



PON SISMICO - FASE 4

Valutazione dell'operatività strutturale del CT:

IOCT (Indice di Operatività del Contesto Territoriale)

PON GOVERNANCE 2014-2020

***Riduzione del rischio sismico, vulcanico
e idrogeologico ai fini di protezione civile***



**PON SISMICO - FASE 4*****La valutazione dell'operatività strutturale del CT***

FASE 1	FASE 2	FASE 3	FASE 4	FASE 5
Individuazione Contesti Territoriali (CT)	Studi di Microzonazione Sismica	Analisi CLE	Valutazione operatività CT	Programmazione Interventi





PON SISMICO - FASE 4

La valutazione dell'operatività strutturale del CT

Indice

- Il modello matematico che traduce la CLE di CT: il grafo del sistema a rete
 - I requisiti di rete: i legami logici tra gli oggetti della rete
- La valutazione di operatività del sistema a rete
 - La probabilità di operatività del singolo oggetto
 - Pericolosità di base
 - Pericolosità locale
 - Vulnerabilità
 - La probabilità di operatività del sistema a rete
 - L'Indice IOCT
- Un esempio applicativo: il sistema strutturale di emergenza del CT di Cariatì
 - SOFT_IOCT: il software di calcolo





PON SISMICO - FASE 4

La valutazione dell'operatività strutturale del CT

- Il modello matematico che traduce la CLE di CT: il grafo del sistema a rete
 - I requisiti di rete: i legami logici tra gli oggetti della rete

- La CLE di CT è una rete costituita da oggetti virtualmente puntuali (edifici strategici ed aree di emergenza) interconnessi da oggetti a sviluppo virtualmente lineare (infrastrutture di connessione)

- La struttura matematica che traduce la CLE di CT è rappresentata da un grafo costituito da nodi (edifici strategici e aree di emergenza), archi (infrastrutture di connessione) e lo schema logico tra i nodi.

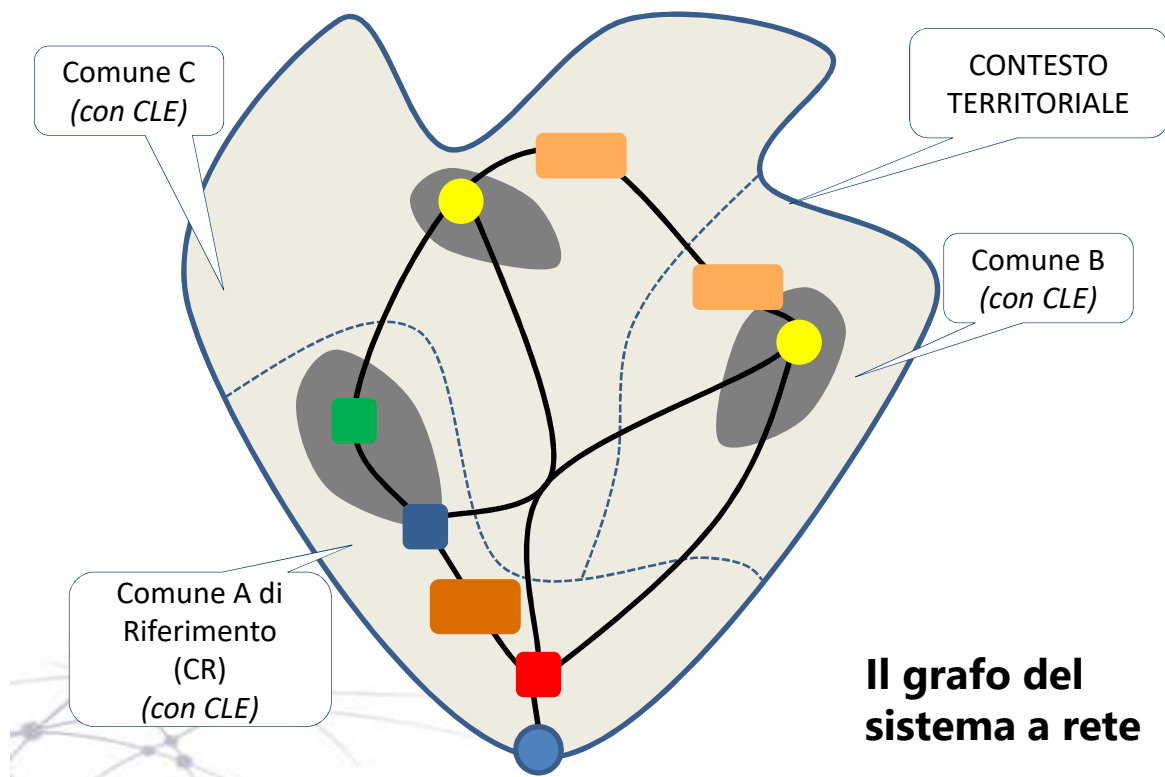




PON SISMICO - FASE 4

La valutazione dell'operatività strutturale del CT

- Il modello matematico che traduce la CLE di CT: il grafo del sistema a rete



NODI

EDIFICI STRATEGICI (ES)

- Centro di coordinamento (ES1)
- Soccorso sanitario (ES2)
- Intervento operativo (ES3)
- COC

AREE DI EMERGENZA (AE)

- Ammassamento
- Ricovero

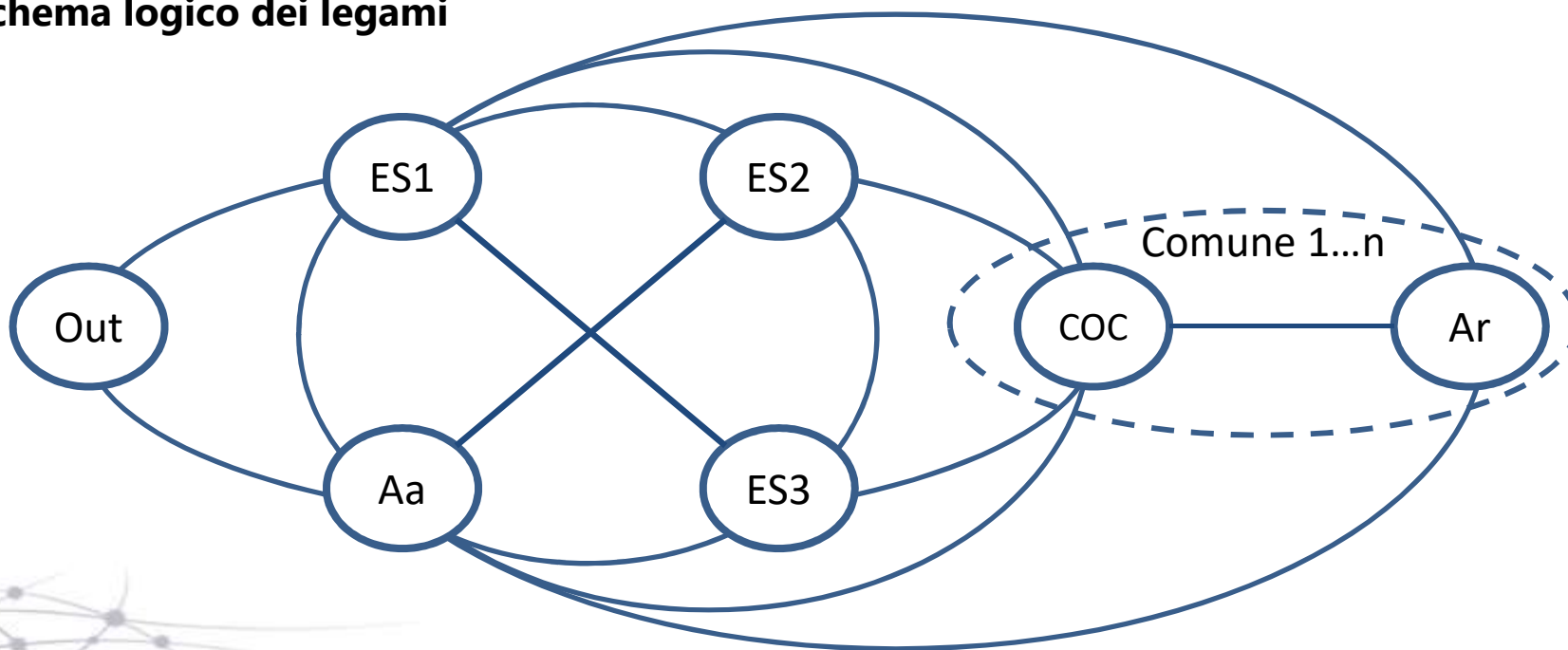
- PUNTO DI ACCESSO (OUT)

ARCHI

- INFRASTRUTTURE (AC)

**PON SISMICO - FASE 4*****La valutazione dell'operatività strutturale del CT***

- Il modello matematico che traduce la CLE di CT: il grafo del sistema a rete
 - I requisiti di rete: i legami logici tra gli oggetti della rete

Schema logico dei legami



PON SISMICO - FASE 4

La valutazione dell'operatività strutturale del CT

- Il modello matematico che traduce la CLE di CT: il grafo del sistema a rete
 - La ridondanza delle connessioni

Nel grafo del sistema a rete la ridondanza delle connessioni esiste ma non è detto che sia premiante in quanto i legami tra gli oggetti si «indeboliscono» in funzione delle interferenze (instabilità cosismiche, crollo di edifici interferenti) che insistono sulle connessioni





PON SISMICO - FASE 4

La valutazione dell'operatività strutturale del CT

Indice

- Il modello matematico che traduce la CLE di CT: il grafo del sistema a rete
 - I requisiti di rete: i legami logici tra gli oggetti della rete
- La valutazione di operatività del sistema a rete
 - La probabilità di operatività del singolo oggetto
 - Pericolosità di base
 - Pericolosità locale
 - Vulnerabilità
 - La probabilità di operatività del sistema a rete
 - L'Indice IOCT
- Un esempio applicativo: il sistema strutturale di emergenza del CT di Cariatì
 - SOFT_IOCT: il software di calcolo





PON SISMICO - FASE 4

La valutazione dell'operatività strutturale del CT

- La valutazione di operatività del sistema a rete
 - La probabilità di operatività del singolo oggetto
- La probabilità di operatività del singolo oggetto della rete è valutata attraverso una **curva di fragilità (vulnerabilità)** che esprime la probabilità di eccedenza di un certo **livello di danno** in funzione di una certa misura di **intensità sismica**.
- Per ogni oggetto definiamo **un modello di vulnerabilità (fragilità) semplificato o avanzato associato ad una misura di intensità sismica in superficie ottenuta con un approccio semplificato o avanzato**



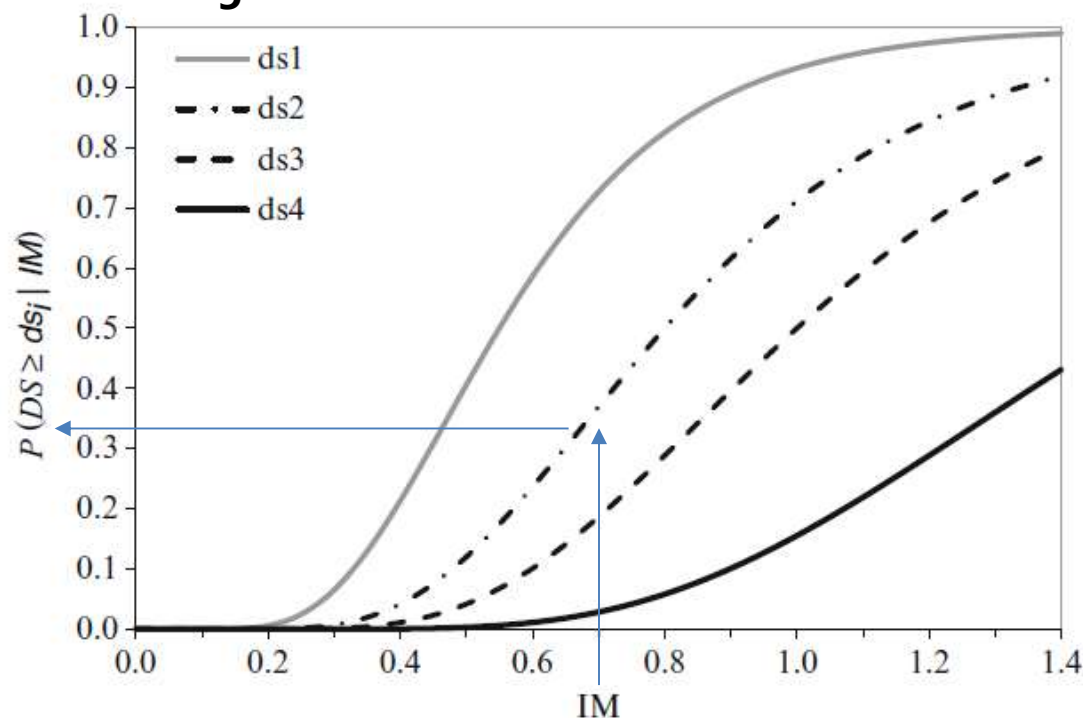


PON SISMICO - FASE 4

La valutazione dell'operatività strutturale del CT

- La valutazione di operatività del sistema a rete
 - La probabilità di operatività del singolo oggetto

Curva di fragilità



Per ogni oggetto la **curva di fragilità (vulnerabilità)** permette di calcolare la **probabilità di operatività strutturale (in ordinata)** in funzione della **misura di intensità sismica IM (in ascissa)**

La misura di probabilità varia tra 0 e 1



PON SISMICO - FASE 4

La valutazione dell'operatività strutturale del CT

Indice

- Il modello matematico che traduce la CLE di CT: il grafo del sistema a rete
 - I requisiti di rete: i legami logici tra gli oggetti della rete
- La valutazione di operatività del sistema a rete
 - La probabilità di operatività del singolo oggetto
 - Pericolosità di base
 - Pericolosità locale
 - Vulnerabilità
 - La probabilità di operatività del sistema a rete
 - L'Indice IOCT
- Un esempio applicativo: il sistema strutturale di emergenza del CT di Cariatì
 - SOFT_IOCT: il software di calcolo





PON SISMICO - FASE 4

La valutazione dell'operatività strutturale del CT

- Pericolosità di base

Per ottenere le misure di intensità di scuotimento sismico necessarie per la valutazione dei singoli oggetti della rete è stata utilizzata la procedura Shakefield (Weatherill et al., 2014) sviluppata nel progetto Syner-G (<http://www.vce.at/SYNER-G/files/project/project-overview.html>)

In corrispondenza dei nodi del sistema a rete (per analisi con $T_R=100$ e $T_R=475$ anni) si otterranno i valori di scuotimento di PGA al bedrock





PON SISMICO - FASE 4

La valutazione dell'operatività strutturale del CT

- Pericolosità di base

Caratteristiche della procedura di calcolo

Tre caratteristiche fondamentali della procedura di calcolo della pericolosità di base:

- misura di PGA (intensità primaria) **spazialmente correlata** (tra i siti)
- misure di PGD e Sa (intensità secondarie) **condizionate alla PGA** (nel sito)
- **analisi stocastica**





PON SISMICO - FASE 4

La valutazione dell'operatività strutturale del CT

- Pericolosità di base

I passi della procedura di calcolo *Shakefield*

1. **Generazione** di un evento di scenario con magnitudo campionata dalla distribuzione di probabilità legata alla legge di ricorrenza della Gutenberg-Richter (GR) della zona sismogenetica di appartenenza (si è utilizzata la ZS9) .
2. **Attenuazione** dell'intensità di misura primaria attraverso una GMPE a una griglia di base (1x1 km) (in questa fase si è utilizzata la relazione di Akkar and Bommer, 2010)
3. **Interpolazione** della PGA ai nodi della rete





PON SISMICO - FASE 4

La valutazione dell'operatività strutturale del CT

- Pericolosità di base

I passi della procedura di calcolo

4. **Correlazione spaziale** della PGA tramite i campi dei residui intra-evento (modello di Esposito e Iervolino, 2011) moltiplicati per il termine di incertezza della GMPE e sommati alla mediana della PGA

Il modello di **correlazione spaziale** dei residui intra-evento (Esposito e Iervolino, 2011) è un modello empirico basato sulle registrazioni sismiche ed è funzione della distanza reciproca h tra due siti e di una costante b denominata distanza di correlazione. Per la PGA, ad esempio, la distanza di correlazione è stata trovata pari a 13,5 km (database ESD) e 11,5 km (database ITACA).



$$\gamma(h) = 1 - e^{-3h/b}$$



PON SISMICO - FASE 4

La valutazione dell'operatività strutturale del CT

- Pericolosità di base

I passi della procedura di calcolo

- 5. Condizionamento** di PGD e S_a (Intensità secondarie) alla PGA già spazialmente correlata (Iervolino et al., 2010). Modello di cross-correlazione standard tra i vari periodi dello spettro in pseudo accelerazione è quello di Baker e Cornell (2006)
- 6. Ripetizione** dei 5 passi precedenti (Analisi Montecarlo) per un numero di iterazioni tale da generare tutti gli eventi sismici previsti dalla distribuzione di probabilità della GR della zona sismogenetica
- 7. Estrazione** dal campione totale dei sottoinsiemi di eventi relativi ad un tempo di ritorno di 100 e 475 anni (per la PGA in corrispondenza di ES1)





PON SISMICO - FASE 4

La valutazione dell'operatività strutturale del CT

Indice

- Il modello matematico che traduce la CLE di CT: il grafo del sistema a rete
 - I requisiti di rete: i legami logici tra gli oggetti della rete
- La valutazione di operatività del sistema a rete
 - La probabilità di operatività del singolo oggetto
 - Pericolosità di base
 - Pericolosità locale
 - Vulnerabilità
 - La probabilità di operatività del sistema a rete
 - L'Indice IOCT
- Un esempio applicativo: il sistema strutturale di emergenza del CT di Cariatì
 - SOFT_IOCT: il software di calcolo





PON SISMICO - FASE 4

La valutazione dell'operatività strutturale del CT

- Pericolosità locale

In corrispondenza dei nodi del sistema a rete (per analisi con $T_R=100$ e $T_R=475$ anni) si otterranno i valori di scuotimento di PGA, $S_a(T)$ per le amplificazioni in superficie e i valori di PGD per gli effetti cosismici





PON SISMICO - FASE 4

La valutazione dell'operatività strutturale del CT

- Pericolosità locale

Caratteristiche della procedura di calcolo

- Le analisi sono definite su **due livelli di approfondimento** (approccio semplificato e approccio avanzato)
- Si accettano alcune **semplificazioni** considerando che l'obiettivo finale è l'operatività di un sistema strutturale di emergenza in un'area vasta (CT)
- Strumento essenziale per queste analisi sono gli **studi di microzonazione sismica** (su 3 livelli) condotti in gran parte dei territori comunali analizzati





PON SISMICO - FASE 4

La valutazione dell'operatività strutturale del CT

Approcci pericolosità sismica locale

EFFETTO LOCALE	APPROCCIO SEMPLIFICATO	APPROCCIO AVANZATO
Amplificazione stratigrafica	PON	PON
Frane in terra (scivolamento)	HAZUS*	PON da sviluppare
Frane in roccia (crollo)	PON	PON da sviluppare
Liquefazione	HAZUS*	PON da sviluppare
Faglie attive e capaci	Non ancora valutato	Non ancora valutato
Cedimenti per densificazioni	Non ancora valutato	Non ancora valutato

Non sono ancora valutati gli effetti di faglie attive e capaci, cedimenti per densificazioni e tsunami

*HAZUS, 2003. Multi-hazard Loss Estimation Methodology. Department of Homeland Security Emergency Preparedness and Response Directorate FEMA Mitigation Division Washington, D.C.



PON SISMICO - FASE 4

La valutazione dell'operatività strutturale del CT

Indice

- Il modello matematico che traduce la CLE di CT: il grafo del sistema a rete
 - I requisiti di rete: i legami logici tra gli oggetti della rete
- La valutazione di operatività del sistema a rete
 - La probabilità di operatività del singolo oggetto
 - Pericolosità di base
 - Pericolosità locale
 - Vulnerabilità
 - La probabilità di operatività del sistema a rete
 - L'Indice IOCT
- Un esempio applicativo: il sistema strutturale di emergenza del CT di Cariatì
 - SOFT_IOCT: il software di calcolo



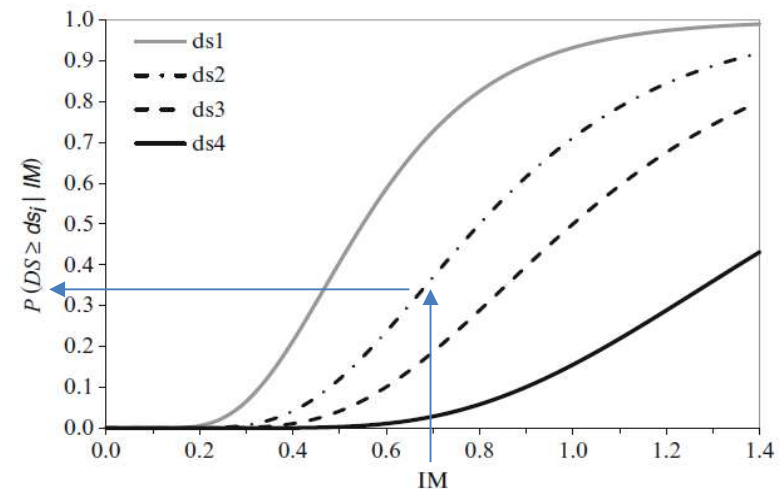


PON SISMICO - FASE 4

La valutazione dell'operatività strutturale del CT

- Vulnerabilità

E' necessario definire i modelli di fragilità in funzione delle misure di intensità sismiche IM trovate nelle analisi di pericolosità locale
Anche per i modelli di vulnerabilità le analisi sono definite su **due livelli di approfondimento** (approccio semplificato e approccio avanzato)





PON SISMICO - FASE 4

La valutazione dell'operatività strutturale del CT

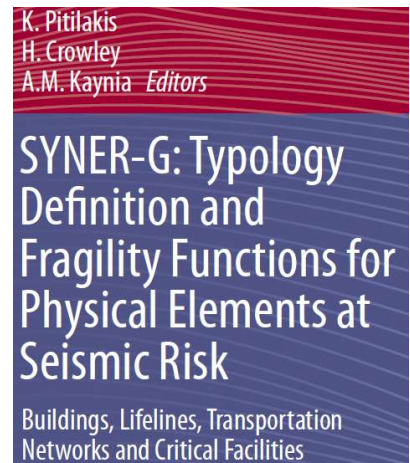
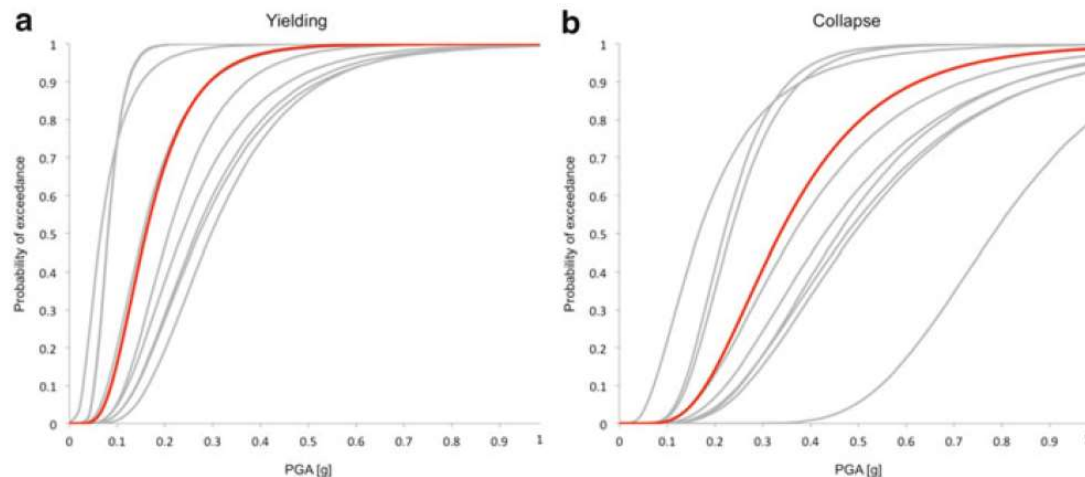
- Vulnerabilità

La probabilità di operatività del singolo oggetto

- Edifici: approccio semplificato

Si utilizzano le curve di fragilità del progetto Syner-G che hanno la peculiarità di riassumere in una curva media i tanti modelli esistenti in letteratura.

Si utilizzano le curve «yielding» per la valutazione dell'operatività strutturale degli edifici strategici e la curva «collapse» per valutare la probabilità di crollo degli edifici interferenti





PON SISMICO - FASE 4

La valutazione dell'operatività strutturale del CT

- Vulnerabilità

La probabilità di operatività del singolo oggetto

- Aree di emergenza e infrastrutture di connessione: approccio semplificato

Per le aree di emergenza e per le infrastrutture di connessione si valuta l'operatività in funzione di:

- Spostamento permanente del suolo PGD (Frane e liquefazione) → Curve HAZUS
- Probabilità di innesco frana di crollo in funzione della PGA → Curve FABFAL
- Crollo di edificio interferente → Procedura Syner-G (Argyroudis, 2011)
 - probabilità di collasso di ogni tipologia
 - numero di edifici collassati di ogni tipologia
 - probabilità di ingombro legata al collasso con modelli Argyroudis
 - probabilità di operatività come produttoria delle probabilità di ingombro dovute al collasso delle tipologie elevate al numero di edifici collassati





PON SISMICO - FASE 4

La valutazione dell'operatività strutturale del CT

Approcci Vulnerabilità

OGGETTO FISICO	APPROCCIO SEMPLIFICATO	APPROCCIO AVANZATO
Edifici strategici fondamentali (ES1,ES2,ES3)	SYNER-G	PON
COC		
Aree di emergenza	SYNER-G	-
Infrastrutture di connessione (strade)	HAZUS/ PON /SYNER-G	-
Infrastrutture di connessione (ponti)	Non ancora valutato	Non ancora valutato
Infrastrutture di connessione (tunnel)	Non ancora valutato	Non ancora valutato





PON SISMICO - FASE 4

La valutazione dell'operatività strutturale del CT

Indice

- Il modello matematico che traduce la CLE di CT: il grafo del sistema a rete
 - I requisiti di rete: i legami logici tra gli oggetti della rete
- La valutazione di operatività del sistema a rete
 - La probabilità di operatività del singolo oggetto
 - Pericolosità di base
 - Pericolosità locale
 - Vulnerabilità
 - La probabilità di operatività del sistema a rete
 - L'Indice IOCT
- Un esempio applicativo: il sistema strutturale di emergenza del CT di Cariatì
 - SOFT_IOCT: il software di calcolo





PON SISMICO - FASE 4

La valutazione dell'operatività strutturale del CT

- La probabilità di operatività del sistema a rete
 - L'Indice IOCT

- In termini generali in letteratura la misura di performance di una rete in termini di connessione è definita dall'**efficienza** (Latora and Marchiori, 2001-Franchin and Cavalieri, 2015)
- L'Indice di Operatività del Contesto Territoriale **IOCT** è definito come il **rapporto tra l'efficienza** della rete a seguito di un evento sismico per un dato periodo di ritorno (100 e 475 anni) e l'efficienza della rete in condizioni di servizio
- L'efficienza della rete è data dalla sommatoria delle efficienze delle singole coppie di nodi che devono rimanere collegati.





PON SISMICO - FASE 4

La valutazione dell'operatività strutturale del CT

- La probabilità di operatività del sistema a rete
 - L'Indice IOCT

In condizioni di esercizio (pre evento sismico)

L'efficienza della singola coppia di nodi è data da:

- operatività del nodo di origine (assunta unitaria)
- operatività del nodo di destinazione (assunta unitaria)
- Inverso del percorso minimo tra nodo origine e destinazione calcolato attraverso algoritmo di Dijkstra in funzione delle lunghezze degli archi di connessione





PON SISMICO - FASE 4

La valutazione dell'operatività strutturale del CT

- La probabilità di operatività del sistema a rete
 - L'Indice IOCT

In condizioni post evento sismico (per un tempo di ritorno di 100 e 475 anni)

L'efficienza della singola coppia di nodi è data da:

- operatività del nodo di origine (dalla curva di fragilità)
- operatività del nodo di destinazione (dalla curva di fragilità) condizionata a quella del nodo origine
- Inverso del percorso minimo tra nodo origine e nodo destinazione in funzione delle lunghezze e operatività degli archi di connessione quando i due nodi sono entrambi operativi





PON SISMICO - FASE 4

La valutazione dell'operatività strutturale del CT

- La probabilità di operatività del sistema a rete
 - L'Indice IOCT

$$IOCT(T_R) = \frac{E_{CT}(T_R)}{E_{CT}(0)}$$

Indice Operatività del Contesto Territoriale per il tempo di ritorno T_R

$$E_{CT}(0) = \sum_h \sum_k \frac{1}{L_{hk}}$$

Efficienza CT in condizioni di servizio (tempo di ritorno $T_R=0$)

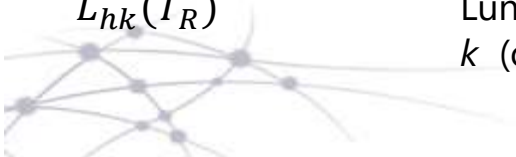
$$E_{CT}(T_R) = \sum_h \sum_k \frac{P(OP_h \cup OP_k, T_R)}{\bar{L}_{hk}(T_R)}$$

Efficienza attesa CT per tempo di ritorno T_R

L_{hk} Lunghezza percorso minimo fra gli oggetti h e k

$P(OP_h \cup OP_k, T_R)$ Probabilità che gli oggetti h e k siano entrambi operativi per il tempo di ritorno T_R

$\bar{L}_{hk}(T_R)$ Lunghezza attesa (per il tempo di ritorno T_R del percorso minimo fra gli oggetti h e k (condizionata all'operatività degli oggetti h e k)





PON SISMICO - FASE 4

La valutazione dell'operatività strutturale del CT

Indice

- Il modello matematico che traduce la CLE di CT: il grafo del sistema a rete
 - I requisiti di rete: i legami logici tra gli oggetti della rete
- La valutazione di operatività del sistema a rete
 - La probabilità di operatività del singolo oggetto
 - Pericolosità di base
 - Pericolosità locale
 - Vulnerabilità
 - La probabilità di operatività del sistema a rete
 - L'Indice IOCT
- Un esempio applicativo: il sistema strutturale di emergenza del CT di Cariatì
 - SOFT_IOCT: il software di calcolo





PON SISMICO - FASE 4

La valutazione dell'operatività strutturale del CT

FASE 1:
Esposizione

Il software di calcolo: SoftIOCT

The screenshot displays the SoftIOCT software interface, which is divided into three main functional areas:

- Esposizione (Exposure):** This panel (top left, orange background) allows users to specify input files for exposure analysis. It includes fields for:
 - File US.shp
 - File ES.shp
 - File rdn_nodes.shp
 - File rdn_edges.shp
 Each field has a "Browse" button. A "Run" button is located at the bottom of this section.
- Pericolosità (Hazard):** This panel (bottom left, green background) is used to define hazard parameters. It includes fields for:
 - OOFIMS folder path
 - Input .xml file
 - File Vs,30.shp
 - File Liquefaction.shp
 - File Landslide.shp
 - File rdn_nodes_IOCT.shp
 - File rdn_edges_IOCT.shp
 Each field has a "Browse" button. A "Run" button is located at the bottom of this section.
- Vulnerabilità e Rischio (Vulnerability and Risk):** This panel (right, blue background) is used to configure the analysis and execute the calculations. It includes:
 - File Analysis.mat
 - Curve di fragilità US
 - Curve di fragilità ES/COC
 - File rdn_nodes_IOCT.shp
 - File rdn_edges_IOCT.shp
 Each field has a "Browse" button. Below these fields are three large buttons: "Run Post-OOFIMS", "Compute IOCT", and "Spider". A "Return period" dropdown menu is set to "100".

FASE 2:
Pericolosità

FASE 3: Vulnerabilità e operatività



PON SISMICO - FASE 4

La valutazione dell'operatività strutturale del CT

Esposizione

- C.L.E. del Contesto Territoriale (Unità Strutturali interferenti sulle infrastrutture e sulle aree di emergenza)
- Grafo contenente i segmenti (infrastrutture) ed i nodi (edifici strategici, aree di emergenza, nodi di intersezione)

**Il software di
calcolo:
SoftIOCT**



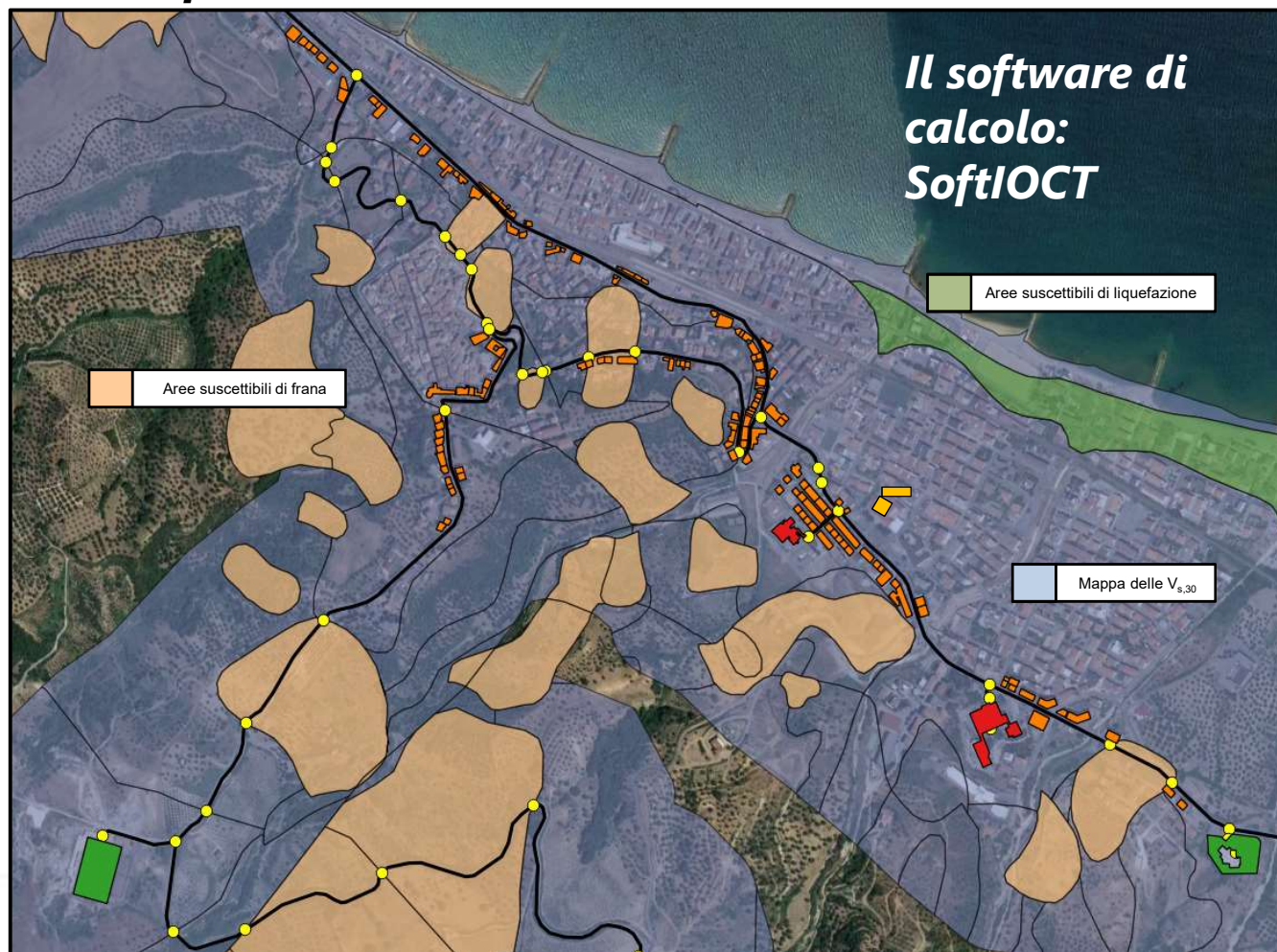
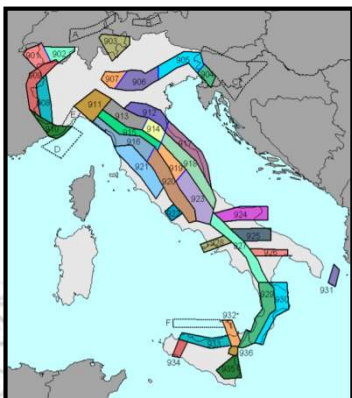


PON SISMICO - FASE 4

La valutazione dell'operatività strutturale del CT

Pericolosità

- Zone sismogenetiche significative per definire la sismicità del Contesto Territoriale in esame
- Caratterizzazione geologica dell'area in esame (Mappa delle $V_{s,30}$, Aree suscettibili di frana di scivolamento o crollo, Aree suscettibili di Liquefazione);



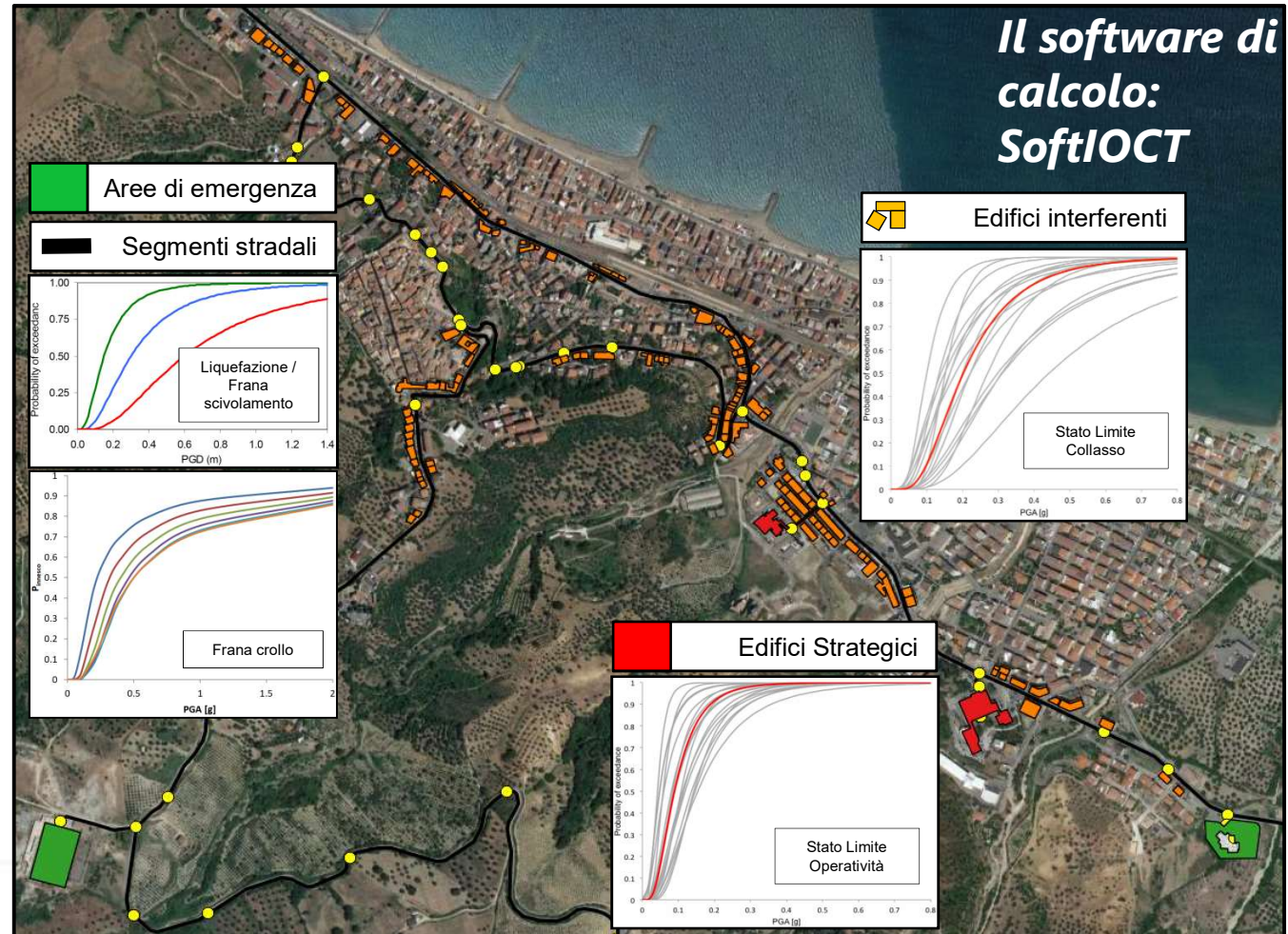


PON SISMICO - FASE 4

La valutazione dell'operatività strutturale del CT

Vulnerabilità

- Edifici interferenti e edifici strategici: curve di fragilità e metodo Syner-G
- Infrastrutture: curve di fragilità con metodo Hazus
- Aree di emergenza: curve di fragilità con metodi Syner-G e Hazus





PON SISMICO - FASE 4

La valutazione dell'operatività strutturale del CT

Esempio: Contesto Territoriale di Cariatì

TR = 100 ANNI

IOCT	0.490
------	-------

Indici di Operatività delle Singole Componenti

ES	0.935
COC	0.794
AE Ricovero	0.732
AE Ammassamento	1.000
Connessioni	0.706
Accessibilità	0.924

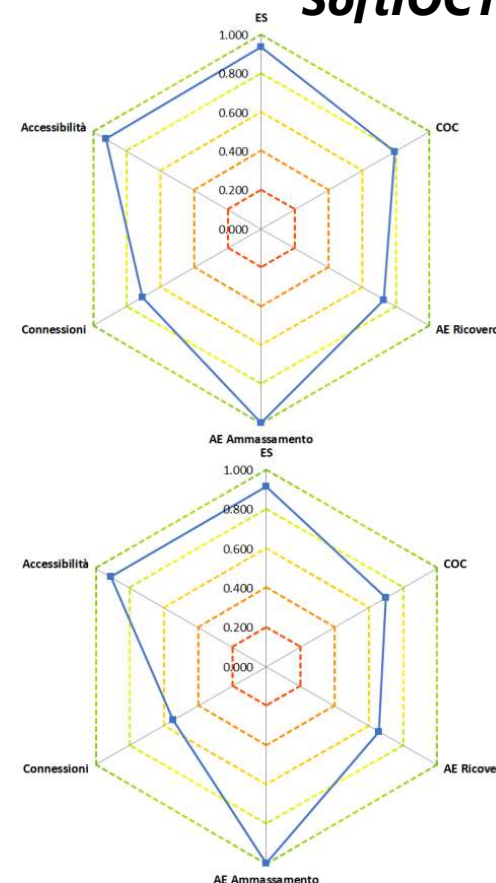
TR = 475 ANNI

IOCT	0.384
------	-------

Indici di Operatività delle Singole Componenti

ES	0.913
COC	0.701
AE Ricovero	0.661
AE Ammassamento	1.000
Connessioni	0.545
Accessibilità	0.910

**Il software di calcolo:
SoftIOCT**



**PON SISMICO - FASE 5**

FASE 1	FASE 2	FASE 3	FASE 4	FASE 5
Individuazione Contesti Territoriali (CT)	Studi di Microzonazione Sismica	Analisi CLE	Valutazione operatività CT	Programmazione Interventi

La programmazione degli interventi non è stata attivata nel 2018.

Nel 2019 si svilupperà una procedura volta ad identificare la lista di priorità di intervento attraverso un algoritmo di ottimizzazione vincolata («ottimizzazione» in funzione di un valore obiettivo di IOCT, «vincolata» in funzione di costi parametrici)

