



ΣΥΛΛΟΓΟΣ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ
ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΚΥΠΡΟΥ (ΣΠΟΛΜΗΚ)

CYPRUS ASSOCIATION
OF CIVIL ENGINEERS (CYACE)



ERATOSTHENES:
Excellence Research Centre for Earth Surveillance
& Space-Based Monitoring of the Environment



*Seismic Risk Assessment and optimum
retrofit of existing RC buildings in Cyprus*

@excelsior2020eu



Nicholas Kyriakides, Assistant Professor

CUT and Eratosthenes Centre of Excellence



This project has received funding from the European Union's Horizon 2020 research and innovation programme under Grant Agreement No 857510.



This project has received funding from the Government of the Republic of Cyprus through the Directorate General for the European Programmes, Coordination and Development.

CONSORTIUM





Διαδικτυακό Σεμινάριο ΣΠΟΛΜΗΚ-
28/06/2021

**Σεισμική επικινδυνότητα και
ενισχύσεις υφιστάμενων κτιρίων στον
Κυπριακό χώρο**

Dr Nicholas Kyriakides, Assistant Professor

CUT and Eratosthenes Centre of Excellence

D. Kazantzidou-Firtinidou

Center for Security Studies, Ministry of Citizen Protection, Athens, GREECE

C. Z. Chrysostomou

Professor, CUT

1. Αποτίμηση της σεισμικής επικινδυνότητας
2. Υπολογισμός βέλτιστης ενίσχυσης

ΕΝΟΤΗΤΑ 1:

Αποτίμηση της σεισμικής
επικινδυνότητας

Σεισμική Επικινδυνότητα- Περιεχόμενα

- Γενική περιγραφή της έννοιας της σεισμικής επικινδυνότητας
- Σεισμικός Κίνδυνος στον Κυπριακό χώρο
- Καμπύλες τρωτότητας
- Βάσεις δεδομένων
- Διαδικασία αποτίμησης σεισμικής επικινδυνότητας
- Εφαρμογή σεναρίων
- Αποτελέσματα-Συμπεράσματα

Σεισμική Επικινδυνότητα – Εισαγωγή

- Η αποτίμηση της σεισμικής επικινδυνότητας (SEISMIC RISK) αφορά τον καθορισμό των αναμενόμενων σεισμικών συνεπειών τόσο το κτιριακό απόθεμα όσο και στον πληθυσμός μιας συγκεκριμένης περιοχή από συγκεκριμένο σεισμό.

Σεισμική Επικινδυνότητα – Εισαγωγή

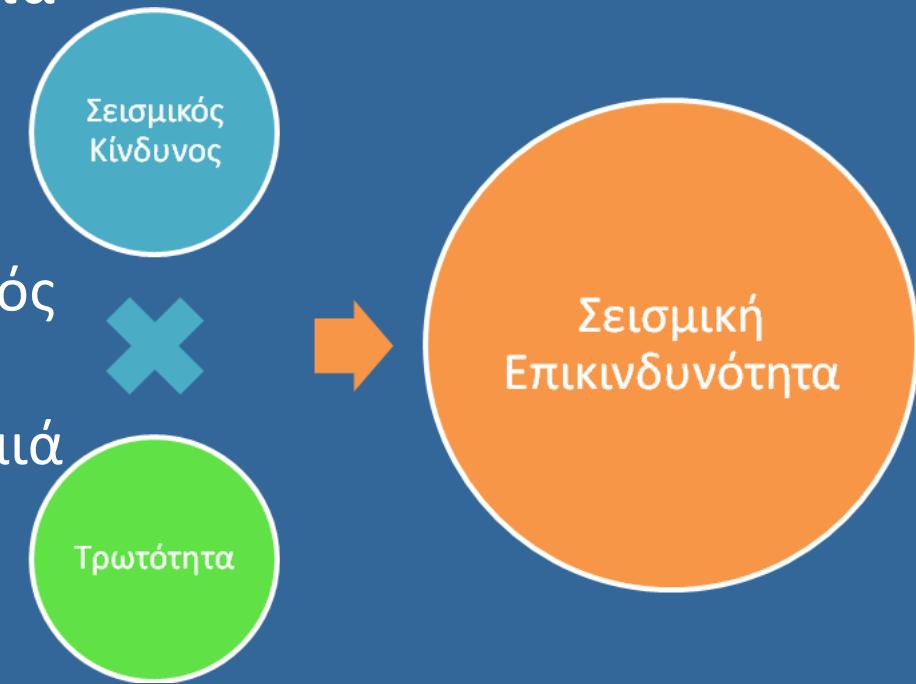
- Βασίζεται στο δεδομένο ότι οι απώλειες λόγω των σεισμών εξαρτώνται από την ποιότητα των κτιρίων (σεισμός σε έρημο φέρει μηδενική επικινδυνότητα)
- Συνδυάζει τα δεδομένα του σεισμού (μέγεθος, επίκεντρο, εστιακό βάθος κ.α.) με τα δεδομένα των κτιρίων (ύψος, ηλικία, ποιότητα κ.α.)

Σεισμική Επικινδυνότητα – Εισαγωγή

- Δίδει ποσοτικά αποτελέσματα για τις οικονομικές απώλειες αλλά και αποτελέσματα για τις ανθρώπινες απώλειες, τραυματισμούς κ.α.
- Μπορεί να εφαρμοστεί συνολικά για μια χώρα, μια πόλη ή ακόμα και για συγκεκριμένα σημαντικά έργα υποδομής όπως νοσοκομεία, αεροδρόμια, πυρηνικούς σταθμούς κ.α.
- Τα αποτελέσματα της αποτίμησης μπορούν να αποτελέσουν σημαντικό εργαλείο στα χέρια τόσο των τοπικών όσο και των κυβερνητικών αρχών για σκοπούς προετοιμασίας και πρόληψης.

Σεισμική Επικινδυνότητα – Συστατικά

- Σε μαθηματικούς όρους εκφράζεται ως το γινόμενο του σεισμικού κινδύνου και της τρωτότητας των κτιρίων
- Σεισμικός κίνδυνος: η πιθανότητα σεισμού με συγκεκριμένα χαρακτηριστικά (μέγεθος, επίκεντρο, εστιακό βάθος) – Μικροζωνικές Μελέτες, Σεισμικός Χάρτης
- Τρωτότητα: Η αναμενόμενη ζημιά σε συγκεκριμένη κατηγορία κτιρίων με δεδομένο σεισμικό κίνδυνο

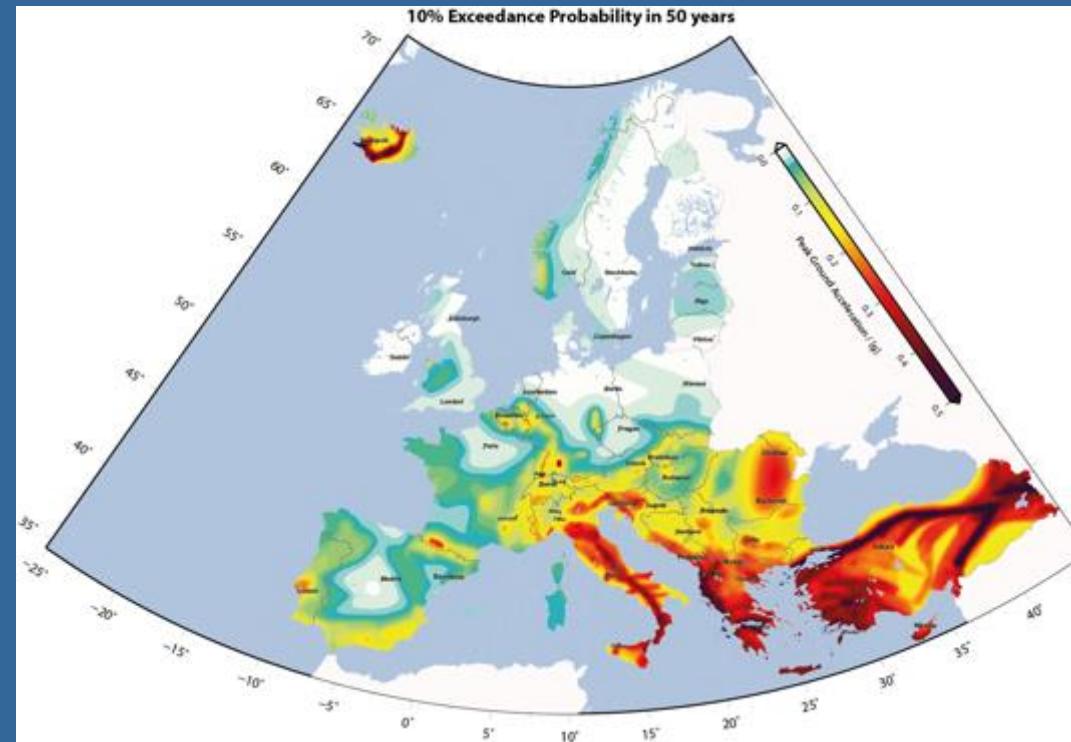


Σεισμικός Κίνδυνος— Σενάρια

- Για σκοπούς αποτίμησης της σεισμικής επικινδυνότητας, ο σεισμικός κίνδυνος εκφράζεται με τη μορφή σεναρίων
- Τα σενάρια αυτά αφορούν τους αναμενόμενους σεισμούς κατά τη διάρκεια ζωής των κτιρίων
- Τα συνήθη σενάρια που χρησιμοποιούνται είναι,
 - Σεισμός σχεδιασμού νέων κτιρίων με πιθανότητα υπέρβασης 10% στα 50 χρόνια
 - Μεγαλύτερος αναμενόμενος σεισμός στην περιοχή με πιθανότητα υπέρβασης 2% στα 50 χρόνια

Σεισμικός Κίνδυνος– Σενάρια

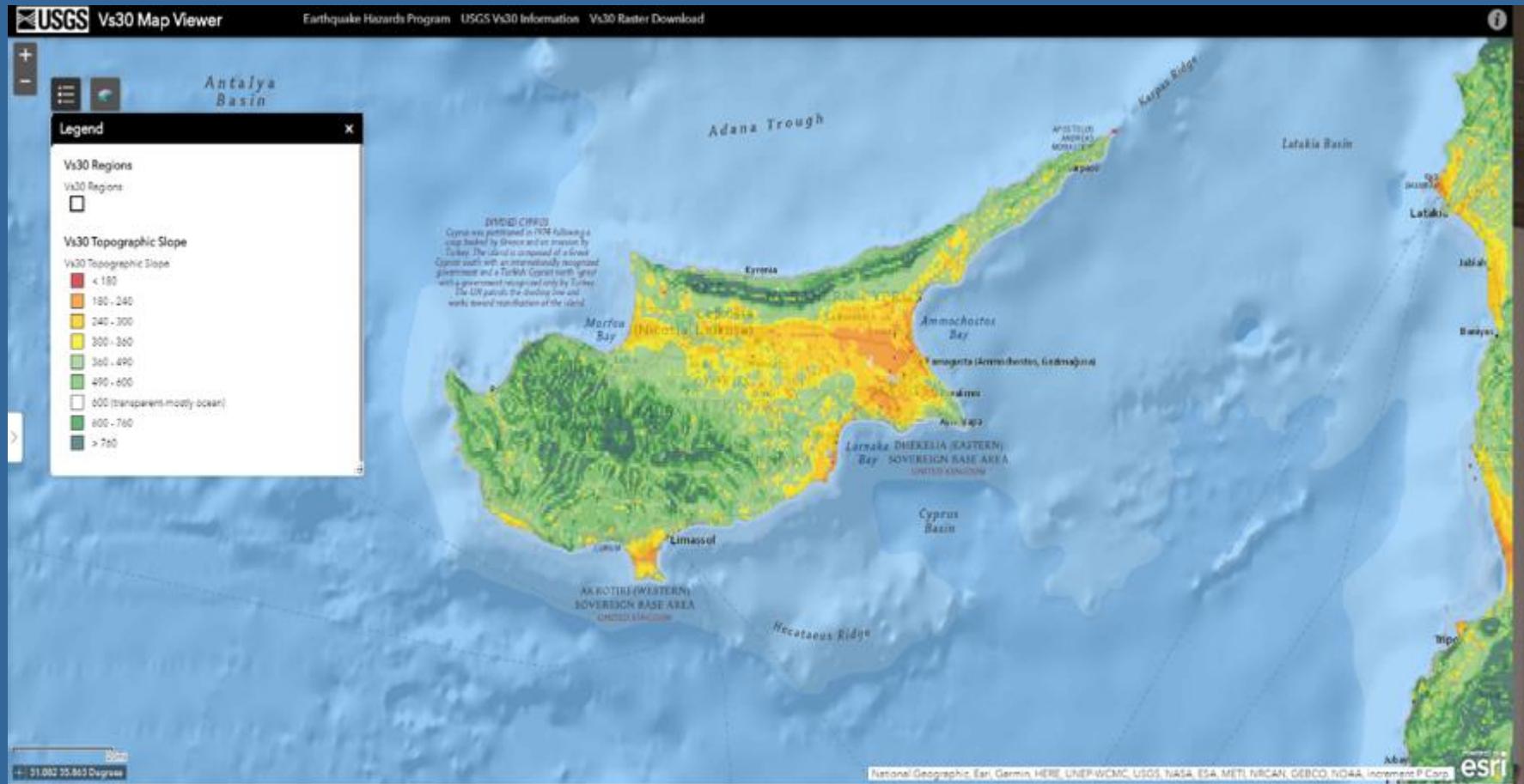
- Ως μέρος του Ερευνητικού προγράμματος SHARE έγινε αποτίμηση του σεισμικού κινδύνου στον Ευρωπαϊκό χώρο με βάση τα σεισμοτεκτονικά δεδομένα της κάθε περιοχής



The 2013 Euro-Mediterranean Seismic Hazard Model (ESHM13)

- European Database of Seismogenic Faults
(Basili et al., 2013)
 - SHARE European Earthquake Catalogue
 - Compiled within SHARE (Giardini et al., 2013) and EMME (Erdik et al., 2012) projects
 - Includes seismic catalogue between 1000 and 2006 with 6170 events
 - Strong Motion Database
 - By Yenier et al., 2010
 - Several global Databases
 - Covers earthquakes from 1930s to 2009 with 2448 events and 14193 records
- 
- ...until late 2020 when the EFSM (European Fault Source Model will be released as part of SERA (H2020) project and European Seismic Hazard Model (ESHM20).

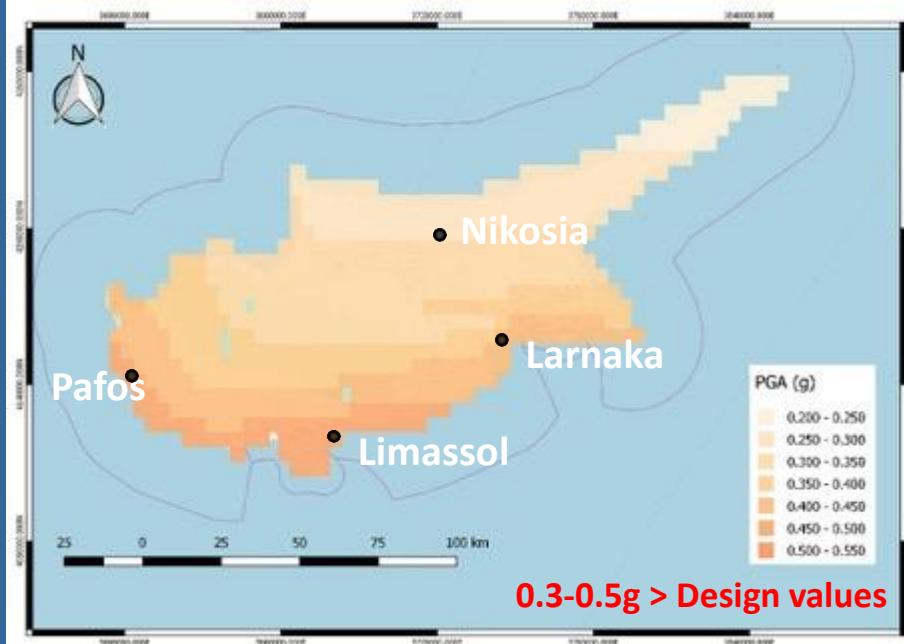
Site conditions, (Cohen et al., 2012)



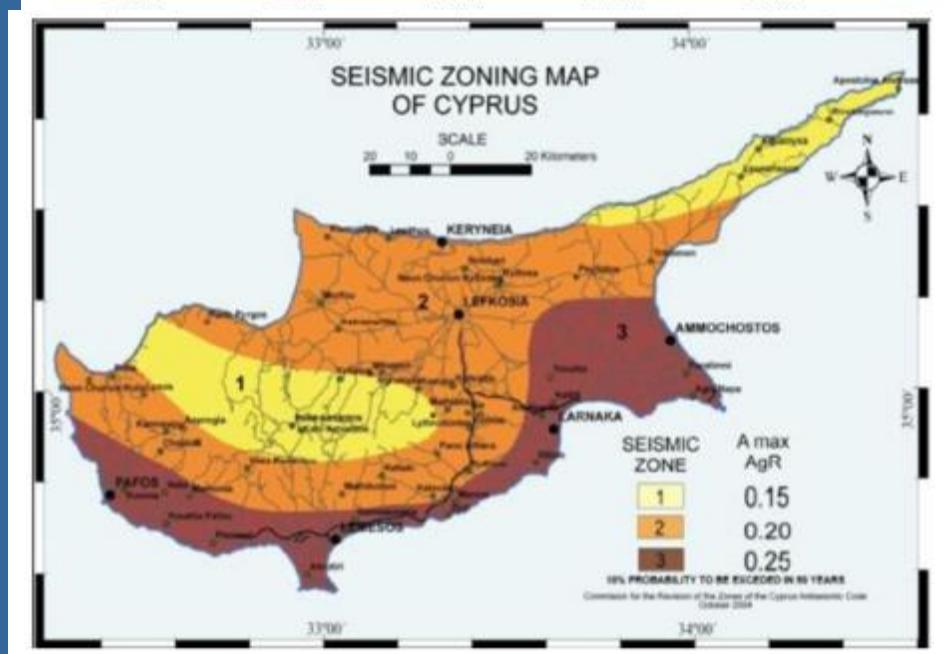
From European SHARE project (Giardini et al., 2013)

Incl. 3 seismic source models, several GMPEs, Vs30 from USGS
Classical PSHA with OpenQuake platform (GEM tool)

T = 475 y or poe 10% in 50y



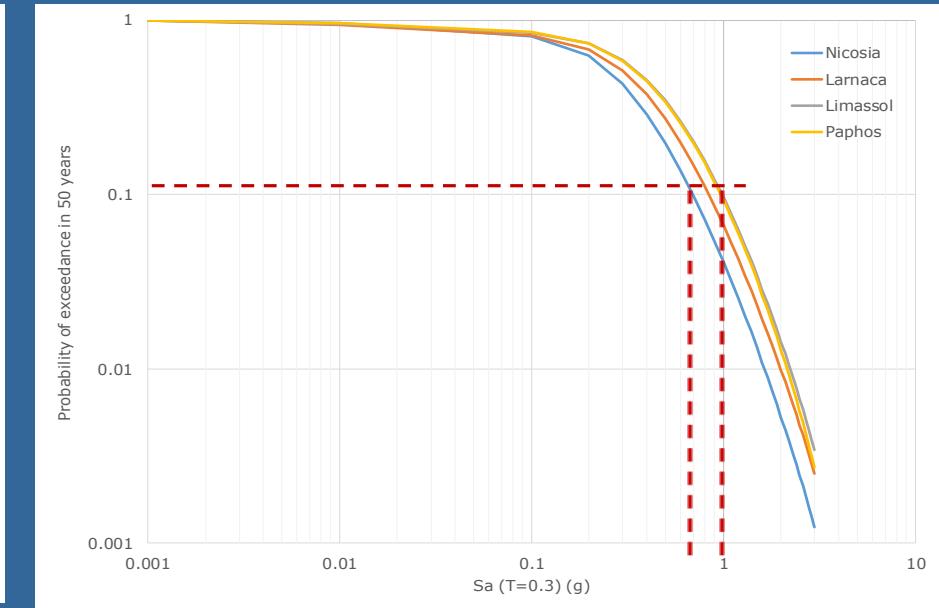
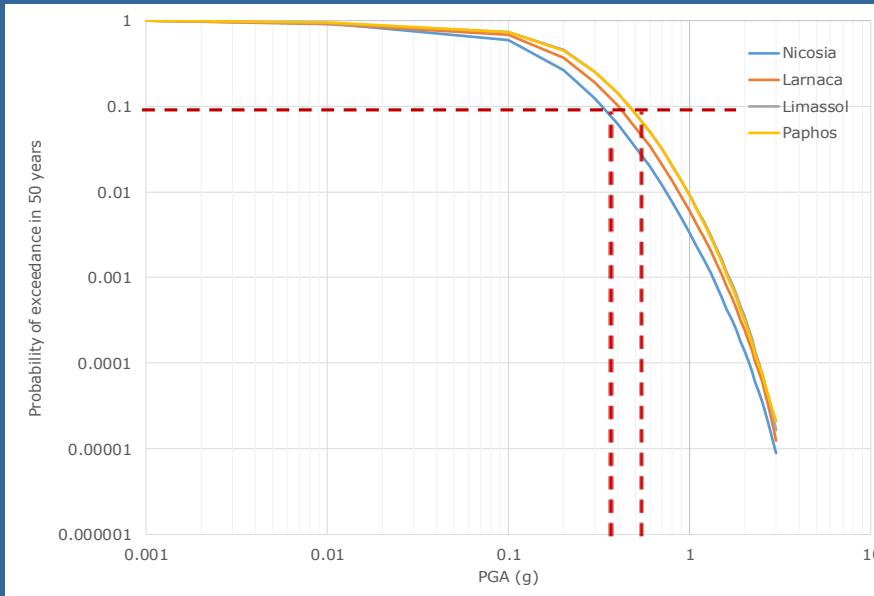
National Annex of EC8



- ❑ Seismic Source models (per SHARE)
 - ❑ Classic Area source model
 - ❑ Fault-source and background model
 - ❑ SEIFA model

- ❑ Ground motion model (per SHARE)
 - ❑ Akkar & Bommer, 2010
 - ❑ Cauzzi & Faccioli, 2008
 - ❑ Chiou & Youngs, 2008
 - ❑ Zhao et al., 2006
 - ❑ Lin&Lee, 2008
 - ❑ Atkinson & Boore, 2003

Seismic hazard curves form PSHA



Σεισμική Τρωτότητα – Κατηγοριοποίηση Κτιρίων

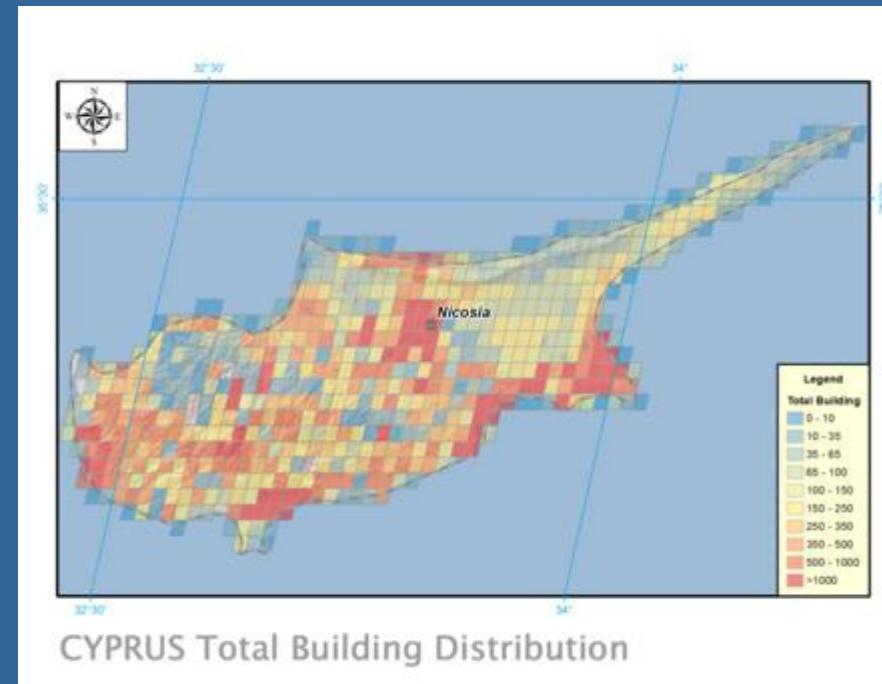
- Για την αποτίμηση της σεισμικής επικινδυνότητας έγινε συλλογή στοιχείων για το υφιστάμενο κτιριακό απόθεμα στην Κύπρο και για τη διασπορά του πληθυσμού.
- Η συλλογή των στοιχειών βασίστηκε στη βάση δεδομένων του Τμήματος Κτηματολογίου και Χωρομετρίας, σε δεδομένα της Απογραφής Πληθυσμού του 2011 και σε συλλογή στοιχείων από τα αρχεία Δήμων.
- Η κατηγοριοποίηση των κτιρίων αφορά το ύψος τους, το υλικό κατασκευής τους και το έτος κατασκευής του. Τα δεδομένα αυτά επηρεάζουν την τρωτότητά τους.

Σεισμική Τρωτότητα – Κατηγοριοποίηση Κτιρίων

- Η συλλογή των στοιχείων και η κατηγοριοποίηση τους έγινε από την ομάδα αντισεισμικής του ΤΕΠΑΚ στα πλαίσια του Ερευνητικού Προγράμματος «*Seismic Vulnerability and Strengthening of Existing Privately Owned Buildings*» με συνεργάτες το Πανεπιστήμιο Πατρών, το Πανεπιστήμιο Κύπρου και την Πολιτική Άμυνα Κύπρου. Το πρόγραμμα αποτελούσε μέρος της Δέσμης 2008-2010 του Ιδρύματος Προώθησης Έρευνας
- Τα στοιχεία για τα κατεχόμενα δόθηκαν από την Αν.Καθηγήτρια Zehra Cagnac

Σεισμική Τρωτότητα – Δημιουργία Βάσης δεδομένων

- Με βάση τα στοιχεία δημιουργήθηκε βάση δεδομένων σε μορφή GIS του υφιστάμενου κτιριακού αποθέματος (350,000 κτίρια). Οι χαρτοφραφήσεις σε μορφή GIS έγιναν ως μέρος του Ερευνητικού Προγράμματος ΕΜΜΕ

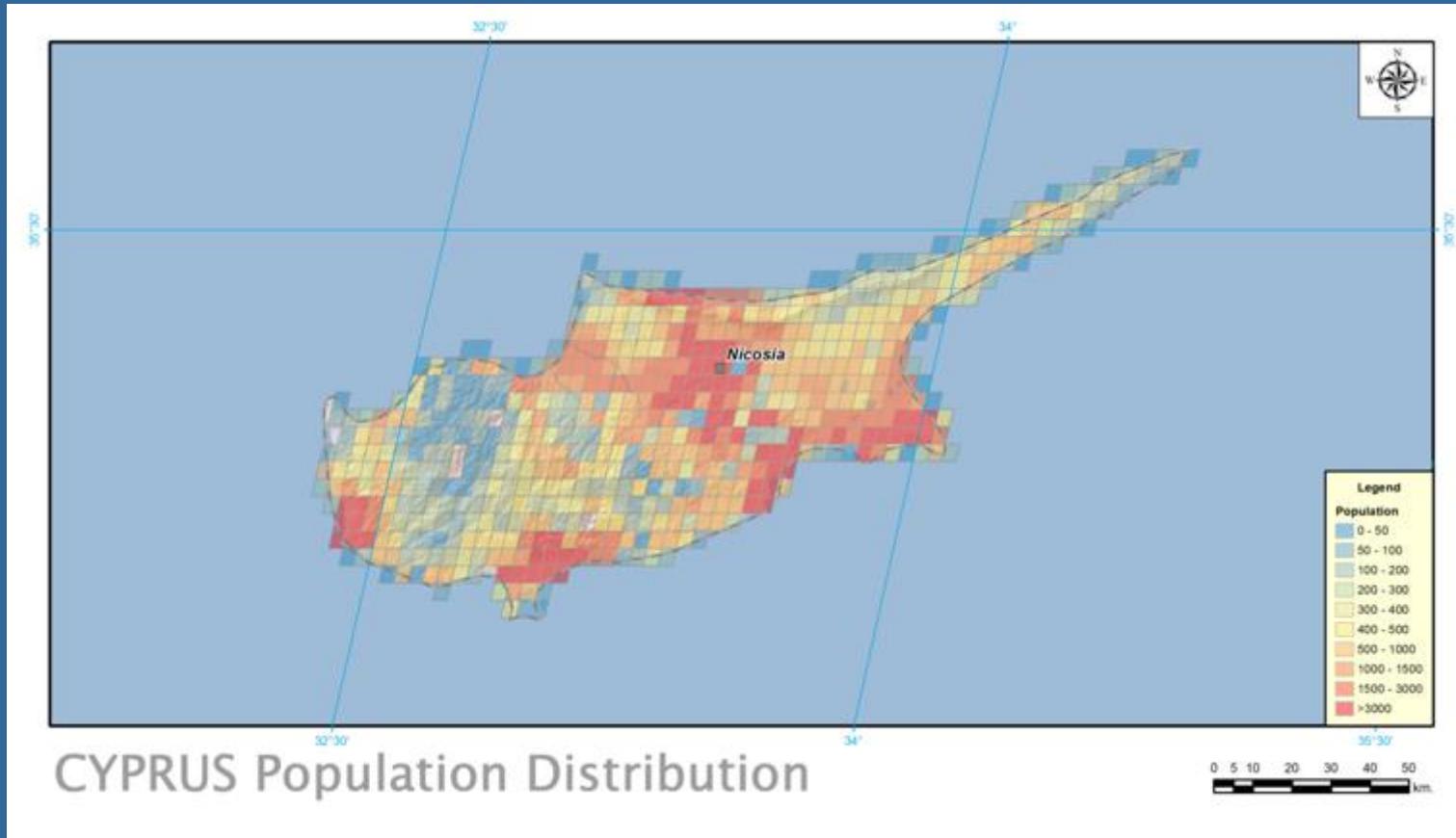


Σεισμική Τρωτότητα – Κατηγοριοποίηση Κτιρίων

- ΟΣ≤2 ορόφους : Αποτελούν περίπου το 70% του υφιστάμενου κτιριακού αποθέματος (245000).
- ΟΣ>2 ορόφους: Περίπου 70% είναι ≤ 5 ορόφους (74000). Πολύ λίγα (~400) είναι 6-9 ορόφους
- Από τα πιο πάνω το 60% (210000) έχουν σχεδιαστεί και κατασκευαστεί πριν την εφαρμογή του Κυπριακού Αντισεισμικού Κώδικα (1992).
- Έχουν καταγραφεί περίπου 45000 υφιστάμενα παραδοσιακά κτίρια κυρίως από πέτρα και πλιθάρι.

Σεισμική Τρωτότητα – Πληθυσμός

- Χαρτογράφηση σε μορφή GIS της διασποράς του πληθυσμού

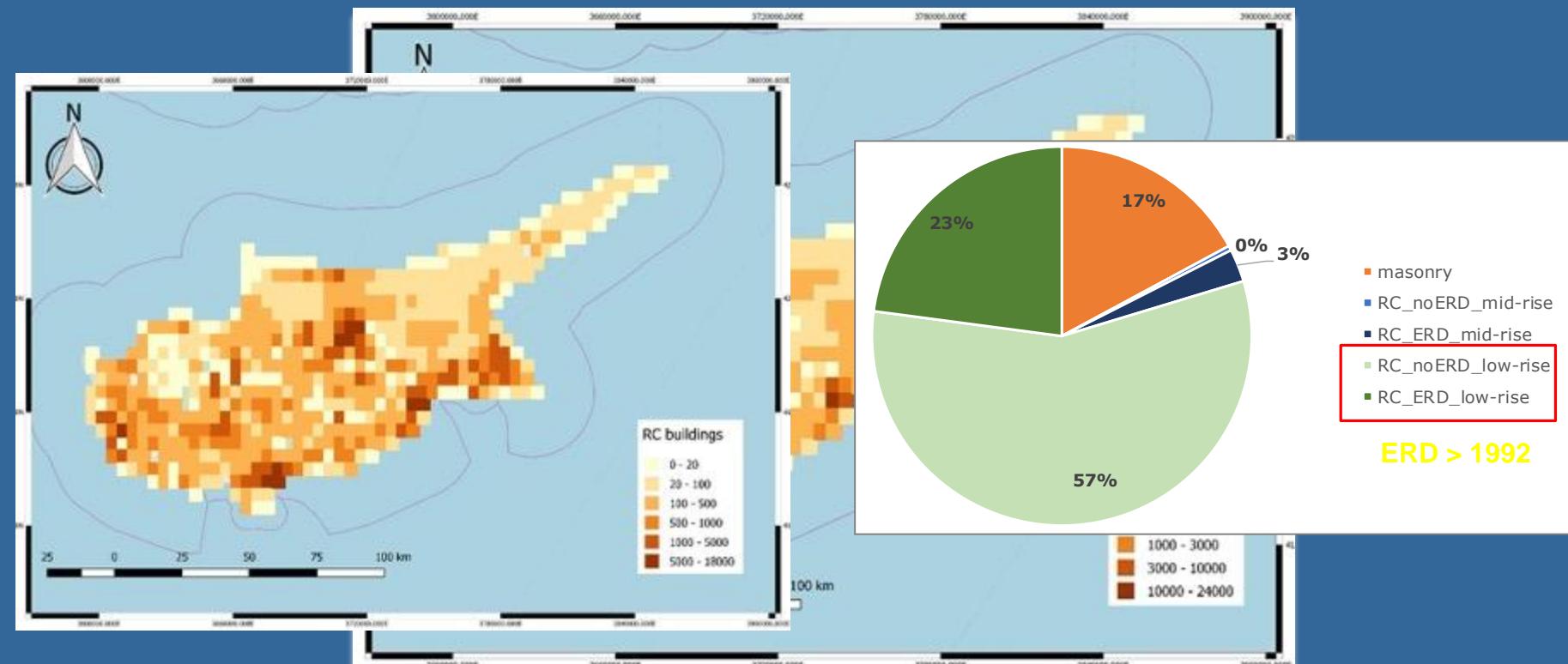


Exposure: “people, property, systems, or other elements present in hazard zones that are subject to potential losses” (UN, 2015)

- ❑ Time construction period
- ❑ Construction material
- ❑ Structural bearing system
- ❑ Number of floors
- ❑ Irregularities
- ❑ Use

Types of data

- GIS grid 1x1km²
- Building descriptive data (CENSUS 2011, Department of Lands and Surveys)
- Population data (CENSUS 2011)



(Chrysostomou et al., 201

Σεισμική Τρωτότητα – Καμπύλες

Vulnerability: the conditions determined by physical, social, economic, and environmental factors or processes which increase the susceptibility of a community to the impact of hazards (Sendai Framework 2015)

Physical

- Expected resistance of a structure exposed to the seismic hazard
- Intrinsic parameter
- Independent of hazard
- Depends on structural, mechanical, geometric building characteristics

Social

- Concept that assists to identify those characteristics of population that enable them to respond and recover
- Dynamic & ever-changing
- Composite index composed by parameters
- Integrated or holistic risk mapping

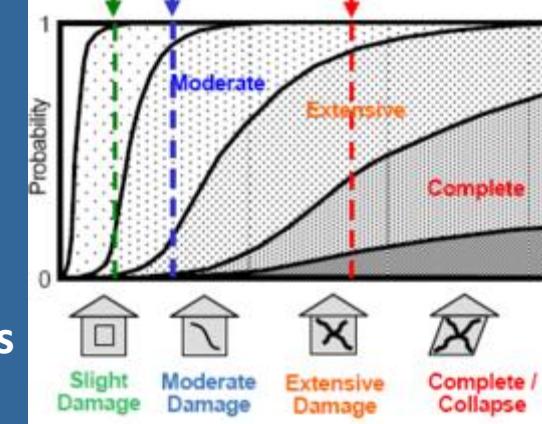
Σεισμική Τρωτότητα –Physical

Empirical

Hybrid

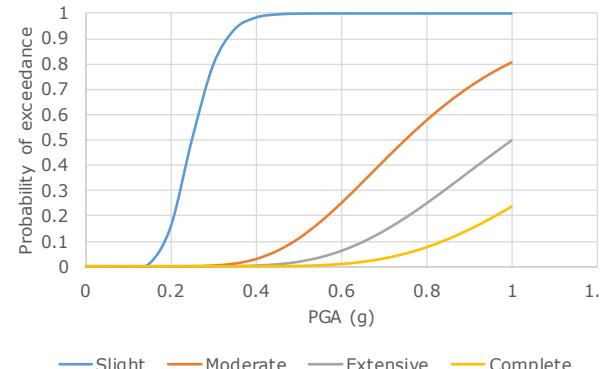
Analytical

Fragility curves

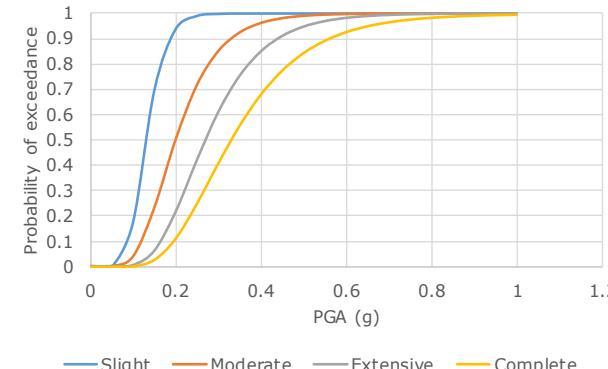


420 TH analyses
All building typologies
Parametric study
Kyriakides et al. (2015)

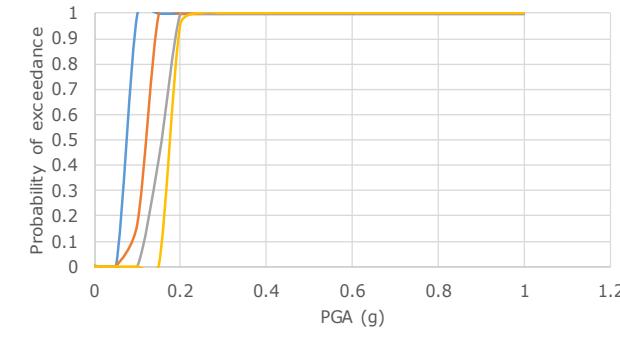
RC with ERD low rise

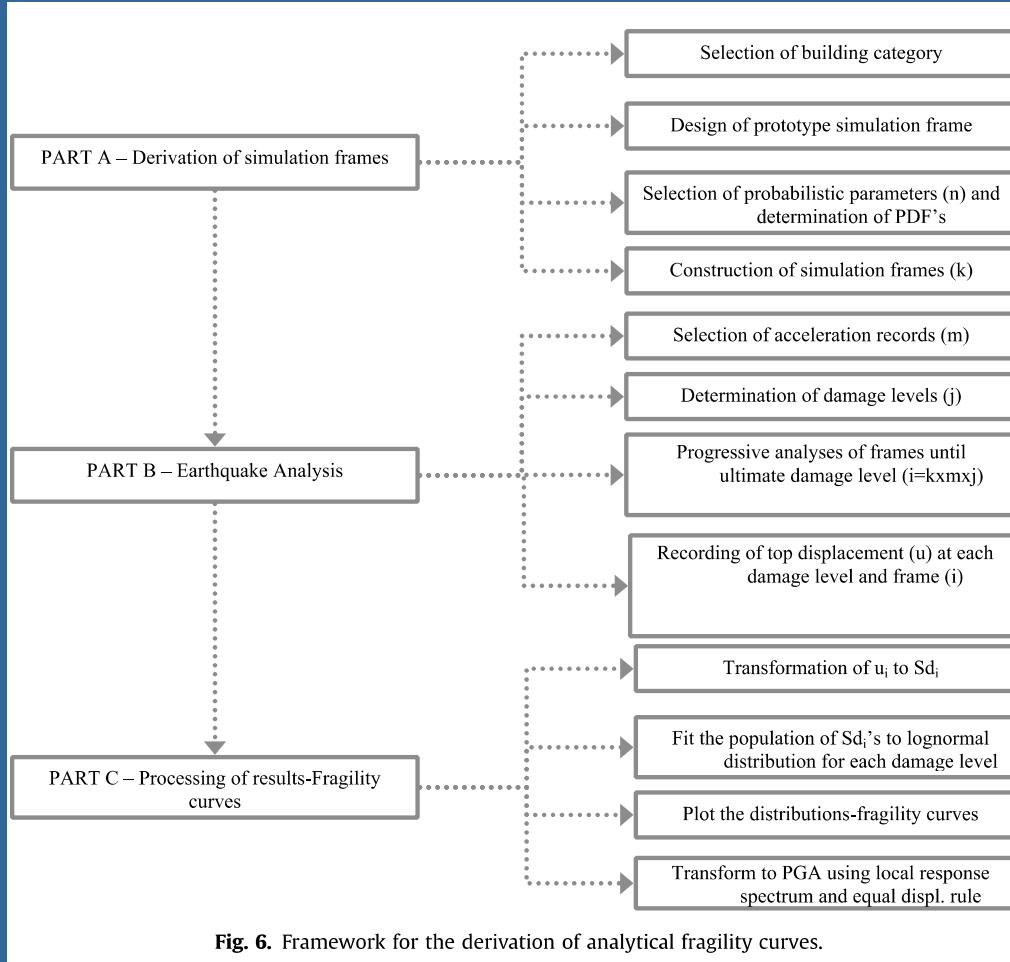


RC without ERD low rise



Masonry without ERD low rise





Design combinations for the design of the simulation models.

Load combination	G_k (Dead load)	Q_k (Live load)	Horizontal load
No seismic design (OLD)	1.4 1.2	1.6 1.2	± 1.2 (0.2 kN/m^2) –
Full seismic design (NEW)	1.35 1	1.5 0.3	Design spectrum of EC8 (CEN 1998-1) –

Details of frame members (from design).

Building category	Dimensions	Reinforcement
LR_O	Columns	250×250
	Beams	250×500
LR_N	Columns	250×500
	Beams	250×500
HR_O	Columns	400×400
	Beams	250×500
HR_N	Columns	500×500
	Beams	300×600

Fig. 6. Framework for the derivation of analytical fragility curves.

Probabilistic parameters used for the derivation of simulation frames.

Probabilistic parameter	No seismic design		Modern seismic design	
	Average	St. Deviation	Average	St. Deviation
f_{cm}	24	8	33	6
f_y	410	32	500	32
S	200	40	125	25
L	30φ	6φ	40φ	6φ

1. Damage Limitation (DL): Column's yield rotational capacity (code defined equation for θ_y).
2. Significant Damage (SD): $\frac{3}{4}$ of column's ultimate rotational capacity.
3. Near Collapse (NC): Column's ultimate rotational capacity and its shear capacity as defined in the code (code defined equation for θ_{ult} and V_R).
4. Building Collapse (FAIL): All columns of a floor reach limit state 3 or a maximum inter-storey drift of 4% is reached.

Table 7

Mean and standard deviation values of the Sd fragility curves for the 4 damage levels.

Sd (m)	DL		SD		NC		FAIL	
	μ	σ	μ	σ	μ	σ	μ	σ
LR_O	0.055	0.27	0.07	0.30	0.09	0.28	0.11	0.28
HR_O	0.13	0.28	0.15	0.29	0.19	0.35	0.25	0.31

Table 8

Mean and standard deviation values of the PGA fragility curves for the 4 damage levels.

PGA (g)	DL		SD		NC		FAIL	
	μ	σ	μ	σ	μ	σ	μ	σ
LR_O	0.13	0.28	0.2	0.39	0.27	0.38	0.33	0.41
HR_O	0.17	0.24	0.21	0.37	0.3	0.5	0.44	0.39

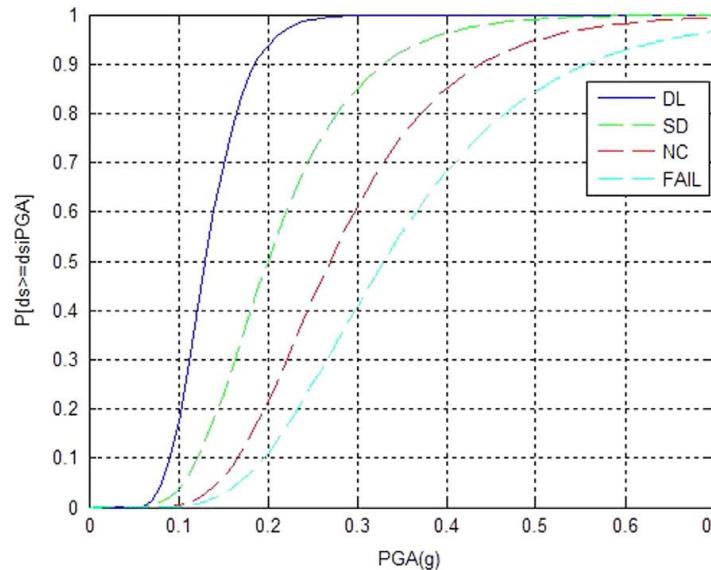


Fig. 7. Derived fragility curves for LR_O buildings.

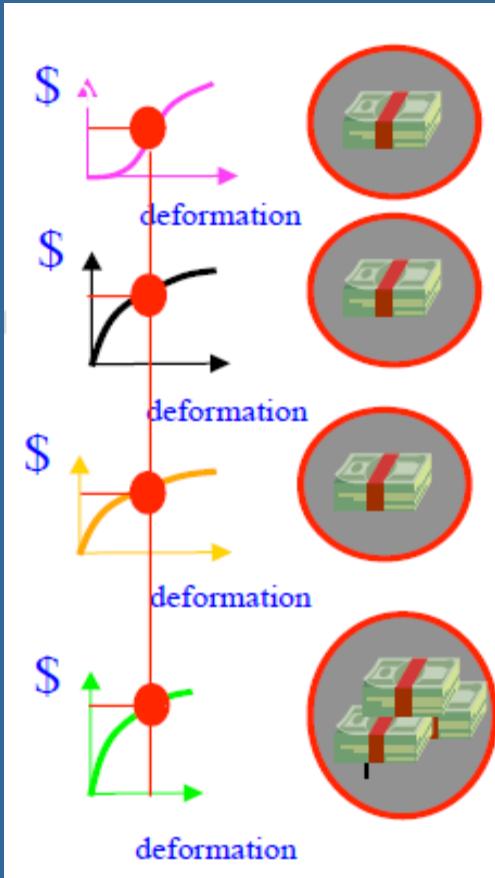
Table 9

Comparison of the derived mean PGA limits with corresponding ones in [11].

Building category	Damage level	PGA	HAZUS_PGA
LR_N	DL/Moderate	0.25g	0.35g
	NC/Collapse	1g	0.7g
HR_N	DL/Moderate	0.25g	0.22g
	NC/Collapse	0.5g	0.6g
LR_O	DL/Moderate	0.13g	0.15g
	NC/Collapse	0.27g	0.27g
HR_O	DL/Moderate	0.17g	0.15g
	NC/Collapse	0.3g	0.27g

LOSS FUNCTIONS-vulnerability curves

Probability of occurrence per damage state



Loss ratio or damage functions

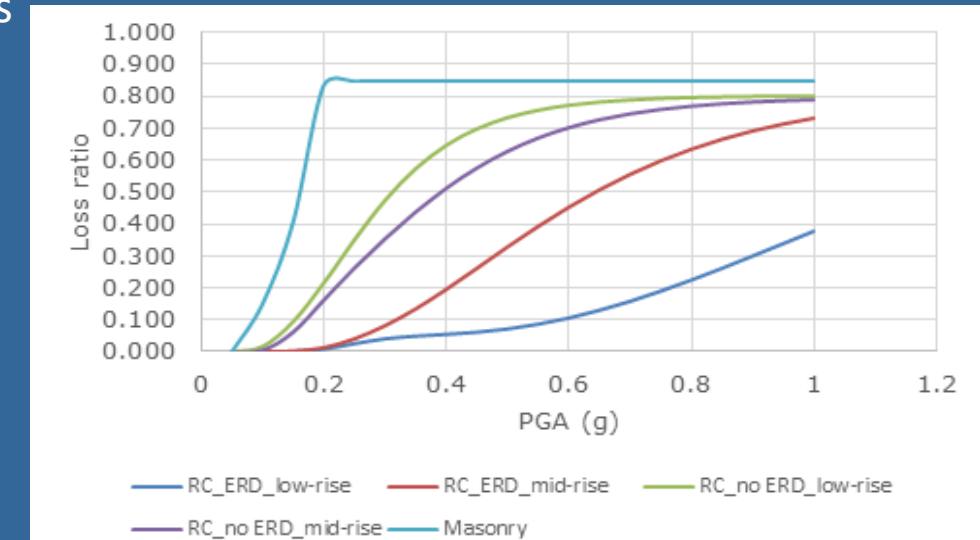
Cost
replacement
new 600-
800€/m²



RC
Masonry



Initial value



	DL	SD	NC	Fail
RC	0.05	0.2	0.45	0.8
Masonry	0.12	0.3	0.55	0.85

LOSS FUNCTIONS

- Human Loss: modelling casualties
 - HAZUS (1999) injuries model and Coburn and Spence fatalities model

Casualty rates	Slight (%)	Moderate (%)	Extensive (%)	Collapse (%)
Reinforced Concrete	0.0	0.03	0.10	1.0
Masonry	0.0	0.10	0.20	2.0

- Human Loss: displaced population
 - Population from Extensively and Completely damaged buildings are expected to evacuate
 - 50% of evacuees are expected to seek public sheltering (empirical) (PACES project & Kazantzidou et al. 2018)
 - Social vulnerability study from better estimate

LOSS FUNCTIONS

- **Fatalities:** $K_S = [M_1 \cdot M_2 \cdot M_3 \cdot (M_4 + M_5 \cdot (1 - M_4))] \times P(ds_i) \times \text{Population}$ (Spence, 2007 & LESSLOSS)
Depending on occupancy rate, building use, ratio of trapped inhabitants, correlation of collapse with fatalities, day/night scenario
- **Injuries:** $P_{Sev,2} = [P(ds_s)*P_{Sev,2_s} + P(ds_M)*P_{Sev,2_M} + P(ds_E)*P_{Sev,2_E} + P(ds_c)*P_{Sev,2_c}] * M_2 \times \text{Population}$ (Hazus, 1999)
- **Displaced population:** $\#DP_L = \{p[ds_E] + p[ds_C]\} \cdot \text{Population}$ (HAZUS, 1999 & PACES)
Long-term $\times 50\% \rightarrow \text{will seek public sheltering}$

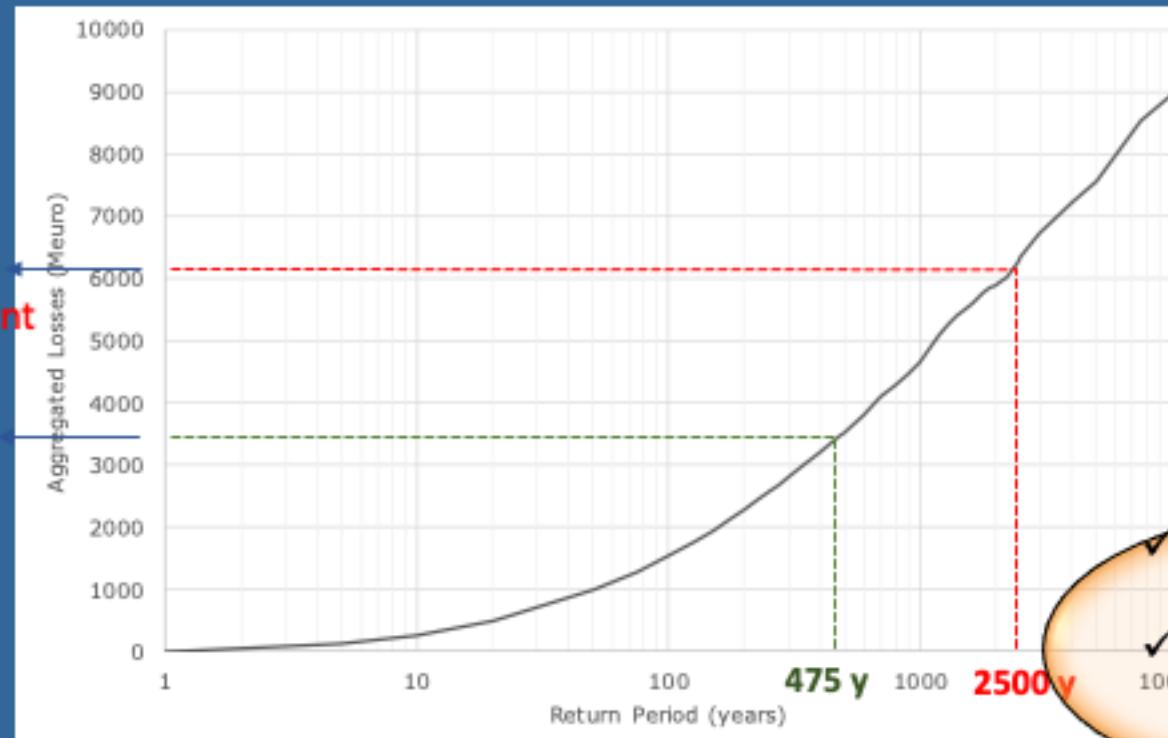
Casualty rates

P _{Sev,2_i}	Slight (%)	Moderate (%)	Extensive (%)	Collapse (%)
Reinforced Concrete	0.0	0.03	0.10	1.0
Masonry	0.0	0.10	0.20	2.0

Day/night

PROBABILISTIC LOSS ESTIMATES

Loss exceedance curve



Stochastic event based analysis for 50.000 years
(OpenQuake v3.2)

Order of magnitude!
To consider uncertainties of area extent

Scenario 2500 y
- Fd for important (infra)structures

Scenario 475 y
- Fd for normal structures

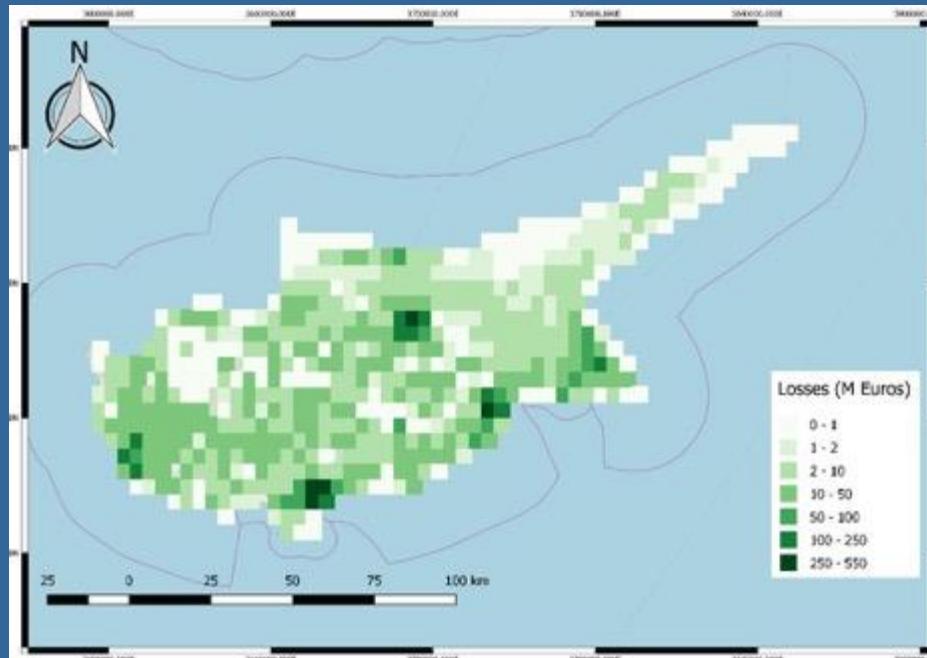
Total repl. Value=32 billion €

Average Annual Loss (mean values)

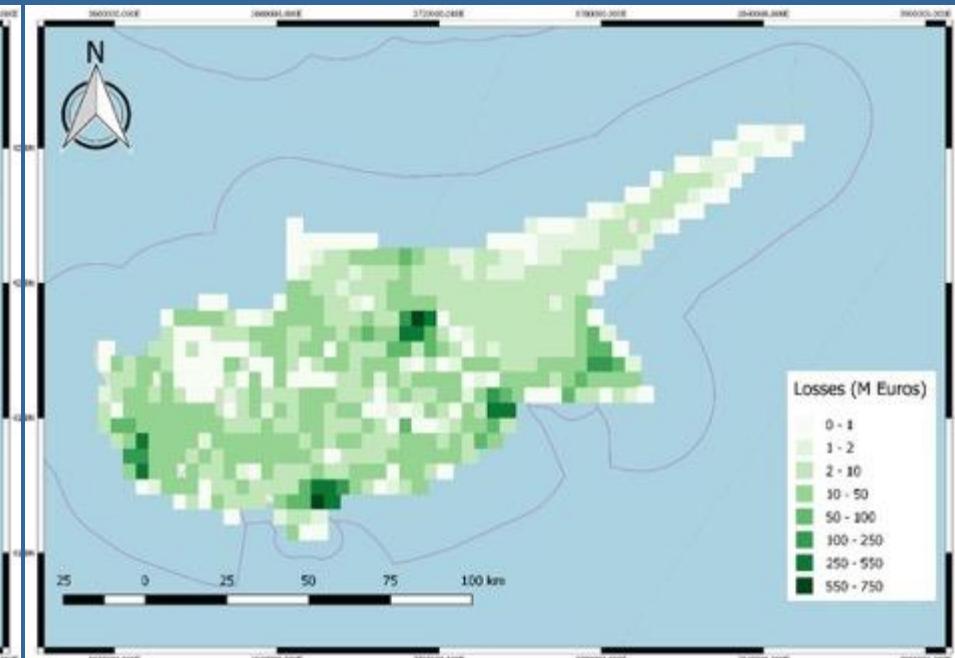
	Total	Nicosia	Larnaca	Limassol	Paphos
AAL (€)	116M	13.0M	8.7M	23.6M	9.0M
AALR	0.36%	0.31%	0.44%	0.69%	0.63%
Population	1,022,406	143,558	37,771	127,629	40,012

PROBABILISTIC LOSS DISTRIBUTION

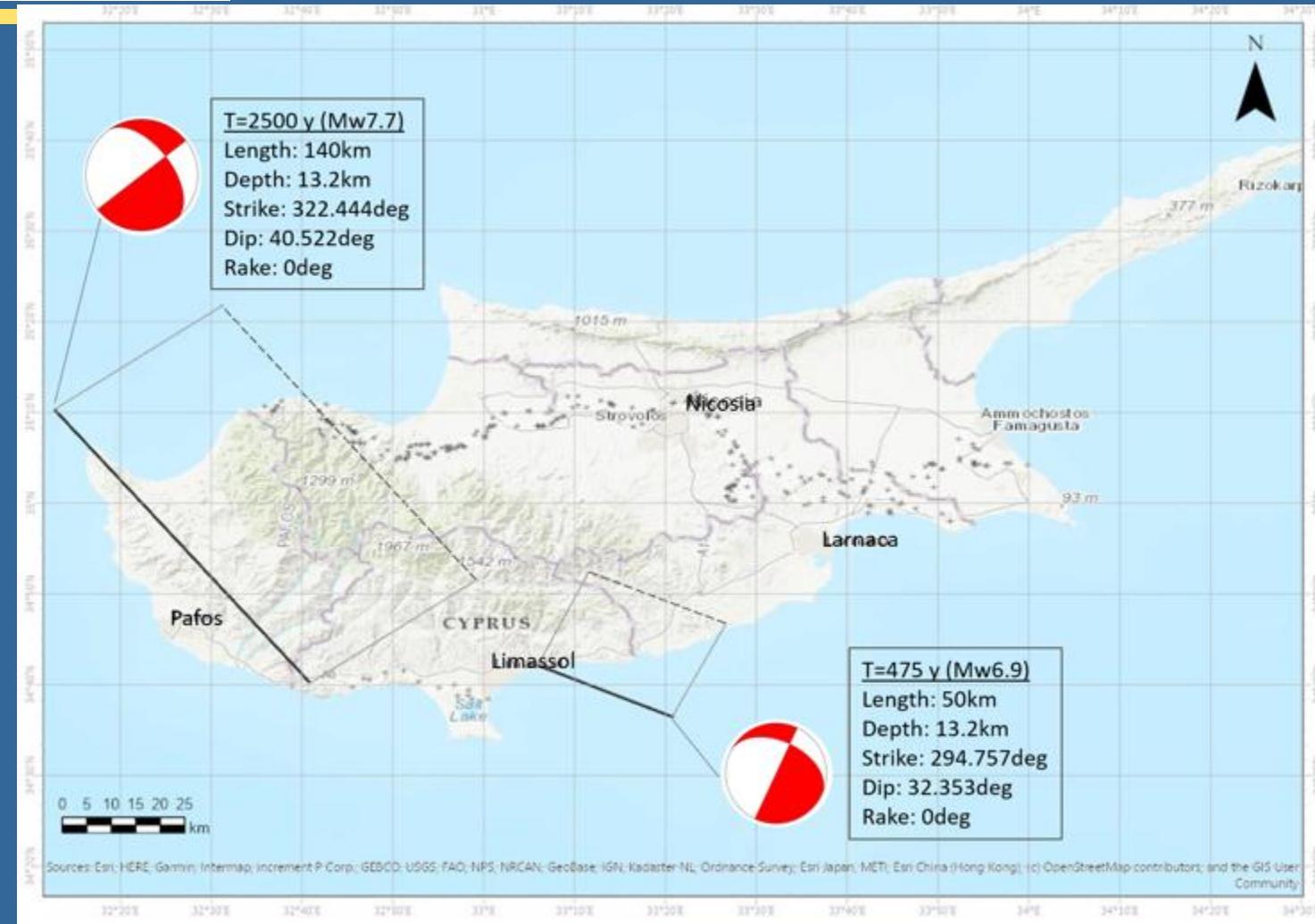
Loss map for T=475 y or poe 10% in 50y



Loss map for T=2500 y or poe 2% in 50y

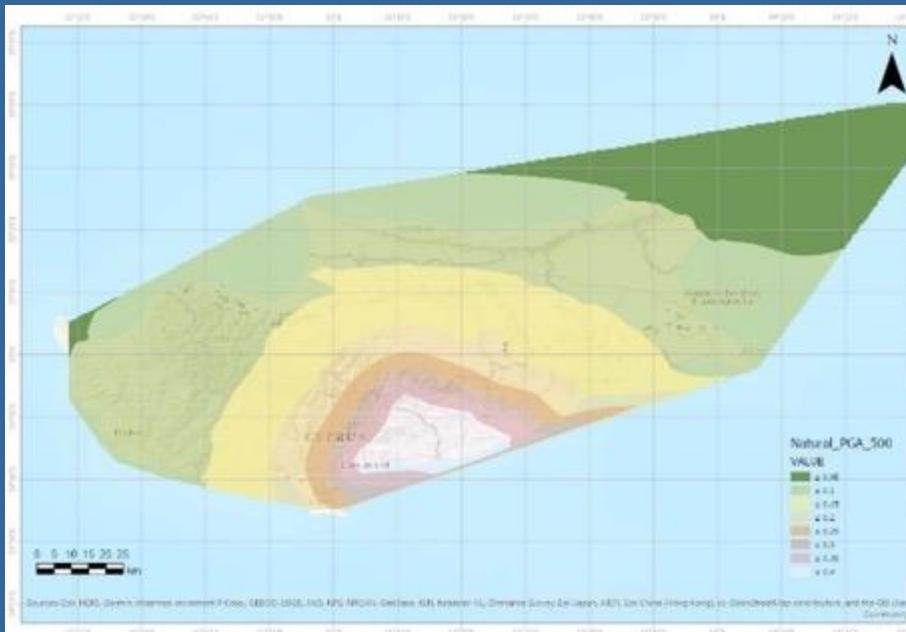


SCENARIO-BASED ANALYSIS

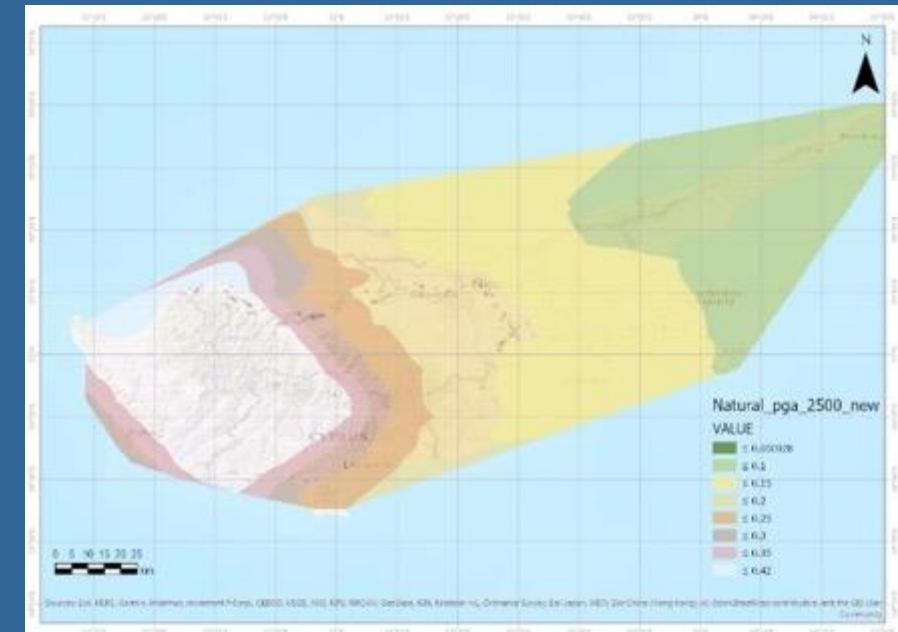


SEISMIC HAZARD FOR SCENARIOS

Scenario for T=500 years

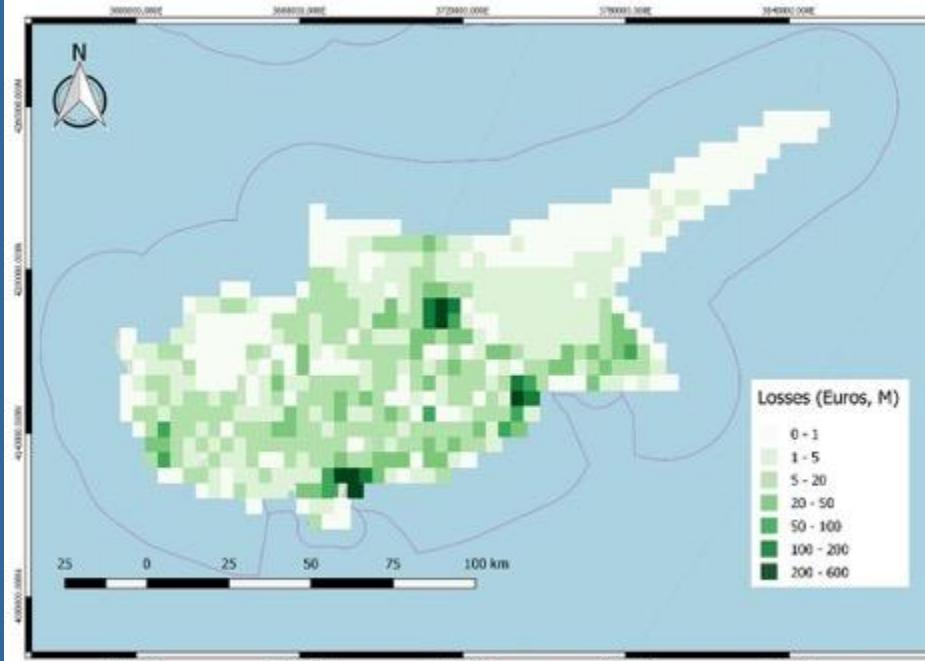


Scenario for T=2500 years

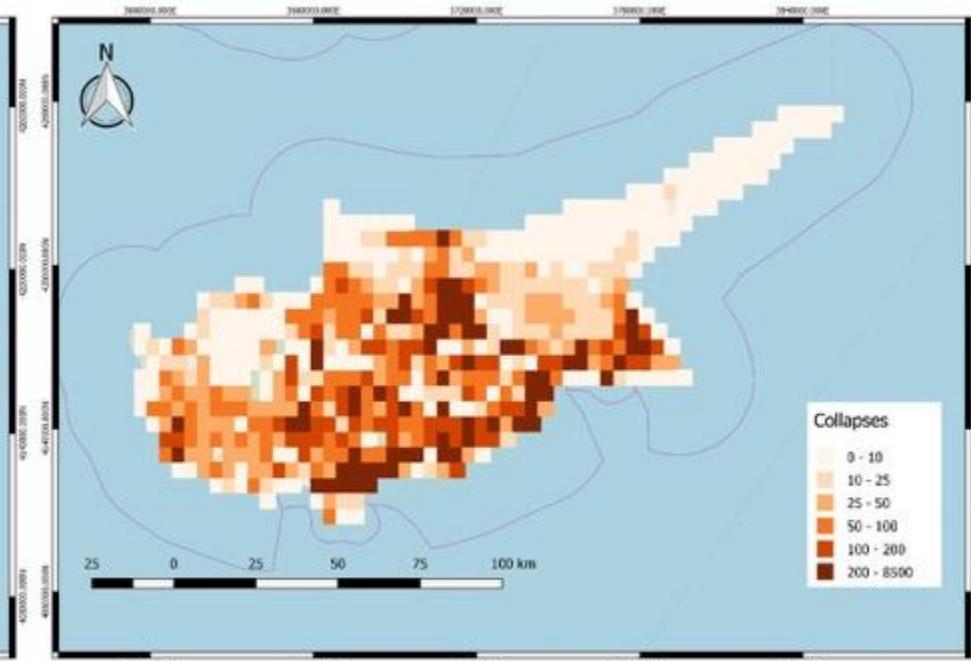


LOSS & DAMAGE FOR SCENARIO $T=475\text{ Y}$

Loss distribution in M euro

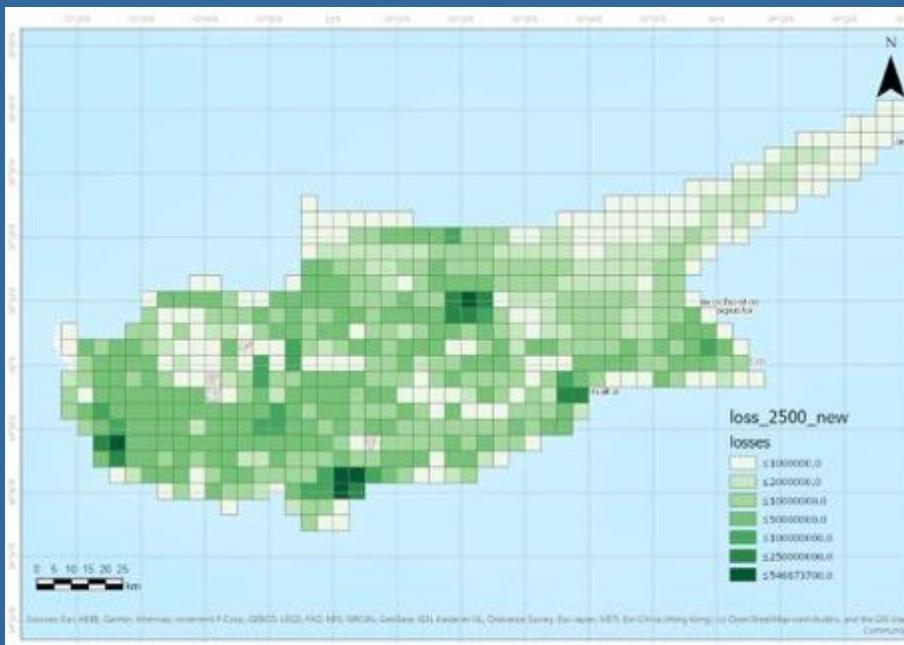


Collapse distribution in no# buildings

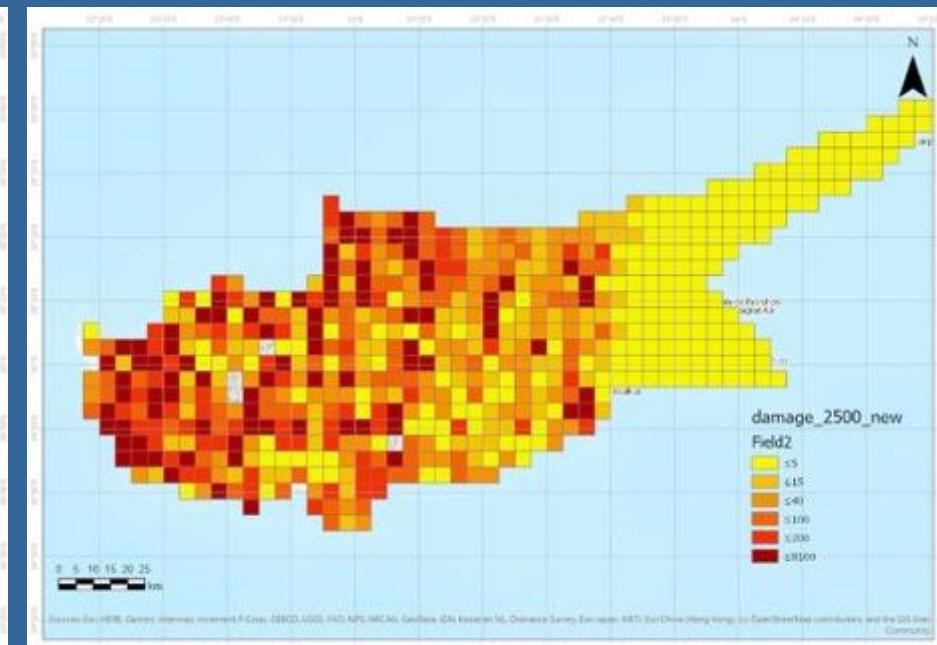


LOSS & DAMAGE FOR SCENARIO T=2500 Y

Loss distribution in M euro

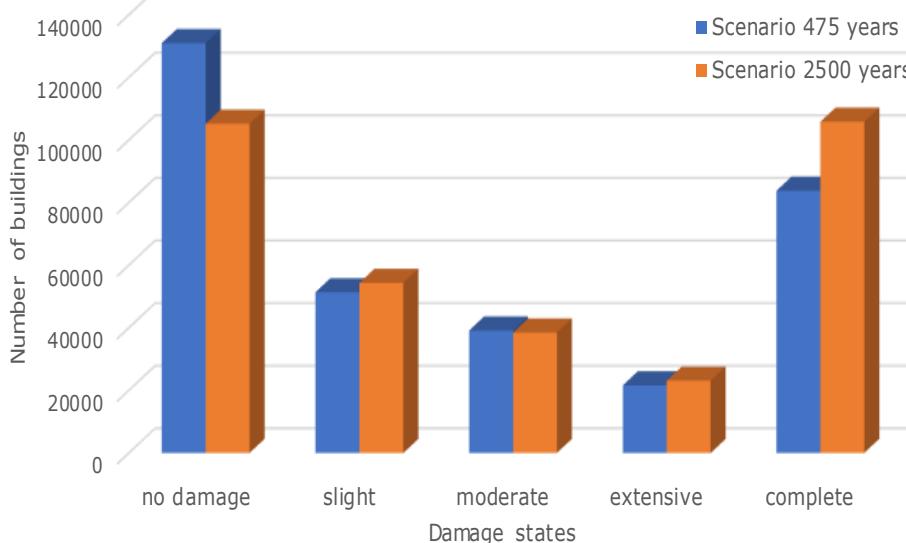


Collapse distribution in no# buildings

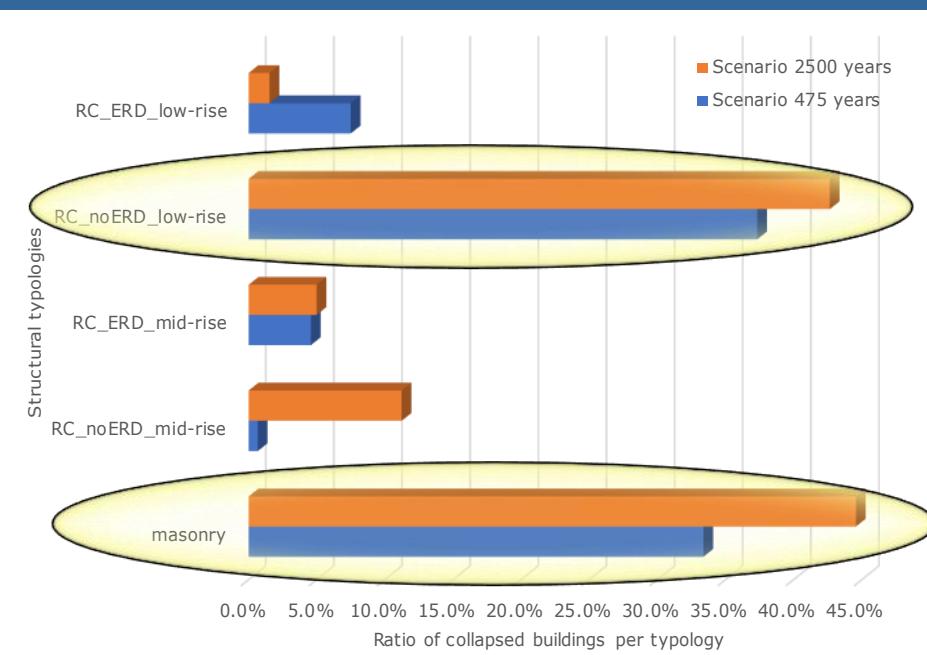


DAMAGE ESTIMATE FOR SCENARIOS

Number of buildings per damage state

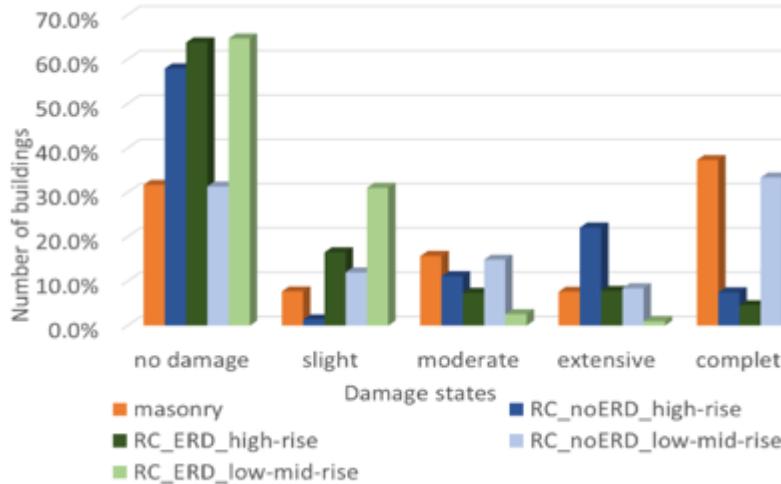


Ratio of collapsed buildings

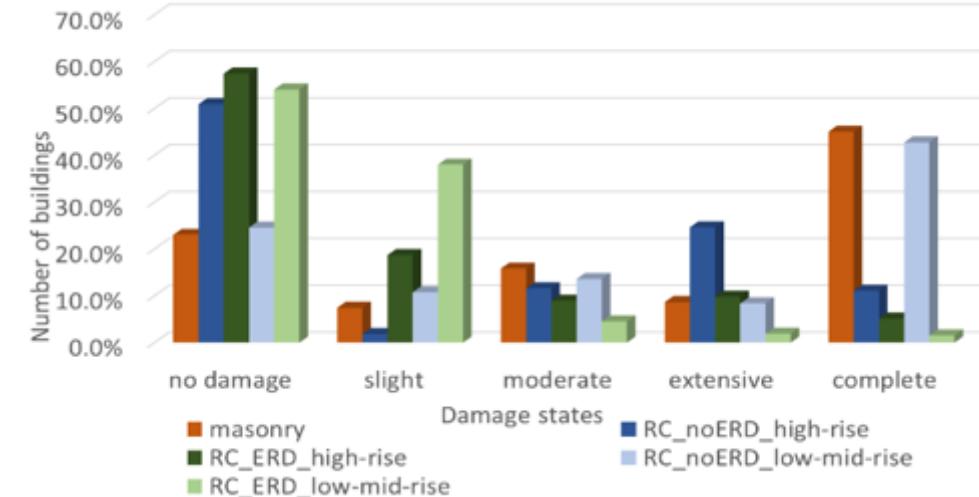


DAMAGE ESTIMATE FOR SCENARIOS

Scenario T=475 years



Scenario T=2500 years



	Total	Nicosia	Larnaca	Limassol	Pafos
Scenario T=475y	7.7B	1.1B	530M	1.6B	150M
Scenario T=2500y	9.5B	1.1B	363M	1.3B	645M

LOSS ESTIMATE FOR SCENARIOS

Cities	Injuries				Fatalities			
	475 years		2500 years		475 years		2500 years	
	People	Ratio (%)	People	Ratio (%)	People	Ratio (%)	People	Ratio (%)
Nicosia	20-50	0.01-0.10	30-70	0.06-0.14	6-8	0.01-0.02	12-15	0.02-0.03
Larnaca	25-60	0.07-0.16	10-25	0.03-0.07	7-10	0.02-0.03	4-5	0.01
Limassol	110-220	0.20-0.40	65-150	0.13-0.27	30-50	0.06-0.09	30-40	0.05-0.08
Paphos	3-10	0.01-0.03	75-175	0.23-0.52	1	0.00	30-45	0.09-0.13
Total	730-1500	0.07-0.15	880-1780	0.09-0.17	200-300	0.02-0.03	380-550	0.04-0.05

Displaced population (both scenarios): 93.000 – 110.000

Order of
magnitude!

CONCLUSIONS

- Seismic risk assessment provides loss estimation (monetary, human) for prioritization of disaster management, budget allocation, mitigation measurements, emergency and healthcare provisions.
- Scenario-based analysis after PSHA, being more comprehensive and understandable for disaster management purposes.



CONCLUSIONS

- Earthquake risk study in Cyprus as part of NRA-CY
- Probabilistic event-based risk analysis
- Average annual loss: 116M euro
- Average annual loss ratio: 0.36%
- Masonry & low-to-mid-rise RC buildings with no ERD contribute the most to total loss
- Loss distribution for 10% and 2% poe in 50 years
- Seismic risk scenarios
- Loss maps, collapsed maps
- Casualty modelling, displaced population

NRA RISK MATRIX-consequences

Table 18 Input data of Impact analysis for earthquake

EARTHQUAKE - Probability of occurrence: 3

Impact category	Criterion	Unit	Expected impact	Impact value	1	2	3	4	5	Category sum
HUMAN	H1: Fatalities and injuries	number		C→3						
	H2: People Relocation/evacuation	number		B→2						5
ECONOMY	→ EC1: Assets costs (€)	Euro		C→3						3
	a)Property damage:	Euro								
	b)Cultural heritage	Euro								
	c)Infrastructure:	Euro								
	d)Disruption of economic activity	Euro								
	e)Other specific cost	Euro								
ENVIRONMENT	EN1: Environmental damage	sq km		A→1						1
SOCIAL-POLITICAL	SP1: damage critical infrastructures	Number, duration		C→3						
	SP2: everyday life/needs disruption	Number, duration		B→2						
	SP3: social impact	qualitative		B→2						7

NRA RISK MATRIX

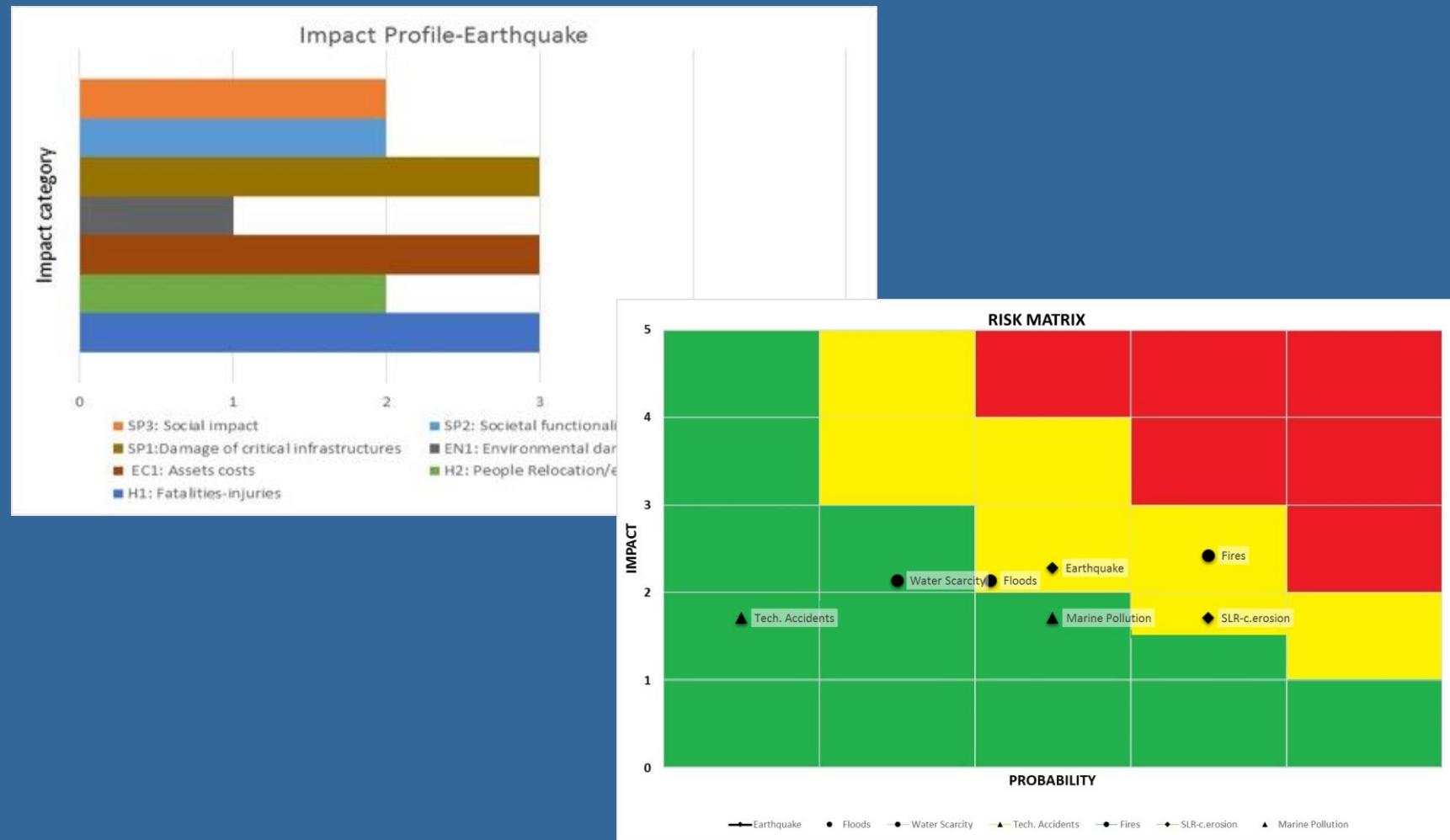


Figure 12.2 Integrated risk matrix for the expected case hazard scenarios

ΕΝΟΤΗΤΑ 2:

Επιλογή Βέλτιστης Ενίσχυσης

Βέλτιστη Ενίσχυση – Εισαγωγή

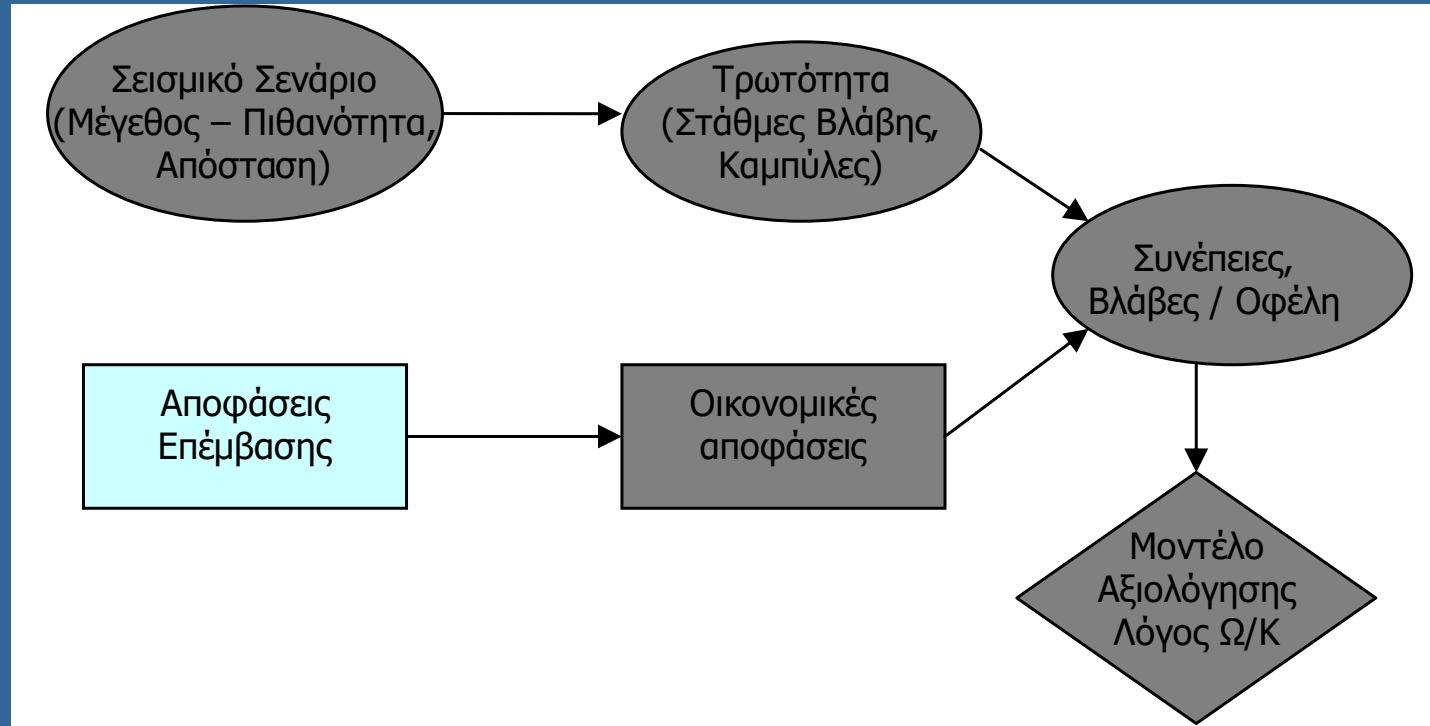
- Με δεδομένα τα αποτελέσματα της αποτίμησης της σεισμικής επικινδυνότητας, εξάγεται το συμπέρασμα ότι η μετά σεισμική επισκευή βλαβών για υφιστάμενα κτίρια χωρίς αντισεισμικό σχεδιασμό κρίνεται οικονομικά ασύμφορη και πιθανόν να αποβεί οικονομικά καταστρεπτική
- Επομένως η απόφαση για ενίσχυση δεν πρέπει να βασίζεται μόνο σε τεχνικά κριτήρια καθώς η ενίσχυση όλων των υφιστάμενων στο επίπεδο των Ευρωκωδίκων (σενάριο σεισμού σχεδιασμού) είναι οικονομικά και αδύνατη και τεχνικά περίπλοκη

Βέλτιστη Ενίσχυση – Εισαγωγή

- Το δεύτερο μέρος του Ερευνητικού Προγράμματος «*Seismic Vulnerability and Strengthening of Existing Privately Owned Buildings*» στο οποίο συντονιστής ήταν η ερευνητική μας ομάδα στο ΤΕΠΑΚ και αφορά τα υφιστάμενα κτίρια ιδιωτικής χρήσης, εξετάστηκε η δυνατότητα ενδιάμεσης ενίσχυσης η οποία να μειώνει την τρωτότητα ενός υφιστάμενου κτιρίου αλλά όχι στα επίπεδα νέας κατασκευής
- Για το σκοπό αυτό και με βάση τη βιβλιογραφία των πιθανοτικών μοντέλων κόστούς κύκλου ζωής, καθορίστηκε μεθοδολογία υπολογισμού της λεγόμενης βέλτιστης στάθμης (επίπεδο) ενίσχυσης

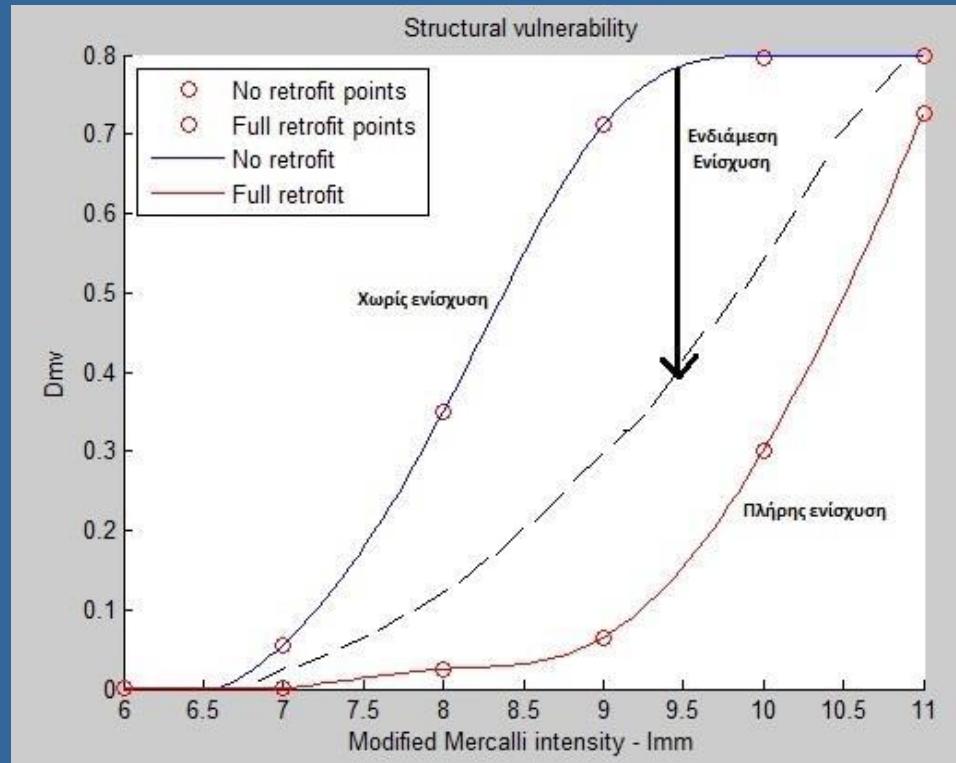
Βέλτιστη Ενίσχυση – Διαδικασία

- Σχεδιάγραμμα της δομής της μεθοδολογίας ανάλυσης κόστους κύκλου ζωής



Βέλτιστη Ενίσχυση – Επίπεδο ενίσχυσης

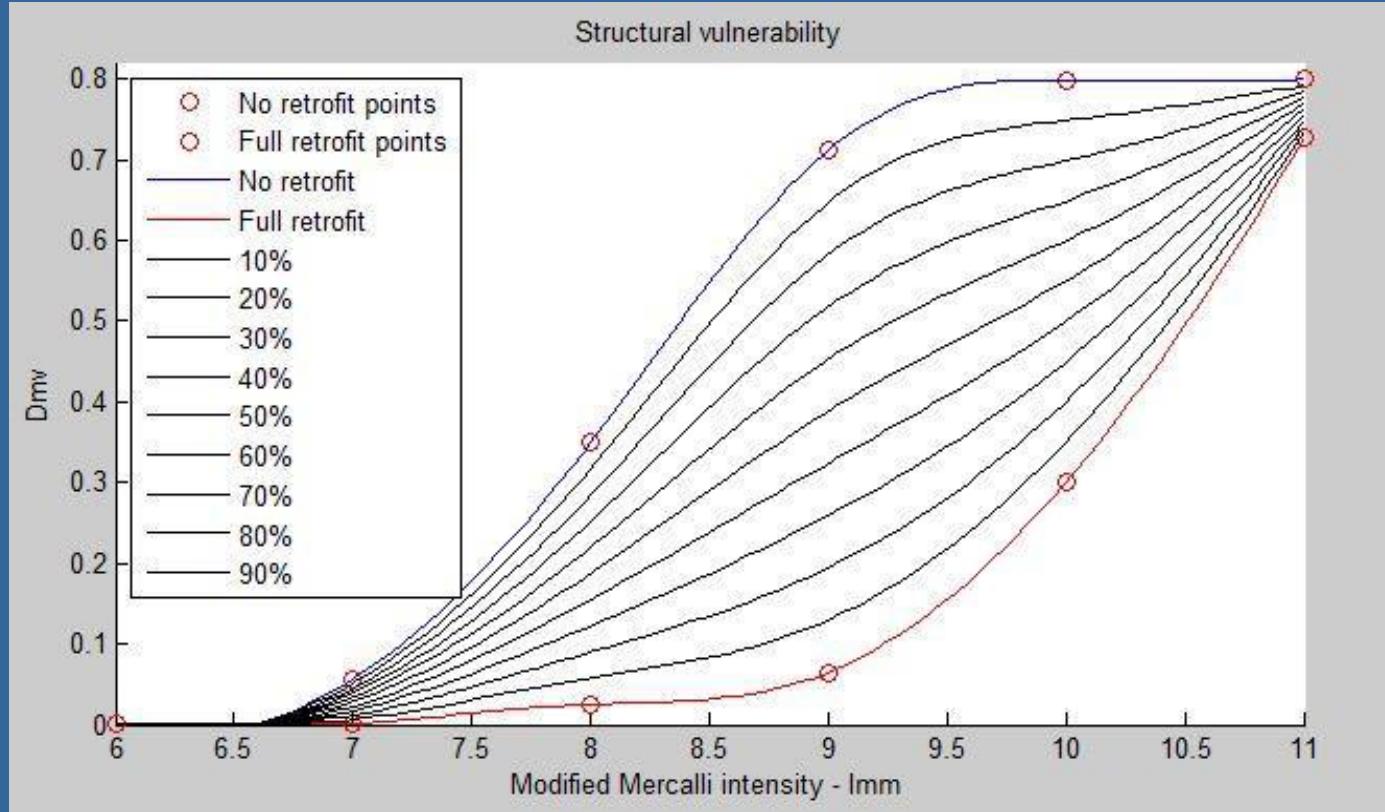
- Επίπεδο Ενίσχυσης (retrofit level, RL)



$$R_L = \frac{D_{mv}^{After R} - D_{mv}^{Before R(LC)}}{D_{mv}^{Full R(HC)} - D_{mv}^{Before R(LC)}} = \frac{R}{R^{Full}} \Rightarrow D_{mv}^{After R} = D_{mv}^{Before R(LC)} + R^{Full} \cdot R_L$$

Βέλτιστη Ενίσχυση – Επίπεδο Ενίσχυσης

- Επίπεδο Ενίσχυσης (retrofit level, RL)



$$R_L = \frac{D_{mv}^{After R} - D_{mv}^{Before R(LC)}}{D_{mv}^{Full R(HC)} - D_{mv}^{Before R(LC)}} = \frac{R}{R^{Full}} \Rightarrow D_{mv}^{After R} = D_{mv}^{Before R(LC)} + R^{Full} \cdot R_L$$

Βέλτιστη Ενίσχυση – Δεδομένα

- Πίνακας οικονομικών δεδομένων

Πίνακας 8 - Είδη απώλειών και η βασική τιμής τους συναρτήσει του κόστους αντικατάστασης

Συμβολισμός	Είδος Απώλειας	Βασική τιμή
$C_{\beta,i}$	Βλάβες κτιρίων	€750/m ²
$C_{\epsilon_v,i}$	Απώλεια ενοικίου	0.5% R_v
$C_{μετ,i}$	Κόστος μετεγκατάστασης	2.0% R_v
$C_{ππ,i}$	Απώλεια προσωπικής περιουσίας	30.0% R_v
$C_{γε,i}$	Απώλεια εισοδημάτων	0.3% R_v
$C_{α, απ,i}$	Απώλεια ανθρώπινης ζωής	500 000€
$C_{ολικό}$	Ολικό κόστος	$\sum_{i=1}^n c_i$

Βέλτιστη Ενίσχυση – Δεδομένα

- Γίνεται η παραδοχή ότι στα κτίρια θα γίνεται Προληπτική Συντήρηση (Preventative Maintenance) κάθε 5 χρόνια. Χρησιμοποιήθηκαν τρείς κλάσεις συντήρησης για να καθορίσουν το μέγεθός της.

Πίνακας 9 - Κλάσεις συντήρησης κατασκευών

Κλάση Προληπτικής Συντήρησης	Κόστος σε € (ανά 5 χρόνια)
Βασική Προληπτική Συντήρηση (Α)	1% ολικού κόστους της κατασκευής
Σημαντική Προληπτική Συντήρηση (Β)	2% ολικού κόστους της κατασκευής
Εκτενής Προληπτική Συντήρηση (Γ)	3% ολικού κόστους της κατασκευής

- Αναμενόμενο Κόστος Κύκλου Ζωής

$$E[C(t, R_L)] = C_0 + \bar{C} \cdot \frac{1 - e^{-\lambda t}}{\lambda} \sum_{j=VI}^{XI} N_j \cdot D_{mv,j}$$

- C_0 : Αρχικό κόστος ενίσχυσης για συγκεκριμένο επίπεδο ενίσχυσης
- \hat{C} : Κόστος αντικατάστασης κτιρίου
- λ : πληθωρισμός
- t : χρονικός ορίζοντας εναπομένουσας ζωής κτιρίου
- $j=VI-XI$ (σεισμική ένταση σεισμού)
- N : αριθμός σεισμών συγκεκριμένης έντασης ανά έτος
- D_{mv} : Δείκτης βλαβών (καμπύλες τρωτότητας)

Βέλτιστη Ενίσχυση – Θνησιμότητα

- Συνολικός Αριθμός ανθρώπων απωλειών

$$K_s = D_5 * [M_1 * M_2 * M_3 * (M_4 + M_5(1 - M_4))]$$

K_s - Συνολικός αριθμός απωλειών (number of people killed)

D_5 - Αριθμός κτιρίων που κατέρρευσαν (number of collapsed buildings)

M_1 - Θνησιμότητα ανά κατάρρευση κτιρίου (mortality per building collapse)

M_2 - Άτομα μέσα στο κτίριο κατά τη διάρκεια του σεισμού (occupancy at time of earthquake).

Ποσοστό του M_1 κατά την έναρξη του σεισμού

M_3 - Κάτοικοι που παγιδεύτηκαν από κατάρρευση (occupants trapped). Ποσοστό του M_2 που δεν μπόρεσαν να διαφύγουν

M_4 - Κατανομή Τραυματισμών κατά τη περίοδο κατάρρευσης (injury distribution at collapse).

Ποσοστό του M_3 που πέθαναν ή τραυματίστηκαν σε χρόνο μηδέν ωρών μετά τον σεισμό

M_5 - Θνησιμότητα κατά τη μετά-κατάρρευση περίοδο (mortality of post-collapse). Ποσοστό των τραυματισμένων που πεθαίνουν πριν τη διάσωσή τους

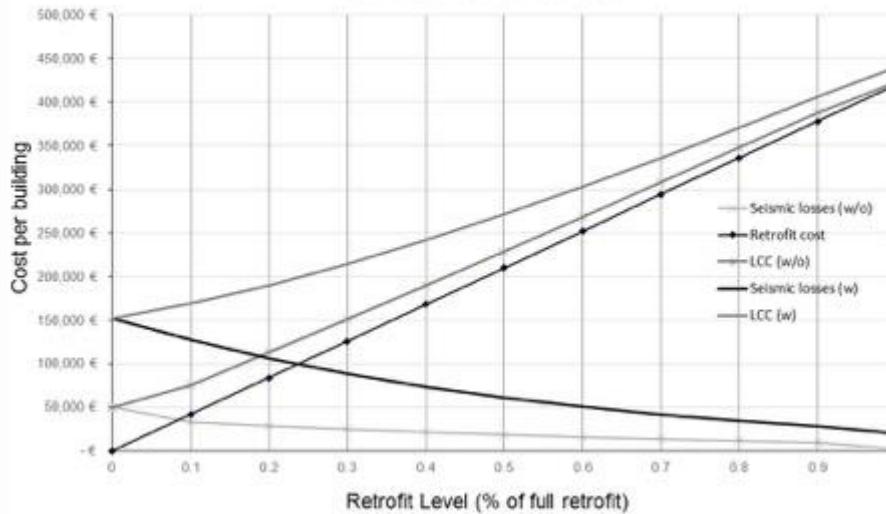
Βέλτιστη Ενίσχυση – Σχεδιαγράμματα

- Ως μέρος του προγράμματος για τα υφιστάμενα κτίρια ιδιωτικής χρήσης, καθορίστηκαν για κάθε κατηγορία κτιρίων τα βέλτιστα επίπεδα ενίσχυσης για χρονικό ορίζοντα 20 και 50 χρόνων (παραδοχή εναπομένουσας ζωής κτιρίου)
- Τα κτίρια που χρησιμοποιήθηκαν είναι αντιπροσωπευτικά του υφιστάμενου κτιριακού αποθέματος στην Κύπρο και επιλέγηκαν από τη βάση δεδομένων

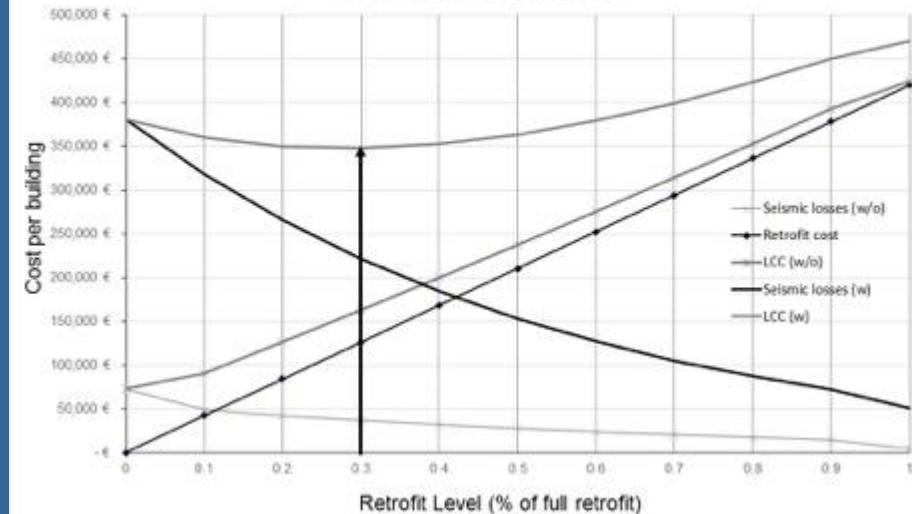
Βέλτιστη Ενίσχυση – Σχεδιαγράμματα

- Βέλτιστη στάθμη ενίσχυσης για ψηλά κτίρια ιδιωτικής χρήσης για χρονικό ορίζοντα 20 και 50 χρόνων και συντήρηση κλάσης A

HIGH RISE RC BUILDINGS

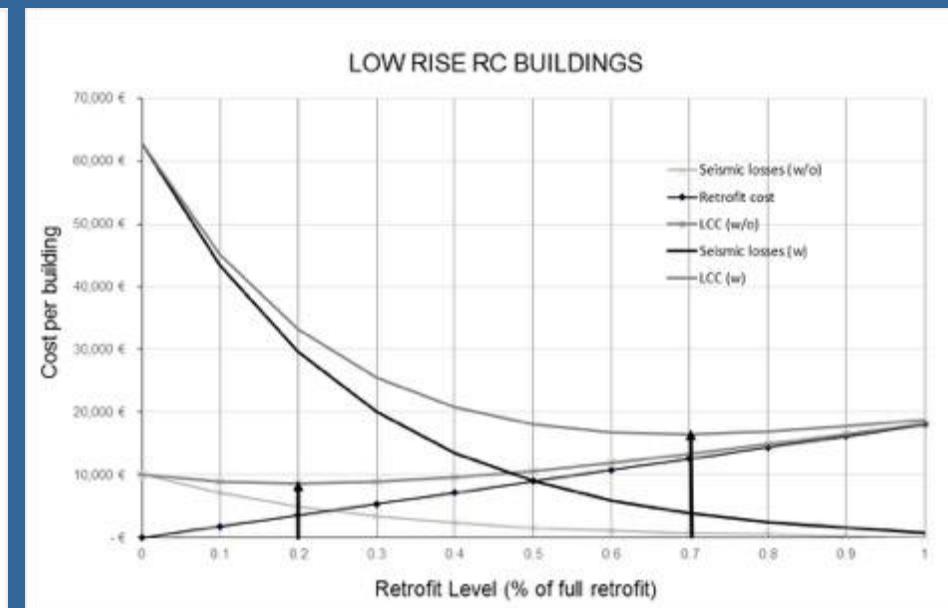
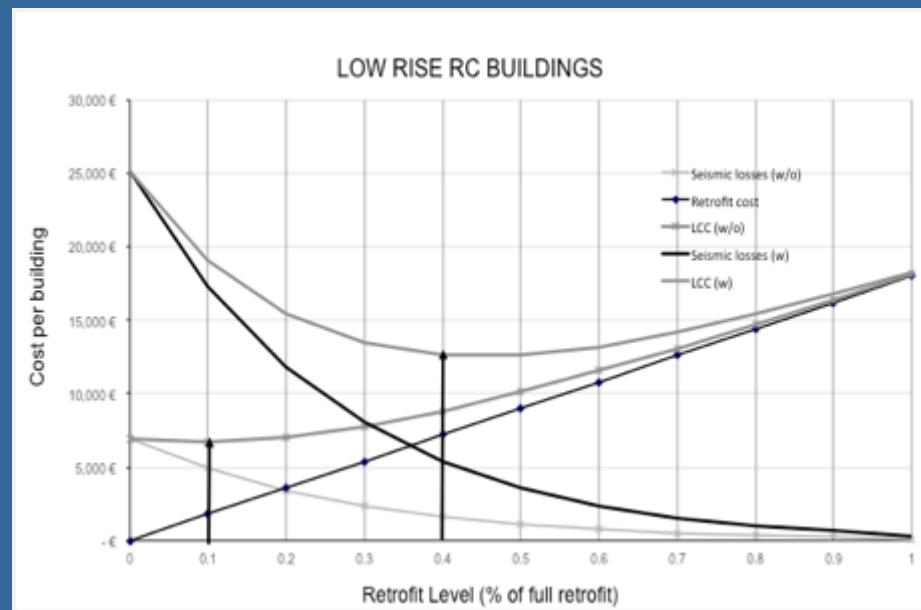


HIGH RISE RC BUILDINGS



Βέλτιστη Ενίσχυση – Σχεδιαγράμματα

- Βέλτιστη στάθμη ενίσχυσης για χαμηλά κτίρια ιδιωτικής χρήσης για χρονικό ορίζοντα 20 και 50 χρόνων και συντήρηση κλάσης A



Βέλτιστη Ενίσχυση – Σχεδιαγράμματα

- Με δεδομένο τα σημαντικά αποτελέσματα όσο αφορά τα κτίρια ιδιωτικής χρήσης, η ομάδα αντισεισμικής του ΤΕΠΑΚ αιτήθηκε και πήρε ερευνητική επιχορήγηση για καθορισμό του βέλτιστου επιπέδου ενίσχυσης των σχολικών κτιρίων και κατ'επέκταση αποτίμηση του προγράμματος ενίσχυσης των σχολικών κτιρίων στην Κύπρο το οποίο ξεκίνησε στις αρχές του 2000.
- Το Ερευνητικό Πρόγραμμα «*Seismic Vulnerability and Strengthening of Public Schools*» είχε ως συνεργάτες τις Τεχνικές Υπηρεσίες του Υπουργείου Παιδείας και Πολιτισμού, το Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης και την ιδιωτική εταιρία SignalGeneriX Ltd.

Βέλτιστη Ενίσχυση – Σχεδιαγράμματα

- Καθορίστηκαν καμπύλες τρωτότητας για σχολικά κτίρια από ΟΣ και πέτρα χρησιμοποιώντας πιθανοτικές μεθόδους. Οι καμπύλες αφορούν το πρό και μετά ενίσχυσης κτίριο για σκοπούς σύγκρισης και επιλογής της βέλτιστης ενίσχυσης

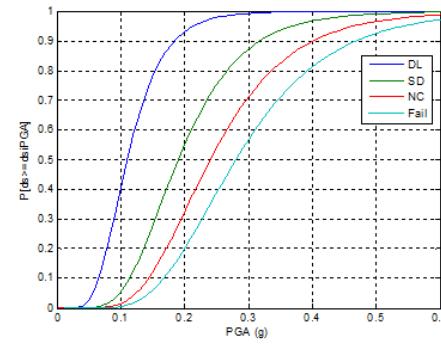


Figure 7. PGA fragility curves for the pristine R/C school building

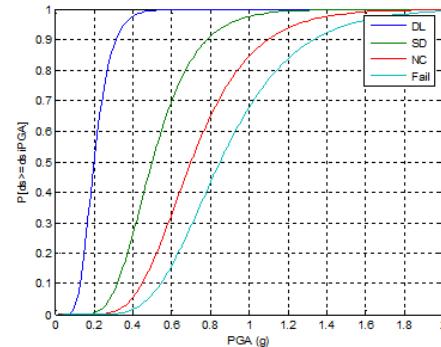
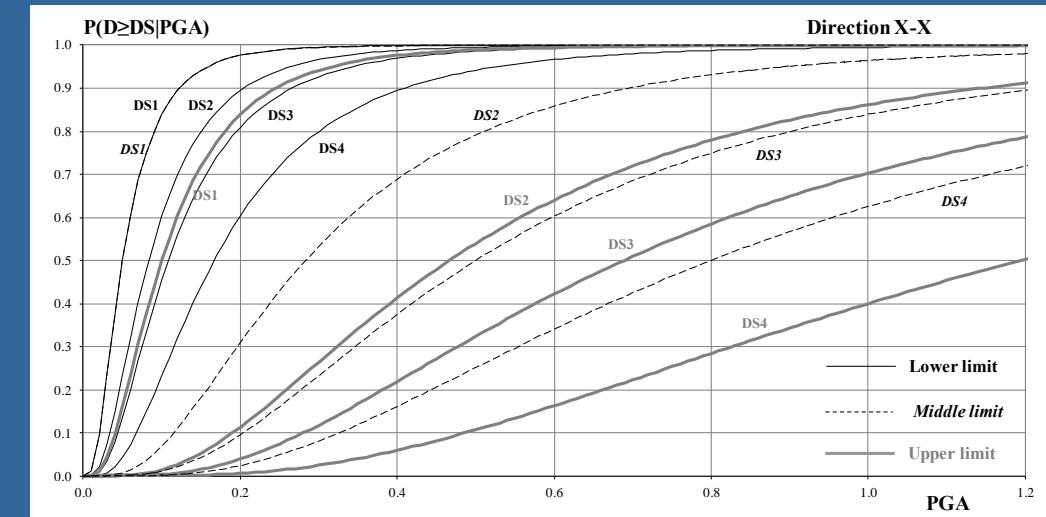
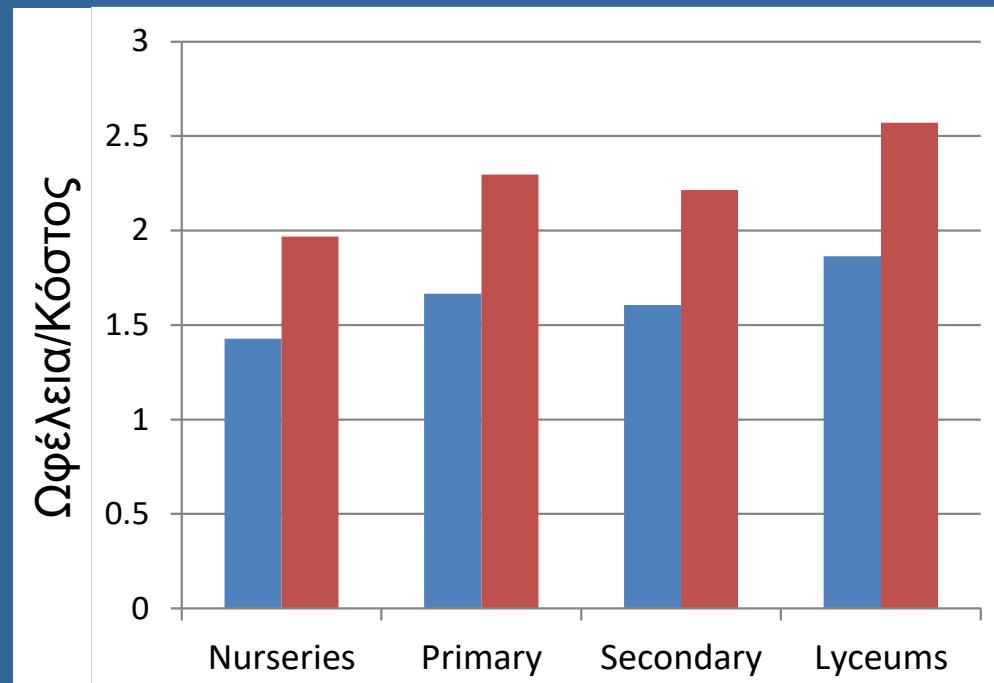


Figure 8. PGA fragility curves for the strengthened R/C school building



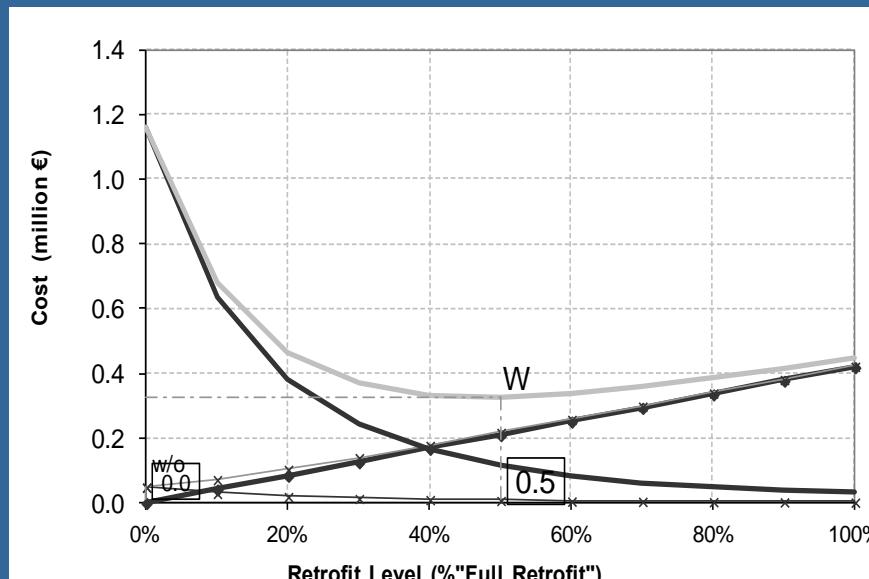
Βέλτιστη Ενίσχυση – Σχεδιαγράμματα

- Με βάση τα αποτελέσματα, η απόφαση για ενίσχυση των σχολικών κτιρίων ήταν σωστή λαμβάνοντας υπόψη το κόστος της ανθρώπινης ζωής

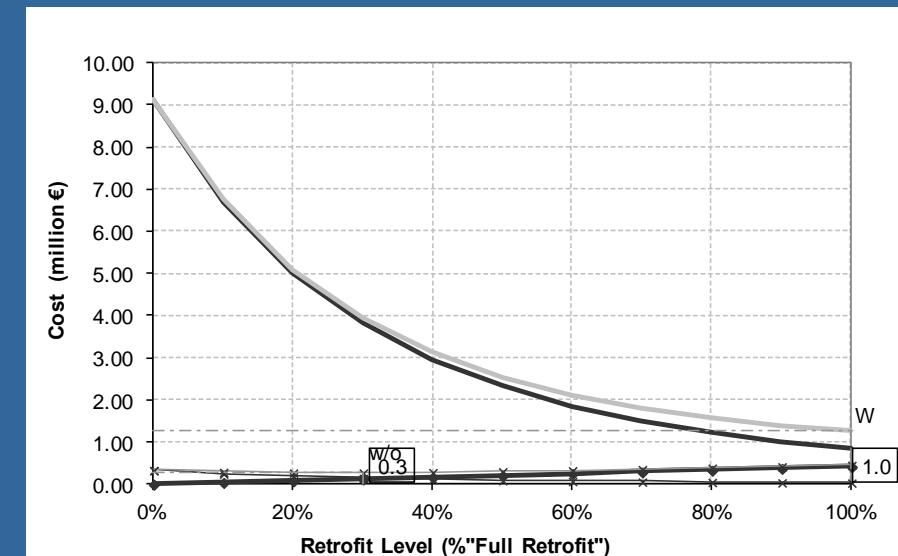


Βέλτιστη Ενίσχυση – Σχεδιαγράμματα

- Η βέλτιστη στάθμη ενίσχυσης για τα σχολικά κτίρια ΟΣ βρέθηκε ίσης με 50% ενώ για τα παραδοσιακά κτίρια βρέθηκε ίση με 100% στην περίπτωση εισαγωγής διαφράγματος και 0% στην περίπτωση εισαγωγής σενάζ (ανεπαρκής λύση σύνφωνα με τα αποτελέσματα του προγράμματος)



ΟΣ



Παραδοσιακά



*Ευχαριστώ για την
προσοχή σας*