



Project funded by  
EUROPEAN UNION



## The REDACT project Educational Hub

### Βλάβες από Σεισμό σε Κατασκευές και Υποδομές

**Deliverable No: D.T3.5.1e (GR)**

GA T3 Implementation of REDA system (pilot studies)

**Created by:**  
The International Hellenic University (TEICM/IHU)

#### **CONTRIBUTING PARTNERS:**

- Institute of Engineering Seismology & Earthquake Engineering - Research Unit of Earthquake Planning & Protection Organization (ITSAK-EPPO)
  - Democritus University of Thrace (DUTH)
    - Gebze Technical University (GTU)
    - Ovidius University of Constanta (OUC)
- Institute of Geology and Seismology Moldova (IGS/MSU)

**PROJECT DETAILS:**

<b>Programme</b>	Black Sea Joint Operational Programme 2014-20
<b>Priority and Measure</b>	2. Promote coordination of environmental protection and joint reduction of marine litter in the Black Sea Basin
<b>Objective</b>	2.1 Improve joint environmental Monitoring
<b>Project Title</b>	Rapid Earthquake Damage Assessment Consortium
<b>Project Acronym</b>	REDACt
<b>Contract No</b>	BSB-966
<b>Lead Partner</b>	The Legal Successor in rights and Duties of TEICM_SARF, IHU SARF, GREECE
<b>Total Budget</b>	974.860,00 Euro (€)
<b>Time Frame: Start Date - End Date</b>	01/07/2020 - 30/06/2023
<b>Project Coordinator</b>	Papatheodorou K. (IHU-TEICM)

**DELIVERABLE CONTRIBUTORS:**

Papatheodorou K. (TEICM), Kirtas E. (TEICM), Panagopoulos G. (TEICM), Theodoulidis N. (ITS AK-EPPO), Margaris B. (ITS AK-EPPO), Karakostas Ch. (ITS AK-EPPO), Papanikolaou V. (ITS AK-EPPO), Klimis N. (DUTH), Zulfikar C. (GTU), Osman K. (GTU), Ali Y. (GTU), Wilfrid D. (GTU), Toma-Danila D. (OUC), Vintila D. (OUC), Cardanet V. (IGS/MSU)

**Stakeholders:** BSB JOP 2014-20 eligible area

Deliverable-No: <b>D.T3.5.1e_GR</b>		<b>Internal - Partners</b>	
Issue: <b>1.0</b>	Date: 31 July 2023	Page:	2 of 19

**RECORD OF REVISIONS**

<b>Issue/Rev</b>	<b>Date</b>	<b>Page(s)</b>	<b>Description of Change</b>	<b>Release</b>
1	30.06.2023	17	First version	draft
2	31.07.2023	19	Final Version	v1.0

<b>Deliverable-No: D.T3.5.1e_GR</b>		<b>Internal - Partners</b>	
Issue: <b>1.0</b>	Date: 31 July 2023	Page:	3 of 19

DOCUMENT RELEASE SHEET

Responsible Partner: International Hellenic University		
Approval	Emmanouil Kirtas	Signature  31.07.2023
Approval	Nikolaos Theodoulidis	Signature  31.07.2023
Approval	Nikolaos Klimis	Signature  31.07.2023
Approval	Can Zulfikar	Signature  31.07.2023
Approval	Dragos Vintila	Signature  31.07.2023
Approval	Vladlen Cardanet	Signature  31.07.2023
Approved by the Project Coordinator:	Konstantinos Papatheodorou	Signature  31.07.2023
Distribution:	ALL PARTNERS	

## TABLE OF CONTENTS

1.1. SCOPE AND OBJECTIVES .....	7
1.2. RELATED DOCUMENTS .....	7
1.2.1. INPUT .....	7
1.2.2. OUTPUT .....	7
<b>2. ΣΕΙΣΜΙΚΗ ΚΙΝΗΣΗ ΚΑΙ ΚΑΤΑΠΟΝΗΣΗ ΚΑΤΑΣΚΕΥΩΝ ΚΑΙ ΥΠΟΔΟΜΩΝ .....</b>	<b>8</b>
<b>3. ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΩΝ ΚΑΙ ΥΠΟΔΟΜΩΝ ΕΝΑΝΤΙ ΣΕΙΣΜΟΥ .....</b>	<b>9</b>
<b>4. ΣΕΙΣΜΙΚΗ ΑΠΟΤΙΜΗΣΗ ΥΦΙΣΤΑΜΕΝΩΝ ΚΑΤΑΣΚΕΥΩΝ ΚΑΙ ΥΠΟΔΟΜΩΝ .....</b>	<b>10</b>
<b>5. ΒΛΑΒΕΣ ΑΠΟ ΣΕΙΣΜΟ ΣΕ ΚΤΙΡΙΑΚΕΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΕΣ .....</b>	<b>12</b>
<b>6. ΒΛΑΒΕΣ ΑΠΟ ΣΕΙΣΜΟ ΣΕ ΥΠΟΔΟΜΕΣ .....</b>	<b>16</b>
<b>7. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΕΣ ΑΝΑΦΟΡΕΣ.....</b>	<b>19</b>

## LIST OF FIGURES

ΣΧΗΜΑ 1. ΕΠΙΤΑΧΥΝΣΙΟΓΡΑΦΗΜΑ (ΧΡΟΝΟΪΣΤΟΡΙΑ ΕΠΙΤΑΧΥΝΣΗΣ) ΣΕΙΣΜΟΥ.	8
ΣΧΗΜΑ 2. ΚΑΤΑΠΟΝΗΣΗ ΚΑΤΑΣΚΕΥΩΝ ΚΑΙ ΥΠΟΔΟΜΩΝ ΚΑΤΑ ΤΗ ΔΙΑΡΚΕΙΑ ΤΟΥ ΣΕΙΣΜΟΥ (Α) ΛΟΓΩ ΤΗΣ ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΣΗΣ ΤΟΥ ΕΔΑΦΟΥΣ Η/ΚΑΙ (Β) ΛΟΓΩ ΤΗΣ ΑΔΡΑΝΕΙΑΣ ΤΗΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ ΠΟΥ ΕΧΕΙ ΩΣ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑ ΚΑΘΥΣΤΕΡΗΣΗ ΤΗΣ ΤΑΛΑΝΤΩΣΗΣ ΣΕ ΣΧΕΣΗ ΜΕ ΤΗΝ ΕΔΑΦΙΚΗ ΚΙΝΗΣΗ.	9
ΣΧΗΜΑ 3. ΣΤΑΘΜΕΣ ΕΠΙΤΕΛΕΣΤΙΚΟΤΗΤΑΣ (FEMA 389, 2004).	10
ΣΧΗΜΑ 4. ΤΥΠΙΚΕΣ ΚΑΜΠΥΛΕΣ ΤΡΩΤΟΤΗΤΑΣ ΚΤΙΡΙΑΚΩΝ ΚΑΤΑΣΚΕΥΩΝ (HAZUS-ΜΗ MR5, 2010).	11
ΣΧΗΜΑ 5. ΔΙΑΦΟΡΕΤΙΚΗ ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΗΣ ΙΔΙΑΣ ΣΕΙΣΜΙΚΗΣ ΔΙΕΓΕΡΣΗΣ ΣΕ ΚΤΙΡΙΑ ΔΙΑΦΟΡΕΤΙΚΟΥ ΥΨΟΥΣ (THEODOULIDIS, 2023).	13
ΣΧΗΜΑ 6. (Α) ΑΣΤΟΧΙΑ ΜΑΛΑΚΟΥ ΟΡΟΦΟΥ ΣΕ ΖΩΡΟΦΗ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΟΠΛΙΣΜΕΝΟΥ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ ΚΑΤΑ ΤΗ ΔΙΑΡΚΕΙΑ ΤΟΥ ΣΕΙΣΜΟΥ ΤΗΣ ΑΘΗΝΑΣ 1999, ΕΛΛΑΔΑ, (Β) ΚΑΤΑΡΡΕΥΣΗ ΕΥΣΤΡΕΠΤΟΥ ΚΤΙΡΙΟΥ ΜΕ ΙΣΧΥΡΑ ΔΥΣΚΑΜΠΤΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΣΤΗ ΜΙΑ ΜΟΝΟ ΓΩΝΙΑ ΤΗΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ, ΑΘΗΝΑ 1999, (Γ, Δ) ΒΛΑΒΕΣ ΣΕ ΚΤΙΡΙΑ ΑΠΟ ΦΕΡΟΥΣΑ ΤΟΙΧΟΠΟΙΙΑ ΚΑΤΑ ΤΗ ΔΙΑΡΚΕΙΑ ΤΟΥ ΣΕΙΣΜΟΥ ΤΗΣ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ 2022, ΕΛΛΑΔΑ (ΠΗΓΗ: SARHOSIS ET AL., 2022), (Ε, ΣΤ) ΑΣΤΟΧΙΕΣ ΕΥΚΑΜΠΤΩΝ ΜΕΤΑΛΛΙΚΩΝ ΚΑΤΑΣΚΕΥΩΝ (ΠΗΓΗ: KATSUMI KASAHARA/ASSOCIATED PRESS, MICHAEL ENGELHARDT).	14
ΣΧΗΜΑ 7. (Α) ΒΛΑΒΕΣ ΣΤΗΝ ΟΡΟΦΗ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ (ΠΗΓΗ: FERNER ET AL., 2014), (Β) ΠΤΩΣΕΙΣ ΡΑΦΙΩΝ ΣΕ ΒΙΒΛΙΟΘΗΚΗ (ΠΗΓΗ: NISEE-PEER), (Γ) ΚΑΤΑΣΤΡΟΦΗ ΠΙΝΑΚΙΔΑΣ ΣΤΟ ΕΞΩΤΕΡΙΚΟ ΝΟΣΟΚΟΜΕΙΟΥ ΚΑΤΑ ΤΟΝ ΣΕΙΣΜΟ ΤΟΥ NORTHRIDGE, 1994 USA (ΠΗΓΗ: ROBERT REITHERMAN), (Δ) ΆΓΑΛΜΑ ΕΡΜΗ ΤΟΥ ΠΡΑΣΙΤΕΛΗ ΣΤΟ ΑΡΧΑΙΟΛΟΓΙΚΟ ΜΟΥΣΕΙΟ ΤΗΣ ΟΛΥΜΠΙΑΣ. ΤΟΠΟΘΕΤΗΣΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΣΕΙΣΜΙΚΗΣ ΜΟΝΩΣΗΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑ ΣΗΜΑΝΤΙΚΩΝ ΕΚΘΕΜΑΤΩΝ (ΠΗΓΗ: MICHAEL CONSTANTINOU).	15

Deliverable-No: <b>D.T3.5.1e_GR</b>		Internal - Partners	
Issue: 1.0	Date: 31 July 2023	Page:	5 of 19

ΣΧΗΜΑ 8. (Α) ΚΑΤΑΡΡΕΥΣΕΙΣ ΚΤΙΡΙΩΝ ΑΠΟ ΡΕΥΣΤΟΠΟΙΗΣΗ ΤΟΥ ΕΔΑΦΟΥΣ ΚΑΤΑ ΤΟ ΣΕΙΣΜΟ ΤΗΣ ΝΙΙΓΑΤΑ, 1964 ΙΑΠΩΝΙΑ (ΡΗΟΤΟ: JOSEPH PENZIEN), (Β) ΔΙΑΦΟΡΙΚΗ ΚΑΘΙΖΗΣΗ ΣΤΗ ΘΕΜΕΛΙΩΣΗ ΚΤΙΡΙΟΥ ΟΠΛΙΣΜΕΝΟΥ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ ΣΤΗΝ ΤΟΥΡΚΙΑ, 1999. 16

ΣΧΗΜΑ 9. (Α) ΑΣΤΟΧΙΑ ΔΙΚΤΥΟΥ ΦΥΣΙΚΟΥ ΑΕΡΙΟΥ ΣΤΟ ΣΕΙΣΜΟ ΤΗΣ LOMA PRIETA, USA (1989) (ΡΗΟΤΟ: BOB PEPPING/CONTRA COSTA TIMES) (Β) ΑΣΤΟΧΙΑ ΣΕ ΣΙΔΗΡΟΔΡΟΜΙΚΗ ΓΡΑΜΜΗ ΣΤΟ ΣΕΙΣΜΟ ΤΗΣ ΤΟΥΡΚΙΑΣ (2023) (ΡΗΟΤΟ: AP/FRANCISCO SECO), (Γ) ΑΣΤΟΧΙΑ ΑΓΩΓΟΥ ΔΙΚΤΥΟΥ ΥΔΡΕΥΣΗΣ ΣΤΟ ΣΕΙΣΜΟ ΤΟΥ ΤΟΗΟΚΟΥ, ΙΑΠΩΝΙΑ (2011) (ΡΗΟΤΟ: ΜΙΥΑΙΜΑ, 2012), (Δ) ΑΣΤΟΧΙΑ ΛΙΜΕΝΙΚΩΝ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΕΩΝ ΣΤΟ ΣΕΙΣΜΟ ΤΟΥ ΚΟΒΕ, ΙΑΠΩΝΙΑ (1995) (ΡΗΟΤΟ: KAREN KASMAUSKI), (Ε) ΑΣΤΟΧΙΕΣ ΣΤΟ ΟΔΙΚΟ ΔΙΚΤΥΟ ΣΤΟ ΣΕΙΣΜΟ ΤΗΣ ΚΕΦΑΛΛΟΝΙΑΣ, ΕΛΛΑΔΑ (2014) (ΡΗΟΤΟ: ΙΤΣΑΚ) (ΣΤ) ΑΣΤΟΧΙΑ ΓΕΦΥΡΑΣ ΣΤΟ ΣΕΙΣΜΟ ΤΗΣ LOMA PRIETA, USA (1989) (ΡΗΟΤΟ: USGS) 18

#### LIST OF TABLES

TABLE 1. LIST OF FORMER DELIVERABLES ACTING AS INPUTS TO THIS DOCUMENT	7
TABLE 2. LIST OF OTHER DELIVERABLES FOR WHICH THIS DOCUMENT IS AN INPUT.	7

Deliverable-No: <b>D.T3.5.1e_GR</b>		<b>Internal - Partners</b>	
Issue: <b>1.0</b>	Date: 31 July 2023	Page:	6 of 19

## **1.1. SCOPE AND OBJECTIVES**

Earthquake imposed crises, invoke the entire community including all of its structural components. They put into test the operational capacity of services, their response efficiency and the response of the population, which strongly affects the dynamics and progress of response actions, both during the event and after that.

Response of the population is strongly related to the level of **communication**, of **comprehending the risks** and of **being able and trained** to respond. Scope of the deliverable is to provide simple guidelines, which combined with the content of the REDACt Educational Hub and the short tutorials given, can support citizens to develop their own emergency plans, in line with the State issued guidelines.

The document is a part of the REDACt Educational Hub (Edu-Hub). It capitalizes on respective material published by competent Authorities at National and Regional Levels and is based on research carried out during the project and on internationally recognized and widely acceptable principles.

The International Hellenic University led this effort and partners contributed with data, information and translations.

## **1.2. RELATED DOCUMENTS**

### **1.2.1. Input**

**Table 1. List of former deliverables acting as inputs to this document**

<b>Document ID</b>	<b>Descriptor</b>
<b>D.T.3.5.1</b>	<b>The REDACt project Educational Hub</b>

### **1.2.2. Output**

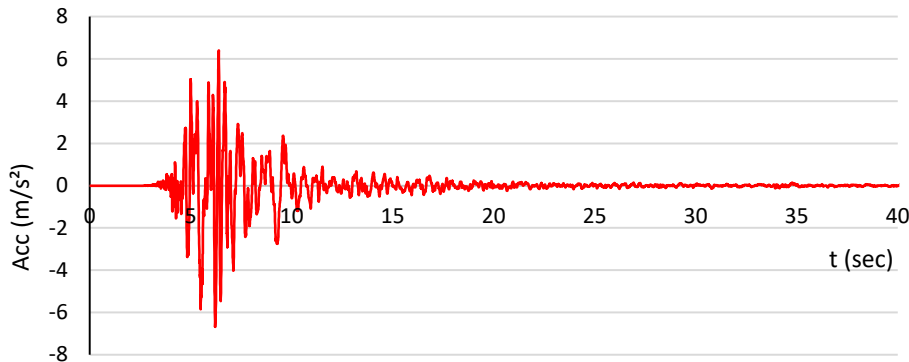
**Table 2. List of other deliverables for which this document is an input.**

<b>Document ID</b>	<b>Descriptor</b>
<b>D.T3.1.</b>	

## 2. ΣΕΙΣΜΙΚΗ ΚΙΝΗΣΗ ΚΑΙ ΚΑΤΑΠΟΝΗΣΗ ΚΑΤΑΣΚΕΥΩΝ ΚΑΙ ΥΠΟΔΟΜΩΝ

Όταν συμβαίνει ένας ισχυρός σεισμός τα σεισμικά κύματα διαδίδονται μέσα στο έδαφος και φτάνουν στην επιφάνεια προκαλώντας έντονη κίνηση του εδάφους. Σε κάθε σημείο της επιφάνειας του εδάφους η δυναμικά μεταβαλλόμενη σεισμική κίνηση μπορεί να καταγραφεί ως μετακίνηση (σε m), ως ταχύτητα (σε m/s) ή ως επιτάχυνση (σε  $m/s^2$  ή συχνά ως ποσοστό της επιτάχυνσης της βαρύτητας g).

Ενδεικτική εικόνα μιας τέτοιας καταγραφής εμφανίζεται στο Σχήμα 1, όπου αποτυπώνεται η καταγραφή της επιτάχυνσης στην επιφάνεια του εδάφους με τον χρόνο.



Σχήμα 1. Επιταχυνσιογράφημα (χρονοϊστορία επιτάχυνσης) σεισμού.

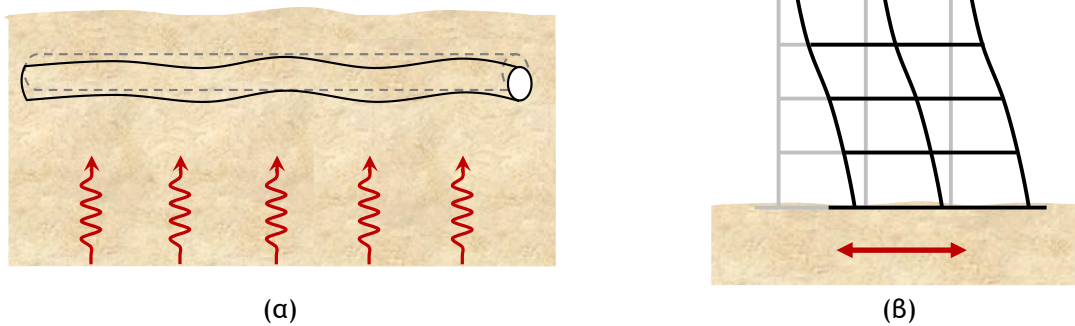
Ο τρόπος με τον οποίο προκύπτει η χωρική κατανομή της σεισμικής κίνησης στην ευρύτερη περιοχή του ρήγματος για ένα σεισμικό γεγονός περιγράφεται στο εγχειρίδιο με τίτλο “Από την εστία του σεισμού στις βλάβες”.

Η έντονη και δυναμικά μεταβαλλόμενη εδαφική κίνηση έχει ως αποτέλεσμα τη δημιουργία έντασης και, κατά συνέπεια, καταπόνησης σε κατασκευές και υποδομές που σχετίζεται κυρίως:

- Με την παραμόρφωση υποδομών και υπόγειων κατασκευών, ή του τμήματος τους που βρίσκεται σε επαφή με το έδαφος, λόγω της παραμόρφωσης του εδάφους κατά τη διάρκεια του σεισμού (Σχήμα 2α).
- Με την αδράνεια των κατασκευών, η οποία έχει ως αποτέλεσμα την ταλάντωση της ανωδομής με καθυστέρηση σε σχέση με την ταλάντωση του εδάφους θεμελίωσης, εισάγοντας έτσι παραμόρφωση και ένταση στην κατασκευή (Σχήμα 2β).

Deliverable-No: <b>D.T3.5.1e_GR</b>		Internal - Partners	
Issue: <b>1.0</b>	Date: 31 July 2023	Page:	8 of 19





Σχήμα 2. Καταπόνηση κατασκευών και υποδομών κατά τη διάρκεια του σεισμού (α) λόγω της παραμόρφωσης του εδάφους ή/και (β) λόγω της αδράνειας της κατασκευής που έχει ως αποτέλεσμα καθυστέρηση της ταλάντωσης σε σχέση με την εδαφική κίνηση.

### 3. ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΩΝ ΚΑΙ ΥΠΟΔΟΜΩΝ ΕΝΑΝΤΙ ΣΕΙΣΜΟΥ

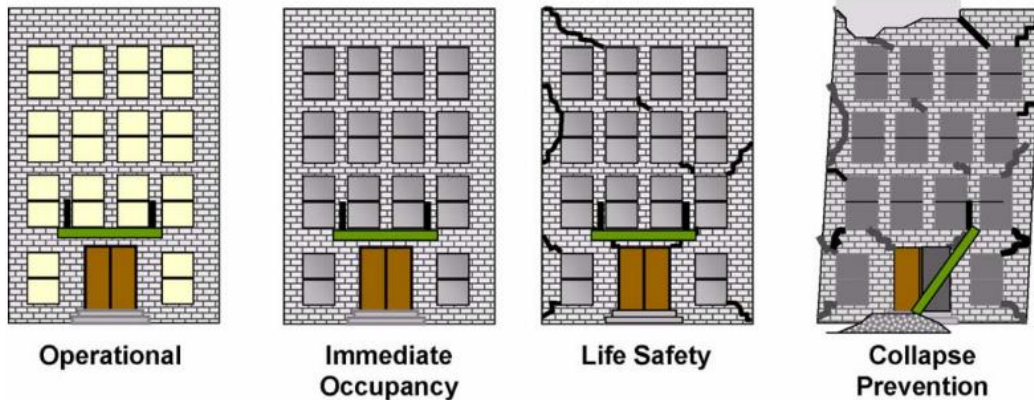
Ο σχεδιασμός κατασκευών και υποδομών ακολουθεί μια τεχνικοοικονομική προσέγγιση, όπου στόχος είναι να εξασφαλιστεί το απαιτούμενο επίπεδο ασφάλειας του έργου με ένα εύλογο κόστος, δίχως πρόσθετες οικονομικές υπερβάσεις.

Κατά συνέπεια, στόχος δεν είναι η κατασκευή ενός έργου το οποίο θα ανθίσταται σε κάθε επίπεδο καταπόνησης, κάτι που άλλωστε δεν είναι εφικτό, καθώς υπάρχει πάντα η πιθανότητα υπέρβασης της επιβαλλόμενης φόρτισης από ένα ακραίο φυσικό ή ανθρωπογενές γεγονός. Ακόμη όμως και στην περίπτωση υπέρβασης των αναμενόμενων δράσεων, όπως αρκετές φορές έχει συμβεί με ιδιαίτερα ισχυρούς σεισμούς, ο σχεδιασμός του έργου έχει ως τελικό στόχο την αποφυγή της κατάρρευσης, ώστε να μην κινδυνεύσουν ανθρώπινες ζωές.

Η σύγχρονη φιλοσοφία αντισεισμικού σχεδιασμού των κατασκευών και των υποδομών συνδέεται συνεπώς άμεσα με την επιτελεσματικότητά τους, δηλαδή τη συμπεριφορά που θα εμφανίσουν και το επίπεδο βλάβης που θεωρείται ανεκτό να υποστούν για δεδομένα επίπεδα σεισμικής φόρτισης. Τις τελευταίες δεκαετίες χρησιμοποιούνται ευρέως διεθνώς (HAZUS-MH MR5, 2010; FEMA 389, 2004) οι παρακάτω στάθμες επιτελεσματικότητας (Σχήμα 3) :

- Operational (Λειτουργική κατασκευή): μηδενικές ή πολύ χαμηλές βλάβες
- Immediate Occupancy (Άμεση χρήση): περιορισμένες βλάβες
- Life Safety (Προστασία Ζωής): σημαντικές βλάβες
- Collapse Prevention (Αποφυγή κατάρρευσης): πολύ εκτεταμένες βλάβες, ένα βήμα πριν την κατάρρευση/πλήρης αστοχία

Deliverable-No: <b>D.T3.5.1e_GR</b>		Internal - Partners	
Issue: 1.0	Date: 31 July 2023	Page:	9 of 19



Σχήμα 3. Στάθμες επιτελεστικότητας (FEMA 389, 2004).

Οι απαιτήσεις των σύγχρονων Αντισεισμικών Κανονισμών για τα νέα κτίρια (Eurocode 8-1) λαμβάνουν υπόψη την ελάχιστη αποδεκτή απόκριση κατά τη θεωρητική διάρκεια ζωής ενός έργου που είναι 50 έτη για συνήθη κτίρια (κατοικίες, γραφεία). Συγκεκριμένα, προδιαγράφουν την άμεση χρήση στην περίπτωση σεισμών που συμβαίνουν σχετικά συχνά (περίοδος επανάλιψης 72 έτη, ή πιθανότητα υπέρβασης 50% στα 50 έτη), ενώ **δέχονται τη στάθμη προστασίας ζωής για σεισμούς που είναι πιο σπάνιοι** (περίοδος επανάλιψης 475 έτη, ή πιθανότητα υπέρβασης 10% στα 50 έτη). Συνεπώς, διαπιστώνεται ότι υπάρχει διαφορά στην επιδιωκόμενη συμπεριφορά ανάλογα με το επίπεδο της σεισμικής δράσης.

Αντίστοιχες διατάξεις, με ενδεχόμενες διαφοροποιήσεις ανάλογα με τη φύση και τη σπουδαιότητα του έργου, εμφανίζονται για κάθε τύπο κατασκευής ή έργου υποδομής. Για παράδειγμα, σε έργα μεγαλύτερης σπουδαιότητας (π.χ. νοσοκομεία, σημαντικούς αυτοκινητόδρομους, κρίσιμες υποδομές) η θεωρητική διάρκεια ζωής αυξάνεται από τα 50 στα 100 έτη.

#### 4. ΣΕΙΣΜΙΚΗ ΑΠΟΤΙΜΗΣΗ ΥΦΙΣΤΑΜΕΝΩΝ ΚΑΤΑΣΚΕΥΩΝ ΚΑΙ ΥΠΟΔΟΜΩΝ

Στην περίπτωση των υφιστάμενων κατασκευών και υποδομών, η σεισμική καταπόνηση μπορεί να έχει ως αποτέλεσμα την ανάπτυξη βλαβών, το εύρος των οποίων ενδέχεται να είναι από μικρές ρωγμές έως και τη μερική ή πλήρη αστοχία (κατάρρευση), αντίστοιχα με την περιγραφή των σταθμών επιτελεστικότητας που έγινε στην προηγούμενη ενότητα.

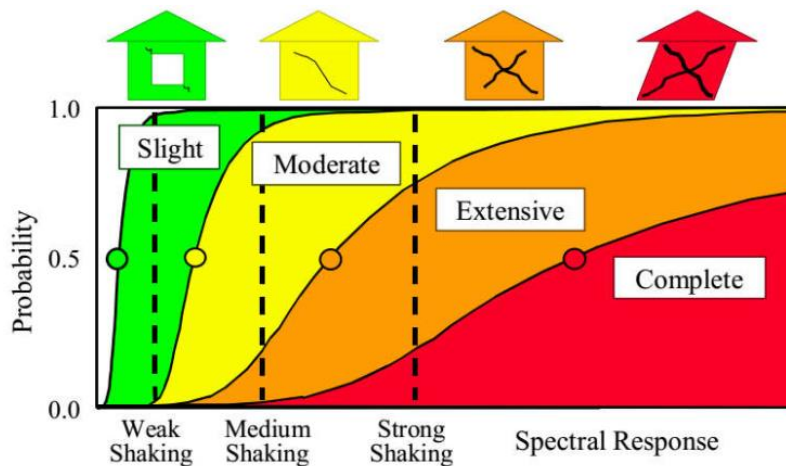
Η αξιολόγηση της σεισμικής επάρκειας μιας υφιστάμενης κατασκευής και η εκτίμηση της αναμενόμενης συμπεριφοράς της γίνεται συνήθως με έναν από τους παρακάτω τρόπους:

Deliverable-No: <b>D.T3.5.1e_GR</b>		Internal - Partners	
Issue: 1.0	Date: 31 July 2023	Page:	10 of 19

a) Με τη χρήση μεθόδων βαθμονόμησης της κατασκευής, βάσει της βαθμολόγησης συγκεκριμένων χαρακτηριστικών που σχετίζονται με τη σεισμική της απόκριση (π.χ. υλικό κατασκευής, αριθμός ορόφων, παλαιότητα κτλ.).

b) Με τη χρήση μεθόδων εκτίμησης της έκτασης των βλαβών που αναμένεται να υποστεί η κατασκευή, υπό δεδομένη σεισμική φόρτιση, με εφαρμογή πιθανοτικών προσεγγίσεων (χρήση καμπυλών τρωτότητας) και καθορισμό κατάλληλων σταθμών βλάβης.

Η προσέγγιση (b) έχει σημαντική αποδοχή από την επιστημονική κοινότητα τις τελευταίες δεκαετίες. Τα γενικά χαρακτηριστικά της μεθοδολογίας είναι κοινά, είτε εξετάζονται κατασκευές είτε υποδομές, με κάποιες επιμέρους τροποποιήσεις. Ενδεικτική εικόνα καμπυλών τρωτότητας για κτιριακές κατασκευές εμφανίζεται στο Σχήμα 4.



Σχήμα 4. Τυπικές καμπύλες τρωτότητας κτιριακών κατασκευών (HAZUS-MH MR5, 2010).

Με δεδομένη την τιμή που λαμβάνει η σεισμική παράμετρος αναφοράς (σεισμική ένταση, επιτάχυνση, μετακίνηση κτλ.), προσδιορίζεται μέσω των καμπυλών τρωτότητας η πιθανότητα η κατασκευή να έχει καταπονηθεί σε βαθμό που υπερβαίνει το κατώφλι ενός συγκεκριμένου επίπεδου βλάβης (ελαφρές, μέσες, εκτεταμένες βλάβες, πλήρης αστοχία). Πρέπει να σημειωθεί ότι οι καμπύλες τρωτότητας μπορούν να αναφέρονται σε μια συγκεκριμένη κατασκευή/υποδομή (π.χ. κτίριο, γέφυρα, κτλ.), συχνά όμως, όταν μελετάται μια ευρύτερη περιοχή, όπως για παράδειγμα ένα αστικό κέντρο, οι καμπύλες τρωτότητας αφορούν ομάδες (τυπολογίες) κατασκευών με κοινά χαρακτηριστικά, όπως για παράδειγμα «κτίρια οπλισμένου σκυροδέματος, μέσου ύψους, σχεδιασμένα με σύγχρονες κανονιστικές διατάξεις».

Με βάση τις παραπάνω προσεγγίσεις έχει γίνει εφικτή η εκπόνηση μελετών σεισμικής διακινδύνευσης κατασκευών και υποδομών, με στόχο να βοηθήσουν την Πολιτεία να σχηματίσει μια εικόνα των αναμενόμενων απωλειών και να αποκτήσει τα απαραίτητα στοιχεία για να θέσει προτεραιότητες και να οργανώσει αποτελεσματικότερα προσεισμικές και μετασεισμικές δράσεις για την άμβλυση των συνεπειών ενός ισχυρού σεισμού.

Deliverable-No: <b>D.T3.5.1e_GR</b>		<b>Internal - Partners</b>	
Issue: <b>1.0</b>	Date: 31 July 2023	Page:	11 of 19

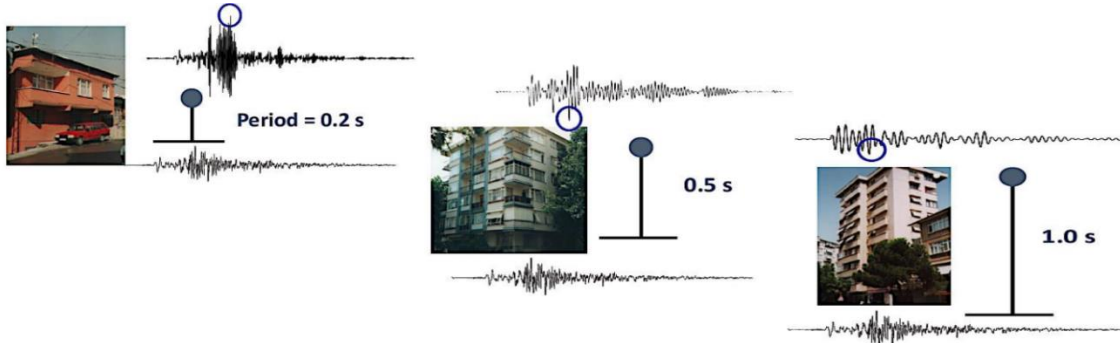
## 5. ΒΛΑΒΕΣ ΑΠΟ ΣΕΙΣΜΟ ΣΕ ΚΤΙΡΙΑΚΕΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΕΣ

Οι βλάβες στα κτίρια αποτελούν το πρώτο μέλημα στη συνείδηση των πολιτών κατά τη διάρκεια μιας ισχυρής σεισμικής δόνησης, καθώς αυτές σχετίζονται άμεσα με την ασφάλεια της ζωής και της περιουσίας τους.

Το υφιστάμενο κτιριακό απόθεμα αποτελείται από κτίρια διάφορων τυπολογιών, με διαφορετικά χαρακτηριστικά που σχετίζονται με τη σεισμική τους απόκριση και τις πιθανές μορφές βλάβης που ενδέχεται να υποστούν. Τα βασικότερα από αυτά τα χαρακτηριστικά συνοψίζονται στα εξής:

- Το **υλικό** της κατασκευής. Τις τελευταίες δεκαετίες το κυρίαρχο υλικό για τα νέα κτίρια, ιδιαίτερα στα αστικά κέντρα, είναι το οπλισμένο σκυρόδεμα, ενώ σε ορισμένες περιπτώσεις (βιομηχανικά κτίρια, υψηλές κατασκευές κ.α.) επιλέγονται μεταλλικές κατασκευές. Ωστόσο, είναι ακόμα σημαντικό το ποσοστό παλαιότερων κατασκευών από φέρουσα τοιχοποιία (λιθοδομή, οπτοπλινθοδομή κτλ.), ιδιαίτερα στις επαρχιακές περιοχές. Επιπλέον, εμφανίζεται και ένα μικρότερο ποσοστό κτιρίων κατασκευασμένων από άλλα υλικά, όπως το ξύλο, οι σύμμικτες κατασκευές, τα προκατασκευασμένα κτίρια κτλ.
- Η **ηλικία** των κτιρίων, η οποία σχετίζεται άμεσα με το επίπεδο των **κανονιστικών διατάξεων σχεδιασμού** (τον εκάστοτε ισχύοντα αντισεισμικό κανονισμό). Η διαρκής βελτίωση των κανονιστικών διατάξεων έχει εμφανή αποτελέσματα στις παρατηρούμενες βλάβες έπειτα από ισχυρές σεισμικές δράσεις, με τα παλαιότερα κτίρια να εμφανίζονται περισσότερο τρωτά. Στους σύγχρονους αντισεισμικούς κανονισμούς δίνεται ιδιαίτερη έμφαση σε θέματα που σχετίζονται με την ικανότητα των κτιρίων να υφίστανται σημαντικές παραμένουσες παραμορφώσεις (βλάβες), χωρίς ωστόσο να οδηγούνται στην κατάρρευση (πλαστιμότητα). Στις περιοχές της ΝΑ Ευρώπης η εμφάνιση κειμένων αντίστοιχων με τους σύγχρονους αντισεισμικούς κανονισμούς (π.χ. Ευρωκώδικας 8) ξεκίνησε τη δεκαετία του 1990, ενώ κτίρια που έχουν κατασκευαστεί πριν από τα μέσα του 20<sup>ου</sup> αιώνα δεν έχουν σχεδιαστεί για σεισμικές δράσεις.
- Το **ύψος** των κτιρίων επηρεάζει τα δυναμικά χαρακτηριστικά της απόκρισής τους. Έτσι, λαμβάνοντας υπόψη την ιδιοπερίοδο ενός κτιρίου (χρόνος που απαιτείται για μια πλήρη ταλάντωση), σε συνδυασμό με το συχνотικό περιεχόμενη της σεισμικής διέγερσης, παρατηρείται το φαινόμενο κάποιοι σεισμοί να είναι περισσότερο καταστροφικοί για τα υψηλότερα κτίρια (φαινόμενα συντονισμού) και να μην επηρεάζουν ιδιαίτερα τα χαμηλότερα, ενώ σε άλλες περιπτώσεις να συμβαίνει ακριβώς το αντίστροφο (Σχήμα 5).

Deliverable-No: <b>D.T3.5.1e_GR</b>		<b>Internal - Partners</b>	
Issue: <b>1.0</b>	Date: 31 July 2023	Page:	12 of 19



Σχήμα 5. Διαφορετική επίδραση της ίδιας σεισμικής διέγερσης σε κτίρια διαφορετικού ύψους (Theodoulidis, 2023).

- Μη κανονικότητες σε κάτοψη ή καθ' ύψος.** Οι έντονες μεταβολές της μορφολογίας μιας κατασκευής ενδέχεται να προκαλέσουν συγκέντρωση των βλαβών σε τμήματά της, οδηγώντας σε τοπικές αστοχίες ή και σε πλήρη κατάρρευση. Χαρακτηριστική είναι η περίπτωση του μαλακού ορόφου σε πολυώροφα πλαίσια κτίρια, όπου η απουσία τοιχοπληρώσεων σε έναν όροφο (συνήθως στο ισόγειο για τη δημιουργία χώρων στάθμευσης ή βιτρίνες καταστημάτων) οδηγεί σε σημαντική μείωση της δυσκαμψίας του, με αποτέλεσμα ο όροφος αυτός να παρουσιάζει πολύ μεγαλύτερες σχετικές μετακινήσεις σε σύγκριση με τους υπόλοιπους ορόφους (Σχήμα 6α). Άλλες μορφές μη κανονικότητας μπορεί να σχετίζονται με εύστρεπτα κτίρια (Σχήμα 6β), απότομες μεταβολές μάζας ή δυσκαμψίας, κ.ά.
- Πρόσθετες διαφοροποιήσεις στο στατικό σύστημα, ανάλογα με το υλικό κατασκευής,** οι οποίες οδηγούν σε σημαντικά διαφορετική σεισμική απόκριση και κατ' επέκταση μορφές βλάβης. Στα κτίρια οπλισμένου σκυροδέματος, αυτό μπορεί να σχετίζεται με τον αριθμό και τη μορφή των τοιχωμάτων, με την ύπαρξη και τον τύπο διαφραγμάτων και διαζωμάτων στα κτίρια φέρουσας τοιχοποιίας (Σχήμα 6γ,δ), με την τοποθέτηση εγκάρσιων συνδέσμων στα κτίρια από χάλυβα (Σχήμα 6ε,στ), κ.ά.

Κάνοντας αναφορά στη σεισμική καταπόνηση μια κατασκευής, είναι σημαντικό να γίνει ο διαχωρισμός μεταξύ δομικών και μη δομικών στοιχείων. Το βασικό πρόβλημα που μπορεί να προκληθεί σε ένα κτίριο κατά τη διάρκεια ενός σεισμού, είναι η ανάπτυξη βλαβών στον φέροντα οργανισμό της κατασκευής, δηλαδή στο σύνολο των δομικών στοιχείων που παραλαμβάνουν τη φόρτιση. Τα στοιχεία αυτά διαφέρουν ανάλογα με τον τύπο κατασκευής. Ενδεικτικά αφορούν τις δοκούς, τα υποστυλώματα και τα τοιχώματα σε κατασκευές οπλισμένου σκυροδέματος, τα αντίστοιχα χαλύβδινα στοιχεία σε μεταλλικές κατασκευές, τους τοίχους σε κτίρια από φέρουσα τοιχοποιία (λιθοδομές, οπτοπλινθοδομές) κ.ο.κ.

Ειδικά για τις τοιχοποιίες, επισημαίνεται ότι ενώ στις κατασκευές από φέρουσα τοιχοποιία αποτελούν στοιχεία του φέροντα οργανισμού, δεν είναι το ίδιο σημαντικές όταν λειτουργούν ως τοίχοι πλήρωσης (διαχωριστικοί τοίχοι) σε κατασκευές από οπλισμένο σκυρόδεμα ή χάλυβα.

Deliverable-No: <b>D.T3.5.1e_GR</b>		<b>Internal - Partners</b>	
Issue: <b>1.0</b>	Date: 31 July 2023	Page:	13 of 19



(α)



(β)



(γ)



(δ)



(ε)



(στ)

Σχήμα 6. (α) Αστοχία μαλακού ορόφου σε 3ώροφη κατασκευή οπλισμένου σκυροδέματος κατά τη διάρκεια του σεισμού της Αθήνας 1999, Ελλάδα, (β) Κατάρρευση εύστρεπτου κτιρίου με ισχυρά δύσκαμπτα στοιχεία στη μία μόνο γωνία της κατασκευής, Αθήνα 1999, (γ, δ) Βλάβες σε κτίρια από φέρουσα τοιχοποιία κατά τη διάρκεια του σεισμού της Θεσσαλίας 2022, Ελλάδα (πηγή: Sarhosis et al., 2022), (ε, στ) Αστοχίες εύκαμπτων μεταλλικών κατασκευών (πηγή: Katsumi Kasahara/Associated Press, Michael Engelhardt).

Deliverable-No: <b>D.T3.5.1e_GR</b>		Internal - Partners	
Issue: 1.0	Date: 31 July 2023	Page:	14 of 19

Επιπλέον, πρέπει να σημειωθεί ότι οι βλάβες στις κτιριακές κατασκευές δεν αφορούν αποκλειστικά τον φέροντα οργανισμό και τα στοιχεία πλήρωσης του ίδιου του κτιρίου, αλλά και το περιεχόμενό του. Έτσι, συχνά εμφανίζονται ζημιές που αφορούν έπιπλα, μηχανήματα, εγκαταστάσεις (Σχήμα 7α,β), καθώς και διάφορα περιεχόμενα μικρότερης αξίας (Σχήμα 7γ), ενώ για την αποφυγή καταστροφών σε αντικείμενα ανεκτίμητης αξίας είναι απαραίτητη η εφαρμογή κατάλληλων μέτρων προστασίας (Σχήμα 7δ).



(α)



(β)



(γ)



(δ)

Σχήμα 7. (α) Βλάβες στην οροφή κατασκευής (πηγή: Ferner et al., 2014), (β) Πτώσεις ραφιών σε βιβλιοθήκη (πηγή: NISEE-PEER), (γ) Καταστροφή πινακίδας στο εξωτερικό νοσοκομείου κατά τον σεισμό του Northridge, 1994 USA (πηγή: Robert Reitherman), (δ) Άγαλμα Ερμή του Πραξιτέλη στο Αρχαιολογικό Μουσείο της Ολυμπίας. Τοποθέτηση συστήματος σεισμικής μόνωσης για την προστασία σημαντικών εκθεμάτων (πηγή: Michael Constantinou).

Deliverable-No: <b>D.T3.5.1e_GR</b>		<b>Internal - Partners</b>	
Issue: 1.0	Date: 31 July 2023	Page:	15 of 19

Συχνά οι βλάβες στα κτίρια από σεισμό οφείλονται στην αστοχία του εδάφους ή της θεμελίωσης των κτιρίων (Σχήμα 8). Περιπτώσεις διαφορετικής καθίζησης της θεμελίωσης μπορούν να οδηγήσουν σε σημαντικές βλάβες στην ανωδομή, ενώ πιο εκτεταμένα φαινόμενα, όπως η ρευστοποίηση του εδάφους, ενδέχεται να επιφέρουν την καθολική αστοχία της κατασκευής.



(α)



(β)

Σχήμα 8. (α) Καταρρεύσεις κτιρίων από ρευστοποίηση του εδάφους κατά το σεισμό της Niigata, 1964 Ιαπωνία (photo: Joseph Penzien), (β) Διαφορική καθίζηση στη θεμελίωση κτιρίου οπλισμένου σκυροδέματος στην Τουρκία, 1999.

## 6. ΒΛΑΒΕΣ ΑΠΟ ΣΕΙΣΜΟ ΣΕ ΥΠΟΔΟΜΕΣ

Ως υποδομές μπορούν να χαρακτηριστούν έργα και κατασκευές που ανήκουν στις παρακάτω βασικές κατηγορίες (Pitilakis et al., 2014):

- **Δίκτυα αγωγών:** Περιλαμβάνουν τα δίκτυα πάσης φύσεως, όπως δίκτυα ύδρευσης, αποχέτευσης, φυσικού αερίου, ηλεκτρικού ρεύματος κτλ. Κατασκευές που σχετίζονται άμεσα με τη λειτουργία ενός δικτύου, όπως π.χ. δεξαμενές φυσικού αερίου, συμπεριλαμβάνονται και αξιολογούνται μαζί με το εν λόγω δίκτυο.
- **Οδικό δίκτυο:** Περιλαμβάνει τους δρόμους, τις σήραγγες, τις γέφυρες, επιχώματα κατασκευής οδών κτλ.
- **Σιδηροδρομικό δίκτυο:** Περιλαμβάνει τις σιδηροδρομικές γραμμές, τις σήραγγες, τις γέφυρες, χωματουργικά έργα κατασκευής σιδηροδρόμων κτλ.
- **Λιμενικές εγκαταστάσεις:** Περιλαμβάνουν τους κρηπιδοτικούς πάσης φύσεως, επιχώματα, βαριές μηχανολογικές εγκαταστάσεις (γερανοί, δεξαμενές κτλ.), κτίρια (γραφεία, αποθήκες) κτλ.

Παρατηρείται ότι στις περισσότερες περιπτώσεις τα έργα υποδομής αποτελούνται από ένα σύνολο εγκαταστάσεων διαφορετικής μορφής, όπως ενδεικτικά εμφανίζεται στα οδικά δίκτυα,

Deliverable-No: <b>D.T3.5.1e_GR</b>		<b>Internal - Partners</b>	
Issue: 1.0	Date: 31 July 2023	Page:	16 of 19



όπου πέραν των οδών ανήκουν οι γέφυρες, οι σήραγγες, τα χωματουργικά έργα που συνοδεύουν την κατασκευή και λειτουργία του οδικού άξονα κτλ.

Κάθε έργο υποδομής εμφανίζει συνεπώς διαφορετικούς μηχανισμούς εμφάνισης βλαβών και αστοχιών που σχετίζονται άμεσα με τα επιμέρους στοιχεία που περιλαμβάνει. Αντίστοιχα, διαφορετικά είναι τα κρίσιμα δομικά χαρακτηριστικά της κάθε υποδομής, η καταπόνηση των οποίων ενδέχεται να οδηγήσει σε διακοπή της λειτουργίας της.

Ενδεικτικά, σε δίκτυα αγωγών φυσικού αερίου σημαντικό ρόλο παίζει το υλικό, η διάμετρος και τα στοιχεία σύνδεσης των αγωγών, προκειμένου να εκτιμηθεί το επίπεδο αναπτυσσόμενων βλαβών/αστοχιών σε έναν σεισμό.

Στην περίπτωση ενός οδικού άξονα αντίστοιχα, σημαντικό ρόλο παίζει η συμπεριφορά του εδάφους (καθίζηση, πλευρική εξάπλωση, ρευστοποίηση) που μπορεί να οδηγήσει σε υποχώρηση, ρηγματώσεις ή αστοχίες άλλης μορφής στα επιχώματα της οδού.

Ιδίως στην περίπτωση στοιχείων μιας υποδομής που εκτείνονται κατά μήκος, όπως οι αγωγοί φυσικού αερίου, τροποποιείται η λογική των καμπυλών τρωτότητας, οι οποίες πλέον δεν περιγράφουν το επίπεδο των αναμενόμενων βλαβών όπως γίνεται στην περίπτωση ενός κτιρίου, αλλά τον αριθμό των αστοχιών ανά μονάδα μήκους του δικτύου (υπολογίζεται συνήθως ανά km).

Ενδεικτικές φωτογραφίες βλαβών σε υποδομές μετά από σημαντικούς σεισμούς εμφανίζονται στο Σχήμα 9 για διάφορες κατηγορίες υποδομών.

Deliverable-No: <b>D.T3.5.1e_GR</b>		<b>Internal - Partners</b>	
Issue: <b>1.0</b>	Date: 31 July 2023	Page:	17 of 19



(α)



(β)



(γ)



(δ)



(ε)



(στ)

Σχήμα 9. (α) Αστοχία δικτύου φυσικού αερίου στο σεισμό της Loma Prieta, USA (1989) (photo: Bob Pepping/Contra Costa Times) (β) Αστοχία σε σιδηροδρομική γραμμή στο σεισμό της Τουρκίας (2023) (photo: AP/Francisco Seco), (γ) Αστοχία αγωγού δικτύου ύδρευσης στο σεισμό του Tohoku, Ιαπωνία (2011) (photo: Miyajima, 2012), (δ) Αστοχία λιμενικών εγκαταστάσεων στο σεισμό του Kobe, Ιαπωνία (1995) (photo: Karen Kasmauski), (ε) Αστοχίες στο οδικό δίκτυο στο σεισμό της Κεφαλλονιάς, Ελλάδα (2014) (photo: ITSAK) (στ) Αστοχία γέφυρας στο σεισμό της Loma Prieta, USA (1989) (photo: USGS)

Deliverable-No: <b>D.T3.5.1e_GR</b>		Internal - Partners	
Issue: 1.0	Date: 31 July 2023	Page:	18 of 19

## **7. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΕΣ ΑΝΑΦΟΡΕΣ**

European Committee for Standardization (CEN) (2004). EN 1998-1: Eurocode 8: Design of structures for earthquake resistance, Part 1: General Rules, Seismic Actions and Rules for Buildings. Brussels.

Federal Emergency Management Agency (2004). FEMA 389 - Primer for Design Professionals: Communicating with Owners and Managers of New Buildings on Earthquake Risk, Risk Management Series.

Federal Emergency Management Agency. (2010). Hazus® -MH MR5 Technical Manual. U.S. Department of Homeland Security.

Ferner, H., Wemyss, M., Baird, A., Beer, A., Hunter, D., Seismic Performance of Non-Structural Elements Within Buildings. 2014 NZSEE Conference

Ministry of Environment Planning and Public Works, Greece (OASP) Organization for Earthquake Resistant Planning and Protection, Greek code for Seismic Resistant—EAK2000, 2000 and Enhanced in 2003

Pitilakis, K., Crowley, H., & Kaynia, A.M. (2014). SYNER-G: Typology Definition and Fragility Functions for Physical Elements at Seismic Risk: Buildings, Lifelines, Transportation Networks and Critical Facilities. SYNER-G: Typology Definition and Fragility Functions for Physical Elements at Seismic Risk.

Robert Reitherman, 2010, Nonstructural Earthquake Damage, adapted from the 2010 CUREE Calendar (check)

Sarhosis, V., Giarlelis, C., Karakostas, C. *et al.* Observations from the March 2021 Thessaly Earthquakes: an earthquake engineering perspective for masonry structures. *Bull Earthquake Eng* 20, 5483-5515 (2022). <https://doi.org/10.1007/s10518-022-01416-w>

Theodoulidis N. 2023, Rapid Earthquake Damage Assessment System (REDAS), presentation at the Stakeholders Seminar of the Rapid Earthquake Damage Assessment Consortium (REDACT) project, in Thessaloniki

Turkish Building Seismic Code 2018, Prime Ministry, Disaster and Emergency Management Presidency (AFAD), Ankara, 2018

Deliverable-No: <b>D.T3.5.1e_GR</b>		<b>Internal - Partners</b>	
Issue: <b>1.0</b>	Date: 31 July 2023	Page:	19 of 19