



D5.2

Holistic impact assessment engine

Μηχανή ολιστικής αποτίμησης επιπτώσεων

Project name

TwinCity: Climate-Aware Risk and Resilience Assessment of Urban Areas under Multiple Environmental Stressors via Multi-Tiered Digital City Twinning.

Hellenic Foundation for Research and Innovation (H.F.R.I.) | Grant Agreement 2515
2nd Call for H.F.R.I. Research Projects to support Faculty Members & Researchers

Dissemination level	Public (PU) - Fully open
Type of deliverable	DEM - Demonstrator, pilot, prototype
Work package	WP5 – Business & community impact assessment
Deliverable number	D5.2 Holistic impact assessment engine
Status - version, date	Final – V1.0
Deliverable leader	E. Karaferi
Contractual date of delivery	31/07/2024

Ποιοτικός έλεγχος

	Name	Organisation	Date
Peer review 1	Δ. Βαμβάτσικος	ΕΜΠ	18/05/2024
Peer review 2	Β. Μελισσιανός	ΕΜΠ	12/06/2024

Ιστορικό παραδοτέου

Version	Date	Author	Summary of changes
01	20/04/2024	Ε. Καραφέρη	Πρώτο προσχέδιο εγγράφου
02	30/07/2024	Ε. Καραφέρη	Τελική έκδοση (V1.0) εγγράφου

Νομική διακήρυξη

Η παρούσα εργασία είναι χρηματοδοτούμενη από το Ελληνικό Ίδρυμα Έρευνας και Καινοτομίας (ΕΛΙΔΕΚ, Grant Agreement 2515). Οι απόψεις και οι πληροφορίες που παρουσιάζονται στο παρόν έγγραφο δεν αντικατοπτρίζουν τις απόψεις του ΕΛΙΔΕΚ και εκφράζουν μόνο τους συγγραφείς. Το ΕΛΙΔΕΚ δεν φέρει καμία νομική ή άλλη ευθύνη για τα περιεχόμενα του παρόντος εγγράφου. Οι πληροφορίες σε αυτό το έγγραφο παρέχονται "ως έχουν", και η ερμηνεία τους επαφίεται στον αναγνώστη. Οι συμπράττοντες τω έργω δεν φέρουν καμία ευθύνη για ζημίες οποιουδήποτε είδους, συμπεριλαμβανομένων έμμεσων ή άλλων ζημιών που μπορεί να προκύψουν από τη χρήση του υλικού που παρουσιάζεται.

Copyright © TwinCity Consortium, 2023.

Περιεχόμενα

Ποιοτικός έλεγχος	2
Ιστορικό παραδοτέου.....	2
Νομική διακήρυξη.....	2
Κατάλογος σχημάτων.....	4
Κατάλογος πινάκων	4
Κατάλογος συντομογραφιών και ακρωνύμιων	5
Σύνοψη	6
1 Εισαγωγή	7
1.1 Σκοπός του παραδοτέου	7
1.2 Στοχευόμενο κοινό	7
2 Εκτίμηση σεισμικής διακινδύνευσης για την πόλη της Ρόδου	8
2.1 Εισαγωγή	8
2.2 Μοντέλο Έκθεσης της πόλης σε κινδύνους	8
2.3 Κίνδυνος, ευθραυστότητα και ευπάθεια	11
3 Εργαλείο υπολογισμού άμεσων και έμμεσων απωλειών	15
3.1 Βραχυπρόθεσμες επιπτώσεις	15
3.2 Μακροπρόθεσμες επιπτώσεις	18
4 Συμπεράσματα	21
5 Αναφορές	22

Κατάλογος σχημάτων

Σχήμα 1. Κυρίαρχη τυπολογία κτιρίων ανά οικοδομικό τετράγωνο για τη Ρόδο.	10
Σχήμα 2. Ποσοστά κτιρίων (α) ανά κλάδο δραστηριότητας (ή απασχόληση) και (β) ανά οικοδομικό υλικό.	11
Σχήμα 3. Χάρτης που απεικονίζει το επίκεντρο των δύο σεναρίων σεισμικών γεγονότων, ενός μέτριου κοντινού M6.1 και ενός ισχυρότερου αλλά πιο μακριά M7.3. Η πόλη της Ρόδου βρίσκεται στο βόρειο άκρο του νησιού, όπως υποδεικνύεται από το κόκκινο ορθογώνιο.	12
Σχήμα 4. Πεδία εδαφικής κίνησης του Sa(1s) για τα δύο συμβάντα σεναρίου από το Σχήμα 3.	12
Σχήμα 5. Ποσοστό κτιρίων σε κάθε DS ανά τύπο κτιρίου για τα δύο σεισμικά συμβάντα.	13
Σχήμα 6. Αριθμός κτιρίων URM στο DS4 για τα δύο σεισμικά συμβάντα.	14
Σχήμα 7: Το κοινωνικοοικονομικό μοντέλο για σεισμό 7,3 Ρίχτερ, R=94km, 938 ημέρες μετά το σεισμικό γεγονός.	16
Σχήμα 8: Χρονοϊστορίες με ενδεικτικά αποτελέσματα σχετικά με την απώλεια GVA για τον τομέα του Λιανικού Εμπορίου και το ποσοστό των τουριστών που επισκέπτονται τη Ρόδο, από την ανάλυση κοινωνικοοικονομικών επιπτώσεων των δύο σεναρίων. Για να ανακάμψει μετά τα γεγονότα, χρειάζονται (α) 116 ημέρες και (β) 938 ημέρες αντίστοιχα.	16
Σχήμα 9: (α) Άμεση και (β) Έμμεση απώλεια κτιρίων ανά επιχειρηματική δραστηριότητα για σεισμό M6.1, R=19km. Σημειώστε ότι οι οριζόντιοι άξονες δεν είναι οι ίδιοι.	17
Σχήμα 10: (α) Άμεση και (β) Έμμεση απώλεια κτιρίων ανά επιχειρηματική δραστηριότητα για σεισμό 7,3 Ρίχτερ, R=94km. Σημειώστε ότι οι οριζόντιες γραμμές δεν είναι οι ίδιες.	18
Σχήμα 11: Μέση ετήσια άμεση ζημία σε εκατομμύρια € ανά οικοδομικό τετράγωνο.	19
Σχήμα 12: Συνολική μέση ετήσια άμεση και έμμεση ζημία σε εκατ. €.	19
Σχήμα 13: Μέση ετήσια κατανομή έμμεσων ζημιών ανά τομέα δραστηριότητας σε εκατ. €.	19
Σχήμα 14: Ποσοστό της μέσης ετήσιας κατανομής έμμεσων ζημιών ανά τομέα δραστηριότητας.	20

Κατάλογος πινάκων

Πίνακας 1: Ταξινόμηση των τυπολογιών των κτιρίων που υιοθετήθηκαν για τη Ρόδο.	9
Πίνακας 2: Κόστος αντικατάστασης ανά επιχειρηματική δραστηριότητα για τη Ρόδο (σε εκατ. ευρώ). 10	10

Κατάλογος συντομογραφιών και ακρωνύμιων

Συντομογραφία	Ολογράφως
GDP	Ακαθάριστο Εγχώριο Προϊόν (Gross domestic product)
GVA	Ακαθάριστη Προστιθέμενη Αξία (Gross Value Added)
IM	Μέτρο έντασης (Intensity Measure)
PSHA	Πιθανοτική ανάλυση κινδύνου (Probabilistic Seismic Hazard Analysis)
IM	Intensity Measure
DS	Στάδιο βλάβης (Damage State)
SES	Σύνολο στοχαστικών γεγονότων (Stochastic Event Sets)
AAL	Μέση ετήσια απώλεια (Average annual loss)
RC	Κόστος αντικατάστασης (Replacement Cost)

Σύνοψη

Το παραδοτέο 5.2 “Holistic impact assessment engine” παρουσιάζει την δημιουργία ενός μοντέλου που συνδυάζει τα αποτελέσματα της αποτίμησης των φυσικών κινδύνων με τις κοινωνικοοικονομικές τους επιπτώσεις. Επικεντρώνεται στην χρήση των αποτελεσμάτων από την αποτίμηση του σεισμικού κινδύνου, και συνεπώς των βλαβών που προκαλούνται στα κτήρια, και την σύνδεση τους με την διακοπή της επιχειρηματικής δραστηριότητας λόγω αυτών. Συνεπώς, δημιουργείται ένα εργαλείο το οποίο για διάφορα σεισμικά συμβάντα μπορούν να υπολογιστούν οι κοινωνικοοικονομικές επιπτώσεις με τις αντίστοιχες οικονομικές απώλειες με σκοπό την ανάπτυξη μεθόδων μετριασμού των επιπτώσεων και την λήψη κατάλληλων αποφάσεων. Οι επιπτώσεις ποσοτικοποιούνται και ως ποσοστιαία μείωση της τουριστικής προσέλευσης σε βάθος χρόνου αλλά και ως απώλεια στο Ακαθάριστο Εγχώριο Προϊόν (Gross domestic product, GDP). Η μείωση στο GDP περιλαμβάνει τις απώλειες που προκαλούνται από την διακοπή της επιχειρηματικής δραστηριότητας για τους συνδεδεμένους κλάδους, ενώ παράγονται και αποτελέσματα για τις μακροχρόνιες επιπτώσεις για τις ετήσιες έμμεσες απώλειες λόγω της διακοπής αυτής.

1 Εισαγωγή

1.1 Σκοπός του παραδοτέου

Σκοπός του παραδοτέου D5.2 με τίτλο “Holistic impact assessment engine” είναι ο συνδυασμός των αποτελεσμάτων από τους υπολογισμούς που έγιναν στα προηγούμενα πακέτα εργασίας, σχετικά με επιπτώσεις των φυσικών κινδύνων, και πιο συγκεκριμένα του σεισμού, και ενός κοινωνικοοικονομικού μοντέλου για την αποτίμηση των άμεσων και έμμεσων επιπτώσεων που θα έχει ένα σεισμικό γεγονός στην πόλη. Οι επιπτώσεις λογίζονται και ως απώλεια στο Ακαθάριστο Εγχώριο Προϊόν (Gross domestic product, GDP) και στην τουριστική εισροή αλλά και στο πόσο χρόνο θέλει η πόλη για πλήρη ανάκαμψη μετά από ένα γεγονός.

1.2 Στοχευόμενο κοινό

Το έγγραφο D5.2 είναι ένα δημόσιο έγγραφο και θα είναι προσβάσιμο από όλους τους ενδιαφερόμενους φορείς, και συμμετέχοντες στο πρόγραμμα TwinCity. Είναι ιδιαίτερα ενδιαφέρον για ερευνητές και υπηρεσίες που εμπλέκονται στην εκτίμηση διακινδύνευσης κατασκευών ή και ολόκληρων περιοχών. Οι μεθοδολογίες που παρουσιάζονται μπορούν μάλιστα να βοηθήσουν και σε τυχόν εκπαιδευτικούς σκοπούς που αφορούν σε νέους επιστήμονες που ενδιαφέρονται για τις εν λόγω θεματικές.

2 Εκτίμηση σεισμικής διακινδύνευσης για την πόλη της Ρόδου

2.1 Εισαγωγή

Στο πλαίσιο του TwinCity έχουν ήδη γίνει αναλύσεις σχετικά με την σεισμική αποτίμηση της πόλης, με την διαδικασία να έχει αναλυθεί σε προηγούμενα πακέτα εργασίας. Σε γενικές γραμμές η αποτίμηση δίνει δεδομένα σχετικά με τις άμεσες απώλειες που έχει μια πόλη, δηλαδή σε τι επίπεδο ζημιών έφτασαν τα κτήριά της και ποιο θα είναι το κόστος να επιδιορθωθούν ή αντικατασταθούν πλήρως. Εκτός από αυτές τις ζημιές όμως υπάρχουν και οι έμμεσες απώλειες που προκαλούνται από την παύση εργασιών μέχρι την αποκατάσταση των κτηρίων στην αρχική τους κατάσταση. Για τον υπολογισμό των έμμεσων απωλειών αξιοποιείται το κοινωνικοοικονομικό μοντέλο που συσχετίζει τους διάφορους επιχειρησιακούς τομείς μεταξύ τους και την συμβολή τους στο GDP. Έχοντας δημιουργήσει, όπως αναλύθηκε στο παραδοτέο D5.1, ένα κοινωνικοοικονομικό μοντέλο για την πόλη, τα αποτελέσματα της σεισμικής αποτίμησης πρέπει να δίνονται σε τέτοια μορφή ώστε να αξιοποιηθούν με αυτό. Το κοινωνικοοικονομικό μοντέλο του TwinCity περιλαμβάνει μια σειρά από επιχειρηματικούς τομείς που συμβάλλουν στην οικονομία της πόλης και αντιστοιχούν στην χρήση των κτηρίων. Έτσι, το μοντέλο που έγινε για την πόλη της Ρόδου δεν πρέπει να περιλαμβάνει μόνο τα υλικά ή την ηλικία κτίσης αλλά και την επιχειρηματική δραστηριότητα του κτηρίου.

2.2 Μοντέλο Έκθεσης της πόλης σε κινδύνους

Η δημιουργία ενός λεπτομερούς μοντέλου έκθεσης απαιτεί έναν εκτεταμένο όγκο πληροφοριών και δεδομένων για να απεικονίσει ρεαλιστικά ένα πολύπλοκο σύστημα, όπως αυτό μιας πυκνοκατοικημένης αστικής πόλης. Η Ελληνική Στατιστική Αρχή, ΕΛΣΤΑΤ (2021), παρέχει στοιχεία από την Απογραφή του 2011 ανά οικοδομικό τετράγωνο, συμπεριλαμβανομένων πληροφοριών σχετικά με τον αριθμό των κτιρίων, την ηλικία και το υλικό καθώς και τη χρήση τους.

Η ταξινόμηση που χρησιμοποιείται συμμορφώνεται με το Ευρωπαϊκό Μοντέλο Σεισμικού Κινδύνου 2020 (ERSM20, Crowley et al., 2021). Για την πόλη της Ρόδου χρησιμοποιήθηκαν 39 τάξεις, με τους κύριους τύπους υλικών (δομικό σύστημα) να φαίνονται στον Πίνακα 1, ενσωματώνοντας όλους τους πιθανούς συνδυασμούς ύψους και ηλικίας. Έτσι, υπάρχουν κατηγορίες για διαφορετικά επίπεδα ύψους (χαμηλού, μέσου, μεγάλου ύψους) και διαφορετικό κώδικα κατασκευής (χαμηλού/μέσου/υψηλού κώδικα) με βάση το έτος κατασκευής. Θα πρέπει να σημειωθεί ότι δεν υπάρχουν πολυώροφα κτίρια μη ενισχυμένης/ενισχυμένης τοιχοποιίας, χαμηλού κώδικα μεταλλικές κατασκευές ή μεσαία/ψηλά ξύλινα κτίρια, με αποτέλεσμα να υπάρχουν συνολικά 39 κατηγορίες. Το κύριο δομικό υλικό στη Ρόδο είναι το σπλισμένο σκυρόδεμα (RC) και η άοπλη τοιχοποιία (URM) που εμφανίζεται κυρίως στη μεσαιωνική πόλη της Ρόδου, η οποία αποτελεί μνημείο παγκόσμιας κληρονομιάς της UNESCO και ως εκ τούτου τόπο μεγάλου πολιτιστικού και οικονομικού ενδιαφέροντος. Άλλα υλικά—όπως το ξύλο, ο χάλυβας και η ενισχυμένη τοιχοποιία—εμφανίζονται επίσης σε μικρότερους αριθμούς. Στο Σχήμα 1 το πιο κοινό δομικό υλικό κάθε οικοδομικού τετραγώνου παρουσιάζεται σε διαφορετικά χρώματα, αναδεικνύοντας τη διαίρεση μεταξύ της παλιάς πόλης (URM – γαλάζιο) και των πιο διαδεδομένων νεότερων τμημάτων (RC – μπλε). Ανάλογα με τη

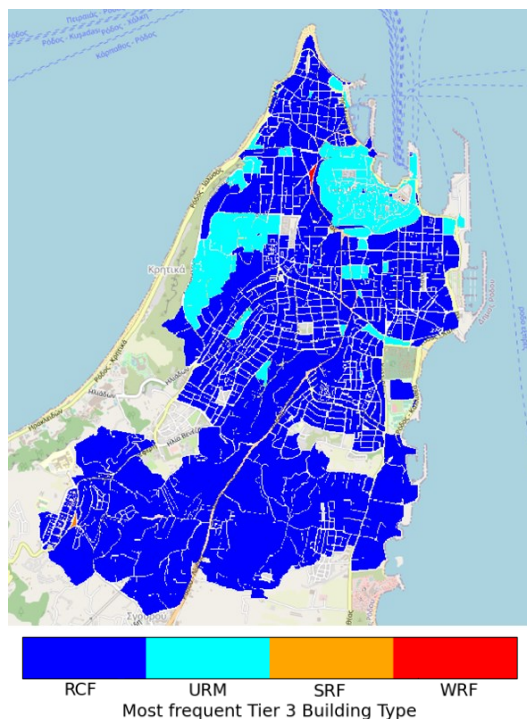
χρήση τους, τα κτίρια ταξινομήθηκαν επίσης σε διαφορετικές κατηγορίες χρήσης (ή επιχειρηματικούς κλάδους) ως εξής:

- Καταλύματα
- Τρόφιμα & ποτά
- Γραφεία
- Καταστήματα Λιανικής
- Κατοικίες
- Χονδρικό εμπόριο & αποθήκες
- Άλλο

Ο Πίνακας 1 παρουσιάζει την επενδεδυμένη αξία του κτιριακού αποθέματος, που εκτιμάται μέσω του κόστους αντικατάστασης για ολόκληρη την πόλη. Το κόστος αντικατάστασης υπολογίστηκε με την παραδοχή μιας μέσης αξίας 1200 ευρώ ανά m² στεγασμένου χώρου, το οποίο αντιστοιχεί σε πραγματικά κόστη του έτους 2020 για τη νησιωτική Ελλάδα. Τα ποσοστά των κτιρίων που ανήκουν σε κάθε τύπο υλικού ή πληρότητα εμφανίζονται στο Σχήμα 2.

Πίνακας 1: Ταξινόμηση των τυπολογιών των κτιρίων που υιοθετήθηκαν για τη Ρόδο.

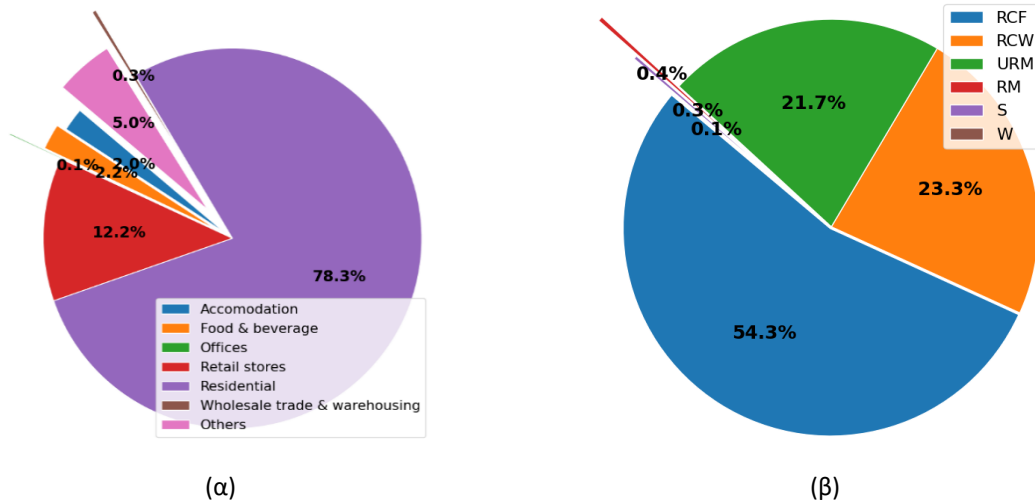
Συντομογραφία	Υλικό
RCF	Πλαίσιο οπλισμένου σκυροδέματος
RCW	Τοίχος από οπλισμένο σκυρόδεμα
URM	Άοπλη τοιχοποιία
RM	Ενισχυμένη τοιχοποιία
S	Χάλυβας
W	Ξύλο



Σχήμα 1. Κυρίαρχη τυπολογία κτιρίων ανά οικοδομικό τετράγωνο για τη Ρόδο.

Πίνακας 2: Κόστος αντικατάστασης ανά επιχειρηματική δραστηριότητα για τη Ρόδο (σε εκατ. ευρώ).

Επιχειρηματική δραστηριότητα	Κόστος αντικατάστασης (εκατομμύρια €)
Άλλο	282
Κατοικίες	4414
Χονδρικό εμπόριο & αποθήκες	20
Τρόφιμα & Ποτά	120
Καταλύματα	109
Καταστήματα Λιανικής	672
Γραφεία	6
Άθροισμα	5624

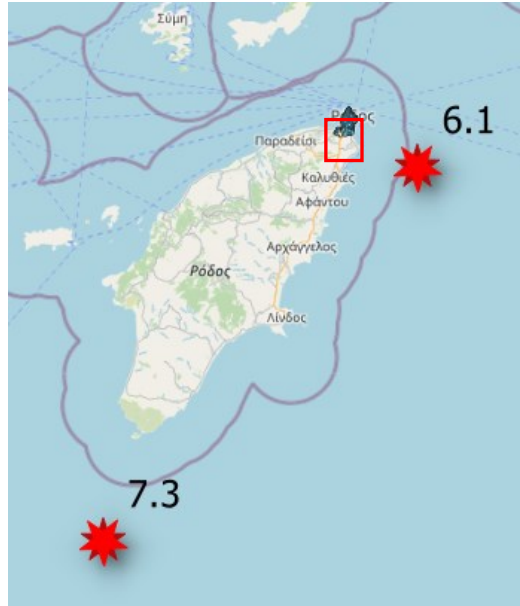


Σχήμα 2. Ποσοστά κτιρίων (α) ανά κλάδο δραστηριότητας (ή απασχόληση) και (β) ανά οικοδομικό υλικό.

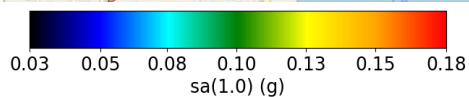
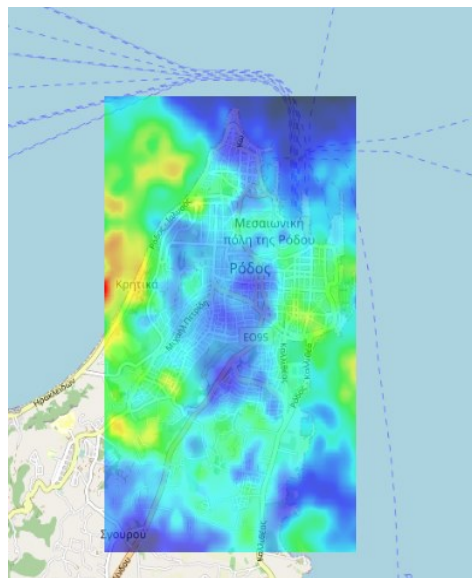
2.3 Κίνδυνος, ευθραυστότητα και ευπάθεια

Η σεισμική επικινδυνότητα αναπαρίσταται στο μοντέλο μέσω του μέτρου έντασης (IM) και της περιόδου επαναφοράς του. Οι τιμές IM υπολογίστηκαν μέσω πιθανοτικής ανάλυσης κινδύνου βάσει συμβάντων (PSHA) μέσω της μηχανής OpenQuake (GEM, 2021) με βάση το Ευρωπαϊκό Μοντέλο Σεισμικής Επικινδυνότητας 2020 (ESHM20, Danciu et al. 2021). Για λόγους απλότητας, χρησιμοποιήθηκε μόνο ένα μέρος του δέντρου λογισμού, χρησιμοποιώντας την εξίσωση πρόβλεψης κίνησης εδάφους των Cauzzi et al. (2014) για χρόνο διερεύνησης 10.000 ετών χρησιμοποιώντας το μοντέλο συσχέτισης που προτάθηκε από τους Jayaram και Baker (2009). Δημιουργείται ένα σύνολο στοχαστικών γεγονότων (SES) για τη δημιουργία μακροπρόθεσμης εκτίμησης των επιπτώσεων. Ενδεικτικά, παρουσιάζονται αποτελέσματα για δύο αυθαίρετα συμβάντα υψηλού αντίκτυπου που επιλέχθηκαν από το SES. Το επίκεντρο και το μέγεθος όπως φαίνεται στο Σχήμα 3: (i) ένα συμβάν M6.1 σε απόσταση 19 km από το κέντρο της πόλης με βάθος ρήγματος 13.2 km και (ii) ένα M7.3 στα 94 km και με βάθος ρήγματος 100 km. Τα πεδία κίνησης εδάφους για τα δύο γεγονότα παρουσιάζονται στο Σχήμα 4.

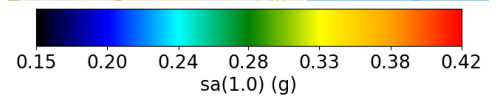
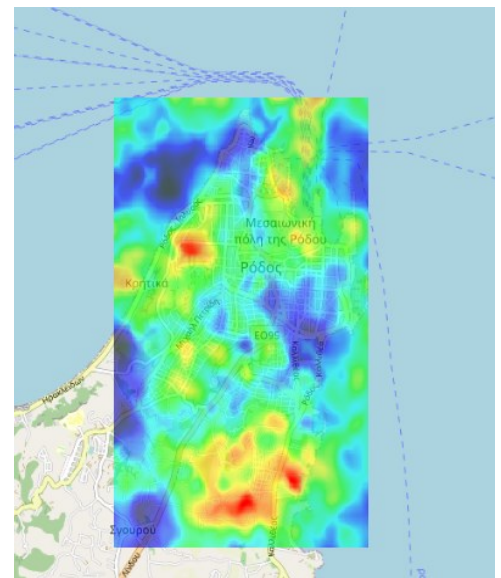
Οι καμπύλες ευθραυστότητας και η ευπάθεια των κτιρίων παρέχονται από το ESRM20 και καθορίζουν το μέγεθος της αναμενόμενης ζημιάς στα κτήρια. Εφαρμόζοντας τις καμπύλες ευθραυστότητας ανά συμβάν, προσδιορίζεται το στάδιο βλάβης (DS) κάθε κτιρίου. Η περιγραφή της κατάστασης ζημιάς συνοψίζεται ως εξής: καμία ζημιά (DS0), ελαφρά (DS1), μέτρια (DS2), εκτεταμένη (DS3) ή πλήρης κατάρρευση (DS4). Για να καθοριστεί ο αριθμός των κτιρίων σε κάθε στάδιο βλάβης, οι τιμές IM που βρίσκονται πλησιέστερα σε κάθε οικοδομικό τετράγωνο συνδυάζονται με το κεντροειδές του οικοδομικού τετραγώνου και η πιθανότητα να βρίσκεται σε κάθε στάδιο βλάβης πολλαπλασιάζεται με τον αριθμό των κτιρίων μέσα στο οικοδομικό τετράγωνο. Στη συνέχεια, τα κτίρια όλων των οικοδομικών τετραγώνων αθροίζονται ανά υλικό και DS, και παρουσιάζονται για τα επιλεγμένα γεγονότα στο Σχήμα 5 ως ποσοστά του συνολικού αριθμού κτιρίων. Το πιο ευάλωτο τμήμα της πόλης είναι ο ιστορικός πυρήνας, που αποτελείται κυρίως από κτίρια URM. Τα κτήρια URM παρουσιάζονται ξεχωριστά σε ένα χάρτη στο Σχήμα 6, επιτρέποντάς μας να παρατηρήσουμε λεπτομερώς την επίδραση των γεγονότων στο κέντρο της πόλης.



Σχήμα 3. Χάρτης που απεικονίζει το επίκεντρο των δύο σεναρίων σεισμικών γεγονότων, ενός μέτριου κοντινού M6.1 και ενός ισχυρότερου αλλά πιο μακριά M7.3. Η πόλη της Ρόδου βρίσκεται στο βόρειο άκρο του νησιού, όπως υποδεικνύεται από το κόκκινο ορθογώνιο.

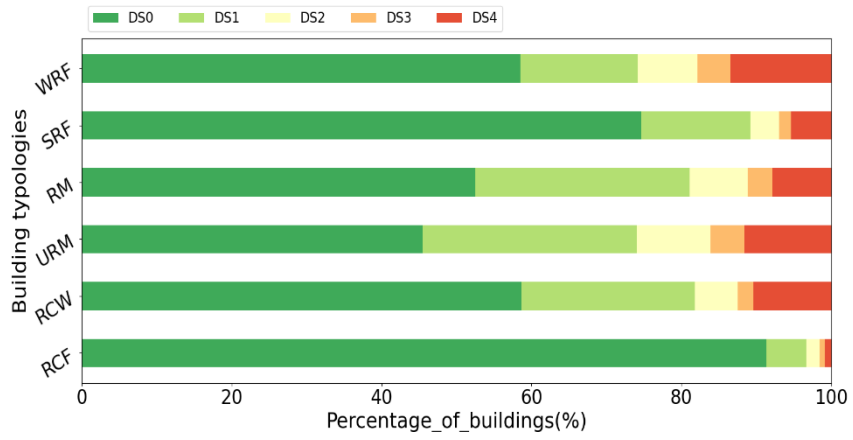


(α) M6.1, R=19km

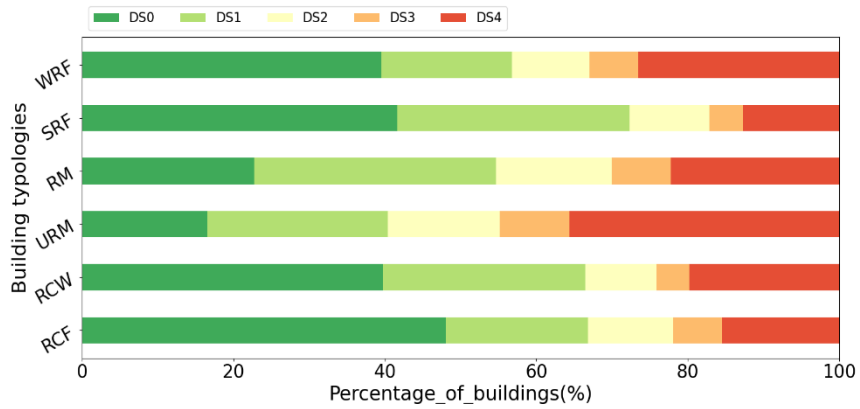


(β) M7.3, R=94km

Σχήμα 4. Πεδία εδαφικής κίνησης του $Sa(1s)$ για τα δύο συμβάντα σεναρίου από το Σχήμα 3.

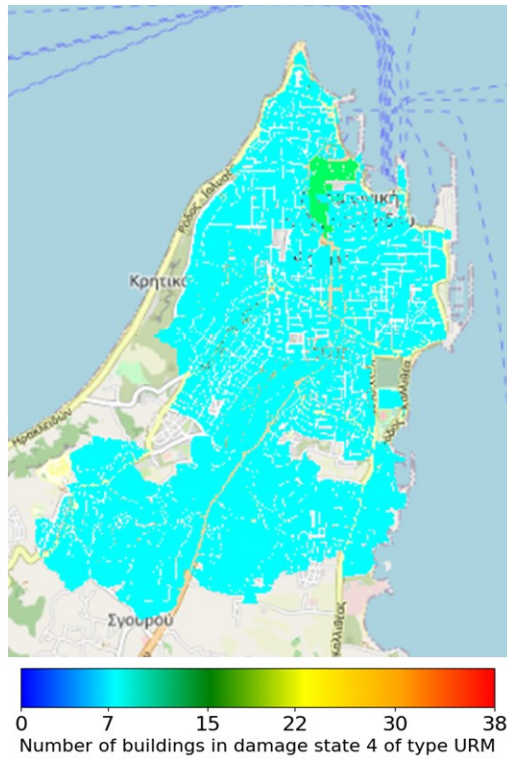


(α) M6.1, R=19km

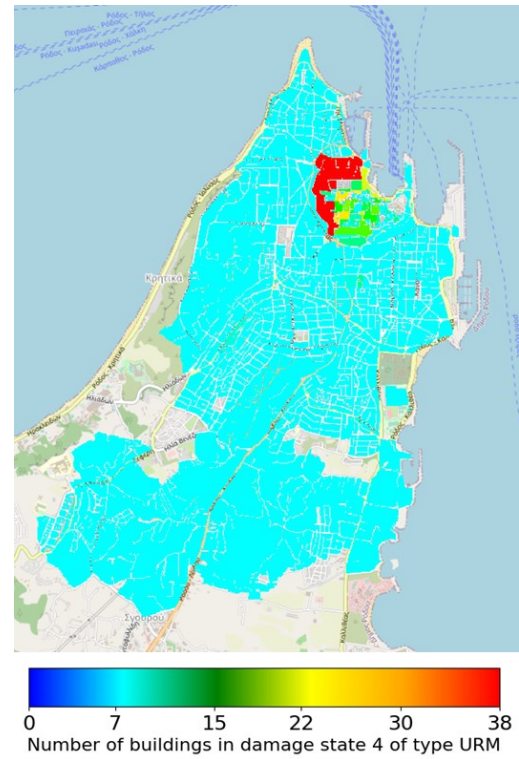


(β) M7.3, R=94km

Σχήμα 5. Ποσοστό κτιρίων σε κάθε DS ανά τύπο κτιρίου για τα δύο σεισμικά συμβάντα.



(α) M6.1, R=19km



(β) M7.3, R=94km

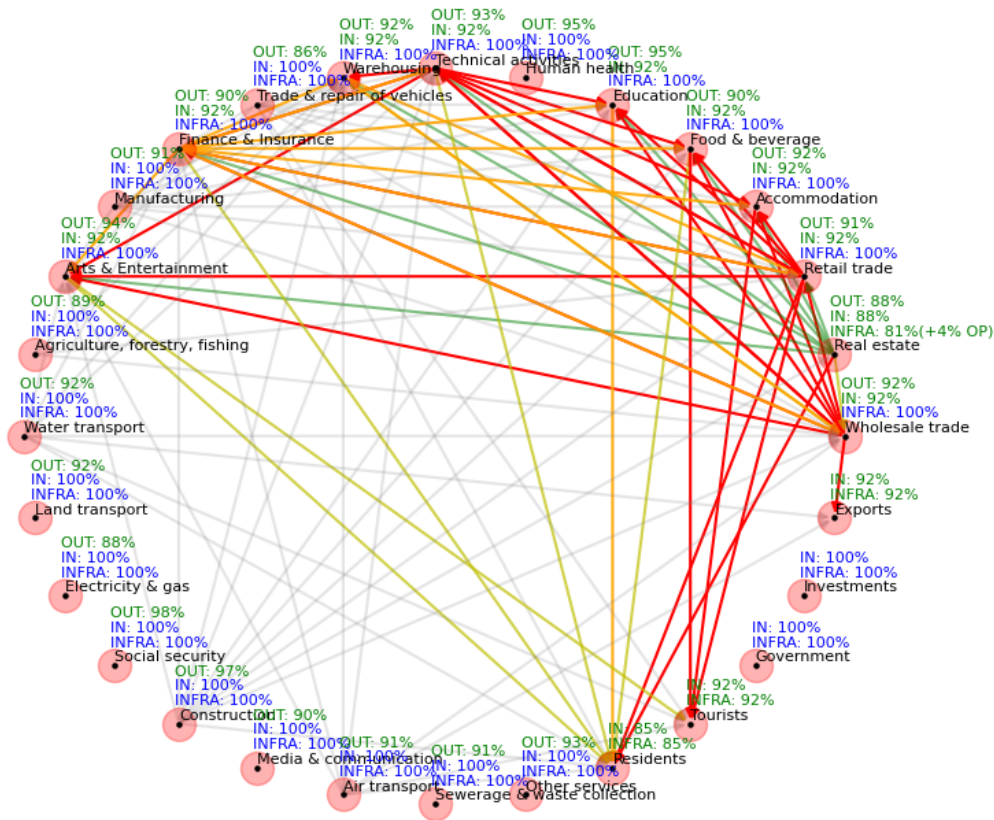
Σχήμα 6. Αριθμός κτιρίων URM στο DS4 για τα δύο σεισμικά συμβάντα.

3 Εργαλείο υπολογισμού άμεσων και έμμεσων απωλειών

3.1 Βραχυπρόθεσμες επιπτώσεις

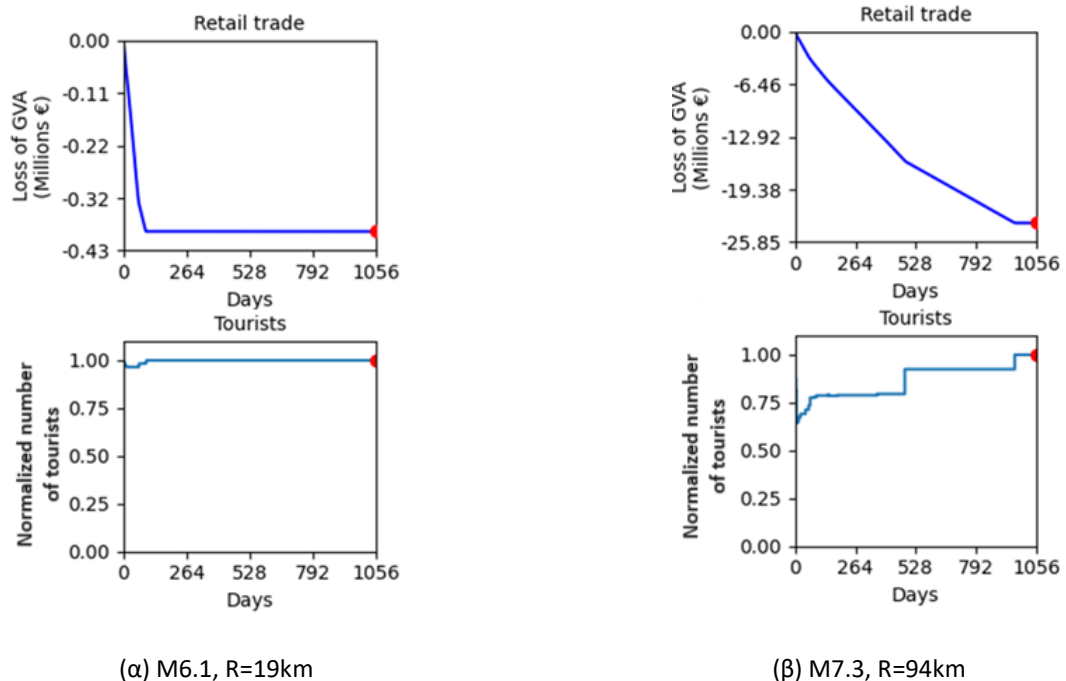
Η αποτίμηση διακινδύνευσης παρέχει αποτελέσματα για ένα SES, με τις ζημιές να υπολογίζονται ανά επιχειρηματική δραστηριότητα των κτιρίων. Οι άμεσες ζημιές υπολογίζονται χρησιμοποιώντας την τρωτότητα που παρέχεται από το ERS20 ανά ταξινόμηση κτιρίου. Όσον αφορά τις έμμεσες ζημιές, ο παράγοντας που λαμβάνεται υπόψη για τον υπολογισμό τους είναι ο χρόνος διακοπής λειτουργίας των κτιρίων και η σχετική διακοπή εργασιών. Το HAZUS (2020) παρέχει πληροφορίες σχετικά με τον χρόνο αποκατάστασης για να είναι ένα κτίριο πλήρως λειτουργικό με βάση το DS και τη χρήση του. Για την πόλη της Ρόδου δημιουργείται ένα μεσοοικονομικό μοντέλο, που περιγράφει τη σχέση μεταξύ κάθε επιχειρηματικού τομέα και συνδέει την επίδραση που θα έχει η διαταραχή του καθενός σε όλους τους αλληλεξαρτώμενους τομείς, όπως αναπτύχθηκε από τους Tsaralis et al. (2023). Ο συνδυασμός αυτών των δεδομένων παρέχει τα απαραίτητα στοιχεία για τον προσδιορισμό των έμμεσων απωλειών που θα υποστεί η πόλη μετά από ένα καταστροφικό γεγονός. Ωστόσο, για να επιτευχθεί ένας απρόσκοπτος συνδυασμός, πρέπει να είναι σε θέση να χαρτογραφηθούν οι επιχειρηματικοί τομείς που αναφέρονται για το κτιριακό απόθεμα (οδηγώντας σε άμεσες ζημιές) και τη συνολική οικονομία (προκαλώντας έμμεσες ζημιές). Για παράδειγμα, το κτιριακό απόθεμα μπορεί να ταξινομηθεί ως "Χονδρικό & Αποθηκευτικό Υλικό", ενώ οι τομείς του χονδρικού εμπορίου και της αποθήκευσης ταξινομούνται χωριστά για την οικονομία, καθιστώντας αναγκαία τη διαίρεση του κτιριακού αποθέματος στις δύο κατηγορίες. Έτσι, χρησιμοποιήθηκαν τοπικές πληροφορίες και πραγματογνωμοσύνες για να ταιριάξουν τα δύο παρόμοια αλλά όχι ταυτόσημα σύνολα επιχειρηματικών τομέων για την πόλη της Ρόδου.

Το μεσοοικονομικό μοντέλο λειτουργεί με βάση την Ακαθάριστη Προστιθέμενη Αξία (GVA), η οποία αποτελεί μέτρο της συμβολής ενός μεμονωμένου παραγωγού, κλάδου ή τομέα στο GDP. Στο Σχήμα 8 παρουσιάζεται η εξέλιξη της απώλειας της GVA με την πάροδο του χρόνου μαζί με τον χρόνο που απαιτείται για να ανακάμψει ο αριθμός των τουριστών στα πρότυπα πριν από την εκδήλωση. Η περίοδος των 1056 ημερών (~35 μήνες) αντιπροσωπεύει τον μέγιστο χρόνο που απαιτείται για να επιστρέψει ένα κτίριο κατοικιών στο DS4 στο 100% της λειτουργικότητας ανά HAZUS, πολλαπλασιασμένο επί 1.1, για την προσθήκη επαρκούς χρόνου για να σταθεροποιηθεί το οικονομικό σύστημα στην αρχική του (προ καταστροφής) κατάσταση. Οι άμεσες και έμμεσες ζημιές για τα επιλεγμένα συμβάντα παρουσιάζονται στο Σχήμα 9 και στο Σχήμα 10 ανά επιχειρηματικό τομέα.

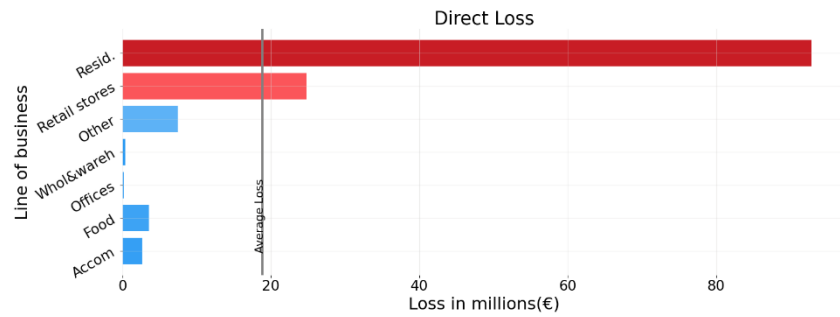


27/07/24 16:00

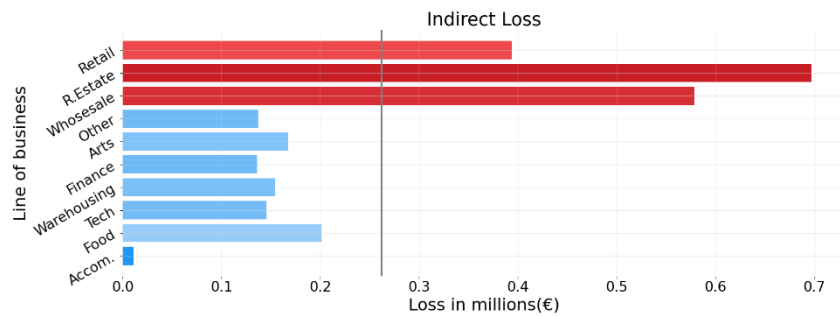
Σχήμα 7: Το κοινωνικοοικονομικό μοντέλο για σεισμό 7,3 Ρίχτερ, R=94km, 938 ημέρες μετά το σεισμικό γεγονός.



Σχήμα 8: Χρονοϊστορίες με ενδεικτικά αποτελέσματα σχετικά με την απώλεια GVA για τον τομέα του Λιανικού Εμπορίου και το ποσοστό των τουριστών που επισκέπτονται τη Ρόδο, από την ανάλυση κοινωνικοοικονομικών επιπτώσεων των δύο σεναρίων. Για να ανακάμψει μετά τα γεγονότα, χρειάζονται (α) 116 ημέρες και (β) 938 ημέρες αντίστοιχα.

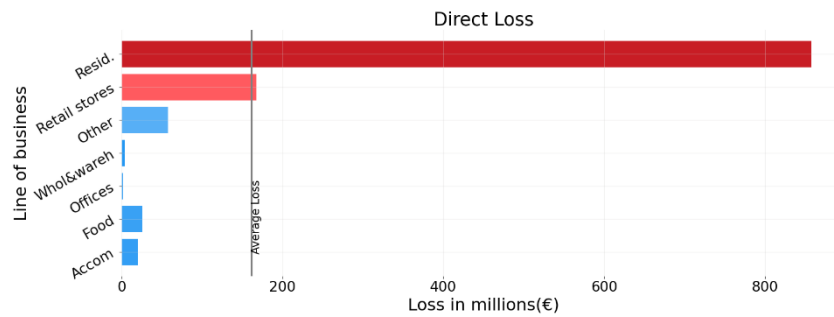


(α)

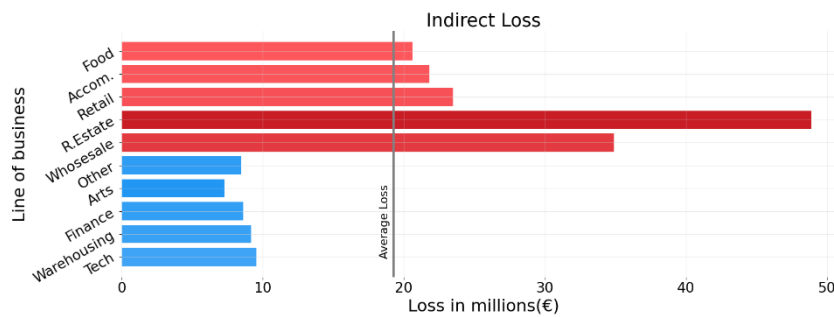


(β)

Σχήμα 9: (α) Άμεση και (β) Έμμεση απώλεια κτιρίων ανά επιχειρηματική δραστηριότητα για σεισμό M6.1, R=19km. Σημειώστε ότι οι οριζόντιοι άξονες δεν είναι οι ίδιοι.



(α)

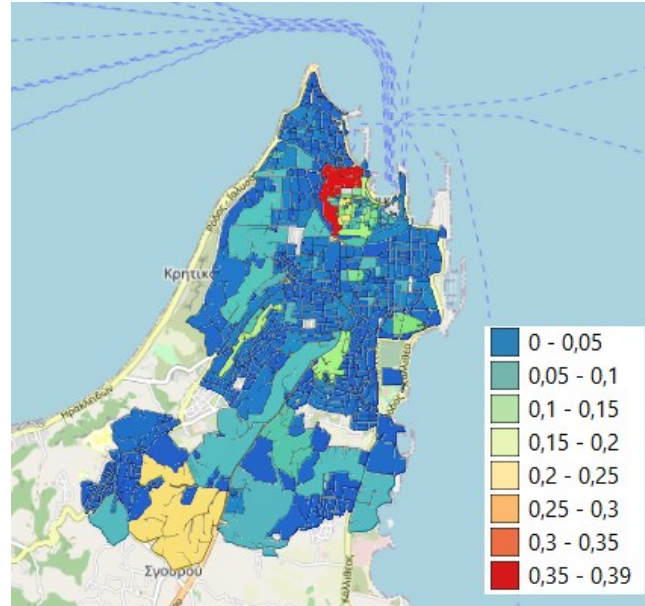


(β)

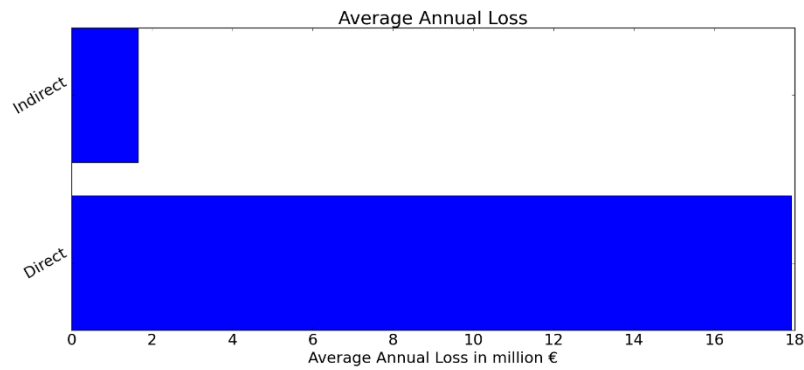
Σχήμα 10: (α) Άμεση και (β) Έμμεση απώλεια κτιρίων ανά επιχειρηματική δραστηριότητα για σεισμό 7,3 Ρίχτερ, R=94km. Σημειώστε ότι οι οριζόντιοι άξονες δεν είναι οι ίδιοι.

3.2 Μακροπρόθεσμες επιπτώσεις

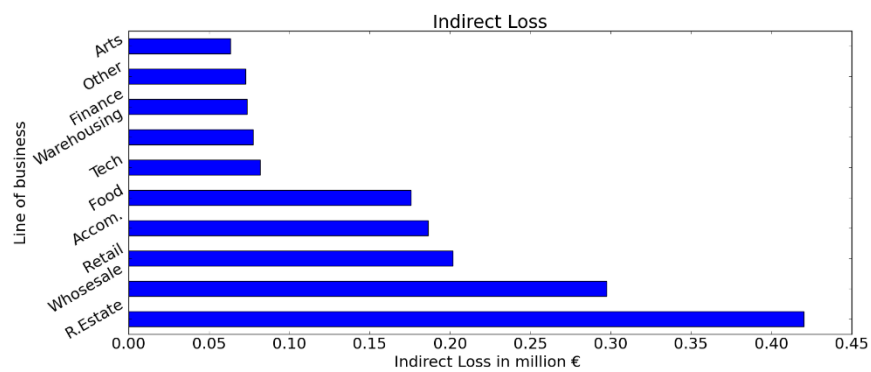
Αθροίζοντας όλα τα συμβάντα στο SES, η μέση ετήσια άμεση απώλεια ανά οικοδομικό τετράγωνο παρουσιάζεται στον χάρτη στο Σχήμα 11, παραμένοντας κοντά στο μηδέν για τα σύγχρονα προάστια, αλλά υπερβαίνοντας τα 0,3 εκατομμύρια ευρώ ανά οικοδομικό τετράγωνο στο ευάλωτο κέντρο της πόλης. Ο χάρτης αυτός υποδεικνύει τους τομείς ενδιαφέροντος που θα πρέπει να λαμβάνονται κυρίως υπόψη κατά τη λήψη αποφάσεων σχετικά με δράσεις μετριασμού των επιπτώσεων μετά από ένα καταστροφικό γεγονός. Επίσης, παρέχει πληροφορίες σχετικά με το χρηματικό ποσό που πρέπει να εξοικονομηθεί (π.χ. με τη μορφή ομολόγων ή ασφαλιστικής κάλυψης) από τις τοπικές αρχές για την πιθανή κάλυψη των ζημιών που δημιουργούνται από ένα καταστροφικό γεγονός. Επιπλέον, η συνολική μέση ετήσια ζημία για ολόκληρη την πόλη, τόσο σε όρους άμεσης όσο και έμμεσης απώλειας, παρουσιάζεται στο Σχήμα 12. Εκτός από τις συνολικές έμμεσες ζημίες, είναι σημαντικό να εντοπιστεί ο επιχειρηματικός τομέας που επηρεάζεται περισσότερο, ο οποίος θα απαιτήσει υψηλότερη στήριξη, επομένως η κατανομή της μέσης ετήσιας έμμεσης ζημίας ανά επιχειρηματικό τομέα παρουσιάζεται στο Σχήμα 13 και τα ποσοστά της στο Σχήμα 14 σε κυκλικό διάγραμμα για καλύτερη απεικόνιση. Η μέση ετήσια άμεση απώλεια (AAL) για την πόλη της Ρόδου είναι 17,9 εκατ. €, ενώ το κόστος αντικατάστασης (RC) για όλη την πόλη είναι 5624,3 εκ. €. Επομένως, ο λόγος του AAL προς το RC είναι 0,32 %.



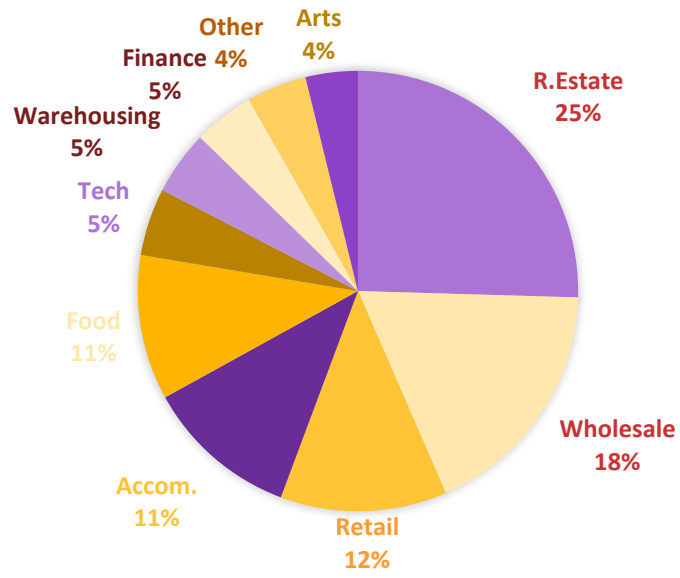
Σχήμα 11: Μέση ετήσια άμεση ζημία σε εκατομμύρια € ανά οικοδομικό τετράγωνο.



Σχήμα 12: Συνολική μέση ετήσια άμεση και έμμεση ζημία σε εκατ. €.



Σχήμα 13: Μέση ετήσια κατανομή έμμεσων ζημιών ανά τομέα δραστηριότητας σε εκατ. €.



Σχήμα 14: Ποσοστό της μέσης ετήσιας κατανομής έμμεσων ζημιών ανά τομέα δραστηριότητας.

4 Συμπεράσματα

Το εργαλείο που παρουσιάστηκε παραπάνω πρακτικά αξιοποιεί τα αποτελέσματα όλων των προηγούμενων πακέτων εργασίας για να παράγει ολοκληρωτικά αποτελέσματα για τις επιπτώσεις του σεισμού στην πόλη της Ρόδου. Επιτρέπει στον χρήστη να εξερευνήσει τα αποτελέσματα είτε για ένα συγκεκριμένο σεισμικό συμβάν είτε τις μακροπρόθεσμες απώλειες που αναμένονται στην πόλη βάση μέσων ετήσιων απωλειών. Έχοντας υπολογίσει τις άμεσες απώλειες της πόλης με βάση την κλασική μέθοδο αποτίμησης διακινδύνευσης, προκύπτει και ο χρόνος αποκατάστασης των ζημιών αυτών που με την βοήθεια του κοινωνικοοικονομικού μοντέλου που έχει αναπτυχθεί υπολογίζονται οι απώλειές από την διακοπή της επιχειρηματικής δραστηριότητας, οι έμμεσες απώλειες. Επιπλέον, τα συγκεντρωτικά στοιχεία από τις μακροπρόθεσμες επιπτώσεις επιτρέπουν την καλύτερη κατανόηση των πιο ευάλωτων επιχειρηματικών τομέων, με βάση το ποιοι τομείς επηρεάζονται πιο έντονα από την εκάστοτε διαταραχή.

5 Αναφορές

Cauzzi C., Faccioli E., Vanini M., Bianchini A. (2015). Updated predictive equations for broadband (0.0 - 10.0 s) horizontal response spectra and peak ground motions, based on a global dataset of digital acceleration records, *Bulletin of Earthquake Engineering*, 13: 1587– 1612. <https://doi.org/10.1007/s10518-014-9685-y>

Crowley H., Dabbeek J., Despotaki V., Rodrigues D., Martins L., Silva V., Romão X., Pereira N., Weatherill G., Danciu L. (2021). European Seismic Risk Model (ESRM20), *EFEHR Technical Report 002 V1.0.0*. <https://doi.org/10.7414/EUC-EFEHR-TR002-ESRM20>

Danciu L., Nandan S., Reyes C., Basili R., Weatherill G., Beauval C., Rovida A., Vilanova S., Sesetyan K., Bard P-Y., Cotton F., Wiemer S., Giardini D. (2021). The 2020 update of the European Seismic Hazard Model: Model Overview, *EFEHR Technical Report 001*, v1.0.0. <https://doi.org/10.12686/a15>

GEM (2021). The OpenQuake-engine User Manual. Global Earthquake Model, OpenQuake Manual for Engine version 3.12.1. <http://dx.doi.org/10.13117/GEM.OPENQUAKE.MAN.ENGINE.3.12.1>

Hazus 4.2 SP3 (2020). Hazus Earthquake Model Technical Manual: Hazus 4.2 SP3, *Federal Emergency Management Agency*. https://www.fema.gov/sites/default/files/2020-10/fema_hazus_earthquake_technical_manual_4-2.pdf

Jayaram N., Baker J.W. (2009). Correlation model for spatially distributed ground-motion intensities. *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, 38(15), 1687-1708. <https://doi.org/10.1002/eqe.922>

Karaferis N. (2024). Socioeconomic impact model WP5. TwinCity Deliverable D5.1.

Tsarpalis D., Karaferi E., Vamvatsikos D., Kohrangi M., Zeppos J. (2023). A socioeconomic model for estimating indirect consequences of earthquake hazards to cultural heritage communities, *Proceedings of the SECED 2023 Conference*, Cambridge, UK