

Vulnerabilità del patrimonio costruito per rischio maremoto

Metodologia
sviluppata



Vulnerabilità del patrimonio costruito per rischio maremoto

Approccio a larga scala

Piattaforma GIS



Edilizia residenziale

(ISTAT 2011)



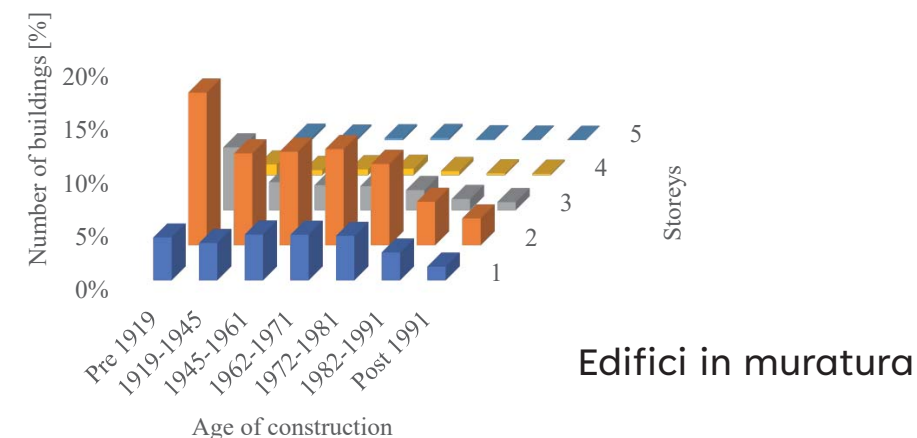
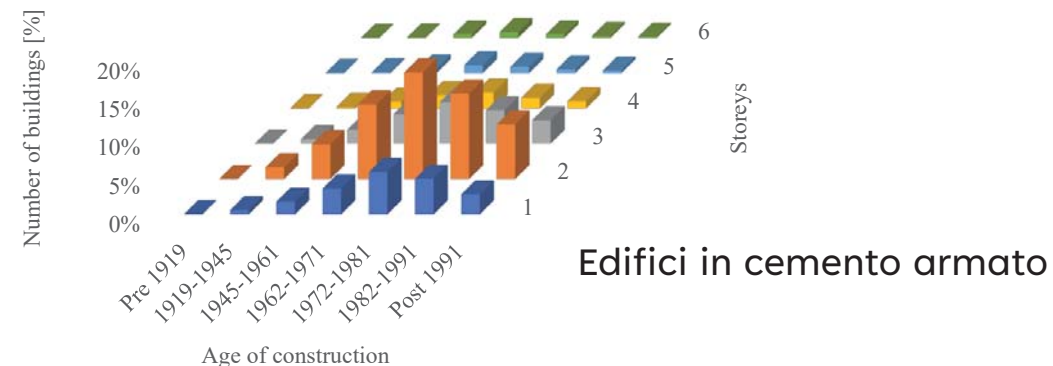
Edilizia scolastica

(Portale Cartografico Nazionale 2013,
Anagrafe scolastica 2018/2019)



Ospedali/ASL

(Pagine bianche, Ministero della Salute 2019)



Vulnerabilità del patrimonio costruito per rischio maremoto

Approccio a larga scala

Piattaforma GIS



Edilizia residenziale
(ISTAT 2011)



Edilizia scolastica
(Portale Cartografico Nazionale 2013,
Anagrafe scolastica 2018/2019)



Ospedali/ASL
(Pagine bianche, Ministero della Salute 2019)

Approccio a scala locale

Piattaforma GIS



Edifici strategici



Ponti



Aree produttive/industriali

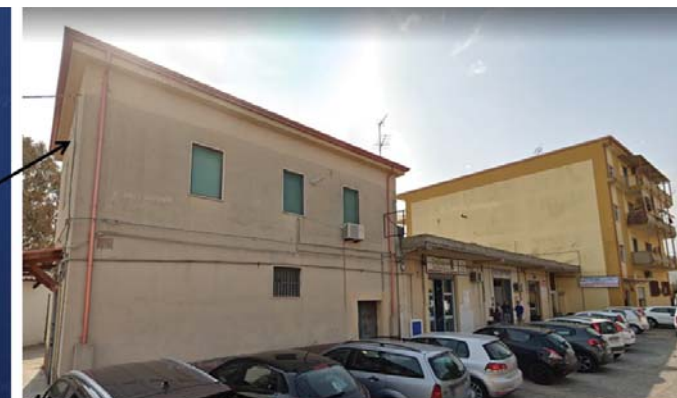
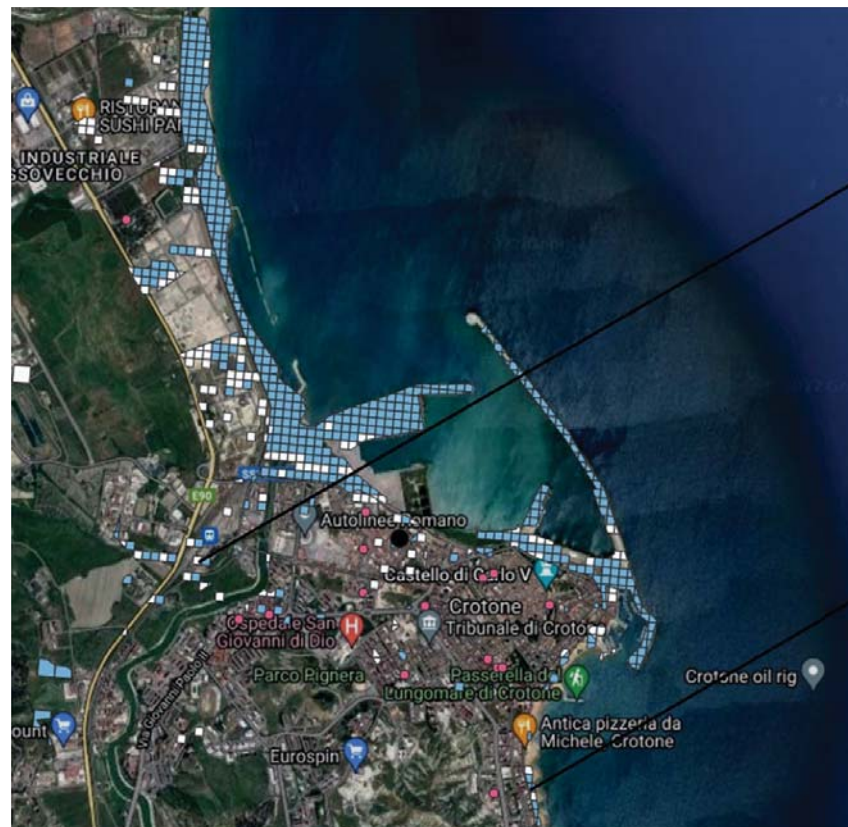


Beni artistico-monumentali

Vulnerabilità del patrimonio costruito per rischio maremoto

Analisi patrimonio costruito a scala locale: Lacinia

Edilizia residenziale - Crotona
(tipologia edilizia, numero di piani)



Vulnerabilità del patrimonio costruito per rischio maremoto

Analisi patrimonio costruito a scala locale: Lacinia

Edilizia scolastica

(tipologia edilizia, numero di piani)



Catanzaro Lido



Cariati

Vulnerabilità del patrimonio costruito per rischio maremoto

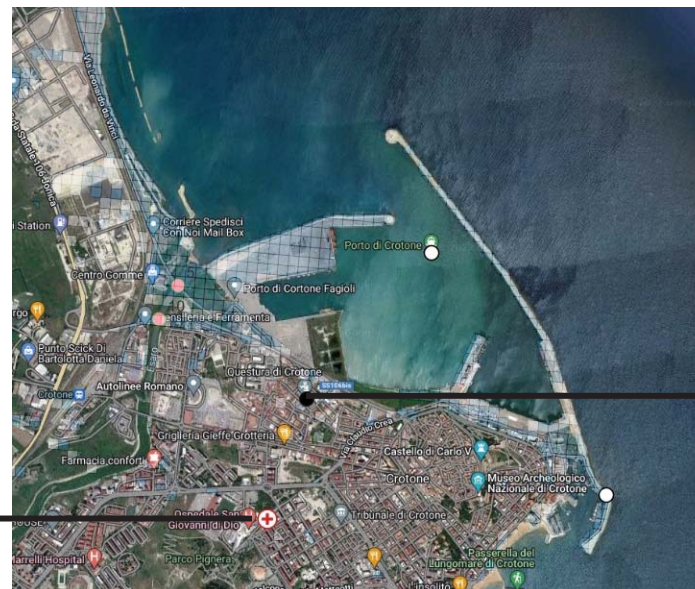
Analisi patrimonio costruito a scala locale: Lacinia

Edifici strategici

Ospedale di Crotona



Questura di Crotona





MINISTERO DELL'AMBIENTE
E DELLA SICUREZZA ENERGETICA



Rete dei Laboratori Universitari di
Ingegneria Sismica

Vulnerabilità del patrimonio costruito per rischio maremoto

Analisi patrimonio costruito a scala locale: Lacinia

Edifici strategici - aree Portuali

Crotone

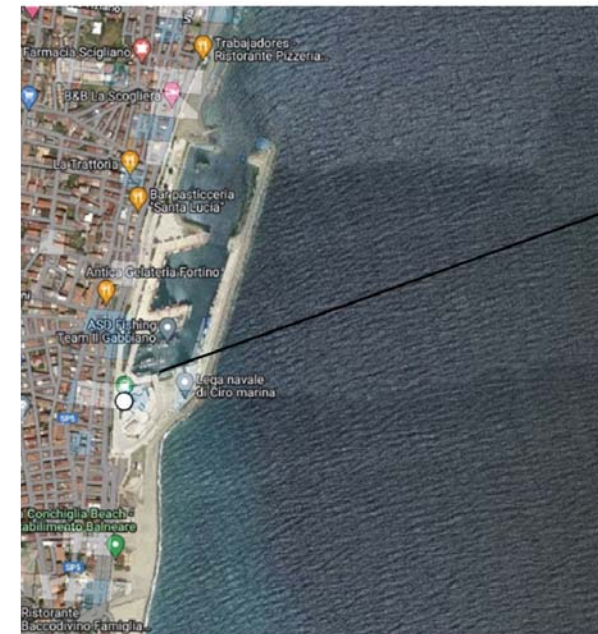


Capitaneria di Porto



Porto vecchio

Cirò Marina



Capitaneria di porto Cirò Marina



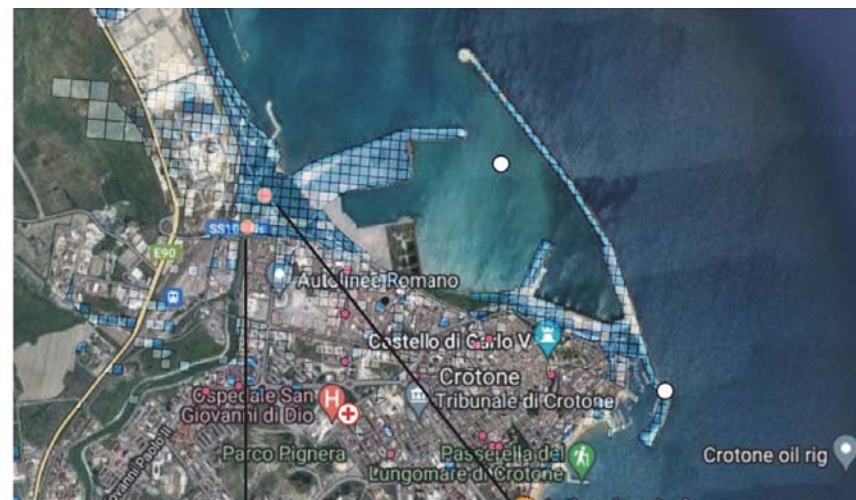
Edilizia zona portuale

Vulnerabilità del patrimonio costruito per rischio maremoto

Analisi patrimonio costruito a scala locale: Lacinia

Ponti

Crotone

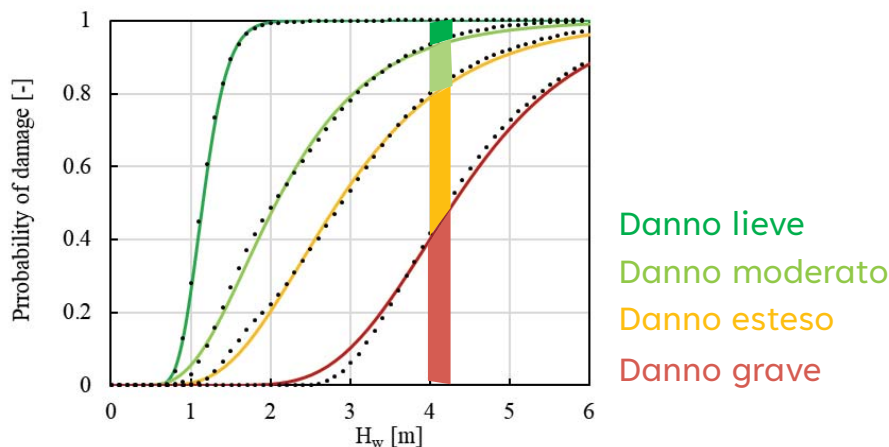


Vulnerabilità del patrimonio costruito per rischio maremoto

ANALISI DI RISCHIO

Curve di fragilità

Rappresentano la probabilità di superamento di un certo livello di danno nota l'altezza di inondazione al sito



x

Funzioni di conseguenza

Correlano ciascun livello di danno con perdite economiche e/o sociali

Costo medio di ricostruzione = 1.500 €/m²

- DS1 = 10% = 150 €/m²
- DS2 = 30% = 500 €/m²
- DS3 = 60% = 900 €/m²
- DS4 = 100% = 1.500 €/m²

Vulnerabilità del patrimonio costruito per rischio maremoto

CURVE DI FRAGILITA'

Curve empiriche esistenti
non coerenti con le
caratteristiche del
patrimonio esistente
italiano












Sviluppo di curve di
fragilità analitiche per
edifici e infrastrutture
italiane

Sviluppate per:

- Giappone
- Indonesia
- Sri Lanka

- Individuazione dei meccanismi di danno da precedenti tsunami

		Damage Mechanisms	
Non-structural Damage		DM1.1: Flood Damage to Contents	
			DM1.2: Damage to Cladding/Finishes
Local Structural Damage		DM2.1: Member Failure	
			DM2.2: Load-Bearing Wall Failure
Global Superstructure Failure		DM3.1: Global Lateral Deflection/Failure	
			DM3.2: Progressive Collapse
Foundation Failure		DM4.1: Overturning	
			DM4.2: Sliding
			DM4.3: Bearing Failure

Vulnerabilità del patrimonio costruito per rischio maremoto

SCALA DI DANNO PER EDIFICI

Definizione di una scala
di danno da tsunami
coerente per edifici in
cemento armato e
muratura

	SLIGHT	MODERATE	EXTENSIVE	COMPLETE
REINFORCED CONCRETE	First achievement in any vertical member of concrete cracking	First achievement in any vertical member of $\frac{1}{2}$ steel yield strain in the longitudinal steel	First achievement in any vertical member of steel yield strain in the longitudinal steel	Maximum base shear capacity
MASONRY	N.A.	First achievement of masonry cracking in any exterior wall for IP or OOP mechanisms	First achievement in any non-load-bearing structural wall of IP or OOP failure	First achievement in any load-bearing structural wall of IP or OOP failure



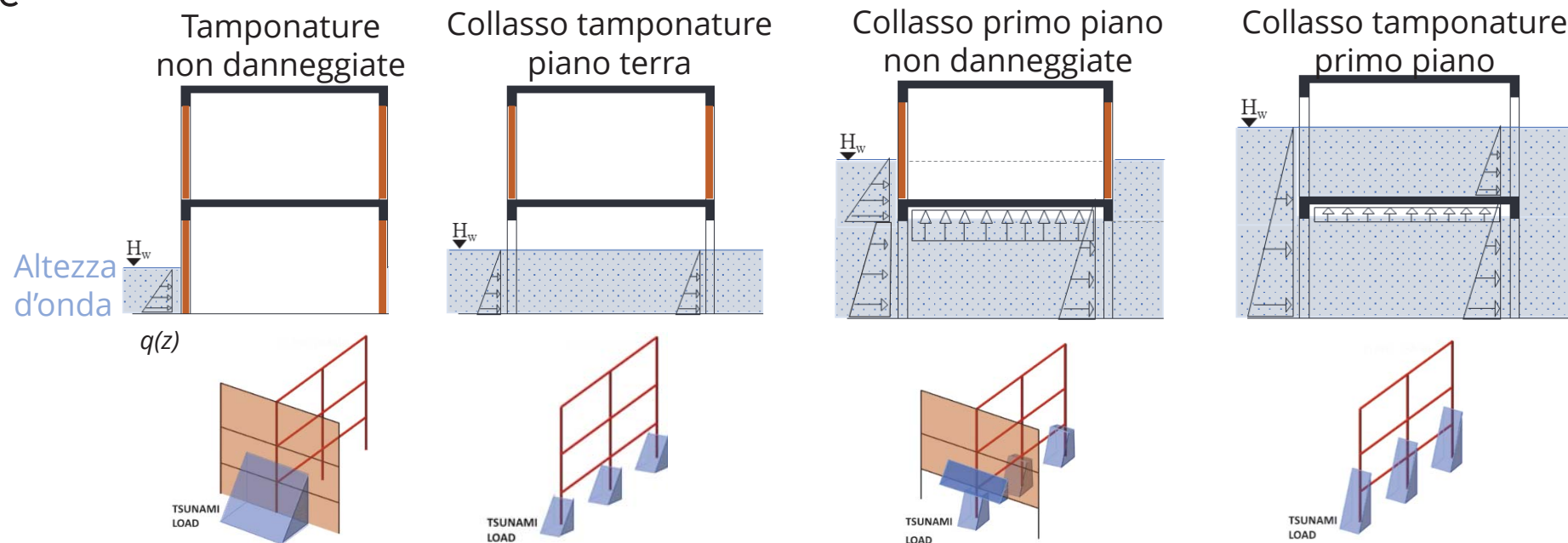
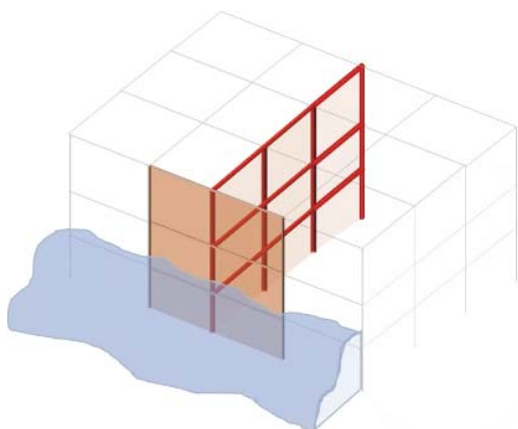
Vulnerabilità del patrimonio costruito per rischio maremoto

ANALISI DEL DANNO

Strutture in cemento armato

Analisi VDPO-BI (Variable Depth PushOver for Breakaway Infilled frames - Del Zoppo et al. 2020) per altezza d'onda incrementale, H_w :

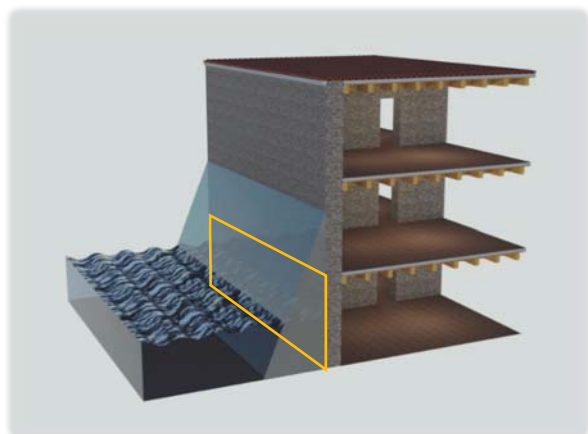
Simulazione meccanica del
comportamento delle strutture
durante inondazione



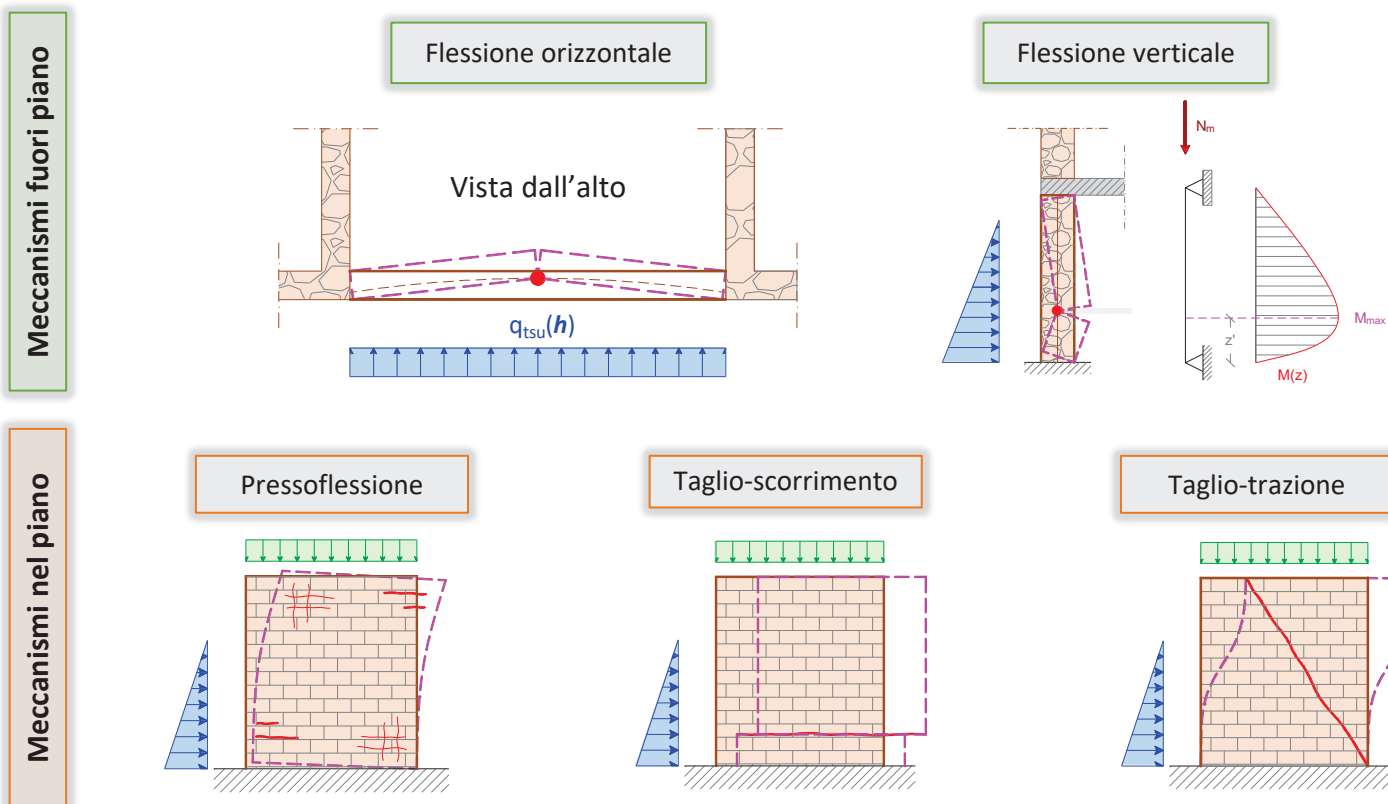
Vulnerabilità del patrimonio costruito per rischio maremoto

ANALISI DEL DANNO

Simulazione meccanica del
comportamento delle strutture
durante inondazione mediante
analisi dei meccanismi locali



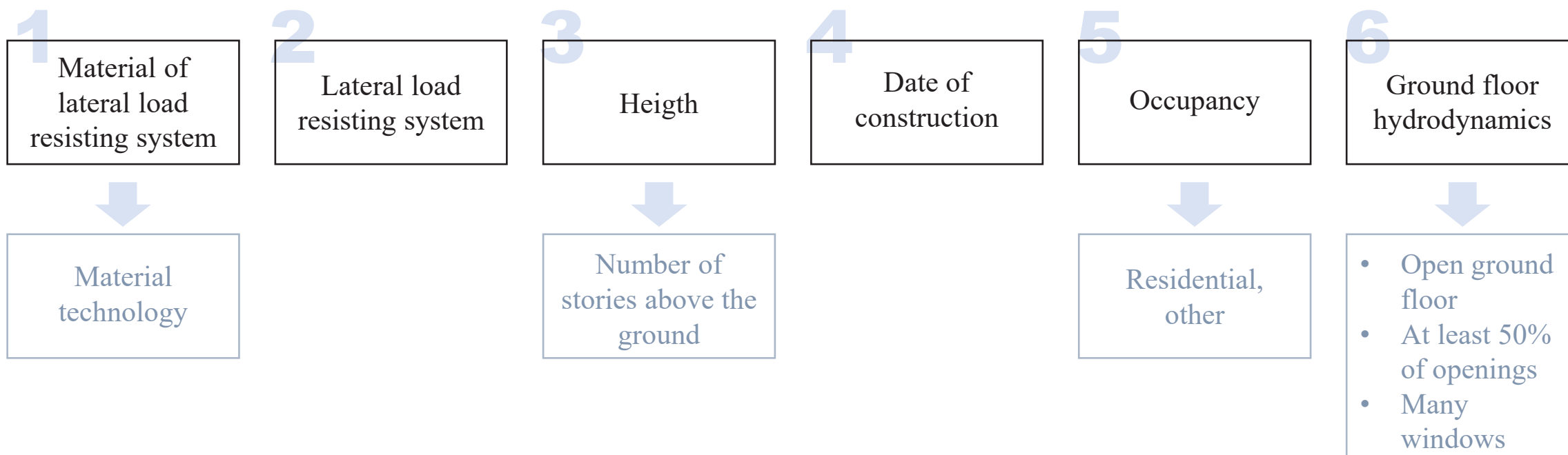
Strutture in muratura



Vulnerabilità del patrimonio costruito per rischio maremoto

DEFINIZIONE DI CLASSI DI VULNERABILITA'

- Selezione degli attributi significativi ai fini dell'analisi di vulnerabilità (da GED4ALL)



Vulnerabilità del patrimonio costruito per rischio maremoto

DEFINIZIONE DI CLASSI DI VULNERABILITA'

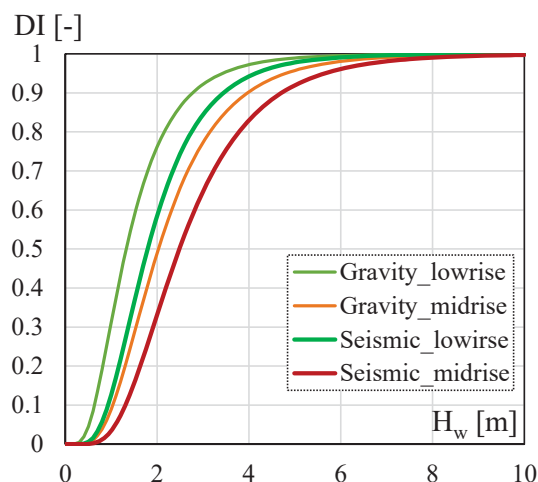
- Selezione degli attributi significati ai fini dell'analisi di vulnerabilità per il patrimonio edilizio italiano

Age of construction	Period of construction	Design criteria	Structural material	No of storeys
AGE0	≤ 1919	Gravity	Masonry	1, 2, 3, 4, 5
AGE1	1920-1981	Gravity, Seismic	Masonry	1, 2, 3, 4, 5
			Reinforced Concrete	1, 2, 3, 4, 5, 6
AGE2	> 1981	Gravity, Seismic	Masonry	1, 2, 3, 4, 5
			Reinforced Concrete	1, 2, 3, 4, 5, 6

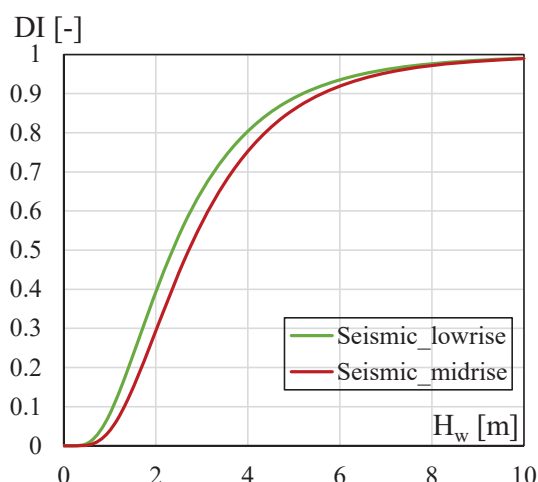
Vulnerabilità del patrimonio costruito per rischio maremoto

DEFINIZIONE DI CLASSI DI VULNERABILITA'

- Pre '80 (AGE1)



- Post '80 (AGE2)



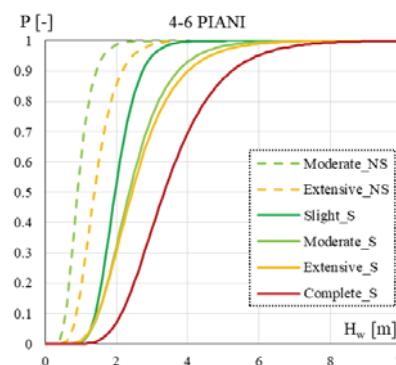
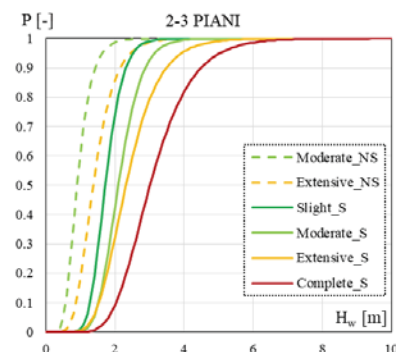
VULNERABILITY CLASS	MASONRY	REINFORCED CONCRETE
A	AGE0_gravity_lowrise AGE2_gravity_lowrise	
B	AGE1_gravity_lowrise AGE2_seismic_lowrise AGE1_seismic_lowrise	
C1	AGE1_gravity_midrise AGE2_seismic_midrise	AGE1_gravity_lowrise
C2	AGE2_gravity_midrise AGE0_gravity_midrise	AGE1_seismic_lowrise AGE1_gravity_midrise
D	AGE1_seismic_midrise	AGE1_seismic_midrise AGE2_seismic_lowrise AGE2_seismic_midrise

Vulnerabilità del patrimonio costruito per rischio maremoto

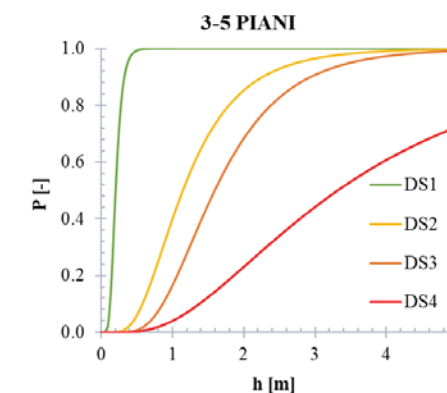
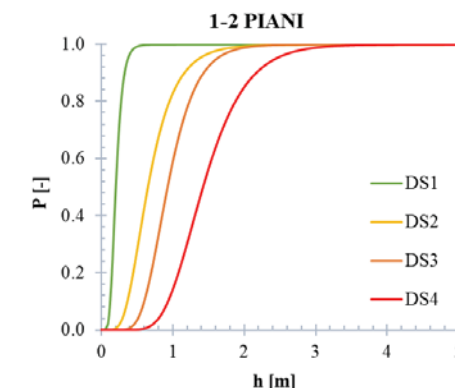
SVILUPPO DI CURVE DI FRAGILITÀ PER LE CLASSI INDIVIDUATE

Analisi probabilistica per tenere conto delle incertezze su proprietà geometriche, meccaniche e carichi ai fini della generazione di curve di fragilità analitiche

Edifici residenziali cemento armato



Edifici residenziali in muratura



Vulnerabilità del patrimonio costruito per rischio maremoto

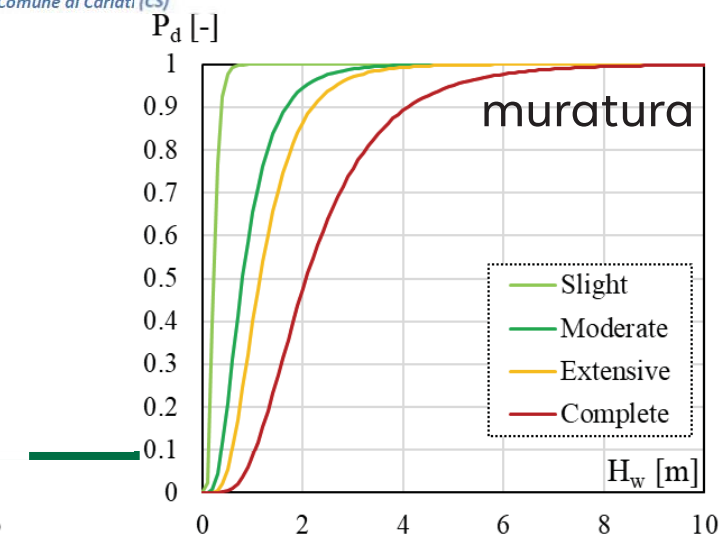
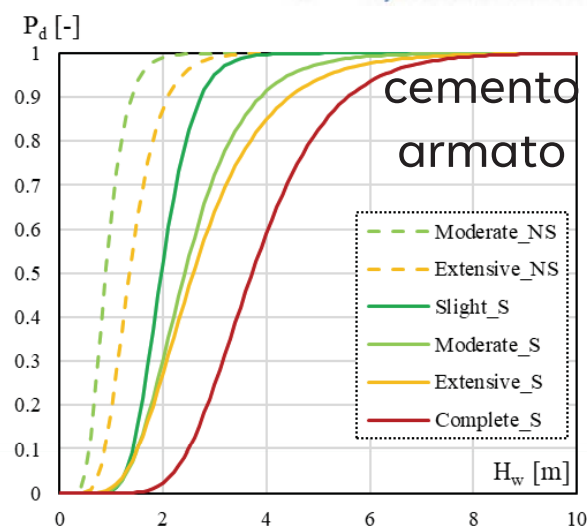
EDILIZIA SCOLASTICA

Differenze rispetto ad edilizia residenziale ai fini della vulnerabilità per tsunami:

- Luci maggiori delle campate per le aule
- Aperture (finestre) di luce maggiore, soprattutto nel caso di edifici in c.a.
- Numero di piani generalmente compreso tra 1 e 3 (edifici bassi)



1. Edificio scolastico Molinello Comune di Cariati (CS)



Vulnerabilità del patrimonio costruito per rischio maremoto

EDIFICI STRATEGICI

Indice di vulnerabilità/rischio per tsunami:

$$TRRI = \max(RRI_{\text{bldg}}, RRI_{\text{funct}}, RRI_{\text{bcs}})$$

RRI_{bldg} = capacità dell'edificio di resistere alle azioni indotte dallo tsunami,

RRI_{funct} = capacità dell'edificio di restare funzionale ed operativo durante l'inondazione

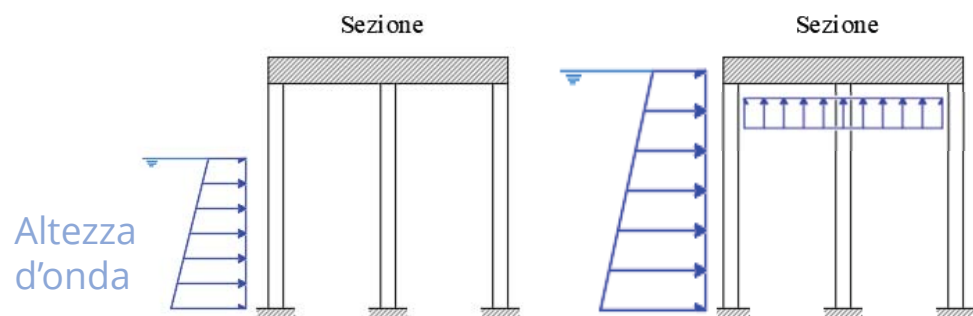
RRI_{bcs} = perdita di funzionamento di generatori di energia elettrica, o di collegamento ad acqua, gas, ecc., che possono causare perdita di operatività durante o dopo l'inondazione



Vulnerabilità del patrimonio costruito per rischio maremoto

PONTI E VIADOTTI

- Definizione di una scala di danno per ponti in cemento armato a travata
- Estensione della analisi VDPO ai ponti

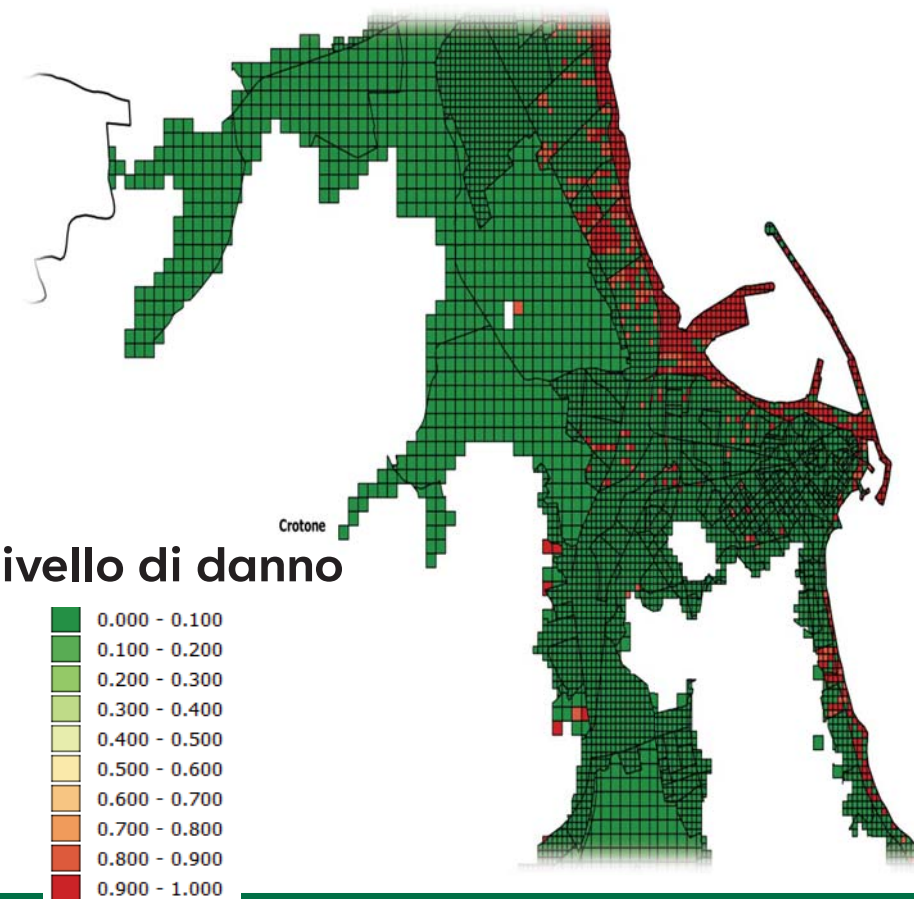
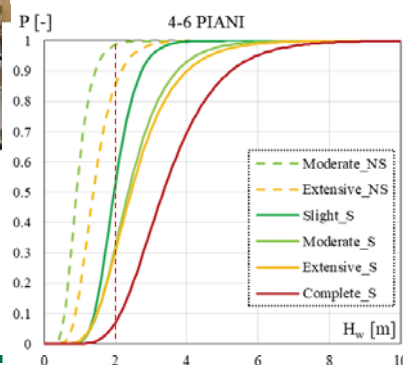


SLIGHT	MODERATE	EXTENSIVE	COMPLETE
First achievement in any pier of concrete cracking	First achievement in any pier of $\frac{1}{2}$ steel yield strain in the longitudinal steel	First achievement in any pier of steel yield strain in the longitudinal steel	Uplift failure of decks or shear failure in piers or second achievement in any pier of steel yield strain in the longitudinal steel

Vulnerabilità del patrimonio costruito per rischio maremoto

MAPPE DI VULNERABILITA'

Nota la mappa di inondazione, il **tool GIS** consente di associare ciascun area censuaria (residenziale) o singola struttura (altre opere) al relativo set di curve di fragilità/indice di vulnerabilità per la stima del danno atteso e delle perdite



Vulnerabilità del patrimonio costruito per rischio maremoto

SPOT

(Sismicità Potenzialmente innescabile
Offshore e Tsunami)



H&RA LACINIA
(Hazard & Risk Analysis in Lacinia)

SPIN

(test delle buone pratiche per lo Studio della Potenziale
INterazione tra attività offshore e pericolosità naturali)

Vulnerabilità del patrimonio costruito per rischio maremoto



Grazie per l'attenzione!