



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΔΟΜΟΣΤΑΤΙΚΗΣ

Διερεύνηση Της Μορφής Των Φασμάτων Μετακίνησης Σεισμών Κοντινού Πεδίου – Εφαρμογή Στο Σεισμό Του Northridge

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Παπαδοπούλου Χρυσούλα



Επιβλέπων : Ι. Ψυχάρης, Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Συνεπιβλέπων: Ι. Ταφλαμπάς, Ε.Τ.Ε.Π. – Πολιτικός Μηχανικός

Αθήνα, Μάρτιος 2010



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΔΟΜΟΣΤΑΤΙΚΗΣ

Διερεύνηση Της Μορφής Των Φασμάτων Μετακίνησης Σεισμών Κοντινού Πεδίου – Εφαρμογή Στο Σεισμό Του Northridge

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Παπαδοπούλου Χρυσούλα



Επιβλέπων : Ι. Ψυχάρης, Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Συνεπιβλέπων: Ι. Ταφλαμπάς, Ε.Τ.Ε.Π. – Πολιτικός Μηχανικός

Εγκρίθηκε από την τριμελή εξεταστική επιτροπή την 11^η Μαρτίου 2010.

.....
Ι. Ψυχάρης
Καθηγητής Ε.Μ.Π.

.....
Κ. Σπυράκος
Καθηγητής Ε.Μ.Π.

.....
Χ. Μουζάκης
Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Αθήνα, Μάρτιος 2010

Περίληψη

Ο σχεδιασμός με βάση τη συμπεριφορά της κατασκευής εστιάζει στον άμεσο έλεγχο των βλαβών, αντικαθιστώντας την χρήση των επιταχύνσεων και των δυνάμεων αδράνειας με μετατοπίσεις και παραμορφώσεις των δομικών μελών. Κατά συνέπεια, το φάσμα απόκρισης μετακινήσεων αποκτά νέα σημασία ως η κρίσιμη παράμετρος που επηρεάζει την απαιτούμενη απόκριση των κατασκευών, ιδιαίτερα στην περιοχή μεσαίων και μεγάλων περιόδων λόγω της μετακίνησης σε αυτήν την περιοχή της ενεργής ή δρώσας ιδιοπεριόδου των κατασκευών. Η εργασία αυτή παρουσιάζει μια μέθοδο για την ποσοτικοποίηση των φασμάτων απόκρισης μετακίνησης που σχετίζονται με την επίδραση της κατευθυντικότητας της διάρρηξης του ρήγματος στην περιοχή του κοντινού ή εγγύς πεδίου. Η προτεινόμενη μέθοδος συνδυάζει το μοντέλο πηγής Haskell με το πλάτος των φασμάτων απόκρισης μετατόπισης σε διάφορες θέσεις γύρω από τη διάρρηξη του ρήγματος, λαμβάνοντας υπόψη τις διάφορες πτυχές της κατευθυντικότητας.

Παρατηρείται ότι τα εύρη των φασμάτων μετακίνησης, καθώς και το σχήμα τους, επηρεάζονται άμεσα από τον προσανατολισμό της θέσης καταγραφής σχετικά με το ίχνος του ρήγματος και το επίκεντρο του σεισμικού γεγονότος και κλιμακώνονται με τη σεισμική ροπή. Ο χρόνος ανάδυσης και η διάρκεια της διάρρηξης του ρήγματος φαίνεται ότι είναι κρίσιμες παράμετροι που επηρεάζουν το εύρος και το σχήμα του φάσματος απόκρισης μετακίνησης, όπως αποδεικνύεται για τις χαρακτηριστικές περιπτώσεις των φαινομένων της πρόσω και όπισθεν κατευθυντικότητας. Επιπροσθέτως, πρόσφατα προτεινόμενες παράμετροι που αφορούν στη διάρκεια και την ένταση της μεγάλης περιόδου συνιστώσας της κίνησης του εδάφους και που συνδέονται με το χρονικό ολοκλήρωμα της απόλυτης εδαφικής ταχύτητας, έχει αποδειχθεί ότι συνδέονται άμεσα με το εύρος των φασμάτων απόκρισης μετακίνησης και ότι σχετίζονται με παραμέτρους του μηχανισμού διάρρηξης όπως ο χρόνος ανάδυσης και η διάρκεια της διάρρηξης του ρήγματος.

Η προτεινόμενη μεθοδολογία επιτρέπει την αξιόπιστη εκτίμηση του εύρους και του σχήματος του φάσματος απόκρισης μετακίνησης για τις περιοχές μεσαίας και μεγάλης περιόδου. Η αξιολόγηση αυτή δίνεται για διάφορες τοποθεσίες γύρω από την διάρρηξη του ρήγματος, και κυμαίνεται από την περιοχή που επηρεάστηκε από ισχυρή πρόσω κατευθυντικότητα σε περιοχές που παρουσιάζουν το φαινόμενο της όπισθεν κατευθυντικότητας.

Abstract

Performance based design focuses on the direct control of structural damage, replacing accelerations and inertia forces with displacements and deformations of structural members. Consequently, the relative displacement of the effective structural period, presented by the displacement response spectrum in the medium and long period region, acquires new significance as the crucial parameter affecting seismic demand. This work presents a method for the quantification of displacement response spectra associated with fault rupture directivity effects. The proposed method associates the Haskell source model with the amplitude of the displacement response spectra at different positions around the fault rupture, taking into account the various aspects of directivity.

It is proved that the displacement spectral amplitudes, as well as the spectral shape, are directly affected by the orientation of the recording site regarding the fault trace and the epicenter of the seismic event and are scaled with the seismic moment. The rise time and the duration of the fault rupture appear to be crucial parameters affecting the amplitude and the shape of displacement response spectra as it is proved for the characteristic cases of forward and backward directivity effects. Furthermore, recently proposed parameters regarding the duration and intensity of the long period component of the ground motion, associated with the time integral of the absolute ground velocity, are proved to be directly connected with the amplitude of the displacement spectra and associated with fault mechanism parameters as the referred rise time and the fault rupture duration.

The proposed methodology permits a reliable evaluation of the amplitude and shape of the displacement response spectra for the medium and long period region. This evaluation is given for different sites around the fault rupture, ranging from the region affected by strong forward directivity to sites presenting backward directivity effects.

Ευχαριστίες

Η παρούσα εργασία εκπονήθηκε στο Εργαστήριο Αντισεισμικής Τεχνολογίας της σχολής Πολιτικών Μηχανικών.

Για την πραγματοποίησή της θα ήθελα να εκφράσω τις θερμές ευχαριστίες μου προς τον επιβλέποντα καθηγητή κ. Ι. Ψυχάρη για την ανάθεση του θέματος. Τον κ. Ι. Ταφλαμπά για τη συνεχή και ακούραστη καθοδήγησή του, τις συμβουλές και τις γνώσεις που μου μετέδωσε με μεγάλη προθυμία, σε οποιαδήποτε δυσκολία αντιμετώπισα.

Ιδιαίτερες ευχαριστίες οφείλω στην οικογένεια μου για την στήριξη που μου προσέφερε κατά τη διάρκεια των σπουδών μου.

Πίνακας Περιεχομένων

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

ΕΛΑΦΙΚΕΣ ΚΙΝΗΣΕΙΣ ΚΟΝΤΙΝΟΥ ΠΕΔΙΟΥ	11
1.1 Εισαγωγή.....	11
1.2 Το φαινόμενο της κατευθυντικότητας και οι καταγραφές κοντινού πεδίου.....	12
1.3 Μοντέλα προσομοίωσης σεισμών κοντινού πεδίου.....	17
1.4 Μέθοδοι προσδιορισμού των παραμέτρων εδαφικής κίνησης κοντινού πεδίου.....	24

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

ΥΦΙΣΤΑΜΕΝΕΣ ΜΕΘΟΔΟΙ ΕΚΤΙΜΗΣΗΣ ΦΑΣΜΑΤΩΝ

ΜΕΤΑΚΙΝΗΣΗΣ	33
2.1 Εμπειρική εκτίμηση του φάσματος μετακίνησης σ' ένα μεγάλο εύρος περιόδων....	34
2.1.1 Επιλογή δεδομένων.....	35
2.1.2 Εξισώσεις εκτίμησης των φασμάτων μετακίνησης.....	37
2.1.3 Απλοποιημένο μοντέλο φάσματος μετακινήσεων	40
2.1.4 Φάσματα μεγάλων αποσβέσεων.....	41
2.2 Μελέτη σεισμικής επικινδυνότητας.....	42
2.2.1 Κριτήρια της σεισμικής επικινδυνότητας.....	42
2.2.2 Επέκταση στην περιοχή των μεγάλων περιόδων, εύρος της σταθερής μετατόπισης.....	42
2.2.3 Μεγάλων αποσβέσεων, Μοντέλου επικινδυνότητας (Uniform Hazard-UH) DRS.....	43
2.2.4 Επιδράσεις που σχετίζονται με τις εδαφικές συνθήκες.....	44
2.2.5 Χάρτες φασματικής μετατόπισης.....	45

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΚΑΤΑΓΡΑΦΩΝ ΚΟΝΤΙΝΟΥ ΠΕΔΙΟΥ – Ο ΣΕΙΣΜΟΣ ΤΟΥ NORTHRIDGE 1994.....47

- 3.1 Χαρακτηριστικά της διάρρηξης του σεισμού του Northridge.....47
- 3.2 Η ιστορία ολίσθησης του σεισμού του Northridge 1994 καθορισμένη από συνδυασμό δεδομένων Ισχυρής κίνησης, Τηλεσεισμικών, GPS.....60
- 3.3 Επιλογή και παρουσίαση του δείγματος καταγραφών για το σεισμό του Northridge.....61
- 3.4 Μέθοδος εκτίμησης του συχνοτικού περιεχομένου των παλμών κατευθυντικότητας.....101
 - 3.4.1 Σύνοψη των υφιστάμενων μεθόδων εκτίμησης του συχνοτικού περιεχομένου των παλμών κατευθυντικότητας.....101
 - 3.4.2 Προτεινόμενη διαδικασία εκτίμησης του συχνοτικού περιεχομένου των παλμών κατευθυντικότητας.....104
- 3.5 Διόρθωση και παρουσίαση των καταγραφών κοντινού πεδίου του σεισμού του Northridge 1994.....109

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

ΠΟΣΟΤΙΚΟΣ ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΤΩΝ ΦΑΣΜΑΤΩΝ ΑΠΟΚΡΙΣΗΣ ΜΕΤΑΤΟΠΙΣΗΣ ΠΟΥ ΕΧΟΥΝ ΕΠΗΡΕΑΣΤΕΙ ΑΠΟ ΤΗ

ΚΑΤΕΥΘΥΝΤΙΚΟΤΗΤΑ ΤΗΣ ΕΛΑΦΙΚΗΣ ΚΙΝΗΣΗΣ.....201

- 4.1 Εισαγωγή.....201
- 4.2 Εκτίμηση Δεσπόζουσας Περιόδου.....204
- 4.3 Εκτίμηση του πλάτους και της μορφής των φασμάτων μετατόπισης.....206
- 4.4 Μια νέα παράμετρος εκτίμησης της έντασης της εδαφικής μετακίνησης.....227

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ – ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ.....233

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....240

Κεφάλαιο 1- Εδαφικές Κινήσεις Κοντινού Πεδίου

1.1 Εισαγωγή

Οι εδαφικές κινήσεις κοντά σ' ένα ρήγμα διαφέρουν σημαντικά από αυτές που βρίσκονται μακριά από αυτό και γεγονός που μαρτυρούν και οι επιπτώσεις στις κατασκευές. Η περιοχή στην οποία επικεντρώνονται οι βλάβες κατά την διάρκεια ενός σεισμού είναι συνήθως συγκεντρωμένη γύρω από το ρήγμα και έχει διαστάσεις ανάλογες με την επιφάνεια ρηγματώσης. Η περιοχή αυτή ονομάζεται **κοντινό πεδίο** και ορίζεται ως η ζώνη σε απόσταση μικρότερη των 20-60 km από την περιοχή του ρήγματος. Μέσα σ' αυτήν την περιοχή, τα στοιχεία της εδαφικής κίνησης καθορίζονται από τους παρακάτω παράγοντες:

1. Τις ιδιότητες της σεισμικής εστίας(μέγεθος, σεισμική ροπή, μηχανισμός γένεσης κλπ.)
2. Τις ιδιότητες του δρόμου διάδοσης των σεισμικών κυμάτων, ο οποίος βρίσκεται μεταξύ της εστίας του σεισμού και της τοποθεσίας (απόσταση, απόσβεση σεισμικών κυμάτων ,κατευθυντικότητα κλπ.)
3. Τις ιδιότητες της ίδιας της τοποθεσίας (σκληρότητα του εδάφους θεμελίωσης και του υπεδάφους, πιθανές μόνιμες εδαφικές μετατοπίσεις εξαιτίας του ρήγματος κλπ.)

Έτσι τα φαινόμενα κοντινού πεδίου διαφοροποιούνται ανάλογα με τους προαναφερθείς παράγοντες και γι' αυτό έχει προταθεί από τους μελετητές η ζώνη των 20-60 km ως κατάλληλο εύρος για το άνω όριο της απόστασης της θέσης από την διάρρηξη.

Παρόλο που τα διαθέσιμα δεδομένα για τους σεισμούς κοντινού πεδίου είναι περιορισμένα, πρόσφατα γεγονότα, όπως αυτά στην Καλιφόρνια το 1994, στην Ιαπωνία το 1995 και στην Τουρκία το 1999, αποτέλεσαν συμπληρωματικές βάσεις δεδομένων και ενεργοποίησαν την επιστημονική έρευνα.

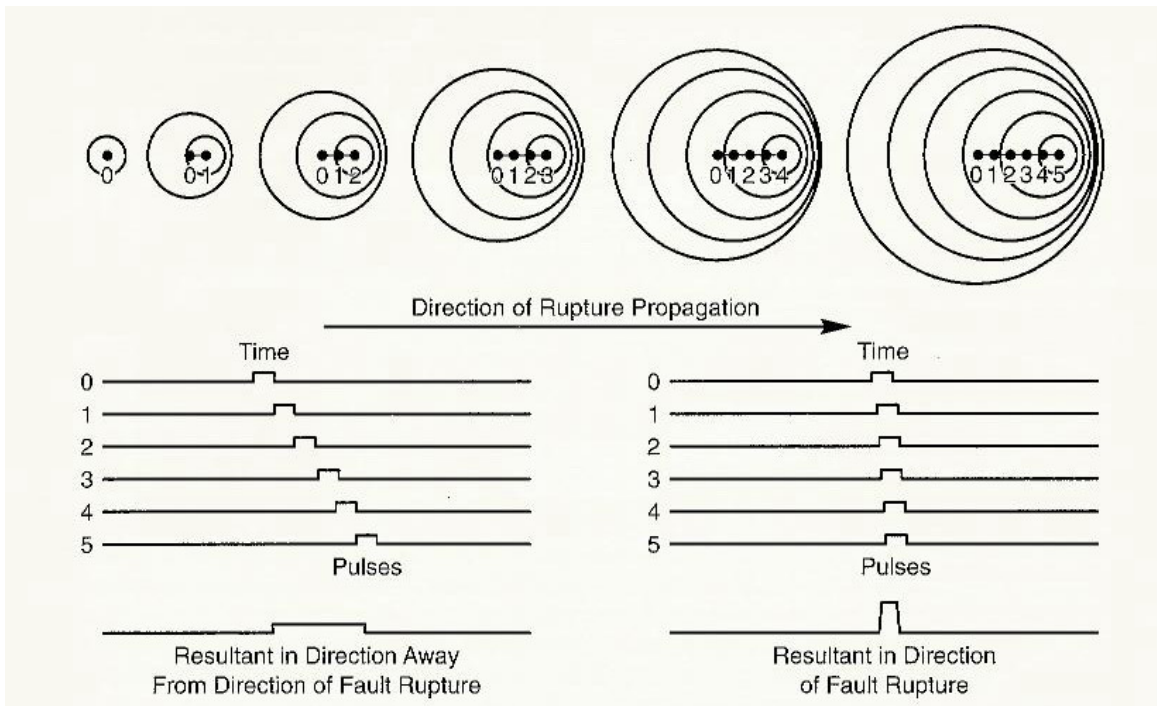
Παρακάτω θα δούμε μια σειρά καταγραφών κοντινού πεδίου και θα αναλύσουμε τα χαρακτηριστικά που τις διακρίνουν και τις μεθόδους προσδιορισμού τους.

1.2. Το φαινόμενο της κατευθυντικότητας και οι καταγραφές κοντινού πεδίου

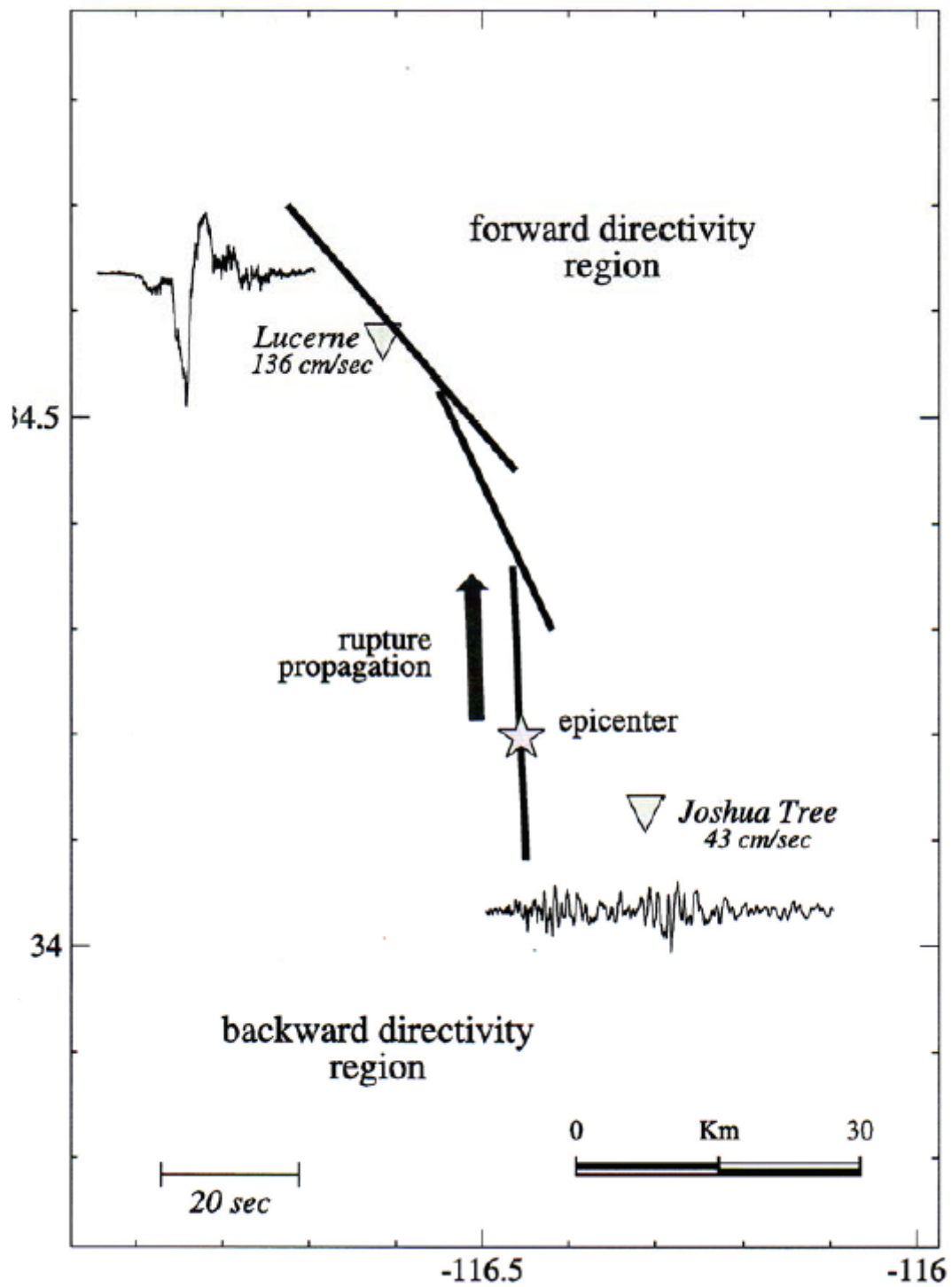
Στο κοντινό πεδίο η εδαφική κίνηση χαρακτηρίζεται από το φαινόμενο της κατευθυντικότητας. Όπως γνωρίζουμε η διάρρηξη γίνεται σταδιακά σε επιμέρους περιοχές του ρήγματος. Όταν η ρηγμάτωση κατευθύνεται από το επίκεντρο του σεισμού προς μία θέση, παράγεται ένας παλμός ταχύτητας που διαδίδεται ως κύμα S με ταχύτητα ανάλογη της ταχύτητας διάρρηξης. Λαμβάνοντας υπόψη ότι η ταχύτητα διάδοσης του κύματος και η ταχύτητα διάδοσης της διάρρηξης είναι παρόμοιες, όταν η διάρρηξη φθάνει σε κάθε σημείο στην πορεία διάδοσης της, οι παλμοί ταχύτητας των επιμέρους διαρρήξεων προστίθενται και δημιουργούν έναν παλμό ταχύτητας μεγάλου εύρους, μικρής διάρκειας και μεσαίας προς μεγάλης δεσπόζουσας περιόδου. Αυτή η παλμική κίνηση είναι ιδιαίτερα έντονη στην κάθετη προς το ίχνος του ρήγματος συνιστώσα της εδαφικής κίνησης, λόγω της πόλωσης των διατμητικών κυμάτων. Το φαινόμενο είναι γνωστό ως φαινόμενο **πρόσω κατευθυντικότητας (forward directivity)**, και θεωρείται το πιο επικίνδυνο για τις κατασκευές.

Σε θέσεις που βρίσκονται πίσω από την κατεύθυνση διάρρηξης οι παλμοί δεν αθροίζονται στο μέτωπο του κύματος, αλλά παρατίθενται χρονικά με αποτέλεσμα να έχουμε μία σειρά παλμών μικρού εύρους και συνολικά μεγάλης διάρκειας. Είναι το φαινόμενο της **όπισθεν κατευθυντικότητας (backward directivity)**.

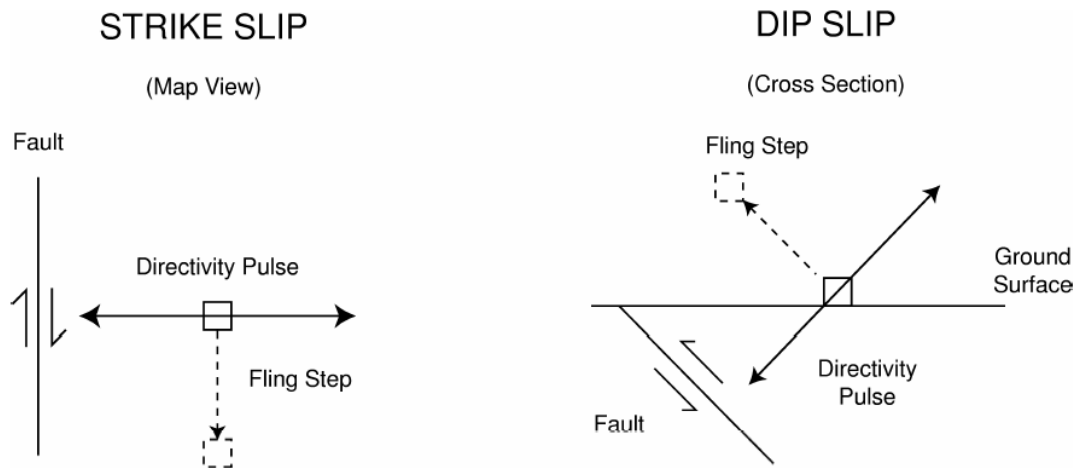
Σε όλα τα είδη ρήγματος, οριζόντια, κανονικά ή ανάστροφα, παρατηρείται το φαινόμενο της κατευθυντικότητας που περιγράψαμε. Στα οριζόντια ρήγματα (οριζόντιας διάρρηξης-strike slip), οι παλμοί παρουσιάζονται κυρίως κάθετα στο ρήγμα. Στην παράλληλη προς το ρήγμα διεύθυνση παρουσιάζεται μία παραμένουσα μετακίνηση (fling step) που είναι αποτέλεσμα της συνολικής ολίσθησης του ρήγματος. Από σύγχρονες ψηφιακές καταγραφές σεισμών κοντινού πεδίου, όπως αυτών στην Τουρκία και το Ταϊβάν το 1999, παρατηρήθηκε ότι αυτές οι παραμένουσες μετακινήσεις συμβαίνουν σε ένα συγκεκριμένο χρονικό διάστημα κατά την διάρκεια ολίσθησης του ρήγματος και στην διεύθυνση ολίσθησης. Στα κανονικά και ανάστροφα ρήγματα (κατακόρυφης διάρρηξης-dip slip) η εδαφική κίνηση είναι η σύνθεση του παλμού κατευθυντικότητας και της ολίσθησης του ρήγματος. Στα Σχήματα 1 και 2 φαίνεται το φαινόμενο της κατευθυντικότητας, ενώ στα Σχήματα 3 και 4 φαίνονται οι καταγραφές κοντινού πεδίου σε περιπτώσεις οριζοντίου ρήγματος και ρήγματος βύθισης, κάθετα και παράλληλα στο ίχνος του ρήγματος.



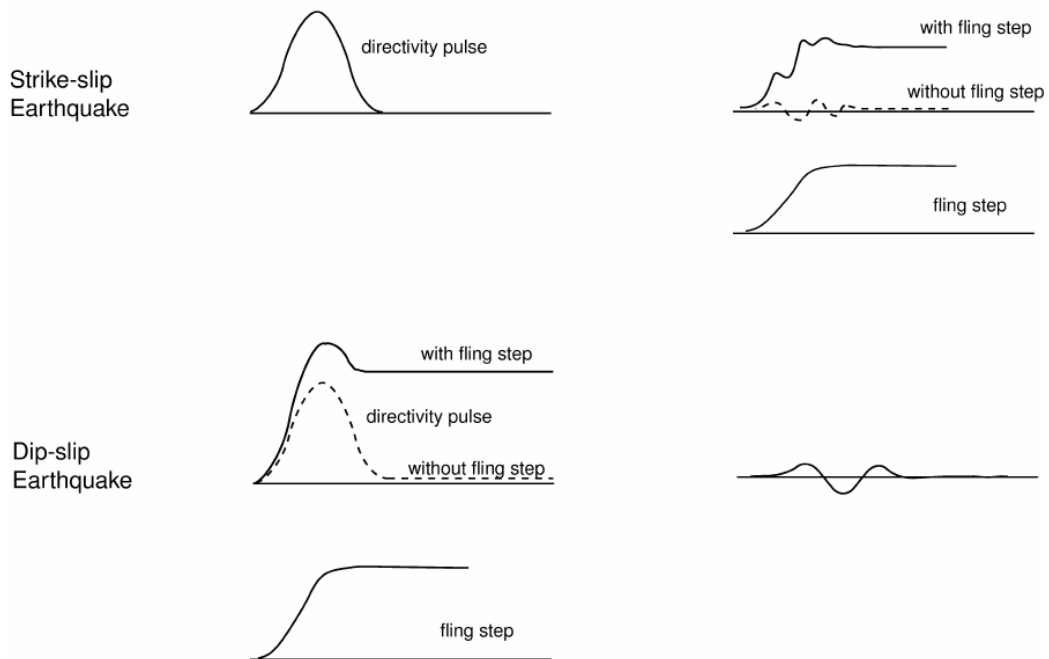
Σχήμα 1. (Kramer, 1996)



Σχήμα 2. (Somerville et al, 1997)

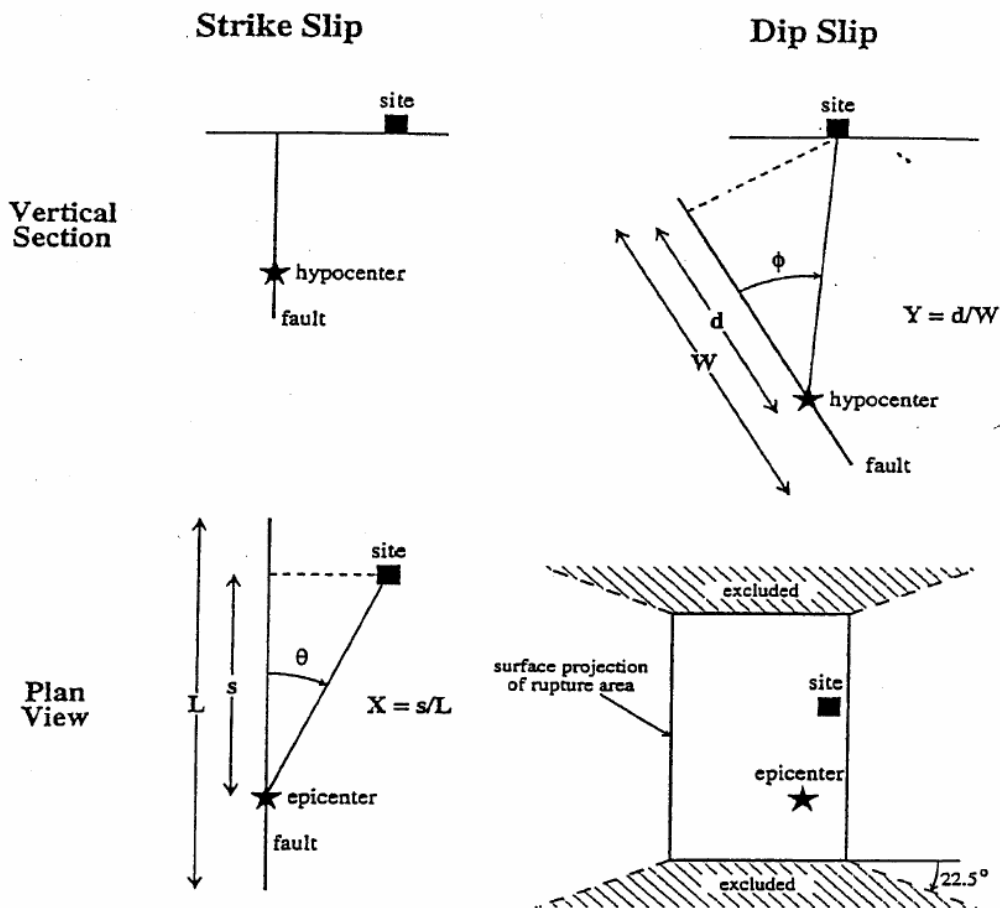


Σχήμα 3. (Stewart et al, 2001)

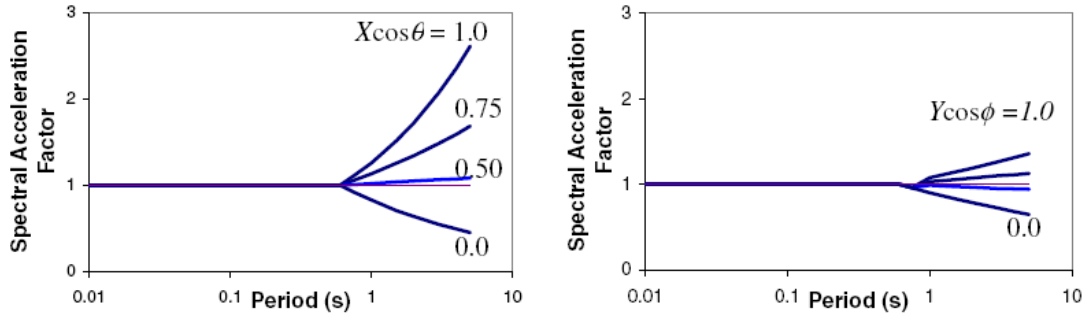


Σχήμα 4. (Stewart et al, 2001)

Ο Somerville et al, 1997 προσομοίωσε τις συνθήκες που επικρατούν στην περιοχή κοντινού πεδίου για τα φαινόμενα πρόσω και όπισθεν κατευθυντικότητας. Οι καταγραφές που έχουν επηρεασθεί από το φαινόμενο της πρόσω κατευθυντικότητας, παρουσιάζουν ενίσχυση των φασματικών τιμών στην περιοχή των μεσαίων και μεγάλων περιόδων, με την αύξηση αυτή να γίνεται εντονότερη όσο μεγαλύτερο είναι το τμήμα της ρηγμάτωσης που μεσολαβεί μεταξύ της εστίας και της θέσης καταγραφής, λόγω της συσσωρευόμενης ενέργειας από τις επιμέρους ολισθήσεις. Ακόμα, όπως φαίνεται στο Σχήμα 5, καθοριστική είναι η γωνία που σχηματίζει το ίχνος του ρήγματος με τη επικεντρική απόσταση της εξεταζόμενης θέσης. Όσο μεγαλύτερη είναι η γωνία, όσο δηλαδή απομακρύνεται η θέση από την ρηγμάτωση, τόσο μειώνεται η φασματική επαύξηση λόγω κατευθυντικότητας. (Σχήμα 6).



Σχήμα 5. Παράμετροι που σχετίζονται με τη διάρρηξη και καθορίζουν το εύρος στο φαινόμενο της πρόσω κατευθυντικότητας (Somerville et al, 1997)



Σχήμα 6. Επίπτωση των παραμέτρων της διάρρηξης στη φασματική μεγέθυνση σε σχέση με συνήθεις καταγραφές (Somerville et al, 1997)

Έτσι η εδαφική ταχύτητα σε μία θέση υπολογίζεται αφενός από την γωνία που σχηματίζεται ανάμεσα στο ρήγμα και την ευθεία θέσης-επικέντρου και αφετέρου από τον λόγο του τμήματος της ρηγμάτωσης ανάμεσα στην θέση και το επίκεντρο προς το συνολικό μήκος ρηγμάτωσης, με την σχέση:

$$v_{\theta} = v_g \times \frac{S}{L} \times \cos \theta \quad (1)$$

1.3 Μοντέλα προσομοίωσης σεισμών κοντινού πεδίου

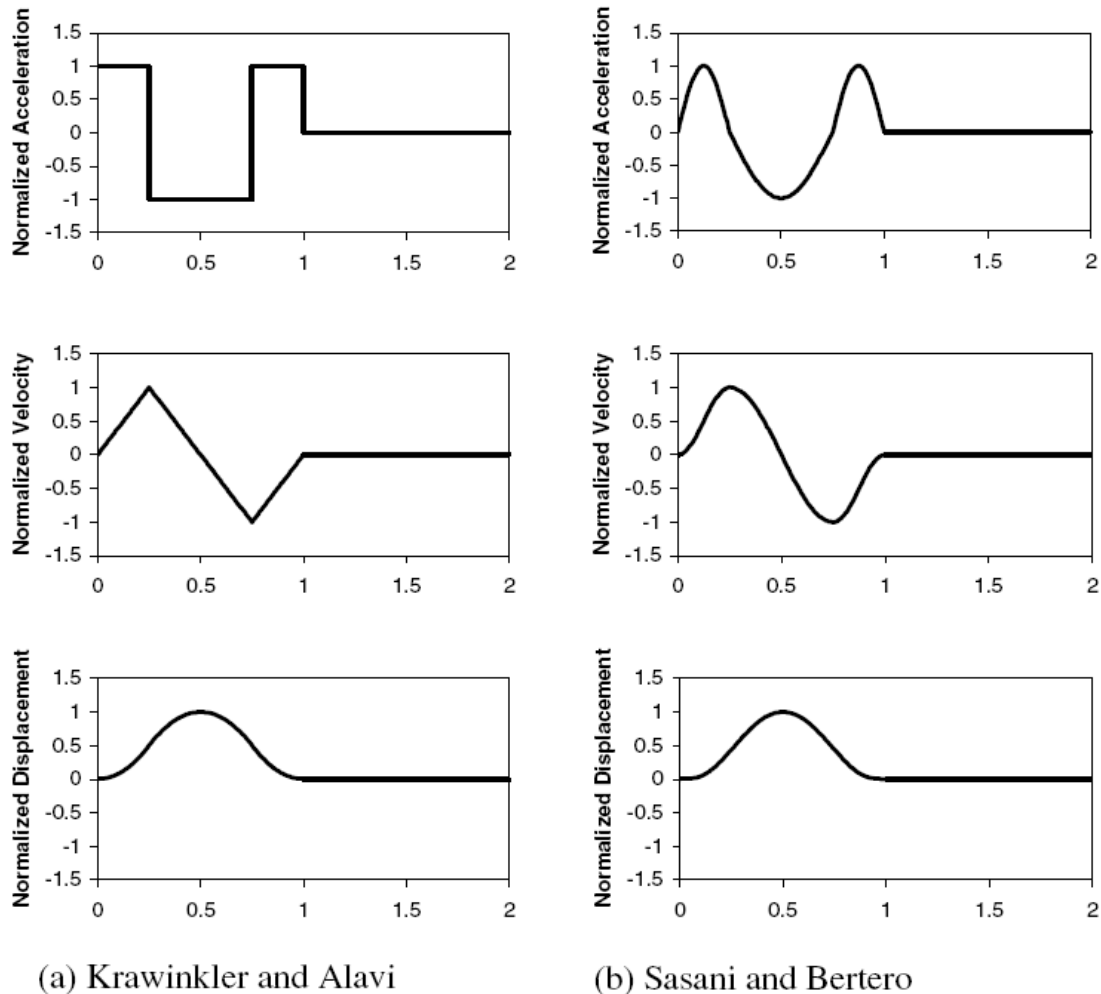
Έρευνες που έγιναν για την απόκριση των κατασκευών σε σεισμούς κοντινού πεδίου κατέληξαν στο ότι η αναπαράσταση της κίνησης ως χρονοϊστορία είναι προτιμότερη από την απεικόνιση μέσω φασμάτων απόκρισης (π.χ. Somerville et al. , 1998 - Alavi & Krawinkler, 2000, Sasani & Bertero, 2000 - Rodriguez-Marek, 2000). Αυτό οφείλεται στο ότι στις εδαφικές κινήσεις που επηρεάζονται από τα φαινόμενα της κατευθυντικότητας και τις παραμένουσες μετακινήσεις η ενέργεια συγκεντρώνεται σε έναν ή περισσότερους μεγάλους παλμούς με απλή μορφή στην χρονοϊστορία της ταχύτητας (βλ. Σχήμα 7).

Μελέτες που έγιναν από τους **Krawinkler and Alavi [1998]** καθώς και από τους **Sasani and Bertero [2000]**, απέδειξαν την ορθότητα της παραπάνω θεωρίας. Οι απλοποιημένες χρονοϊστορίες των παλμών κατευθυντικότητας καθορίζονται από τις εξής παραμέτρους:

- τον αριθμό των ημίκυκλων (half-cycles) που ισοδυναμούν με τους παλμούς της εδαφικής ταχύτητας,

- την δεσπόζουσα περίοδο που αντιστοιχεί στη διάρκεια κάθε ημίκυκλου ταχύτητας
- και στο αντίστοιχο εύρος.

Επομένως, σύμφωνα με τους μελετητές, ένας απλός προσδιορισμός της εδαφικής κίνησης απαιτεί την εκτίμηση της μέγιστης εδαφικής ταχύτητας PGV, της δεσπόζουσας περιόδου του παλμού T_p και του αριθμού των σημαντικών ημίκυκλων της κίνησης του εδάφους. (βλ. Σχήμα 8)

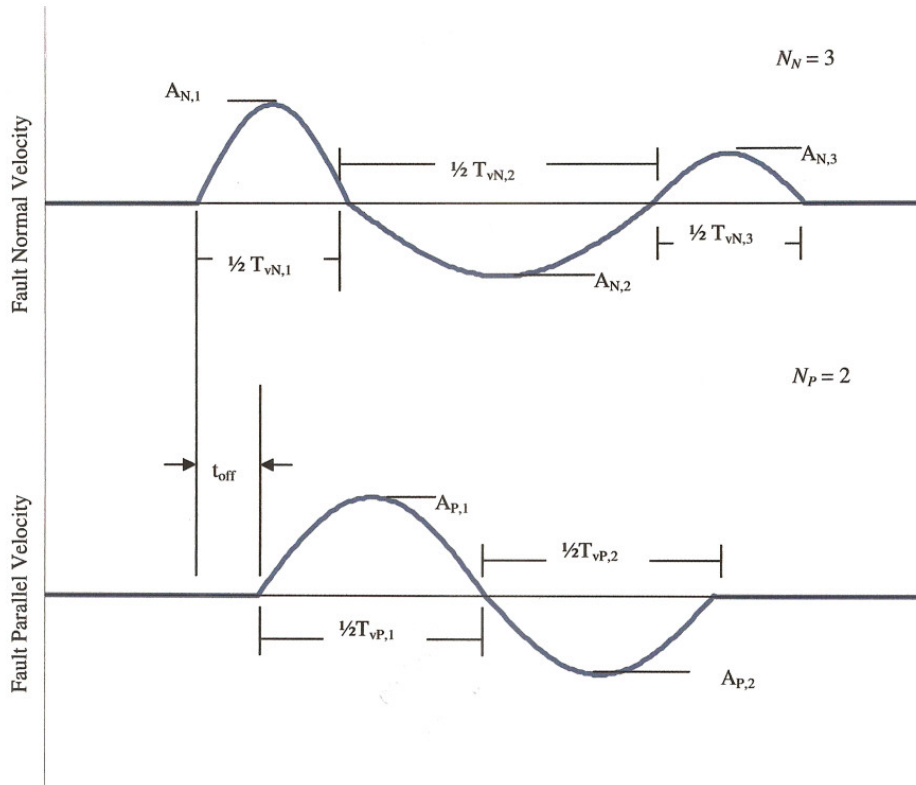


Σχήμα 7. Απλοποιημένες μορφές παλμών κατευθυντικότητας

Μία σημαντική προσπάθεια προσομοίωσης εδαφικών κινήσεων με παλμό κατευθυντικότητας δίνεται από τους Mavroudis and Papageorgiou [2003] με την χρήση κυματομορφών (wavelets). (βλ. Σχήμα 9) Συγκεκριμένα η χρονιοστορία της εδαφικής ταχύτητας προσομοιάζεται μ' ένα ημιτονικό σήμα, πολλαπλασιασμένο με μία

κωδωνόσχημη περιβάλλουσα που προκύπτει από ένα μετατεθειμένο κύκλο συνημιτόνου. Η μαθηματική σχέση που την περιγράφει έχει την εξής μορφή:

$$f(t) = A \frac{1}{2} \left[1 + \cos\left(\frac{2\pi f_P t}{\gamma}\right) \right] \cos(2\pi f_P t + \nu) \quad (2)$$



Σχήμα 8. Παράμετροι που πρέπει να προσδιορισθούν για τα στοιχεία κάθετα και παράλληλα στο ρήγμα των απλοποιημένων μορφών εδαφικής ταχύτητας. Οι δείκτες N και P δείχνουν αντίστοιχα κινήσεις κάθετα και παράλληλα στο ρήγμα. (Rodriguez-Marek 2000)

Η παράμετρος A ελέγχει το εύρος της εδαφικής ταχύτητας και κυμαίνεται από 70 έως 130 cm/sec, f_P είναι η δεσπόζουσα συχνότητα του σήματος, ν η διαφορά φάσης της ημιτονικής συνιστώσας και κυμαίνεται από 0ο έως 360ο και γ είναι μια παράμετρος που καθορίζει τον χαρακτήρα της ταλάντωσης (δηλαδή τις διελεύσεις από το 0) του σήματος (δηλαδή για μικρά γ το σήμα προσεγγίζει ένα δελτοειδή παλμό ενώ καθώς αυξάνεται ο αριθμός διελεύσεων από το μηδέν αυξάνει) και κυμαίνεται από 1 έως 3. Ορίζεται ως το γινόμενο της διάρκειας της εδαφικής ταχύτητας επί τη συχνότητα f_P . Η συνάρτηση ορίζεται στο παρακάτω χρονικό διάστημα:

$$-\frac{\gamma}{2f_p} \leq t \leq \frac{\gamma}{2f_p} \quad (3)$$

Η περίοδος του ημιτονικού σήματος πρέπει να είναι μικρότερη από αυτήν της κωδωνόσχημης περιβάλλουσας προκειμένου η προκύπτουσα εδαφική κίνηση να έχει φυσική σημασία. Επομένως ισχύει:

$$\frac{1}{f_p} < \frac{\gamma}{f_p} \Rightarrow \gamma > 1, \quad T_p = \frac{1}{f_p} \quad (4)$$

Η παράμετρος γ , κατ'επέκταση, είναι ο λόγος της διάρκειας του προσομοιώματος της εδαφικής ταχύτητας προς την περίοδό της και αντιστοιχεί σε έναν αριθμό ισοδύναμων ημιτονικών κύκλων της προσομοιωμένης εδαφικής ταχύτητας.

Βασιζόμενοι στον αριθμό των παλμών της εδαφικής ταχύτητας, οι **Makris and Black [2004]**, ταξινομούν τις καταγραφές κοντινού πεδίου σε τρεις κατηγορίες. Στην πρώτη κατηγορία, η εδαφική ταχύτητα χαρακτηρίζεται από ένα καθαρό παλμό και ορίζεται σαν **τύπος παλμού Α** (βλ. Σχήμα 10). Οι προσομοιωμένες χρονοϊστορίες της εδαφικής επιτάχυνσης, ταχύτητας και μετακίνησης δίνονται από τους παρακάτω τύπους:

$$\ddot{\mathbf{u}}_g^A(\mathbf{t}) = \omega_p \frac{v_p}{2} \sin(\omega_p \mathbf{t}) \quad \mathbf{0} \leq \mathbf{t} \leq T_p \quad (5)$$

$$\dot{\mathbf{u}}_g^A(\mathbf{t}) = \frac{v_p}{2} - \frac{v_p}{2} \cos(\omega_p \mathbf{t}) \quad \mathbf{0} \leq \mathbf{t} \leq T_p \quad (6)$$

$$\mathbf{u}_g^A(\mathbf{t}) = \frac{v_p}{2} \mathbf{t} - \frac{v_p}{2\omega_p} \sin(\omega_p \mathbf{t}) \quad \mathbf{0} \leq \mathbf{t} \leq T_p \quad (7)$$

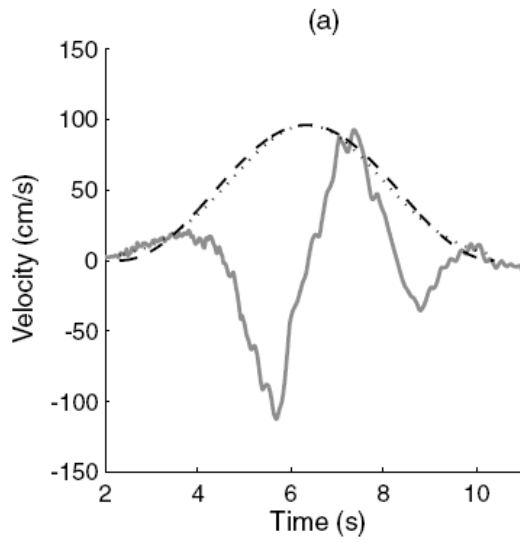
Όταν η ταχύτητα χαρακτηρίζεται από δύο παλμούς ορίζεται σαν **τύπος παλμού Β** και οι χρονοϊστορίες της δίνονται από τις ακόλουθες σχέσεις:

$$\ddot{\mathbf{u}}_g^B(\mathbf{t}) = \omega_p v_p \cos(\omega_p \mathbf{t}) \quad \mathbf{0} \leq \mathbf{t} \leq T_p \quad (8)$$

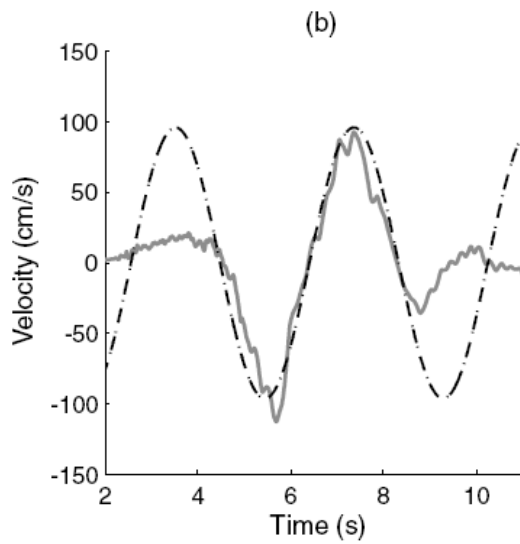
$$\dot{\mathbf{u}}_g^B(\mathbf{t}) = v_p \sin(\omega_p \mathbf{t}) \quad \mathbf{0} \leq \mathbf{t} \leq T_p \quad (9)$$

$$\mathbf{u}_g^B(\mathbf{t}) = \frac{v_p}{\omega_p} - \frac{v_p}{\omega_p} \cos(\omega_p \mathbf{t}) \quad \mathbf{0} \leq \mathbf{t} \leq T_p \quad (10)$$

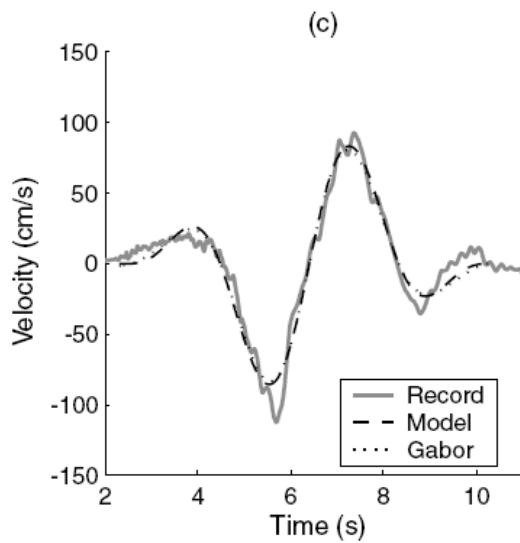
Τέλος, στην περίπτωση που η εδαφική ταχύτητα διακρίνεται από τρεις ή περισσότερους παλμούς η καταγραφή χαρακτηρίζεται σαν **τύπος παλμού C** και οι χρονοϊστορίες ορίζονται αναλόγως.



(α) Κωδωνόσχημη περιβάλλουσα

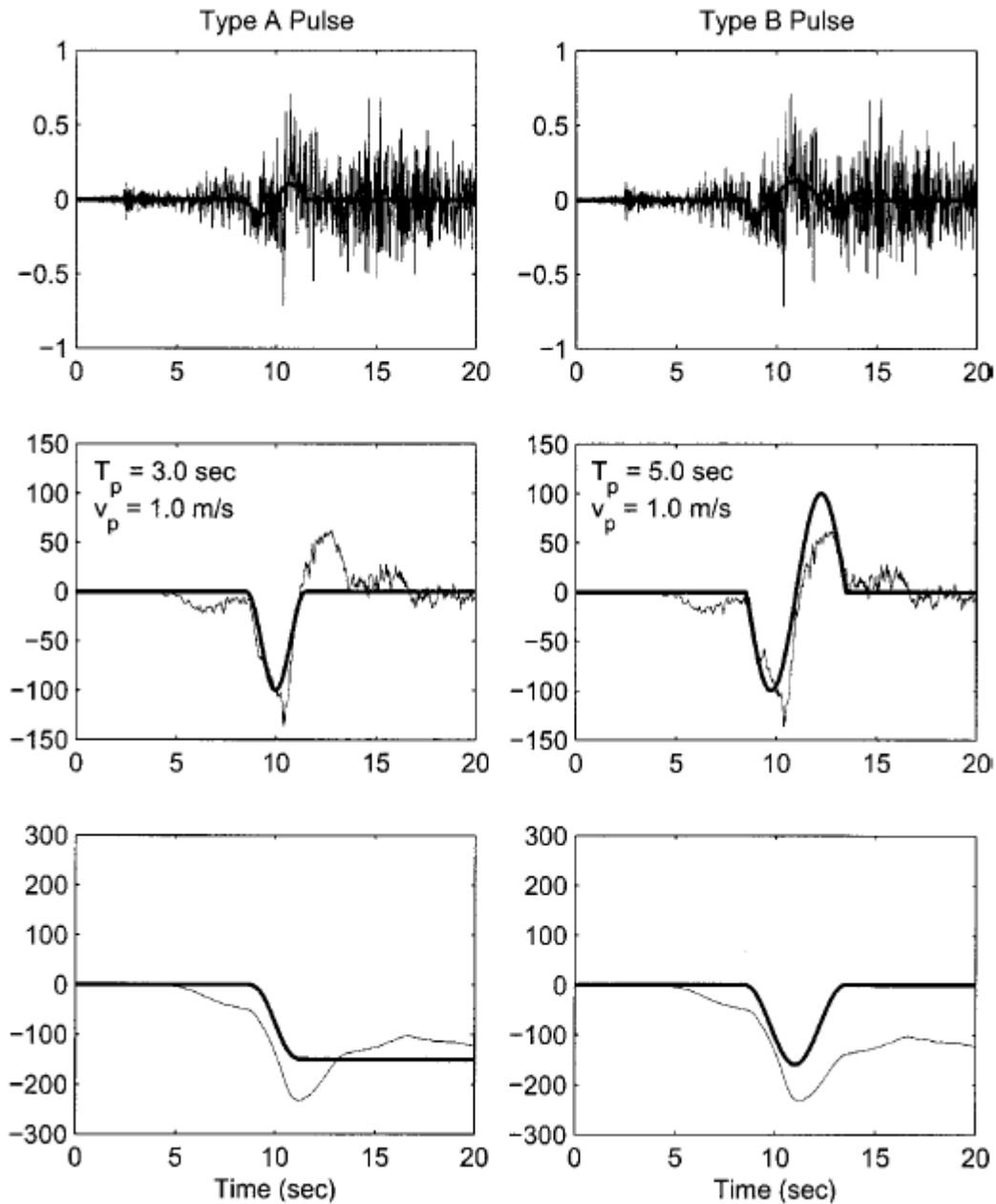


(β) Ημιτονικό σήμα



**(γ) Μοντέλο προτεινόμενης
κυματομορφής
Συνδυασμός των (α) και (β)**

Σχήμα 9. Κυματομορφή των Μανροειδής και Παπαγεωργίου [2003]



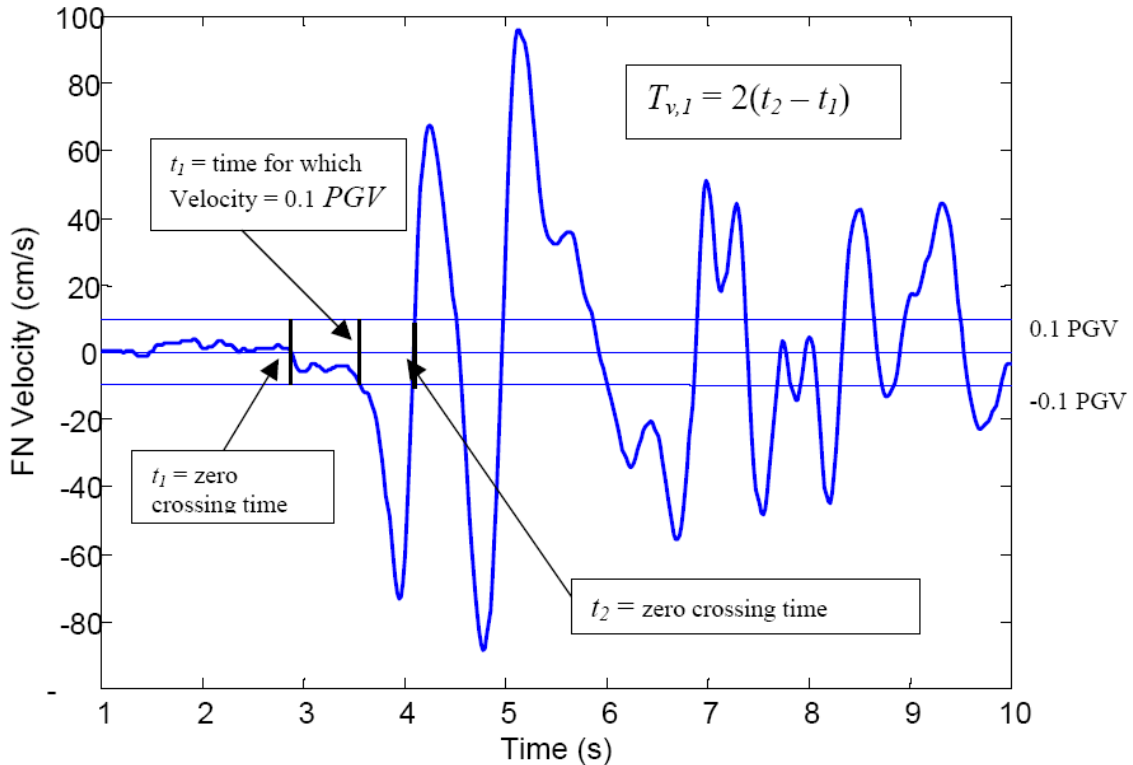
Σχήμα 10. Απλοποιημένοι παλμοί των Makris and Black (2004)

Σύμφωνα με τους **Mavroeidis et al [2004]**, η πλέον κρίσιμη παράμετρος του φαινομένου της κατευθυντικότητας είναι η περίοδος των παλμών κατευθυντικότητας της εδαφικής κίνησης. Η δεσπόζουσα περίοδος καθορίζεται βάσει της διάρκειας του παλμού, των σημείων τα οποία τέμνουν το μηδενικό άξονα ή των σημείων στα οποία το εύρος της ταχύτητας αποκτά απόλυτη τιμή ίση με το 10% της μέγιστης ταχύτητας του παλμού (βλ. Σχήμα 11). Η δεύτερη προσέγγιση είναι απαραίτητη προκειμένου να αποφευχθεί ενδεχόμενο σφάλμα στην περίπτωση ύπαρξης κατακόρυφης μετάθεσης (drift) του σήματος,

κάτι που θα μπορούσε να αντιμετωπισθεί με καλύτερη διόρθωση της γραμμής βάσης. Η περίοδος του παλμού T_p δίνεται από την σχέση:

$$T_p = 2(t_2 - t_1) \quad (11)$$

όπου t_2 , t_1 τα χρονικά όρια του παλμού (βλ. Σχήμα 11).

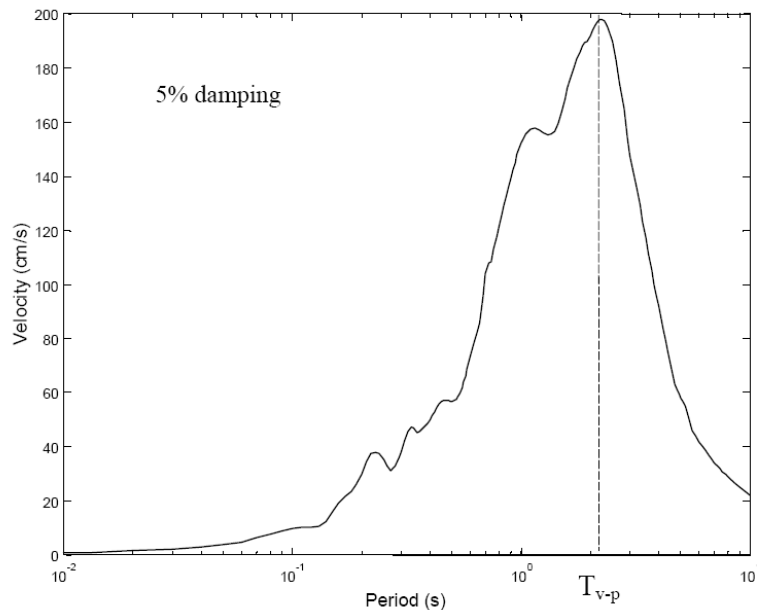


Σχήμα 11. Καθορισμός T_p από τη χρονοϊστορία της ταχύτητας (Rodriguez Marek , 2000)

Ο παλμός που χρησιμοποιείται για τον προσδιορισμό της T_p είναι συνήθως αυτός που αντιστοιχεί στη μέγιστη εδαφική ταχύτητα PGV, αν και υφίσταται σημαντικός προβληματισμός σχετικά με τη διακρίβωση του παλμού που οφείλεται στην κατευθυντικότητα και της αντίστοιχης περιόδου (Li and Xie , 2007). Η διάσταση απόψεων οδηγεί μελετητές, όπως οι Makris and Black [2004b], στην επιλογή ως παλμού κατευθυντικότητας, αυτή του μέγιστου παλμού εδαφικής επιτάχυνσης, ενώ άλλοι, όπως ο Rodriguez-Marek [2000], επιλέγουν τον παλμό που αντιστοιχεί στη μέγιστη εδαφική ταχύτητα. Σύμφωνα επίσης με τον Rodriguez-Marek, η δεσπόζουσα περίοδος που προκύπτει από τη μέγιστη τιμή του φάσματος ψευδοταχυτήτων, για απόσβεση 5%, ορίζεται ως $T_{p,v}$ και συσχετίζεται με την περίοδο του παλμού T_p (βλ. Σχήμα 12).

Οι άλλες παράμετροι που ορίζουν την απλοποιημένη εδαφική κίνηση με παλμό κατευθυντικότητας, είναι ο αριθμός N των ημικύκλων που ορίζονται ως οι παλμοί με εύρος

ίσο τουλάχιστον με το 50% της μέγιστης εδαφικής ταχύτητας **PGV** και το εύρος του παλμού, που λαμβάνεται συνήθως ίσο με την PGV (Stewart et al , 2001).



Σχήμα 12. Καθορισμός περιόδου παλμού από το φάσμα ταχυτήτων

1.4 Μέθοδοι προσδιορισμού των παραμέτρων εδαφικής κίνησης κοντινού πεδίου

α) Φάσμα επιτάχυνσης

Οι **Sommerville et al. (1997a)** και **Abrahamson (2000)** παρουσίασαν μοντέλα για την τροποποίηση λόγω κατευθυντικότητας του φάσματος απόκρισης, απόσβεσης 5%. Τα μοντέλα αναπτύχθηκαν από παλινδρόμηση των σφαλμάτων της σχέσης των Abrahamson και Silva στις γεωμετρικές παραμέτρους του κοντινού πεδίου, τα οποία παρουσιάστηκαν στο Σχήμα 5. Λεπτομέρειες αυτών φαίνονται στις δύο πρώτες γραμμές του πίνακα 1.

β) Διάρκεια και ισοδύναμος αριθμός κύκλων

Οι **Sommerville et al. (1997a)** παρουσίασαν ένα μοντέλο για την τροποποίηση του 5-75% της διάρκειας του παλμού από την σχέση των Abrahamson και Silva. Το μοντέλο αναπτύχθηκε από παλινδρόμηση των σφαλμάτων της σχέσης των Abrahamson και Silva στις γεωμετρικές παραμέτρους του κοντινού πεδίου, οι οποίες παρουσιάστηκαν στο Σχήμα

5. Ένα παρόμοιο μοντέλο προτάθηκε από τον **Liu et al.(2001)** για τον ισοδύναμο αριθμό κύκλων(N). Λεπτομέρειες για την διάρκεια και το N φαίνονται στις δύο τελευταίες γραμμές του πίνακα 1.

Πίνακας 1. Τροποποίηση των παραμέτρων εδαφικής κίνησης χάρη στο φαινόμενο της κατευθυντικότητας. (Οι παράμετροι X,Y,θ και φ φαίνονται στο σχήμα 5 και m=Mw)

Ground Motion Parameter (Reference)	Description	Equation	Range of Applicability
Spectral Acceleration: Ratio of data/model (Somerville et al., 1997a; Abrahamson, 2000)	y=Bias in average horizontal response spectral acceleration (ln units) with respect to Abrahamson and Silva (1997)	Strike-Slip faults: $y = c_1 + 1.88c_2 X \cos \theta$ ($X \cos \theta \leq 0.4$) $y = c_1 + 0.75c_2$ ($X \cos \theta > 0.4$) Dip-Slip faults: $y = c_1 + c_2 Y \cos \phi$	$m > 6.5$ For $m < 6.5$, replace y with $T_m \times y$ Where $T_m = 0$ for $m \leq 6$ and $T_m = 1 + (m - 6.5) / 0.5$ for $6.5 > m > 6$ $r < 30$ km For $r > 30$, replace y with $T_d \times y$ Where $T_d = 0$ for $r > 60$ and $T_d = 1 - (r - 30) / 30$ for $60 > r > 30$ km
Spectral Acceleration: Ratio of Strike Normal/Average Amplitude (Somerville et al., 1997a)	Natural logarithm of the ratio of strike normal to average horizontal spectral acceleration	$y = \cos 2\xi [C_1 + C_2 \ln(r + 1) + C_3(m - 6)]$	$6.0 \leq m \leq 7.5$ $0 \leq r \leq 50$ km $\xi = \theta$ for strike-slip, ϕ for dip-slip. $0 < \xi < 90^\circ$ C_1, C_2, C_3 function of period. Given separately for cases in which dependence on ξ is included, and cases in which dependence on ξ is ignored.
5-75% sig. duration: Ratio of data/model (Somerville et al., 1997a)	Bias in duration of acceleration with respect to Abrahamson and Silva (1996)	Strike-Slip faults: $y = C_1 + C_2 X \cos \theta$ Dip-Slip faults: $y = C_1 + C_2 Y \cos \phi$	$6.5 \leq m \leq 7.5$ $0 \leq r \leq 20$ km
Number of Cycles (N): Ratio of data/model (Liu et al., 2001)	Bias in N with respect to Liu et al. (2001)	Strike-Slip faults: $y = C_1 + C_2 X \cos \theta$ Dip-Slip faults: $y = C_1 + C_2 Y \cos \phi$	$6.5 \leq m \leq 7.5$ $0 \leq r \leq 20$ km

γ) Μέγιστη τιμή οριζόντιας ταχύτητας

Η μέγιστη τιμή της οριζόντιας ταχύτητας PHV (Peak Horizontal Velocity) είναι εξαρτημένη από το μέγεθος, την απόσταση και τις συνθήκες της θέσης. Ο **Sommerville (1998)** πρότεινε την χρήση μιας διγραμμικής σχέσης μεταξύ του λογαρίθμου της PHV, του μεγέθους και του λογαρίθμου της απόστασης. Παρουσίασε μια παλινδρομική ανάλυση χρησιμοποιώντας δεδομένα από 15 καταγραφές χρονοϊστοριών, και ακόμα 12 προσομοιωμένες χρονοϊστορίες οι οποίες αντιστοιχούν σε $M_w = 6.2-7.5$ και $r = 0-10$ km. Για

να αποφύγει μη ρεαλιστικές προβλέψεις της PHV στις κοντινές αποστάσεις, ο Sommerville (1998) μείωσε το εύρος της απόστασης στα 3-10km. Η σχέση που πρότεινε τελικά για την ζώνη κοντινού πεδίου είναι:

$$\ln(\text{PHV}) = -2.31 + 1.15 \times M_w - 0.5 \times \ln(r) \quad (12)$$

όπου r είναι η κοντινότερη απόσταση στο ρήγμα αλλά πρέπει να είναι το λιγότερο 3 km. Μία παρόμοια μελέτη που συσχέτιζε την PHV με το μέγεθος του σεισμού M_w και την απόσταση r προτάθηκε και από τους **Krawinkler και Alavi (2000)** βασισμένοι στα ίδια δεδομένα που χρησιμοποίησε και ο Sommerville (1998) και η οποία είναι:

$$\ln(\text{PHV}) = -5.11 + 1.59 \times M_w - 0.58 \times \ln(r) \quad (13)$$

Οι **Rodriguez- Marek (2000)** χρησιμοποίησαν αντιστοίχως παλινδρομική ανάλυση σε 48 χρονοϊστορίες ταχύτητας προερχόμενες από 11 γεγονότα σεισμού για να παρουσιάσουν το δικό τους μοντέλο. Τα δεδομένα αναφέρονταν σε αποστάσεις $r < 20\text{km}$ και $M_w = 6.1-7.4$. Αναλύσεις για βραχώδη και μαλακά εδάφη παρουσιάστηκαν ξεχωριστά για όλες τις θέσεις. Βασισμένοι σε αυτά τα δεδομένα, η σχέση που πρότειναν είναι:

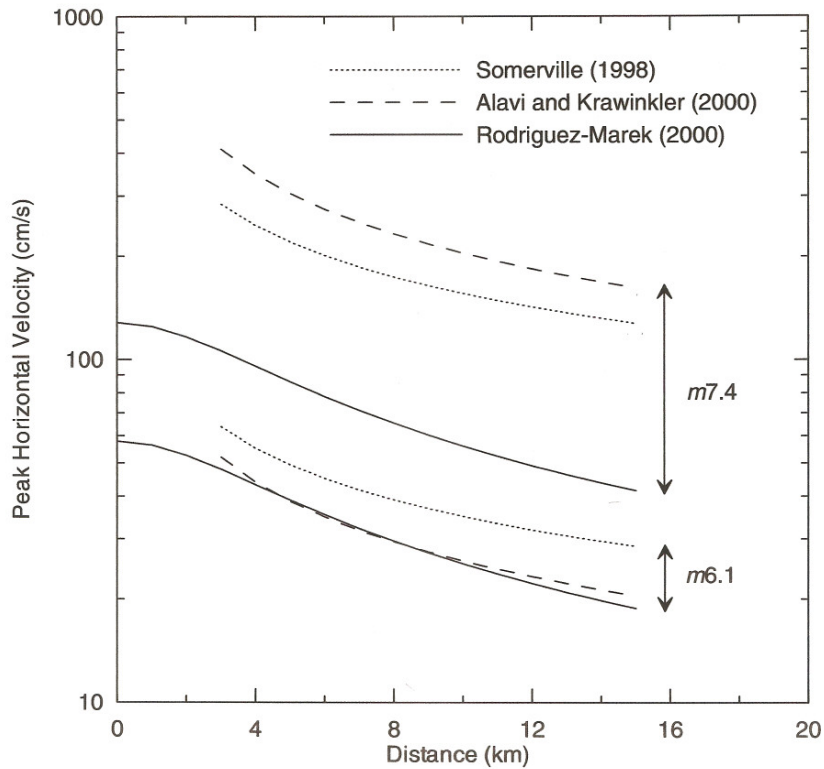
$$\ln(\text{PHV}) = a + b \times M_w + c \times \ln(r^2 + d^2) + \eta_i + \epsilon_{ij} \quad (14)$$

όπου PHV είναι σε cm/sec, a, b, c και d είναι παράμετροι του μοντέλου, r είναι η κοντινότερη απόσταση στο ρήγμα, M_w είναι το μέγεθος σεισμικής ροπής του σεισμού και η_i το σφάλμα που σχετίζεται με την απόκλιση μεταξύ καταγραφών του ίδιου γεγονότος ενώ ϵ_{ij} το σφάλμα που σχετίζεται με την απόκλιση μεταξύ γεγονότων. Οι δύο όροι σφάλματος μπορούν να θεωρηθούν τυχαίες μεταβλητές με διασπορές τ^2 και σ^2 αντίστοιχα. Η συνολική διασπορά που σχετίζεται με την εκτίμηση της PHV δίνεται από την σχέση:

$$\sigma_{\text{total}}^2 = \tau^2 + \sigma^2 \quad (15)$$

Το Σχήμα 13 συγκρίνει την σχέση των Rodriguez- Marek (2000) με αυτές των Sommerville (1998) και Krawinkler και Alavi (2000). Οι σχέσεις διαφέρουν κυρίως στο μέγεθος των τιμών της PHV που προκύπτουν από τις σχέσεις. Οι Sommerville (1998) και Krawinkler και Alavi (2000) προτείνουν μία ισχυρότερη εξάρτηση της PHV με το μέγεθος του σεισμού. Η εξάρτηση αυτή δεν μπορεί να αποδοθεί στις πρόσθετες προσομοιωμένες χρονοϊστορίες γιατί ο Sommerville (1998) υποδεικνύει ότι οι τιμές της PHV των

καταγεγραμμένων χρονοϊστοριών αυξάνονται γρηγορότερα από αυτές των προσομοιωμένων. Οι διαφορές οφείλονται πιθανώς στην μεγαλύτερη ποσότητα πληροφοριών που περιλαμβάνεται στην πιο πρόσφατη μελέτη.



Σχήμα 13. Σύγκριση των σχέσεων για το PHV των Somerville (1998), Krawinkler και Alavi (2000) και Rodriguez- Marek (2000) για σεισμούς κοντινού πεδίου με προσω κατευθυντικότητα (*forward directivity*)

δ) Δεσπόζουσα περίοδος

Όπως έχει αναφερθεί, η πλέον κρίσιμη παράμετρος για τον προσδιορισμό της εδαφικής κίνησης κοντινού πεδίου, είναι η περίοδος T_p , που σχετίζεται με τη διάρκεια του παλμού κατευθυντικότητας. Η σχέση του Somerville (1998) για την περίοδο του παλμού είναι:

$$\log_{10} T_p = -2.5 + 0.425 \times M_w \quad (16)$$

όπου T_p είναι η δεσπόζουσα περίοδος και M_w είναι το μέγεθος σεισμικής ροπής του σεισμού. Αργότερα, ο Somerville (1998) σε μία μεγαλύτερη έρευνα, στην οποία

μελέτησε την συμβολή της ολίσθησης στην δεσπόζουσα περίοδο του σεισμού, για 15 σεισμικά γεγονότα, πρότεινε μία καινούργια σχέση:

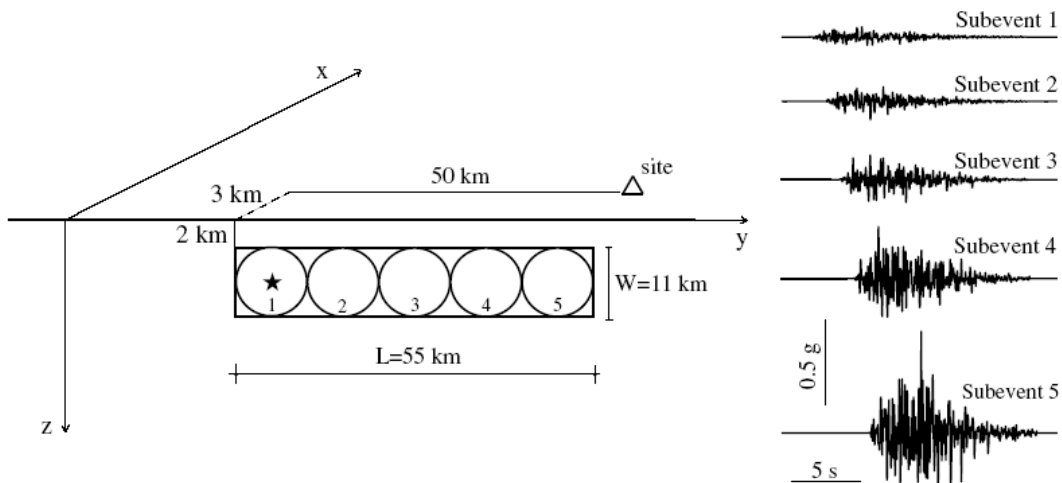
$$\log_{10} T_p = -3.0 + 0.5 \times M_w \quad (17)$$

όπου η δεσπόζουσα περίοδος σχετίζεται με την διάρκεια ανάδυσης (rise time) t_r (η οποία μετράει την διάρκεια της ολίσθησης σ' ένα συγκεκριμένο σημείο του ρήγματος) από την σχέση:

$$T_p = 2.2 \times t_r \quad (18)$$

Ανάλογα οι Papageorgiou και Aki [1983] πρότειναν το συνοριακό μοντέλο (specific barrier model) σύμφωνα με το οποίο τα επιμέρους σεισμικά γεγονότα προκαλούνται από προσεγγιστικά ισομεγέθεις κυκλικές επιφάνειες διάρρηξης που είναι ομοιόμορφα καταναμημένες στην επιφάνεια ενός ρήγματος (βλ. Σχήμα 14). Οι επιφάνειες αυτές έχουν μία μέση διάμετρο $2\rho_0$, που σχετίζεται με το μέγεθος σεισμικής ροπής M_w του σεισμικού γεγονότος. Η εμπειρική σχέση που προκύπτει έχει τη μορφή:

$$\log(2\rho_0) = -2.6 + 0.5 \times M_w \quad (19)$$



Σχήμα 14. Συνοριακό μοντέλο Papageorgiou και Aki

Σύμφωνα με το συνοριακό μοντέλο, η διάρκεια διάρρηξης μιας επιφάνειας προσδιορίζεται από τη διάμετρο των επιφανειών $2\rho_0$ και την ταχύτητα διάρρηξης V_r , καθώς και από το σημείο εκκίνησής της και δίνεται από την σχέση:

$$\frac{\rho_0}{V_r} \leq t_r \leq \frac{2\rho_0}{V_r} \quad (20)$$

Επιπλέον δίνεται μία σχέση εκτίμησης της περιόδου του παλμού κατευθυντικότητας συναρτήσει του μεγέθους M_w , που προκύπτει από τη σύμφωνη με τα δεδομένα κοντινού πεδίου παραδοχή, ότι η περίοδος είναι ανεξάρτητη από την απόσταση της θέσης καταγραφής από το ρήγμα. Η σχέση δίνεται με την μορφή:

$$\log T_p = -2.9 + 0.5 \times M_w \quad (21)$$

Από τις σχέσεις (19) και (21) που ορίζουν τα μεγέθη $2\rho_0$ και T_p προκύπτει ότι:

$$\log \left(\frac{2\rho_0}{T_p} \right) \approx 0.3 \quad (22)$$

όπου οι παράμετροι ρ_0 και T_p είναι εκφρασμένες σε km και sec αντίστοιχα.

Με την παραδοχή ότι η ταχύτητα διάρρηξης του ρήγματος είναι περίπου 2.8 km/sec, η διάρκεια διάρρηξης δίνεται από την σχέση:

$$0.35 T_p \leq t_r \leq 0.70 T_p \quad (23)$$

και επομένως:

$$t_r \approx 0.5 T_p \quad (24)$$

Οι Alawi και Krawinkler (2000) όρισαν την περίοδο του παλμού ως την δεσπόζουσα περίοδο σ' ένα φάσμα απόκρισης ταχύτητας T_{v-p} . Η σχέση που προτάθηκε για την περίοδο παλμού είναι:

$$\log_{10} T_{v-p} = -1.76 + 0.31 \times M_w \quad (25)$$

Είναι χαρακτηριστικό ότι η σχέση των Alawi και Krawinkler παρουσιάζει σαφώς μικρότερες τιμές από αυτές της σχέσης του Somerville και η απόκλιση των δύο σχέσεων αυξάνει με την αύξηση του μεγέθους σεισμικής ροπής M_w . Παρά τις σημαντικές αποκλίσεις που παρουσιάζονται ανάμεσα στις δύο σχέσεις, ειδικά στην περίπτωση μεγάλων σεισμικών μεγεθών, η προτεινόμενη παραδοχή για την ισότητα των δύο περιόδων T_p και T_{v-p} παραμένει ιδιαίτερα διαδεδομένη.

Αντίστοιχα οι Rodriguez-Marek (2000) ανέπτυξαν την εξής σχέση:

$$\ln(T_v)_{ij} = a + b \times M_w + \eta_i + \varepsilon_{ij} \quad (26)$$

όπου $(T_v)_{ij}$ είναι η περίοδος παλμού της j καταγραφής του i γεγονότος, a και b είναι παράμετροι το υ μ ο πέλο υ και η_i το σφάλμα πο υ σχετίζεται με την από κλιση μεταξύ καταγραφών του ιδίου γεγονότος, ενώ ε_{ij} το σφάλμα που σχετίζεται με την απόκλιση μεταξύ γεγονότων. Οι δύο όροι σφάλματος μπορούν να θεωρηθούν τυχαίες μεταβλητές με διασπορές τ^2 και σ^2 αντίστοιχα. Η συνολική διασπορά που σχετίζεται με την εκτίμηση της περιόδου $(T_v)_{ij}$ δίνεται από την σχέση:

$$\sigma_{\text{total}}^2 = \tau^2 + \sigma^2 \quad (27)$$

η οποία ισχύει για $M_w = 6.1-7.4$ και $r < 20\text{km}$. Εκτιμήσεις προκύπτουν τόσο για την περίοδο παλμού T_p όσο και για την δεσπόζουσα περίοδο του φάσματος ταχυτήτων T_{v-p} .

Με βάση την προτεινόμενη γενική διατύπωση, προκύπτουν οι ακόλουθες σχέσεις για την περίοδο του παλμού και τη δεσπόζουσα περίοδο για διάφορες κατηγορίες εδαφών:

$$\ln T_v = -8.33 + 1.33 \times M_w \quad (28) \quad \text{για όλες τις κατηγορίες εδαφών}$$

$$\ln T_v = -11.10 + 1.70 \times M_w \quad (29) \quad \text{για βράχο}$$

$$\ln T_v = -5.81 + 0.97 \times M_w \quad (30) \quad \text{για μαλακό έδαφος}$$

$$\ln T_{v-p} = -6.92 + 1.08 \times M_w \quad (31) \quad \text{για όλες τις κατηγορίες εδαφών}$$

$$\ln T_{v-p} = -9.53 + 1.42 \times M_w \quad (32) \quad \text{για βράχο}$$

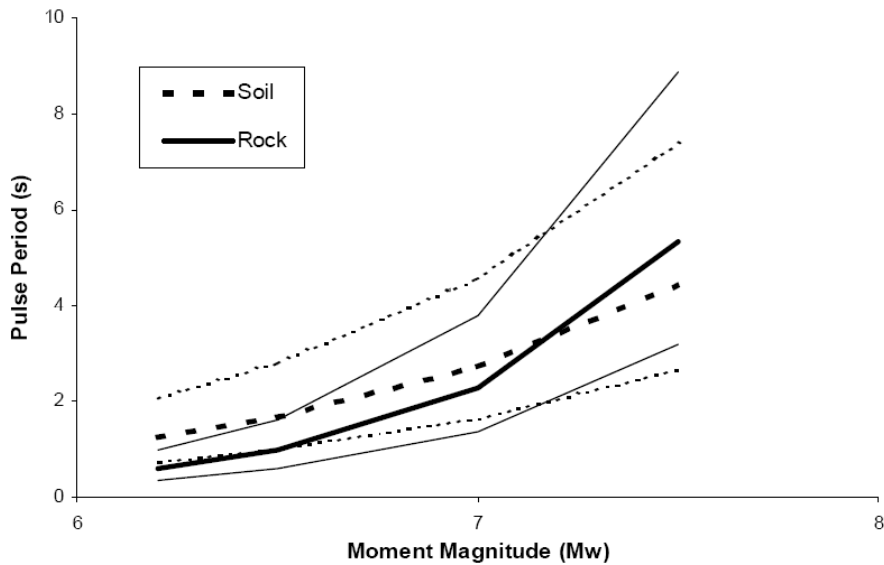
$$\ln T_{v-p} = -5.66 + 0.91 \times M_w \quad (33) \quad \text{για μαλακό έδαφος}$$

Η πρόσφατη σχέση των Rodriguez-Marek (2000) συγκρίνεται με αυτές των Sommerville (1998) και Alavi και Krawinkler (2000) στο Σχήμα 15. Στην περίπτωση αυτή διαπιστώθηκε σύγκλιση των αποτελεσμάτων, με μικρότερες τιμές στην περιοχή μικρών σεισμικών μεγεθών για την σχέση του Rodriguez-Marek (2000). Οι μικρές περίοδοι που σχετίζονται με τα μικρότερα σεισμικά μεγέθη οδηγούν στο συμπέρασμα ότι, για συνήθεις κατασκευές μεγάλης ακαμψίας, σεισμοί μεσαίου μεγέθους μπορεί να έχουν πιο καταστρεπτικά αποτελέσματα από μεγάλους σεισμούς, με παλμούς εδαφικής ταχύτητας που αντιστοιχούν σε μεγάλες περιόδους.

Μία περαιτέρω παρατήρηση από τους Rodriguez και Marek (2000) αναφέρεται στη διαφοροποίηση της περιόδου του παλμού ανάλογα με το έδαφος στη θέση καταγραφής (βλ. Σχήμα 16). Από την απεικόνιση των γραφικών παραστάσεων των αντιστοιχών σχέσεων παρατηρούμε ότι για μεγάλα σεισμικά μεγέθη η διαφοροποίηση στην εκτίμηση της περιόδου του παλμού μεταξύ καταγραφών σε βράχο και σε μαλακό έδαφος δεν είναι σημαντική και παραμένει σαφώς μικρότερη της τυπικής απόκλισης της προτεινόμενης σχέσης. Αντίθετα στην περίπτωση μικρών σεισμικών γεγονότων η διαφορά είναι σημαντική και συγκρίσιμη με την τιμή της τυπικής απόκλισης.



Σχήμα 15. Σύγκριση του μοντέλου των Rodriguez-Marek (2000) με αυτό των Krawinkler και Alavi (2000) για την μέγιστη περίοδο του φάσματος ψευδοταχύτητας (T_{v-p}) και του Somerville (1998) για την περίοδο παλμού (T_p) (Rodriguez-Marek, 2000)



Σχήμα 16. Σχέσεις υπολογισμού παλμού κατευθυντικότητας και διαστήματα εμπιστοσύνης για διαφορετικές κατηγορίες εδάφους (Rodriguez-Marek , 2000)

ε) Αριθμός των ημικύκλων

Ο αριθμός των ημικύκλων της κίνησης (N_v) ορίζεται ως ο αριθμός των ημικύκλων των παλμών της ταχύτητας που έχουν εύρος ίσο τουλάχιστον με το 50% της μέγιστης εδαφικής ταχύτητας. Για την εκτίμηση τους λαμβάνονται υπόψη μόνο οι κάθετα στο ρήγμα καταγραφές. Το 50% είναι ένα αυθαίρετο όριο οπότε και ο αριθμός των παλμών επηρεάζεται από αυτόν τον περιορισμό. Ο Sommerville (1998) πρότεινε ότι ο αριθμός των μισών ημιτονοειδών παλμών της χρονοϊστορίας της ταχύτητας μπορεί πιθανώς να συσχετιστεί με την τραχύτητα στο ρήγμα, άρα και με την ολίσθηση σ' αυτό. Αυτό βέβαια είναι πολύ δύσκολο να το εκτιμήσεις εκ των προτέρων. Παρ' όλο που δεν υπάρχουν διαθέσιμα μοντέλα για να εκτιμήσεις τον αριθμό των παλμών της χρονοϊστορίας της ταχύτητας, για τις περισσότερες περιπτώσεις ο αριθμός των ημικύκλων κυμαίνεται μεταξύ των τιμών 1-3, με καλύτερη δυνατή εκτίμηση την τιμή $N_v=2$.

Κεφάλαιο 2 - Υφιστάμενες Μέθοδοι Εκτίμησης Φασμάτων Μετακίνησης

Βάσει της χρησιμοποίησης των αδρανειακών σεισμικών δυνάμεων για τον έλεγχο των κατασκευαστικών μελών, ο αντισεισμικός σχεδιασμός των κατασκευών παραδοσιακά βασιζόταν στην εκτίμηση της εδαφικής επιτάχυνσης σε σεισμούς ισχυρού πεδίου. Ωστόσο, τα τελευταία χρόνια ο δομικός σχεδιασμός τείνει να χρησιμοποιεί τις παραμορφώσεις - μετακινήσεις, που έρχονται να αντικαταστήσουν τον ρόλο της επιτάχυνσης και των αδρανειακών δυνάμεων. Το **Φάσμα Απόκρισης των Μετακινήσεων (Displacement Response Spectrum - DRS)** γίνεται ο πρωταρχικός παράγοντας για την εκτίμηση της σεισμικής απαίτησης.

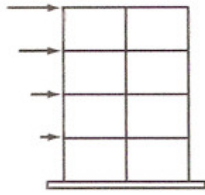
Τα βασικά βήματα της μεθόδου των μετακινήσεων φαίνονται στο σχήμα 17, όπου η δρώσα περίοδος παλμού είναι σημαντικά μεγαλύτερη από την ελαστική περίοδο. Συνεπώς, εξαρτώμενο από την κατασκευή, το φάσμα μετακίνησης περιλαμβάνει ένα μεγαλύτερο εύρος περιόδων της τάξης του 0-10 sec σε αντίθεση με παλιότερα όπου οι περίοδοι κυμαινότουσαν μεταξύ 0-4 sec.

Με αυτή την εκτίμηση, το 2005 μία διεθνής έρευνα ονομαζόμενη S5 ξεκίνησε στο Μιλάνο με σκοπό να παρουσιάσει:

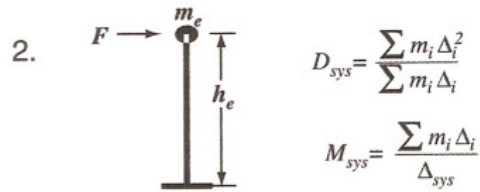
- a) ένα μοντέλο της σεισμικής δράσης με φάσματα μετακινήσεων διαφόρων αποσβέσεων σε μεγάλες περιόδους και
- b) τον χάρτη επικινδυνότητας με τις τιμές του φάσματος μετακίνησης που χρειάζονται για τον σεισμικό σχεδιασμό.

Παρακάτω παρουσιάζονται μερικά τμήματα από την έρευνα S5, όπως είναι η εμπειρική εκτίμηση φασμάτων μετακίνησης για διάφορες αποσβέσεις, για οριζόντια και κατακόρυφη κίνηση, χρησιμοποιώντας ένα δείγμα δεδομένων και εκτιμώντας την διαφορά φασματικής μεγέθυνσης για διαφορετικά εδάφη, για περιπτώσεις σε κοιλάδες και λεκάνες με αλλουβιακές αποθέσεις με την χρήση χαρτών ισοδύναμου σεισμικού κινδύνου και απλοποιημένο διγραμμικό μοντέλο φασμάτων μετακίνησης.

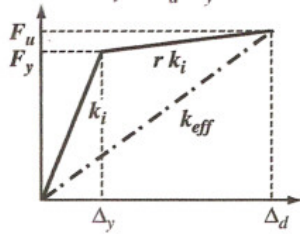
1. Select design displacement Δ_d and define expected displacement shape of structure



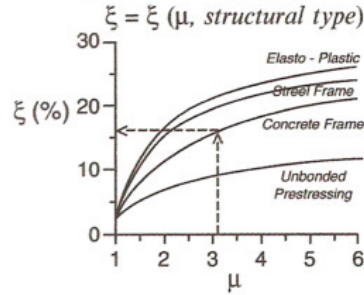
2. Derive displacement Δ_{sys} and effective mass M_{sys} for the equivalent SDOF system



3. From the ductility $\mu = \Delta_d / \Delta_y$

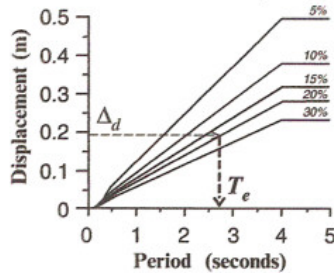


estimate equivalent damping ξ (of SDOF system)



After defining DRS $(T, \xi) = DRS(T, 5\%) \eta(T, \xi)$, find:

4. effective period T_e



Stiffness

$$k_{eff} = \frac{4\pi^2 M_{sys}}{T_{eff}^2}$$

5. Compute base shear, design storey forces (and design structural members)

$$V_b = k_{eff} \Delta_{sys} \longrightarrow F_i = \left(\frac{m_i \Delta_i}{\sum m_i \Delta_i} \right) V_b$$

Σχήμα 17. Βασικά βήματα του σχεδιασμού με την μέθοδο των μετακινήσεων

2.1 Εμπειρική εκτίμηση του φάσματος μετακίνησης σ' ένα μεγάλο εύρος περιόδων

Παλαιότερες έρευνες πάνω στα φάσματα μετακίνησης στις μεγάλες περιόδους υπέδειξαν την ανάγκη σχέσεων που θα έδιναν μια αξιόπιστη εκτίμηση του οριζόντιου και κατακόρυφου φάσματος μετακινήσεων διαφόρων αποσβέσεων σε περιόδους από $T < 1 \text{ sec}$ μέχρι και $T > 10 \text{ sec}$, οι οποίες όμως είτε δεν κάλυπταν το ενδιαφερόμενο εύρος περιόδων, είτε δεν θεωρούνταν αξιόπιστες στις μεγάλες περιόδους.

Γι' αυτό το λόγο, προστέθηκε μία νέα παγκόσμια βάση δεδομένων αποτελούμενη μόνο από ψηφιακές καταγραφές επιταχύνσεων, από σεισμούς κοντά στον φλοιό της γης, τα οποία περιέχουν μικρά σφάλματα στις μεγάλες περιόδους και καλύπτουν ένα ευρύ φάσμα σεισμικών μεγεθών και αποστάσεων.

2.1.1 Επιλογή δεδομένων

Η επιλογή των δεδομένων για τους ισχυρές εδαφικές κινήσεις πρέπει να γίνεται πολύ προσεκτικά δηλαδή να αποφεύγονται χαλαρά κριτήρια, τα οποία μπορούν να οδηγήσουν σε μη αξιόπιστες εκτιμήσεις, ή πολύ περιοριστικά κριτήρια τα οποία θα υποβαθμίζουν την σημασία των αποτελεσμάτων.

Το Ιαπωνικό διαδίκτυο K-Net αποτελεί αναμφισβήτητα τη μεγαλύτερη πηγή δεδομένων σεισμών κοντινού πεδίου, ενώ οι υπόλοιπες πηγές προέρχονται από την Καλιφόρνια, την Ευρώπη, το Ιράν και την Τουρκία. Για το Ιρακινό δίκτυο χρησιμοποιείται το ISMN (Iran Strong Motion Network), για την Καλιφόρνια κυρίως το NSMN (US National Strong-Motion Network) καθώς και τα CISN (Engineering Strong Motion Data Center) και SCSN (Southern California Seismic Network), ενώ για την Ευρώπη και την Τουρκία τα περισσότερα δεδομένα προέρχονται από το Imperial College of London και κάποια, (καταγραφές από Ιταλία) από το National Accelerograph Network (RAN).

Όλα τα δεδομένα είναι σε μορφή μη-διορθωμένων χρονοϊστοριών επιτάχυνσης, ενώ 9 καταγραφές από το σεισμό στην Irpinia της Ιταλίας το 1980 ($M_w=6.9$), είναι οι μόνες αναλογικές καταγραφές που παρουσιάζονται στην βάση δεδομένων και που εισήχθησαν σ' αυτήν ύστερα από προσεκτική εξέταση των χαρακτηριστικών τους στις μεγάλες περιόδους.

Παγκοσμίως, σεισμοί στον φλοιό της γης θεωρούνται οι σεισμοί **μεγέθους σεισμικής ροπής** $5 \leq M_w \leq 7.2$. Το κατώτερο όριο του σεισμικού μεγέθους προέκυψε από πιθανοτικές αναλύσεις της σεισμικής επικινδυνότητας σε περιοχές της Ιταλίας, δείχνοντας ότι σεισμοί με μέγεθος $M_w < 5$ έχουν αμελητέα επίδραση στον σεισμικό κίνδυνο. Από την άλλη πλευρά, το ανώτερο όριο είναι αποτέλεσμα ιστορικών παρατηρήσεων σε σεισμούς στην Ιταλία με μέγιστη τιμή $M_w=7.2$ (απόκλιση ± 0.12). Μεγέθη σεισμικής ροπής από σεισμούς στην Ιαπωνία, που αντιπροσωπεύουν την πλειοψηφία της βάσης δεδομένων, προέρχονται από το διαδικτυακό τόπο F-Net, ενώ για τα υπόλοιπα γεγονότα παίρνουμε στοιχεία από τον παγκόσμιο κατάλογο CMT.

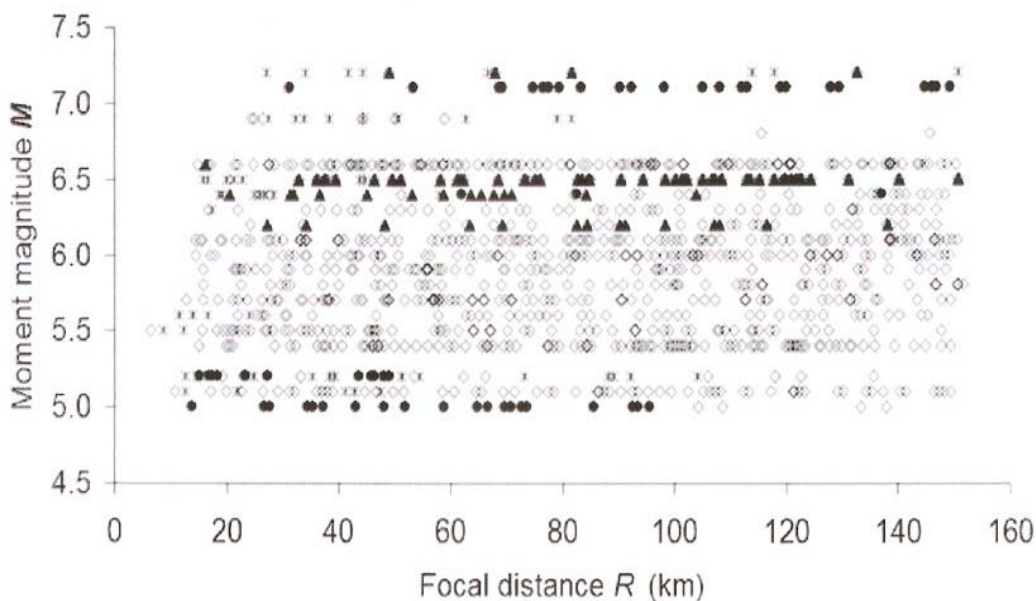
Τα μεγέθη σεισμών που έχουμε από την Ιαπωνία δεν υπερβαίνουν την τιμή 6.8, οπότε τιμές $M_w > 6.8$ λαμβάνονται από περιοχές όπως η Ευρώπη, η Μέση Ανατολή και οι

Ηνωμένες Πολιτείες, με σεισμούς όπως αυτός στο Chi-Chi της Taiwan ($M_w=7.6$) να απορρίπτονται λόγω του ανώτερου ορίου.

Όσον αφορά στους σεισμούς της Ιαπωνίας, τα εστιακά βάθη επιλέχθηκαν από την βάση δεδομένων K-Net, αφού ελέγχθηκαν για έναν αριθμό σεισμικών γεγονότων ότι είναι ίδια με αυτά από την βάση Hi-Net, ενώ για τις υπόλοιπες περιοχές τα δεδομένα προέκυψαν από τον παγκόσμιο κατάλογο CMT. Η μικρότερη τιμή για το R είναι περίπου τα 6 km. Χρησιμοποιώντας έναν σημαντικό αριθμό ανάστροφων και κατακόρυφης διάρρηξης σεισμικών γεγονότων, γνωρίζοντας τη γεωμετρία της πηγής, διατυπώθηκε μία σχέση μεταξύ της εστιακής απόστασης R και της κοντινότερης απόστασης από την θέση καταγραφής στο ρήγμα:

$$R(\text{km})=10.7+0.99 \times R_f(\text{km}) \quad (\sigma_R=6.37 \text{ km}, r^2=0.97) \quad (34)$$

Στο Σχήμα 18 φαίνεται η διανομή των δεδομένων με βάση το μέγεθος σεισμικής ροπής και την εστιακή απόσταση, σε σεισμούς με ανάστροφους, κανονικούς και κατακόρυφης διάρρηξης μηχανισμούς ρηγμάτωσης.



διαμάντια: δεδομένα από Ιαπωνία - μαύροι κύκλοι: δεδομένα από Καλιφόρνια - μαύρα τρίγωνα: δεδομένα από Ιράν - αστέρια: δεδομένα από Ευρώπη και Τουρκία

Σχήμα 18. Διανομή με βάση το μέγεθος σεισμικής ροπής, την εστιακή απόσταση και την γεωγραφική προέλευση των καταγραφών επιτάχυνσης της βάσης δεδομένων.

Οι τέσσερις **εδαφικές κατηγορίες** με βάση τον CEN (2004), A,B,C και D ορίζονται κυρίως μέσα από την μέση ταχύτητα κυμάτων S, την V_{s30} , στα πρώτα 30 μέτρα εδαφικής απόθεσης. Φυσικά υπάρχουν δυσκολίες στη διάκριση των εδαφικών περιοχών με βάση την παραπάνω ταξινόμηση, διότι το προφίλ ταχυτήτων είναι γνωστό μόνο μέχρι τα 20 m βάθος. Τέσσερις διαφορετικές μέθοδοι προτείνονται για την εκτίμηση της V_{s30} (Boore 2004), από δεδομένα ταχυτήτων που δεν φθάνουν τα 30 m σε βάθος. Η απλούστερη μέθοδος από τις τέσσερις υποστηρίζει ότι η μικρότερη σε μέγεθος ταχύτητα φθάνει στα 30 m, αλλά αυτή η παραδοχή υποτιμά την V_{s30} , αφού η V_s γενικά αυξάνεται με το βάθος. Για να ξεπεραστεί αυτό το πρόβλημα αυξάνεται η βαθύτερα μετρημένη ταχύτητα κατά 20% κάθε 10 m. Υπάρχουν δύο ακόμα εναλλακτικές λύσεις: η πρώτη βασίζεται σε στατιστικές ταχύτητας για τον καθορισμό της κατηγορίας του εδάφους, ενώ η δεύτερη χρησιμοποιεί τον συσχετισμό μεταξύ της V_{s30} και της V_{sd} , όπου η V_{sd} είναι η μέση χρονικά ταχύτητα για ένα σύνολο γεωτρήσεων, για τις οποίες το βάθος d φθάνει ή και ξεπερνά τα 30 m. Ο συσχετισμός μεταξύ της V_{s30} και της V_{sd} αξιολογήθηκε χρησιμοποιώντας περίπου 100 προφίλ ταχυτήτων από την ιαπωνική δικτυακή βάση δεδομένων Kik-Net (Figini, 2006). Η ακριβής κατηγοριοποίηση των σταθμών της βάσης K-Net δημιουργήθηκε από τα τέσσερα κριτήρια που περιγράψαμε παραπάνω και η τελική απόφαση πάρθηκε με βάση τον κανόνα της πλειοψηφίας.

Αντίστοιχα, για τα εδάφη της Ευρώπης και της Τουρκίας διαθέσιμες πληροφορίες βρέθηκαν στην ευρωπαϊκή βάση δεδομένων ισχυρού πεδίου σεισμών (European Strong-Motion database- Ambraseys et al., 2002) ενώ για τις εδαφικές συνθήκες στο Ιράν τα στοιχεία προέκυψαν από το Zare (2004).

Τέλος, για τον σεισμό Hector-Mine, πληροφορίες για τις εδαφικές συνθήκες υπάρχουν στο δικτυακό τόπο CISEN, καθώς πολλοί σταθμοί NSMN μπορούν να κατηγοριοποιηθούν χρησιμοποιώντας δεδομένα από το quake.wr.usgs.gov/~boore.

2.1.2 Εξισώσεις εκτίμησης των φασμάτων μετακίνησης

Αρχικά η εμπειρική σχέση για τις τιμές του φάσματος μετακίνησης $DRS(T)$ ήταν:

$$\log DRS(T) = \alpha_1 + \alpha_2 \times M + \alpha_3 \times \log R + \alpha_4 \times S_1 + \alpha_5 \times S_2 + \varepsilon \quad (35)$$

όπου $T(s)$ = η περίοδος του παλμού, $\alpha_1, \dots, \alpha_5$ συντελεστές, ε σφάλμα και S_1, S_2 , μεταβλητές που εξαρτώνται από την τοπική εδαφική κατηγορία σύμφωνα με τον Ευρωκώδικα 8 και τους ιταλικούς κανονισμούς, με τις ακόλουθες τιμές: $S_1 = S_2 = 0$ για τον **τύπο A** (βραχώδες)

έδαφος, με $V_{S30} \geq 800 \text{ m s}^{-1}$, $S_1 = 1$ and $S_2 = 0$ για τον **τύπο B** (στέρεο) έδαφος, με $360 \text{ m s}^{-1} \leq V_{S30} \leq 800 \text{ m s}^{-1}$, $S_1 = 0$, $S_2 = 1$ για τον **τύπο C** έδαφος, με $180 \text{ m s}^{-1} \leq V_{S30} \leq 360 \text{ m s}^{-1}$, και $S_1 = S_2 = 1$ για τον **τύπο D** (πολύ μαλακό) έδαφος, με $V_{S30} < 180 \text{ m s}^{-1}$. Εξαιτίας των τοπικών εδαφικών συνθηκών και της ύπαρξης μόνο δύο σταθερών μεταβλητών στην σχέση (35), δεν επιτρέπεται η διάκριση μεταξύ των συντελεστών μεγένθυσης D/B και C/A, (και οι δύο ίσοι με $10\alpha_5 S_2$), και μεταξύ των B/A και D/C. Για να αποφευχθεί αυτή η αβεβαιότητα θα πρέπει να εισαχθεί και μία τρίτη μεταβλητή S_3 , έτσι ώστε η εξίσωση (35) να γίνει:

$$\log \text{DRS}(T) = \alpha_1 + \alpha_2 \times M + \alpha_3 \times \log R + \alpha_4 \times S_1 + \alpha_5 \times S_2 + \alpha_6 \times S_3 + \varepsilon \quad (36)$$

Σε αυτήν την περίπτωση, $S_1 = S_2 = S_3 = 0$ για έδαφος κατηγορίας A, και $S_i = 1$ ($i=1,2,3$)

Πίνακας 2. Σταθερές της εξίσωσης (29) για 5% απόσβεση

Table 2.1. Distribution of acceleration records in the database in terms of magnitude and ground types (CEN, 2004)

<i>M</i>	A	B	C	D	Unknown
5.0–5.4	17	95	97	13	34
5.5–5.9	11	141	131	38	0
6.0–6.3	8	127	135	21	16
6.4–6.6	23	96	59	15	49
6.7–7.2	9	13	11	0	22

Έγιναν έλεγχοι σε φασματικές τιμές με περίοδο 10 sec (D_{10}). Παρόλα αυτά δεν υπήρξε σημαντική βελτίωση με βάση τα αποτελέσματα που προέκυψαν από την εξίσωση (35), με αποτέλεσμα να μπορεί να γίνει σύγκριση με την εξίσωση για τις μέγιστες εδαφικές μετατοπίσεις των Faccioli et al. (2004) που αναφέρονται στο μακρινό πεδίο:

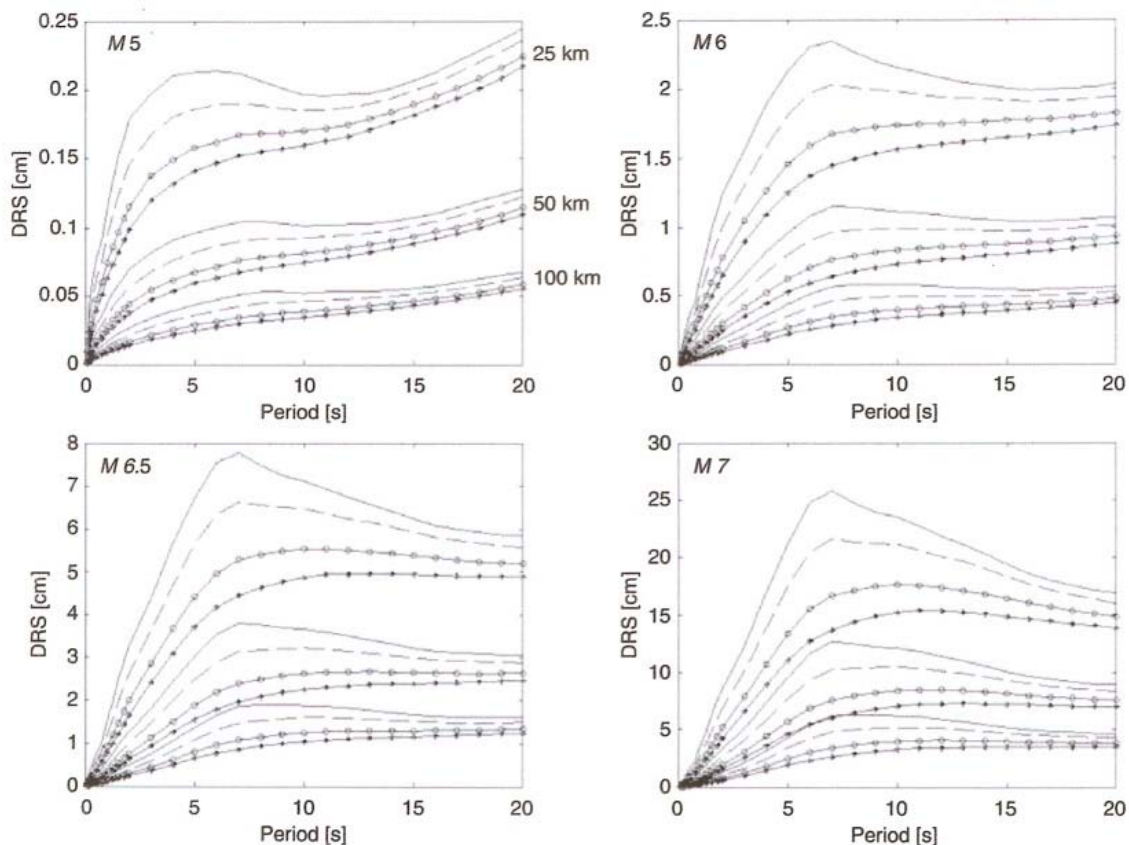
$$\log d_{\max} (\text{cm}) = -4.46 + 0.33 \times \log \Delta \sigma (\text{MPa}) + M - \log R (\text{km}) \quad (37)$$

όπου d_{\max} είναι η μέγιστη οριζόντια εδαφική μετατόπιση και $\Delta \sigma$ η εφελκυστική τάση. Οι έλεγχοι μπορούν να γίνουν και σε μικρότερες περιόδους του φάσματος μετακίνησης, με μια διαφορετική μορφή της παραπάνω εξίσωσης.

Πίνακας 3. Σταθερές της εξίσωσης (35) για 5% απόσβεση

Table 2.2. Coefficients of Eq. (2.2) for the prediction of 5% damped $DRS(T)$

$T(s)$	a_1	a_2	a_3	a_4	a_5	$\sigma_{\log DRS}$
0.10	-1.7769	0.4974	-1.7479	0.0465	0.042045	0.3935
0.15	-1.757	0.5153	-1.6367	0.0689	0.1379	0.3902
0.2	-1.8922	0.543	-1.5544	0.0844	0.2343	0.3902
0.25	-2.0734	0.5801	-1.5039	0.1004	0.2917	0.3836
0.5	-2.4256	0.6585	-1.416	0.2032	0.4611	0.3689
0.75	-2.6197	0.6964	-1.3616	0.2674	0.5368	0.370
1	-2.7652	0.7499	-1.3796	0.2482	0.5016	0.379
1.25	-2.8531	0.7772	-1.3624	0.2165	0.4463	0.3732
1.5	-2.945	0.8095	-1.3752	0.1856	0.4070	0.3651
1.75	-3.0231	0.8313	-1.3711	0.1643	0.3741	0.3571
2	-3.0489	0.8413	-1.3628	0.1504	0.3450	0.3477
4	-3.7533	0.9544	-1.213	0.1314	0.2578	0.3124
6	-4.3049	1.0321	-1.0915	0.0964	0.2136	0.2896
8	-4.5001	1.0389	-0.9864	0.1089	0.2170	0.2809
10	-4.5621	1.0391	-0.9584	0.1096	0.2157	0.2694



Σχήμα 19. Φάσματα μετατοπίσεων από την εξίσωση (35) για διάφορες αποσβέσεις: 5% (ευθεία γραμμή), 10% (διακεκομμένη), 20% (κυκλικά σημεία), 30% (αστεριδοειδή σημεία), για $M_w=5, 6, 6.5, 7$ και $R=25, 50, 100$.

Όπως φαίνεται στο Σχήμα 19, τα φάσματα μετακίνησης στον βράχο διαφοροποιούνται ελαφρά με βάση το M_w και ακολουθούν μία παρόμοια συμπεριφορά, δηλαδή αυξάνονται παρουσιάζοντας μέγιστη μετατόπιση σε περιόδους που φτάνουν τα 10 sec (ανάλογα με το μέγεθος του σεισμού και την απόσβεση) και στην πορεία τείνουν ασυμπτωτικά στην μέγιστη εδαφική μετατόπιση, με μία μέτρια αυξανόμενη ή μειωτική τάση. Παράλληλα διακρίνονται και τα λάθη που υπάρχουν στις μεγάλες περιόδους και τα οποία δεν μπορούν να απομακρυνθούν: για παράδειγμα, για $5 \leq M_w \leq 6$ και περιόδους $10 \text{ sec} \leq T \leq 16 \text{ sec}$, η ανοδική τάση της γραμμής του φάσματος είναι πλασματική. Ως εκ τούτου, όπως προαναφέρθηκε, είναι δυνατόν να πάρουμε αξιόπιστα φάσματα μετακίνησης $DRS(T)$ χρησιμοποιώντας την εξίσωση (35) μέχρι μία μέγιστη περίοδο, η οποία αυξάνεται με το μέγεθος του σεισμού, από 10 sec για $M_w=5$ ως 20 sec για $M_w=7$.

Η πιθανή εξάρτηση των εδαφικών σταθερών a_4 και a_5 από το σεισμικό μέγεθος εξετάστηκε χωριστά χρησιμοποιώντας μία μη-γραμμική σχέση:

$$\log DRS(T) = b_1 + b_2 \times M_w + b_3 \times \log R + b_4 \times S_1 + b_5 \times M_w + b_6 \times S_2 + b_7 \times M_w \quad (38)$$

2.1.3 Απλοποιημένο μοντέλο φάσματος μετακινήσεων

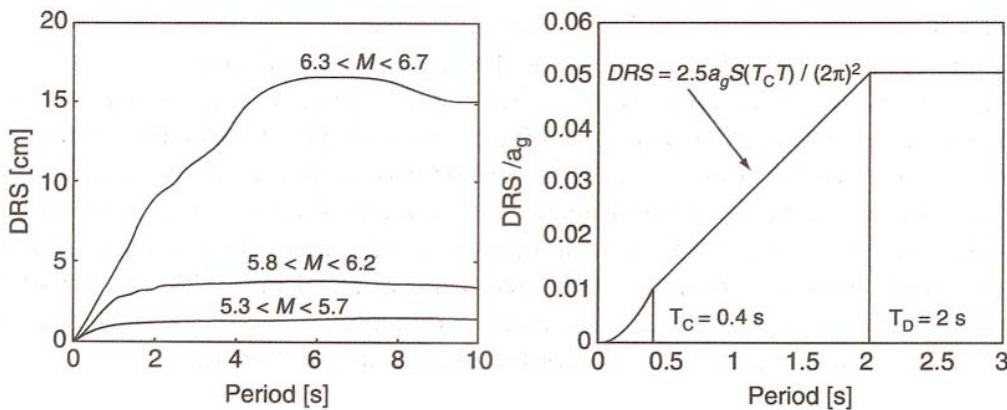
Στο Σχήμα 20, το φάσμα μετατόπισης με απόσβεση 5%, για διαφορετικά σεισμικά μεγέθη και ανεξαρτήτως κατηγορίας εδάφους, συγκρίνεται με το κανονικοποιημένο φάσμα, το οποίο προκύπτει πολλαπλασιάζοντας το ελαστικό φάσμα επιτάχυνσης (CEN 2004) κατηγορίας εδάφους A με τον όρο $(T/2\pi)^2$. Παρατηρείται ότι, το διγραμμικό φάσμα σχεδιασμού CEN (2004) αποτελούμενο, για περιόδους μεγαλύτερες του 0.4-0.5 sec, από μία διγραμμική καμπύλη με μια περιοχή σταθερής φασματικής μετακίνησης στις μεγάλες περιόδους, αποτελεί μία καλή προσέγγιση, καθώς το κωδωνόσχημο διάγραμμα του Ευρωκώδικα 8 για περιόδους $T > 4 \text{ sec}$ δεν επαληθεύει απόλυτα τις παρατηρήσεις.

Όμως υπάρχουν δύο μεγάλα μειονεκτήματα στο διγραμμικό φάσμα μετακίνησης. Πρώτον, η περιοχή σταθερής φασματικής μετακίνησης είναι ανάλογη της μέγιστης εδαφικής επιτάχυνσης a_g , η οποία δεν κλιμακώνεται με βάση το μέγεθος του σεισμού όπως η D_{10} , (βλ. δεξί διάγραμμα σχ.20), γεγονός που παρατηρείται και από την εξάρτηση της σταθεράς a_1 από την περίοδο (Πίνακας 3). Δεύτερον, η περίοδος $T_D = 2 \text{ sec}$ εμφανίζεται στο CEN (2004) ως η περίοδος έναρξης της περιοχής σταθερής φασματικής μετακίνησης, οποιοδήποτε και αν είναι το μέγεθος του σεισμού. Παρ' όλ' αυτά, σε αυτό το στάδιο

φαίνεται λογικό να προσεγγιστεί το φάσμα μετακίνησης με το διγραμμικό διάγραμμα, με μία σταθερή περιοχή για $T > T_D$. Ακόμα όμως και αν η τιμή της περιοχής σταθερής φασματικής μετακίνησης είναι συνάρτηση του a_g , της T_D και της αυθαίρετης $T_D=2$ sec, τόσο το D_{10} όσο και το a_g πρέπει να καθορίζονται ανεξάρτητα και η T_D να υπολογίζεται από την σχέση:

$$T_D = \frac{(2\pi)^2 D_{10}}{2.5 a_g S T_C} \quad (39)$$

Το πλεονέκτημα αυτής της σχέσης είναι ότι η εξάρτηση της T_D από το M_w είναι πλέον συνάρτηση του D_{10} και το μειονέκτημα της είναι, ότι το απλοποιημένο φασματικό μοντέλο τείνει να είναι υπερσυντηρητικό για τις μεσαίες τιμές περιόδων γύρω από την T_D .



Σχήμα 20. (Αριστερά) Φάσμα μετακίνησης (ανεξαρτήτως εδαφικού τύπου και για $10 \text{ km} < R < 30 \text{ km}$) σε συνάρτηση με το M_w . (Δεξιά) Διγραμμικό φάσμα μετακίνησης με βάση το CEN (2004)

2.1.4 Φάσματα μεγάλων αποσβέσεων

Τα φάσματα απόκρισης για απόσβεση διαφορετική του 5% προκύπτουν, πολλαπλασιάζοντας με έναν διορθωτικό συντελεστή η τις τιμές του φάσματος απόκρισης για 5%, ο οποίος στο παρελθόν υπολογιζόταν με διάφορους τρόπους (Tolis και Faccioli, 1999, Bommer et al., 2000).

Στο CEN (2004), ο διορθωτικός συντελεστής υπολογίστηκε με βάση τον Bommer et al. (2000) για τις ενδιαμέσες περιόδους (μεταξύ T_B και T_E), ενώ για μικρότερες και μεγαλύτερες περιόδους το η αυξάνεται γραμμικά έτσι ώστε να φθάσει την τιμή 1, για $T=0$

sec και $T=T_F$ (όπου T_B , T_E και T_F είναι ανάλογες των εδαφικών συνθηκών και προσδιορίζονται στο CEN 2004).

Προκειμένου λοιπόν να καθοριστεί ένας αξιόπιστος διορθωτικός συντελεστής που να μετατρέπει το φάσμα απόσβεσης 5% σε ένα φάσμα διαφορετικής απόσβεσης, έγινε σύγκριση μεταξύ των διαθέσιμων συντελεστών και αυτών που προέκυψαν από το UH φάσμα για διάφορους λόγους απόσβεσης. Για $T < 7\text{sec}$, το η παραμένει σταθερό, ενώ για $T > 7\text{sec}$ αυξάνεται γραμμικά μέχρι να φθάσει την τιμή 1 για περίοδο περίπου 25 sec. Αυτό σημαίνει, ότι σ' αυτό το σημείο η μετακίνηση του ταλαντωτή γίνεται περίπου ίση με την εδαφική μετακίνηση. Συνεπώς, οι εκφράσεις για τον διορθωτικό συντελεστή η είναι:

$$\eta_0 = \frac{SRS(\xi)}{SRS(5\%)} = \sqrt{\frac{10}{5+\xi}} \quad \text{για } T_B \leq T \leq 7 \text{ sec} \quad (40)$$

$$\eta = \frac{1}{18} \times [(1 - \eta_0) \times T + 25 \times \eta_0 - 7] \quad \text{για } 7 \leq T \leq 25 \text{ sec}$$

2.2 Μελέτη σεισμικής επικινδυνότητας

2.2.1 Κριτήρια σεισμικής επικινδυνότητας

Αναλύοντας τη σεισμική επικινδυνότητα, η οποία προέκυψε από την κλασική μέθοδο του Cornell (1968), οι σεισμικές πηγές μπορούν να εκφραστούν είτε ως SSZs, οι οποίες με βάση σεισμολογικές, γεωλογικές και ιστορικές πληροφορίες, θεωρούνται ομοιογενείς στα πλαίσια της σεισμικής επικινδυνότητας, είτε ως γεωλογικές δομές με 3D γεωμετρία, που παράγουν ισχυρά σεισμικά γεγονότα.

2.2.2 Επέκταση στην περιοχή των μεγάλων περιόδων - εύρος σταθερής μετατόπισης

Επειδή, από την μία πλευρά, το DDBD είναι αρκετά πρόσφατο και από την άλλη στον σχεδιασμό με παραδοσιακές μεθόδους, λίγες κατασκευές είναι αυτές που απαιτούν ακριβή φάσματα απόκρισης στις μεγάλες περιόδους ($T > 4 \text{ sec}$), δεν υπάρχουν ουσιαστικές μελέτες που να προσφέρουν χάρτες με παραμέτρους που να ελέγχουν τα φάσματα

απόκρισης σε αυτές τις περιόδους. Στο BSSC (2003) το φάσμα απόκρισης ελέγχεται από την περίοδο T_L (που αναπαριστά την μετάβαση από την περιοχή σταθερής φασματικής ταχύτητας στην περιοχή σταθερής φασματικής μετατόπισης). Η έννοια αυτής της παραμέτρου είναι παρόμοια με αυτήν της T_D που αναφέρθηκε στην παράγραφο 2.1.3. Στους χάρτες της T_L στο BSSC (2003), παρουσιάστηκε η ακόλουθη διαδικασία δύο βημάτων. Στο πρώτο βήμα καθιερώθηκε μία σχέση μεταξύ της T_L και του M_w :

$$\log T_L = -1.25 + 0.3 \times M_w \quad (41)$$

Αυτή η σχέση επιλέχθηκε ανάμεσα σε αρκετές διαθέσιμες, οι οποίες είχαν προκύψει είτε από την θεωρία των σεισμικών πηγών, είτε από την εκτίμηση της T_L από φάσματα απόκρισης ισχυρού πεδίου χρονοϊστοριών επιτάχυνσης, σε σειμούς μεσαίου και μεγάλου μεγέθους.

Χρησιμοποιώντας το μοντέλο του Brune (1970) με ένα μέσο εστιακό βάθος 8 km, μία μέση σταθερή ταχύτητα παλμού 3 km/sec και εφελκυστική τάση 10 Mpa, προέκυψαν οι τιμές της T_L που παρουσιάζονται στην δεύτερη στήλη του πίνακα 4. Αυτές συγκρίνονται στις υπόλοιπες στήλες με αυτές από: α) την εξίσωση (29) για εδάφη κατηγορίας A και C, β) το UH (Uniform Hazard) φάσμα μετακίνησης (ο οποίος για εδάφη A και C) σε διαφορετικές περιοχές στην Ιταλία, γ) το διγραμμικό φάσμα μετακίνησης.

Πίνακας 4. Σύγκριση των τιμών T_L διαφόρων μεθόδων

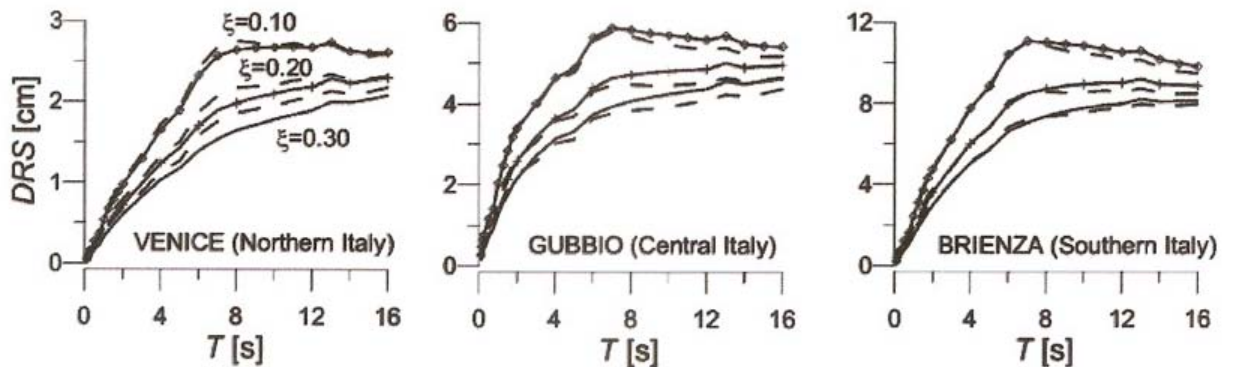
M	Brune (Brune, 1970)	NEHRP 2003 (BSSC, 2003)	From Eq. (2.2)		From UH spectra		Bi-linear approx.
			Ground A	Ground C	Ground A	Ground C	
5.0–5.5	1.4	2.1	4.0	1.5	6.0–8.0	1.0–2.5	0.2–1.0
5.5–6.0	2.5	3.0	5.0	4.0	6.0–8.0	2.0–5.0	0.2–1.1
6.0–6.5	4.4	4.2	6.0	6.0	6.0–8.0	4.0–6.0	1.0–2.0
6.5–7.0	7.8	6.0	6.3	6.3	6.0–8.0	6.0–8.0	1.0–2.0
7.0–7.5	13.8	8.4	6.5	6.5	6.0–8.0	6.0–8.0	1.0–2.0

2.2.3 Μεγάλων αποσβέσεων, μοντέλου επικινδυνότητας (Uniform Hazard-UH) DRS

Μεγάλων αποσβέσεων UH φάσματα υπολογίστηκαν πρώτα απευθείας, για λόγους απόσβεσης 0.10, 0.20, 0.30. Στην συνέχεια, συγκρίθηκαν φάσματα από διαφορετικές

περιοχές, με αυτά που προέκυψαν εφαρμόζοντας τον διορθωτικό συντελεστή (40) σε φάσματα 5%. Η σύγκριση για τρεις διαφορετικές περιοχές φαίνεται στο σχήμα 21: Venice (χαμηλή σεισμικότητα), Gubbio (μέτρια σεισμικότητα) και Brienza (υψηλή σεισμικότητα).

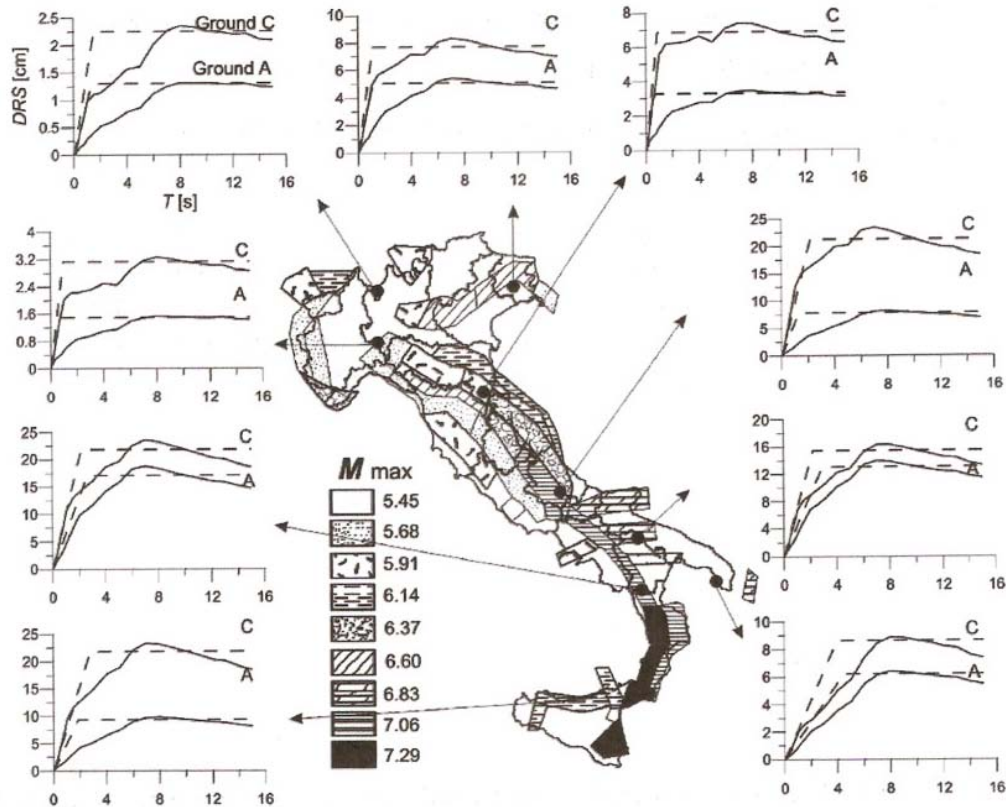
Με βάση το σχήμα 21, στις μεγάλες περιόδους παρατηρούνται διαφορές του απλοποιημένου φάσματος με το φάσμα UH. Τέτοιες διαφορές, όμως, είναι μικρές και μπορούν να αμεληθούν.



Σχήμα 21. UH DRS για τρεις διαφορετικές περιοχές: η συνεχής γραμμή δείχνει τις φασματικές μετακινήσεις για μεγάλες αποσβέσεις και η διακεκομμένη για απόσβεση 5% με εφαρμογή της σχέσης (40)

2.2.4 Επιδράσεις που σχετίζονται με τις εδαφικές συνθήκες

Η εξίσωση (35) χρησιμοποιήθηκε στην ανάλυση επικινδυνότητας εξαιτίας τοπικής εδαφικής ενίσχυσης μέσα από τις μεταβλητές S_1 και S_2 . Γι' αυτό το λόγο το φάσμα UH (συνεχής γραμμή στο σχήμα 21), για τις εδαφικές κατηγορίες A και C σε μερικές περιοχές στην Ιταλία εκτιμήθηκε και συγκρίθηκε με το διγραμμικό φάσμα (διακεκομμένη γραμμή στο σχήμα 21). Συμπεραίνεται ότι οι δύο τύποι φάσματος δεν είναι ουσιαστικά διαφορετικοί και ότι το διγραμμικό φάσμα αποτελεί μία καλή, πιο συντηρητική προσέγγιση του UH φάσματος. Ο συντηρητισμός σε περιόδους μικρότερες του T_D είναι συνέπεια της παραδοχής μίας T^{-1} μείωσης μεταξύ των περιόδων T_C και T_D στο UH φάσμα.

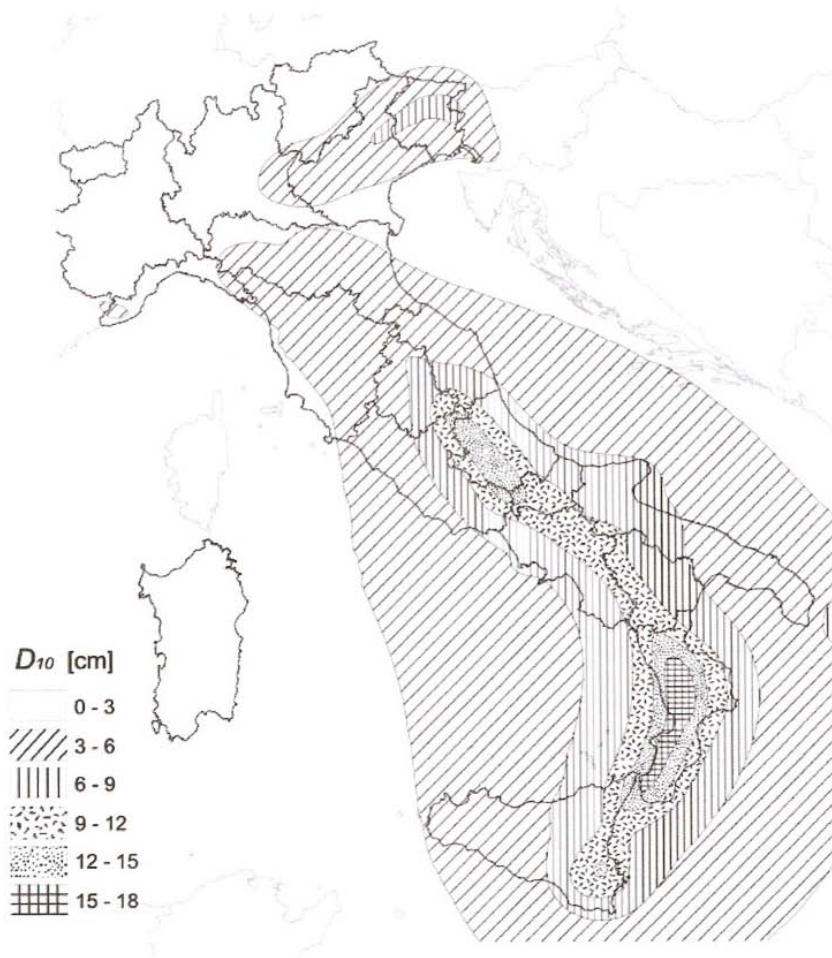


Σχήμα 22. Χάρτης μέγιστων σεισμικών μεγεθών των SSZs για το ZS9 μοντέλο. Επίσης φαίνεται το φάσμα UH για τους εδαφικούς τύπους A και C στις επιλεγμένες περιοχές και συγκρίνεται με το διγραμμικό φάσμα. Οι τιμές του DRS είναι σε cm, της περιόδου σε sec.

2.2.5 Χάρτες φασματικής μετατόπισης

Οι χάρτες επικινδυνότητας των φασμάτων μετακίνησης προέκυψαν από τα παραπάνω αναφερόμενα κριτήρια. Ένα τέτοιο παράδειγμα φαίνεται στο σχήμα 22, που απεικονίζει το D_{10} για εδαφικό τύπο A και περίοδο επαναφοράς 475 χρόνια.

Η σύγκριση του χάρτη των μέγιστων σεισμικών μεγεθών των SSZs και του χάρτη για το D_{10} απεικονίζει την ισχυρή επίδραση που έχουν οι μεγάλες περίοδοι των φασματικών μετακινήσεων στο μέγεθος του σεισμού.



Σχήμα 23. Χάρτης για το φάσμα μετατόπισης για κατηγορία εδάφους A, με περίοδο επαναφοράς 475 χρόνια και $T=10$ sec

Κεφάλαιο 3 – Διερεύνηση καταγραφών κοντινού πεδίου – Ο σεισμός του Northridge 1994

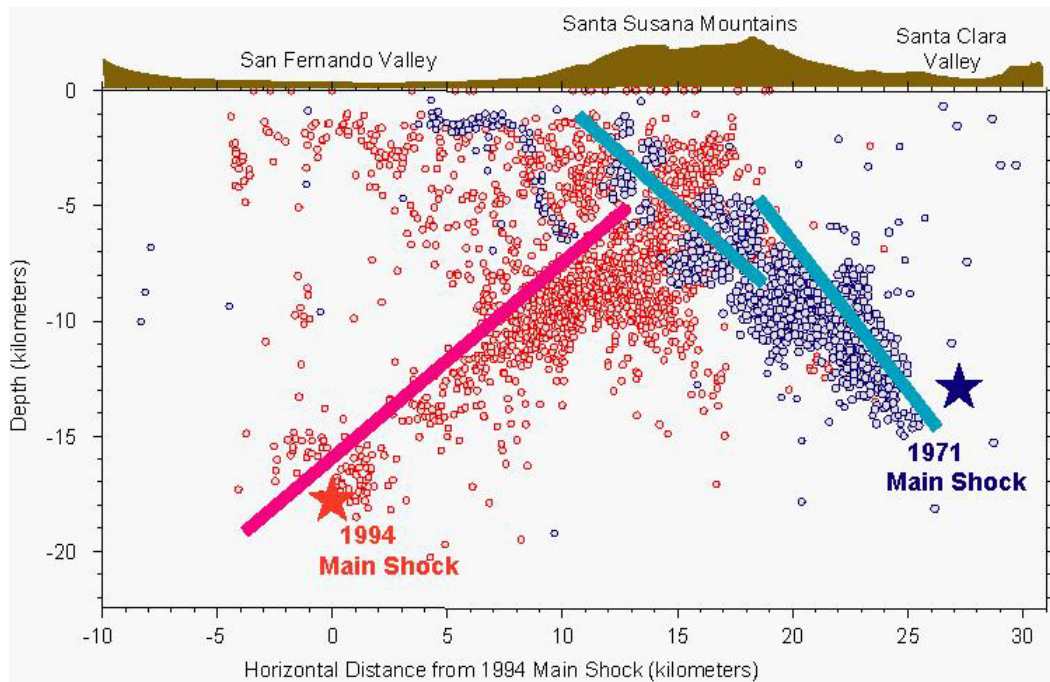
3.1 Χαρακτηριστικά της διάρρηξης του σεισμού του Northridge

Ο σεισμός της 17ης Ιανουαρίου του Northridge 1994, μεγέθους $M_w=6.7$ παρήγαγε τις μεγαλύτερες εδαφικές κινήσεις που έχουν καταγραφεί ποτέ σε αστική περιοχή και προκάλεσε τεράστια καταστροφή στις Ηνωμένες Πολιτείες, μετά από αυτή του San Francisco το 1906. Το μήκος του ρήγματος έφτανε τα 18km ενώ το κάτω μέρος του βρισκόταν σε βάθος περίπου 20 km με το πάνω μέρος να απέχει μόλις 5 km από την επιφάνεια του εδάφους. (Βλ. σχήμα 24) Ευτυχώς το μεγαλύτερο μέρος της σεισμικής ενέργειας κατευθύνθηκε κατά μήκος του επιπέδου του ρήγματος και προς αραιά κατοικημένες περιοχές βόρεια της κοιλάδας του San Fernando διαφορετικά το πλήγμα θα ήταν ακόμα μεγαλύτερο.

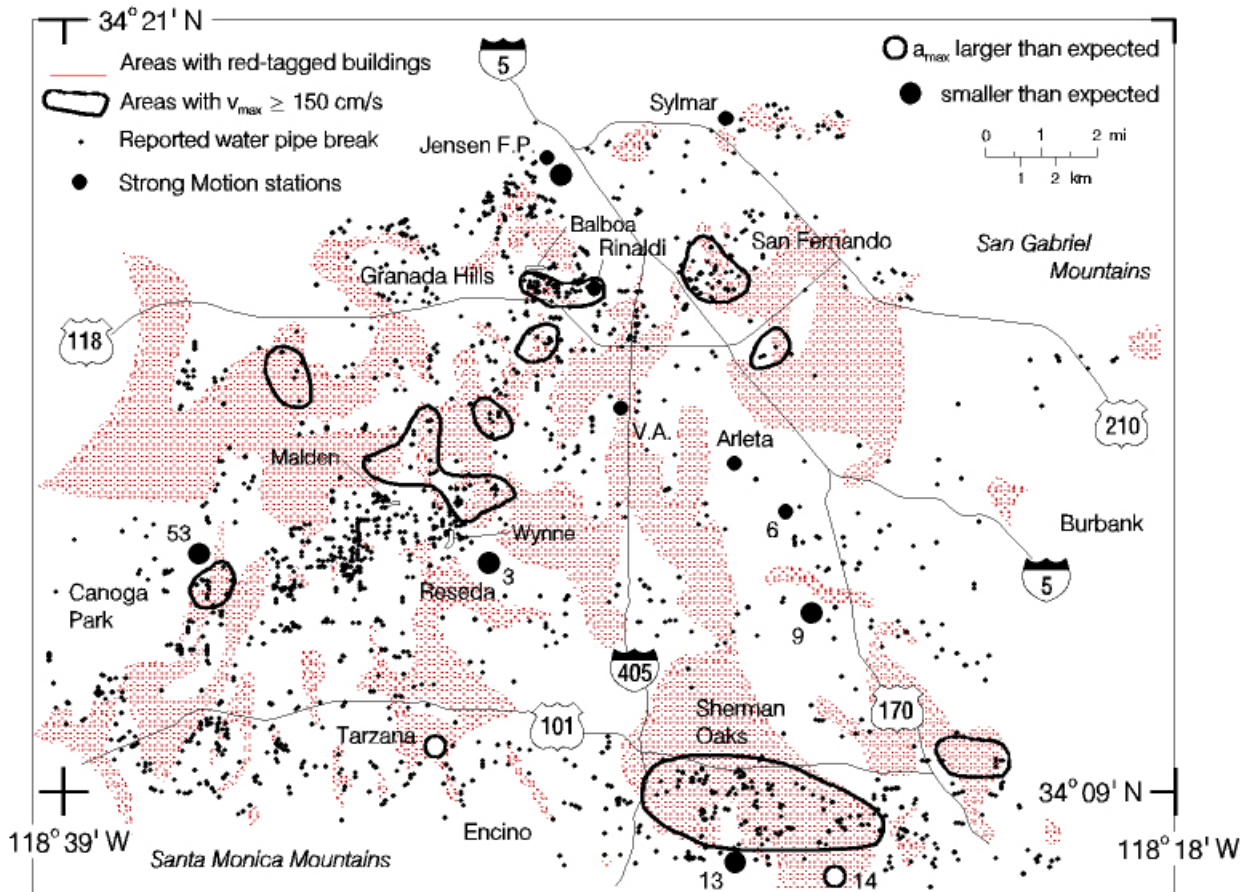
Αν και μεσαίου μεγέθους, ο σεισμός είχε τεράστια επίπτωση στους κατοίκους και στις κατασκευές, καθώς το επίκεντρό του ήταν ακριβώς κάτω από πυκνοκατοικημένη αστική περιοχή. Χιλιάδες κτίρια έπαθαν σημαντικές ζημιές και πάνω από 1600 κρίθηκαν ακατάλληλα. (Σχήμα 25) Οι κορυφαίες τιμές επιτάχυνσης και ταχύτητας, ήταν από τις μεγαλύτερες που έχουν καταγραφεί ποτέ και ο αριθμός των καταγραφών ισχυρής κίνησης είναι πρωτοφανής. Στα σχήματα 26 έως 32 βλέπουμε τις καταγραφές τεσσάρων σταθμών ισχυρής κίνησης (DWP, USC, CDMG, USGS) που δίνουν μια σαφή εικόνα των μεγίστων τιμών εδαφικής επιτάχυνσης, ταχύτητας και μετατόπισης. Στον Πίνακα 5 παρουσιάζονται οι θέσεις των καταγραφών του σταθμού USC (βλ. σχήμα 27) και οι αντίστοιχες τιμές των μεγίστων τιμών επιτάχυνσης, των συντεταγμένων και της απόστασης από το επίκεντρο.

Ο σεισμός συνέβη κάτω από την κοιλάδα του San Fernando σε ένα βαθύ ρήγμα επώθησης (ανάστροφο), που μπορεί να είναι μια ανατολική προέκταση του ρήγματος του Oak Ridge. Η διάρρηξη ξεκίνησε από ένα βάθος γύρω στα 17.5 km και ανέβηκε προς τα πάνω φτάνοντας σε βάθος 5km από την επιφάνεια του εδάφους. (Βλ. σχήμα 24) Για 8 sec περίπου η διάρρηξη προχώρησε προς τα πάνω και βορειοδυτικά κατά μήκος του επιπέδου του ρήγματος με ταχύτητα 3km/sec. Ωστόσο κάποια μέρη του ρήγματος υπέστησαν

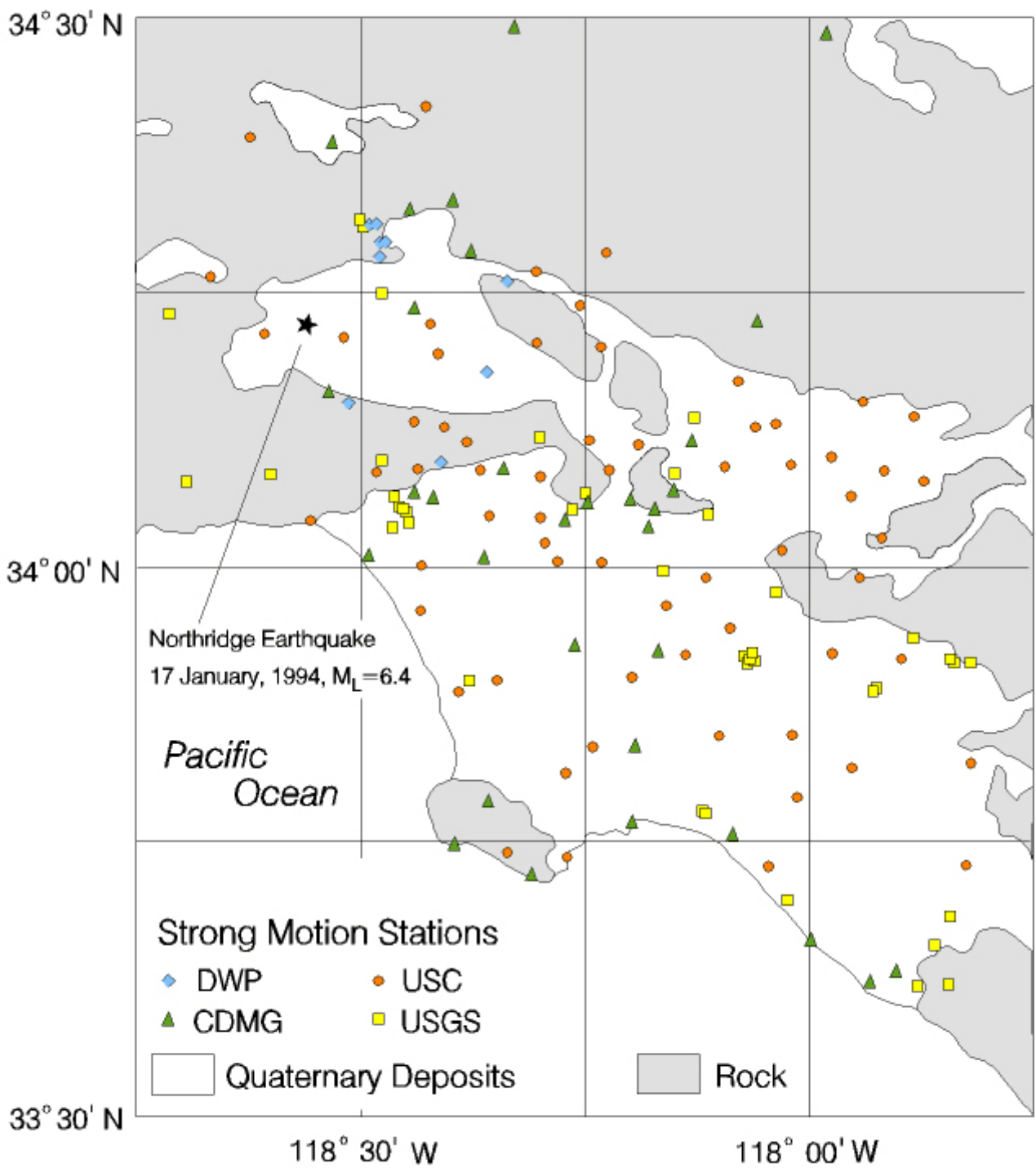
ελάχιστη ή και μηδενική ολίσθηση ενώ σε κάποια άλλα η ολίσθηση έφτασε τα 3m. Τα τμήματα στα οποία παρουσιάστηκαν οι μεγαλύτερες ολισθήσεις (σε 0-2, 2-3, 3-5 sec) ονομάζονται περιοχές τραχύτητας και αποτελούν την πηγή των παλμών κίνησης που έφτασαν στην επιφάνεια σε διαφορετικούς χρόνους. (Σχήμα 33, 34) Πρόκειται για μια σύνθετη διαδικασία με πληθώρα επιδράσεων.



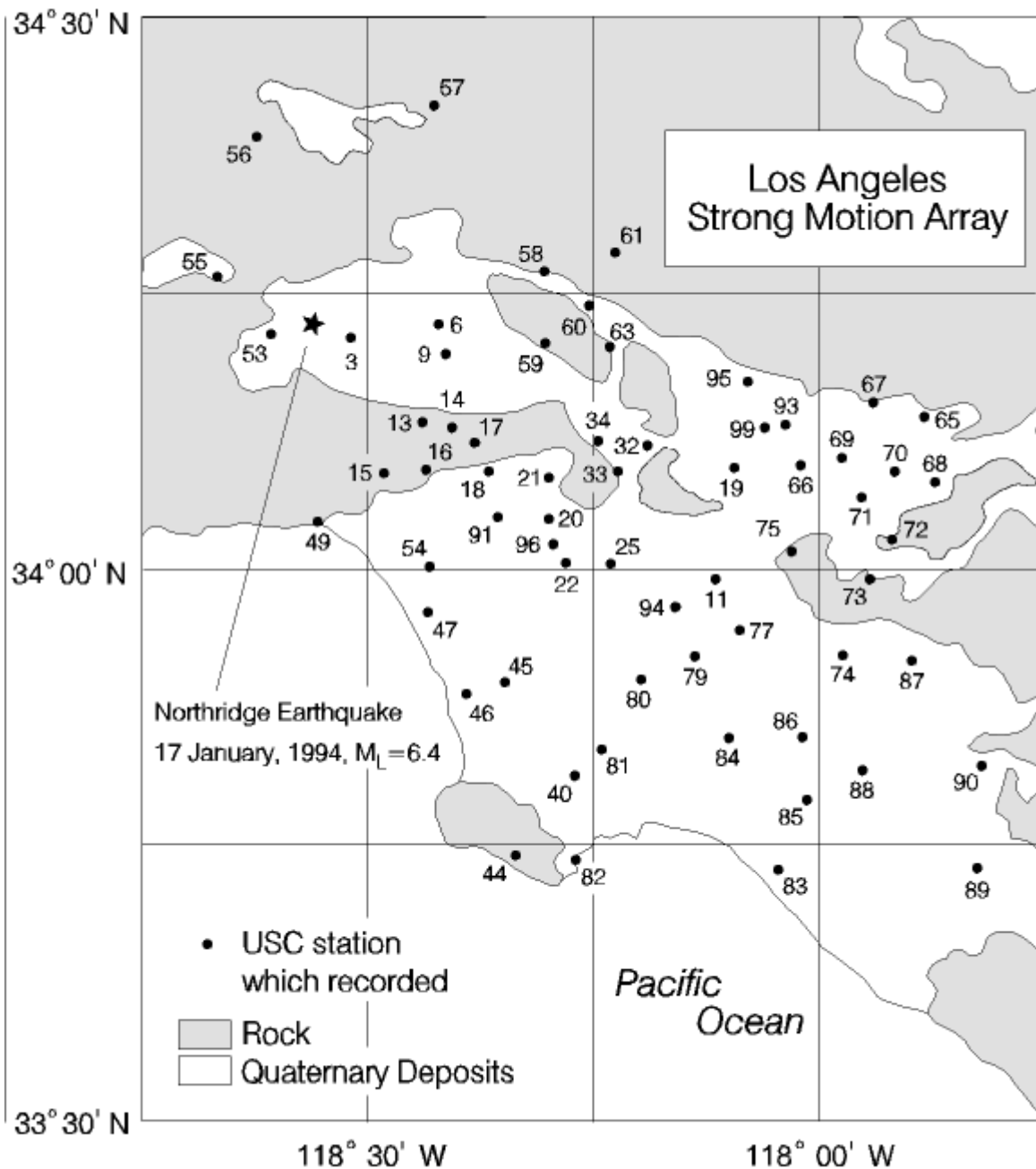
Σχήμα 24.



Σχήμα 25. Περιοχές με σοβαρά κατεστραμμένα κτίρια (red tagged) και μεγάλες τάσεις κοντά στην επιφάνεια του εδάφους στην κοιλάδα San Fernando. Τα περιγράμματα υποδεικνύουν ζώνες όπου η εδαφική ταχύτητα έφτασε ή ξεπέρασε τα 150cm/sec.



Σχήμα 26. Σταθμοί που αναφέρονται στα δεδομένα ισχυρής κίνησης του σεισμού του Northridge 1994



Σχήμα 27. Καταγραφές μέγιστων τιμών εδαφικής επιτάχυνσης του σταθμού USC που παρουσιάζονται στον Πίνακα 1

Πινάκας 5. Καταγραφές του σεισμού Northridge από τους σταθμούς USC

USC No.	City	Lat. deg.	Long. deg.	Epicen. distance km	Length sec	L-comp		V-comp		T-comp	
						Orientation deg.	a _{max} g	orientation deg.	a _{max} g	orientation deg.	a _{max} g
03	Northridge	34.209	-118.517	2.3	60.2	180	0.458	up	*0.800	90	0.349
06	Sun Valley	34.221	-118.421	10.8	30.3	90	0.447	up	0.351	0	0.274
09	North Hollywood	34.194	-118.412	11.9	21.9	270	0.255	up	0.298	180	0.306
11	Montebello	33.990	-118.114	46.2	21.9	296	0.130	up	0.080	206	0.180
13	Beverly Hills	34.132	-118.439	12.7	54.8	9	0.443	up	0.353	279	0.487
14	Beverly Hills	34.127	-118.405	15.5	24.0	125	0.450	up	0.324	35	0.628
15	Los Angeles	34.086	-118.481	15.2	31.1	160	0.190	up	0.161	70	0.215
16	Los Angeles	34.089	-118.435	16.7	34.7	90	0.265	up	0.192	0	0.287
17	Los Angeles	34.114	-118.380	18.2	30.0	185	0.156	up	0.111	95	0.101
18	Hollywood	34.088	-118.365	21.1	46.6	180	0.252	up	0.149	90	0.137
19	San Gabriel	34.091	-118.093	43.1	46.0	270	0.257	up	0.076	180	0.141
20	Los Angeles	34.045	-118.298	28.9	48.4	180	0.175	up	0.054	90	0.099
21	Los Angeles	34.082	-118.298	26.5	37.2	0	0.429	up	0.101	270	0.331
22	Los Angeles	34.005	-118.279	33.2	41.4	180	0.279	up	0.100	90	0.253
25	Los Angeles	34.004	-118.230	36.7	44.2	180	0.149	up	0.072	90	0.120
32	Los Angeles	34.111	-118.189	34.0	42.1	58	0.129	up	0.104	328	0.164
33	Los Angeles	34.088	-118.222	32.2	29.7	143	0.156	up	0.083	53	0.216
34	Los Angeles	34.115	-118.244	29.1	41.1	234	0.245	up	0.115	144	0.171
40	Los Angeles	33.812	-118.270	51.0	44.0	180	0.091	up	0.049	90	0.098
44	Rancho Palos Verdes	33.740	-118.335	55.8	42.7	95	0.124	up	0.073	5	0.156
45	Lowndale,	33.897	-118.346	39.4	48.9	182	0.148	up	0.054	92	0.080
46	Manhattan Beach	33.886	-118.389	38.9	50.7	90	0.124	up	0.082	0	0.155
47	Playa Del Rey	33.960	-118.432	29.7	48.6	0	0.144	up	0.055	270	0.071
49	Pacific Palisades	34.042	-118.554	19.2	44.2	280	0.196	up	0.166	190	0.472
**51	Malibu	34.024	-118.787	31.3	5.8	150	0.058	up	0.056	60	0.046
51	Malibu	34.024	-118.787	31.3	11.4	150	0.120	up	0.088	60	0.123
51	Malibu	34.024	-118.787	31.3	25.9	150	0.020	up	0.013	60	0.026
53	Canoga Park	34.212	-118.606	6.4	55.6	196	0.395	up	0.526	106	0.356
54	Los Angeles	34.001	-118.431	25.6	44.0	245	0.322	up	0.105	155	0.447
55	Simi Valley	34.264	-118.666	13.3	38.5	90	0.531	up	0.418	0	0.904
56	Newhall	34.391	-118.622	21.3	56.1	46	0.420	up	0.293	316	0.358
57	Canyon Country	34.419	-118.426	25.1	31.0	0	0.406	up	0.310	270	0.472
58	Sunland	34.269	-118.303	22.4	49.0	260	0.158	up	0.193	170	0.134
59	Burbank	34.204	-118.302	21.6	37.4	60	0.114	up	0.088	330	0.160
60	La Crescenta	34.238	-118.254	26.2	40.7	180	0.153	up	0.112	90	0.222
61	Angeles National Forest	34.286	-118.225	29.8	37.7	352	0.254	up	0.196	262	0.172
63	Glendale	34.200	-118.231	28.2	37.7	267	0.207	up	0.139	177	0.380
65	Glendora	34.137	-117.882	60.8	38.4	170	0.094	up	0.048	80	0.047

Πίνακας 5. (συνέχεια)

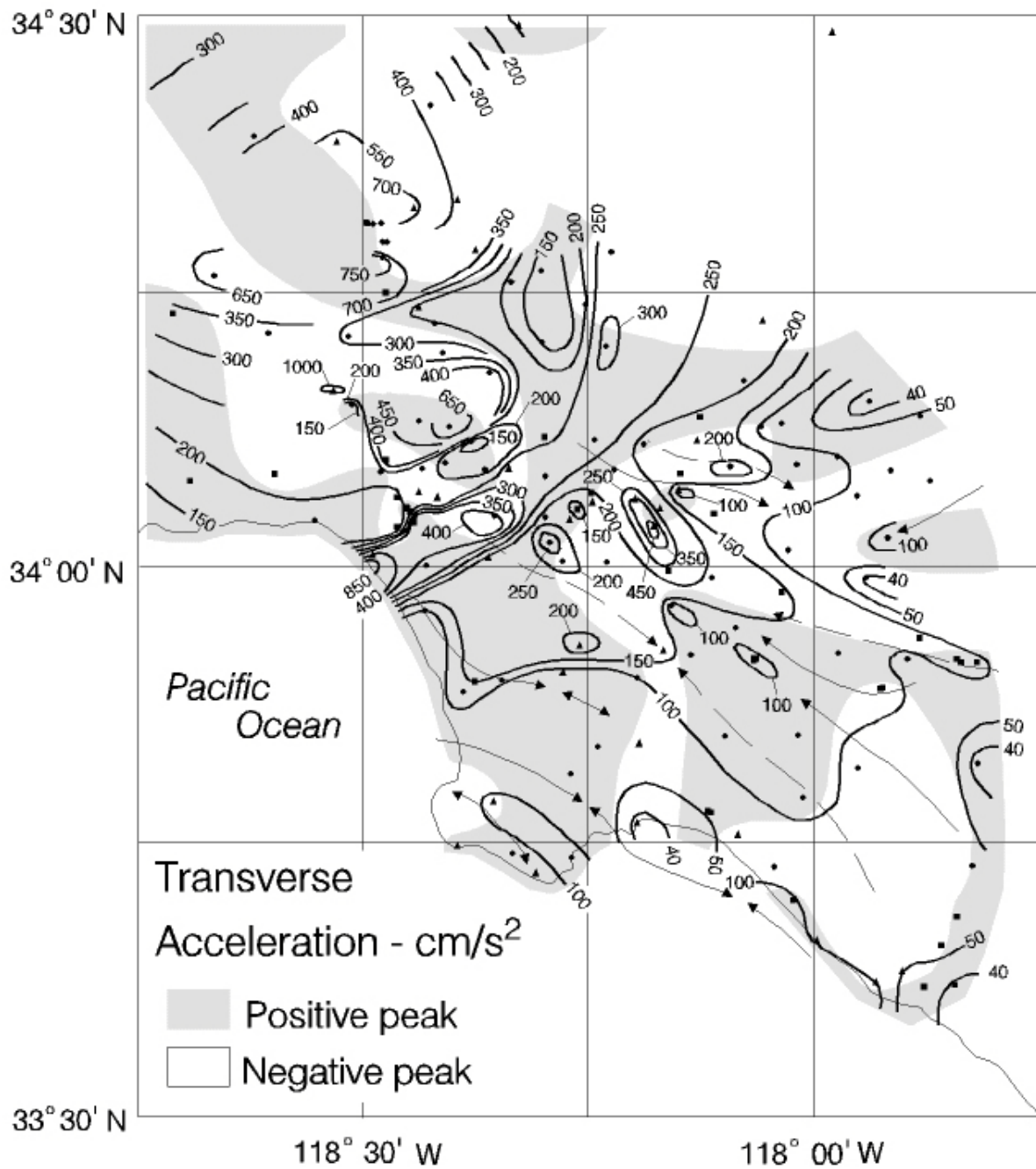
USC No.	City	Lat. deg.	Long. deg.	Epicen. distanc km	Length sec	L-comp		V-comp		T-comp	
						orientation deg.	a _{max}	orientatio n	a _{max}	orientation	a _{max}
66	El Monte	34.093	-118.019	49.6	39.0	185	0.159	up	0.062	95	0.125
67	Duarte	34.150	-117.939	55.4	36.1	180	0.031	up	0.049	90	0.080
68	Covina	34.078	-117.871	63.1	47.8	74	0.074	up	0.058	344	0.068
69	Baldwin Park	34.100	-117.974	53.3	34.9	270	0.136	up	0.046	180	0.097
70	Covina	34.087	-117.915	58.9	44.5	0	0.104	up	0.046	270	0.083
71	West Covina	34.064	-117.952	56.3	36.5	315	0.068	up	0.050	225	0.065
72	504 La Puente	34.026	-117.918	60.7	45.3	105	0.116	up	0.050	15	0.096
73	16750 Hacienda Heights	33.990	-117.942	60.1	51.0	230	0.046	up	0.040	140	0.076
74	La Habra	33.921	-117.973	61.3	40.9	90	0.209	up	0.059	0	0.108
75	Whittier	34.015	-118.029	51.7	33.4	90	0.044	up	0.025	0	0.075
77	Santa Fe Springs	33.944	-118.087	51.1	48.2	120	0.134	up	0.049	30	0.133
78	Compton	33.899	-118.196	47.0	40.0	0	0.092	up	0.045	270	0.125
79	Downey	33.920	-118.137	49.2	42.0	180	0.162	up	0.062	90	0.142
81	Carson	33.836	-118.240	50.1	48.6	270	0.089	up	0.046	180	0.091
82	Terminal Island	33.736	-118.269	58.6	39.9	330	0.188	up	0.051	240	0.148
83	Huntington Beach	33.727	-118.044	70.6	36.9	290	0.076	up	0.020	200	0.090
84	Lakewood	33.846	-118.099	57.5	35.4	90	0.126	up	0.076	0	0.134
85	Garden Grove	33.790	-118.012	67.5	37.6	0	0.107	up	-	270	0.104
86	Buena Park	33.847	-118.018	62.9	40.6	180	0.094	up	0.032	90	0.150
87	Brea	33.916	-117.896	67.6	46.7	20	0.098	up	0.039	290	0.103
88	Anaheim	33.817	-117.951	69.7	42.1	90	0.067	up	0.045	0	0.075
89	Tustin	33.728	-117.824	85.0	44.1	225	0.071	up	0.026	135	0.068
90	Villa Park	33.821	-117.818	79.3	39.3	0	0.039	up	0.026	270	0.045
91	Los Angeles	34.046	-118.355	25.0	31.6	110	0.431	up	0.108	20	0.471
93	Arcadia	34.130	-118.036	47.0	45.1	9	0.092	up	0.060	279	0.119
94	Bell Gardens	33.965	-118.158	44.5	42.7	310	0.065	up	0.050	220	0.100
95	Pasadena	34.169	-118.078	42.5	19.9	270	0.188	up	0.152	180	0.261
96	Los Angeles	34.022	-118.293	31.0	37.5	90	0.246	up	0.065	0	0.139
99	Arcadia	34.127	-118.059	45.0	47.7	262	0.094	up	0.093	172	0.092

1

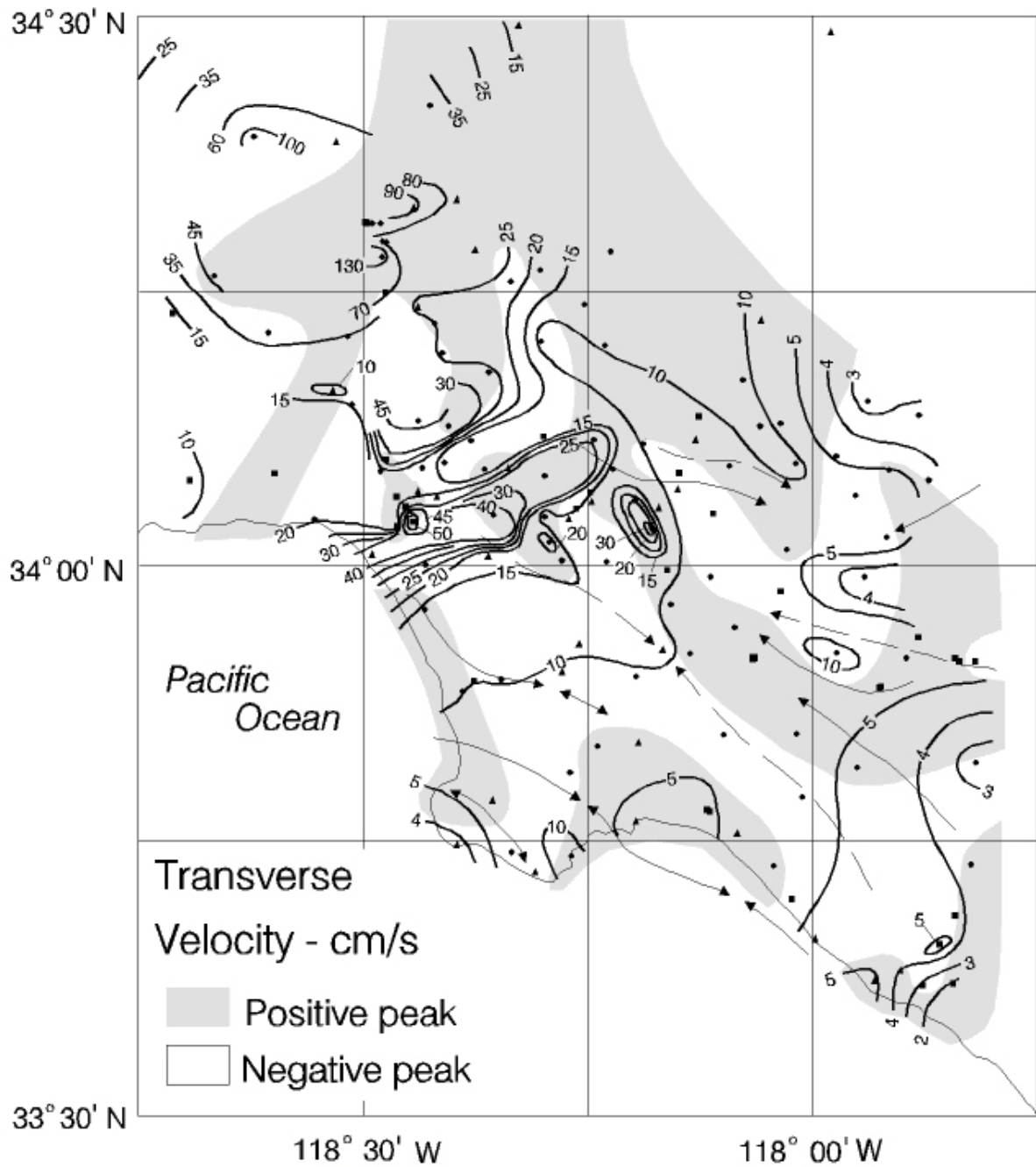
¹ Note: The Component orientation for the L and T components is in degrees clockwise from North

* The listed a_{max} value is for corrected acceleration

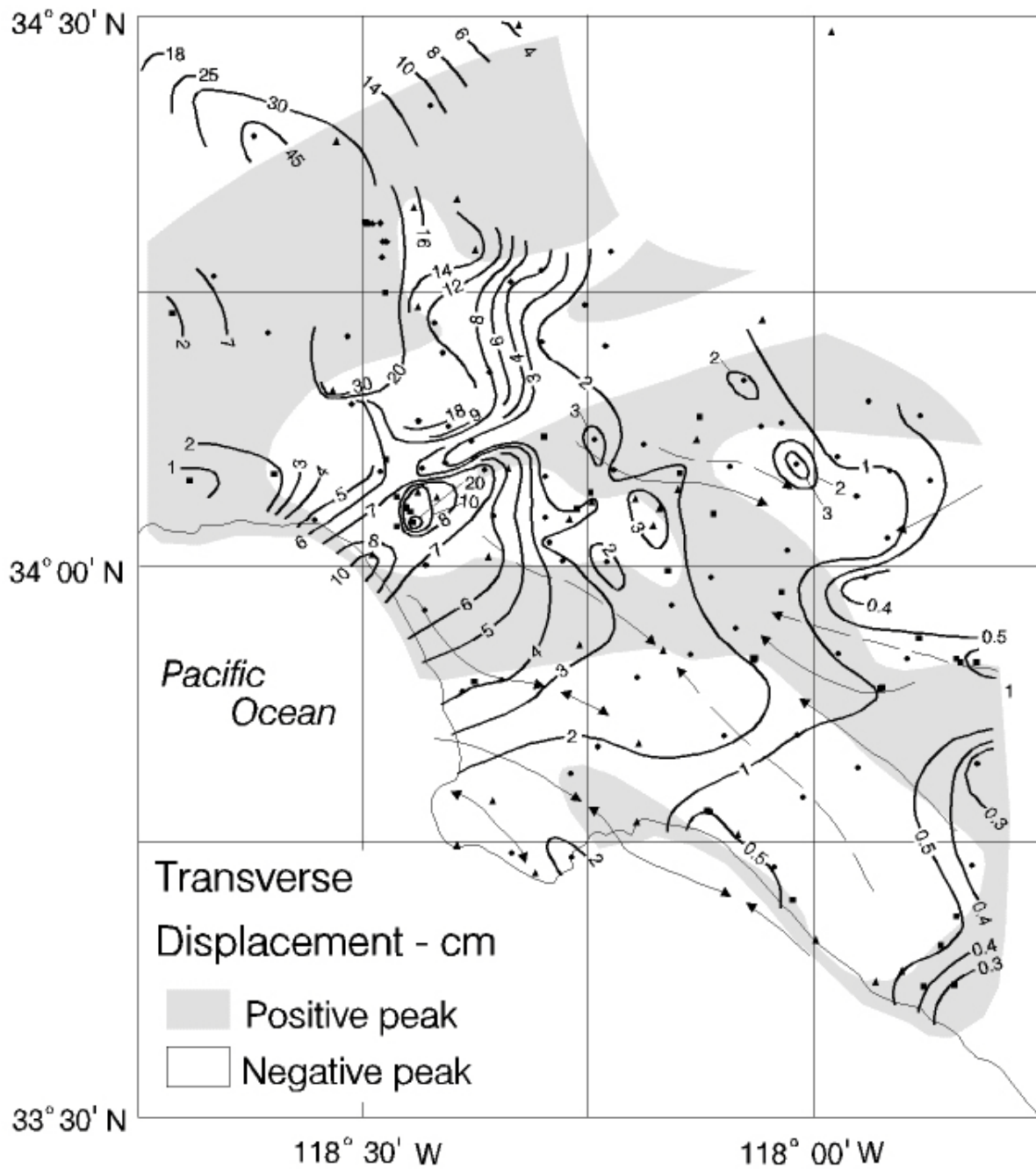
*** Station USC 51 recorded three segments of motion



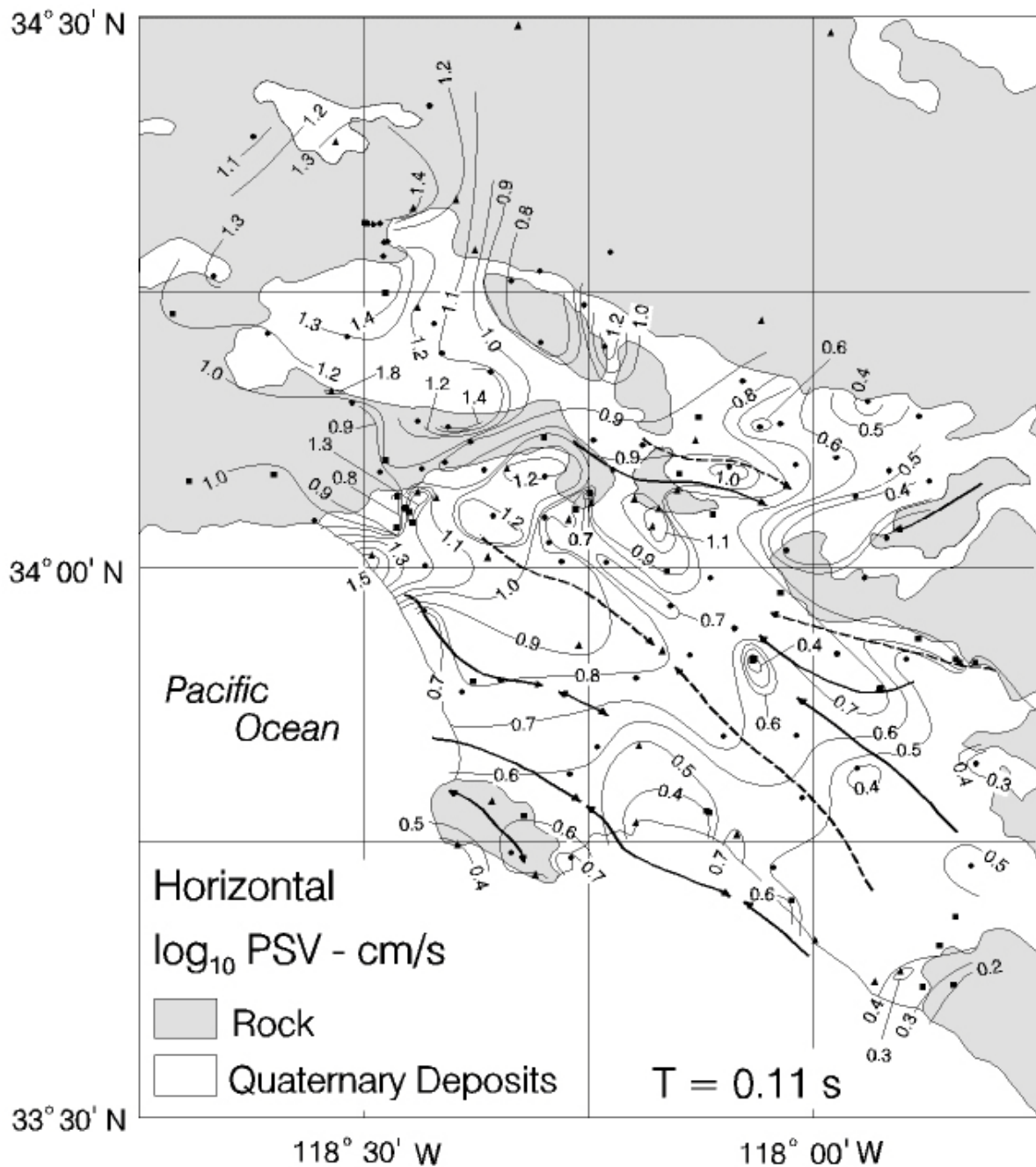
Σχήμα 28. Ισοϋψείς καμπύλες του πλάτους των μέγιστων διορθωμένων τιμών εδαφικής επιτάχυνσης σε cm/sec^2 της εγκάρσιας συνιστώσας της κίνησης. Οι γραμμοσκιασμένες περιοχές υποδεικνύουν ότι οι μέγιστες τιμές έχουν θετική ένδειξη.



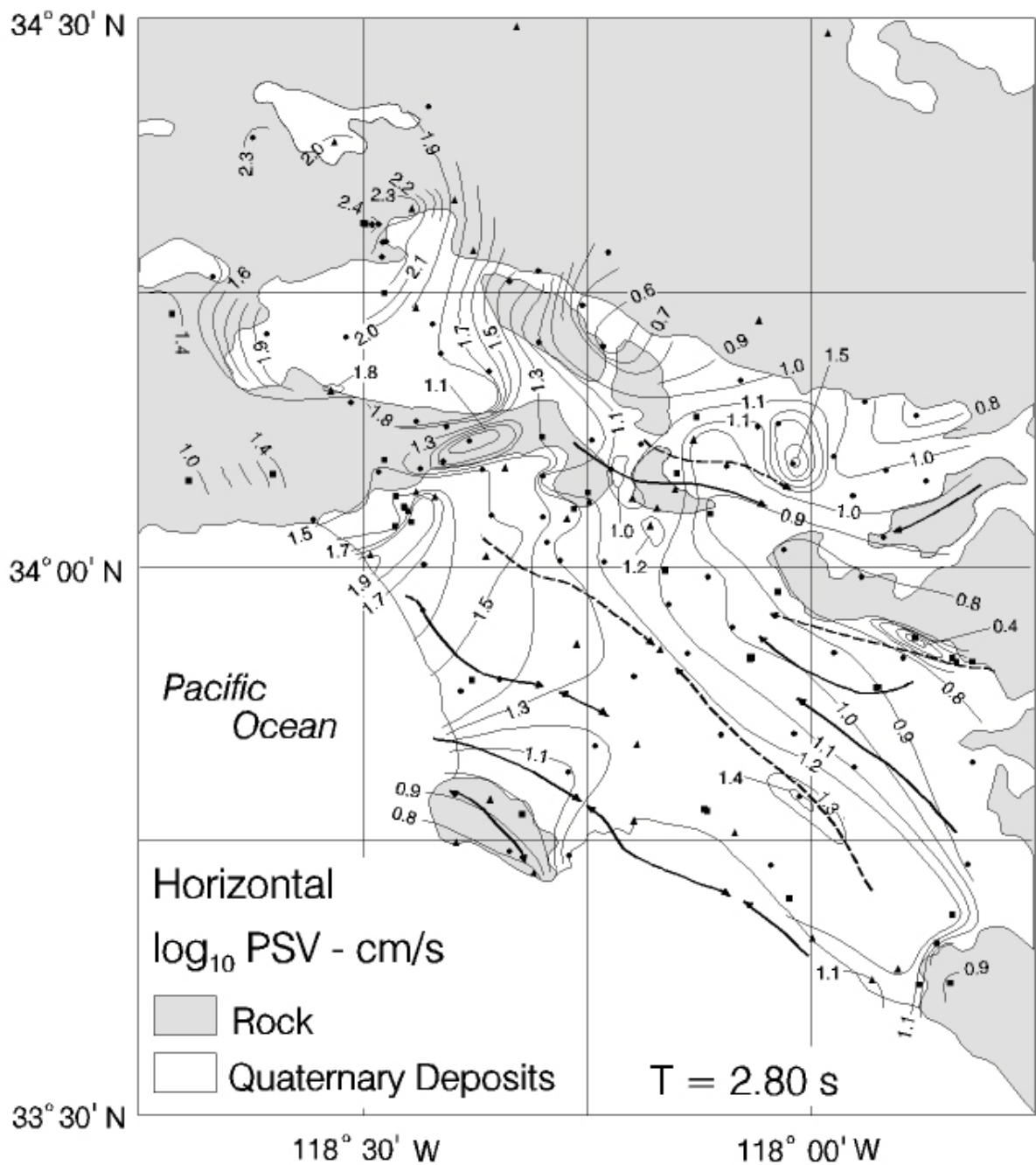
Σχήμα 29. Ισοϋψείς καμπύλες του πλάτους των μέγιστων διορθωμένων τιμών εδαφικής ταχύτητας σε cm/sec της εγκάρσιας συνιστώσας της κίνησης. Οι γραμμοσκιασμένες περιοχές υποδεικνύουν ότι οι μέγιστες τιμές έχουν θετική ένδειξη.



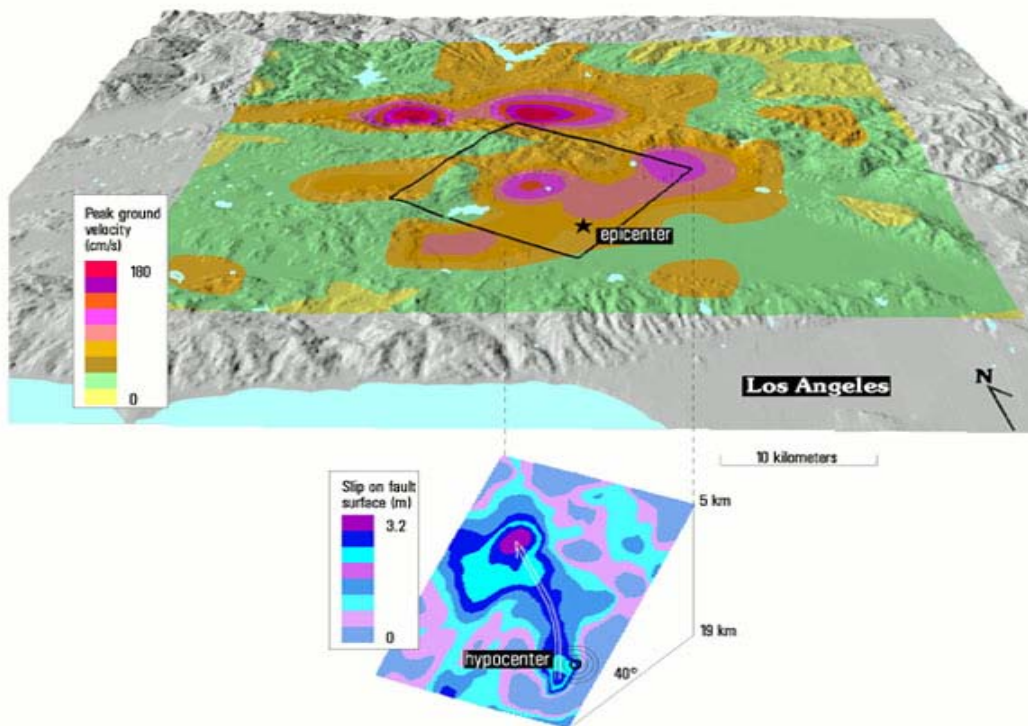
Σχήμα 30. Ισοΰψείς καμπύλες του πλάτους των μέγιστων διορθωμένων τιμών εδαφικής μετατόπισης σε cm της εγκάρσιας συνιστώσας της κίνησης. Οι γραμμοσκιασμένες περιοχές υποδεικνύουν ότι οι μέγιστες τιμές έχουν θετική ένδειξη.



Σχήμα 31. Ισοϋψείς του εύρους των ελαστικών φασμάτων ταχύτητας PSV της οριζόντιας κίνησης (τιμές των δύο οριζόντιων συνιστωσών) για περίοδο $T=0.11$ sec. Υποδεικνύουν τιμές \log_{10} PSV σε cm/sec. Με κύκλους παρουσιάζονται οι σταθμοί ισχυρής κίνησης USC, με τετράγωνα οι σταθμοί USGS, με τρίγωνα οι σταθμοί CDMG και με σχήμα διαμαντιού οι σταθμοί DWP.



Σχήμα 32. Ισοϋψείς του εύρους των ελαστικών φασμάτων ταχύτητας PSV της οριζόντιας κίνησης (τιμές των δύο οριζόντιων συνιστωσών) για περίοδο $T=2.80$ sec. Υποδεικνύουν τιμές \log_{10} PSV σε cm/sec. Με κύκλους παρουσιάζονται οι σταθμοί ισχυρής κίνησης USC, με τετράγωνα οι σταθμοί USGS, με τρίγωνα οι σταθμοί CDMG και με σχήμα διαμαντιού οι σταθμοί DWP.



Σχήμα 33, 34.

3.2. Η ιστορία ολίσθησης του Northridge 1994 καθορισμένη από συνδυασμό δεδομένων Ισχυρής-Κίνησης, Τηλεσεισμικών, GPS.

Το μοντέλο της διάρρηξης του σεισμού Northridge, καθορίζεται από την κοινή αντιμετάθεση των καταγραφών των ισχυρών εδαφικών κινήσεων κοντινής πηγής, των P και SH τηλεσεισμικών κυμάτων και των διανυσμάτων μετατόπισης του συστήματος παγκόσμιας πλοήγησης (GPS). Η διάρρηξη έχει καθοριστεί ότι συνέβη στις 122° και σε βάθος 40° νότια προς νοτιοδυτικά. Το μέσο διάνυσμα κλίσης είναι 101° , και η μέση ολίσθηση είναι 1.3m με τη μέγιστη ολίσθηση να φτάνει περίπου τα 3m. Η εκτίμηση για τη σεισμική ροπή είναι $1.3 \pm 0.2 \times 10^{26}$ dyne-cm. (δύναμη των 0.4 km^3). Η περιοχή της διάρρηξης είναι μικρή σχετικά με τις συνολικές διαστάσεις των μετασεισμών και είναι περίπου 15 km κατά μήκος της διάρρηξης, σχεδόν 20 km στην κατακόρυφη κατεύθυνση (βύθισης), και δεν υπάρχει καμία ένδειξη ολίσθησης πιο ρηχής από 5 έως 6 km περίπου. Στα επάνω ως προς τα κάτω στρώματα κυματομορφών της ταχύτητας ισχυρής κίνησης κυριαρχούν μεγάλοι παλμοί S- εγκάρσιων κυμάτων που αποδίδονται στην κατευθυντικότητα της πηγής και αποτελούνται από τουλάχιστον 2 έως 3 διακριτές αφίξεις, διαφοράς μερικών δευτερολέπτων. Οι σταθμοί στα νότια αζιμούθια δείχνουν δύο κύριες αφίξεις S- εγκάρσιων κυμάτων που διαχωρίζονται από περισσότερο χρόνο (περίπου 4 με 5 sec).

Αυτές οι παρατηρήσεις διαμορφώνονται καλύτερα με μια σύνθετη διανομή επιμέρους γεγονότων: Η αρχική άφιξη του S-κύματος προέρχεται από μια τραχύτητα που αρχίζει στο επίκεντρο και επεκτείνεται προς τα από πάνω και προς το Βορρά όπου ένα δεύτερο, μεγαλύτερο γεγονός επικεντρώνεται περίπου 12 km μακριά. Οι δευτερεύουσες αφίξεις των S-κυμάτων στα νότια αζιμούθια ταιριάζουν καλύτερα με την πρόσθετη έκλυση ενέργειας από μια άλλη περιοχή ολίσθησης σε βάθος 19 km, 8 km δυτικά του επίκεντρου. Η τελική ενέργεια του κάθε συνόλου δεδομένων εξετάζεται με την πρόβλεψη των γεωδαιτικών (GPS) μετατοπίσεων με το μοντέλο που καθορίζεται από τα στοιχεία των κυματομορφών, και αντίστροφα, και επίσης αναλύοντας πόσο καλά προβλέπει η τηλεσεισμική λύση τις καταγεγραμμένες ισχυρές κινήσεις.

Τα γενικά χαρακτηριστικά των γεωδαιτικών μετατοπίσεων δεν προβλέπονται καλά από το μοντέλο που καθορίζεται ανεξάρτητα των στοιχείων ισχυρής κίνησης και επιπλέον, το μοντέλο ολίσθησης που καθορίζεται από τα γεωδαιτικά δεδομένα δεν αναπαράγει επαρκώς τα χαρακτηριστικά της ισχυρής κίνησης. Ενώ ένα συγκεκριμένο ομαλό πρότυπο

ολίσθησης είναι επαρκές για να ικανοποιήσει τα γεωδαιτικά δεδομένα, η ισχυρή-κίνηση και τα τηλεσεισμικά δεδομένα απαιτούν μια πιο ετερογενή διανομή της ολίσθησης προκειμένου να αναπαραχθούν τα πλάτη των ταχυτήτων και το συχνοτικό περιεχόμενο. Αν και το τηλεσεισμικό μοντέλο μπορεί να αναπαραγάγει επαρκώς το συνολικό πλάτος και το συχνοτικό περιεχόμενο των καταγραφών των ταχυτήτων ισχυρής-κίνησης, δεν μπορεί να προβλέψει καλά τα γεωδαιτικά δεδομένα. Συνεπώς, μια εύρωστη αναπαράσταση της ιστορίας ολίσθησης και ετερογένειας απαιτεί μια συνδυασμένη ανάλυση αυτών των συνόλων δεδομένων.

3.3 Επιλογή και παρουσίαση του δείγματος καταγραφών για το σεισμό του Northridge.

Οι αναλύσεις που έγιναν στην παρούσα εργασία προήλθαν από 150 καταγραφές κοντινού πεδίου του σεισμού του Northridge 1994. Οι καταγραφές αυτές αναφέρονται στις ενδείξεις τεσσάρων σταθμών ισχυρής κίνησης (USC, USGS, CDMG, DWP) και επιλέχθηκαν από τη διεθνή ηλεκτρονική βάση δεδομένων <http://peer.berkeley.edu/smcat/search.html> με βάση τα ακόλουθα κριτήρια:

- η απόσταση των θέσεων καταγραφής από την διάρρηξη να κυμαίνεται μεταξύ των 20-60 km, έτσι ώστε οι καταγραφές να αναφέρονται στην ζώνη κοντινού πεδίου. Το έδαφος που αντιπροσωπεύεται από τις καταγραφές είναι κατά το μεγαλύτερο τμήμα τεταρτογενείς αποθέσεις και κατά ένα τμήμα βράχος.
- οι καταγραφές επιλέχθηκαν από θέσεις με διαφορετική γωνία ως προς τη διάρρηξη έτσι ώστε να καλυφθούν περιπτώσεις τόσο πρόσω όσο και όπισθεν κατευθυντικότητας.
- Αν και οι καταγραφές ήταν διορθωμένες, έγινε ουσιαστικός έλεγχος ώστε να μην υπάρχουν λάθη στις μεγάλες περιόδους.

Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζεται ο κατάλογος με τις 150 καταγραφές από το σεισμό του Northridge όπως επιλέχθηκαν από την παγκόσμια βάση δεδομένων, ο οποίος περιέχει τρεις καταγραφές για κάθε θέση (των δύο οριζόντιων συνιστωσών και της κατακόρυφης), τον σταθμό στον οποίο ανήκουν και τις μέγιστες τιμές εδαφικής επιτάχυνσης, ταχύτητας και μετατόπισης.

Πίνακας 6. Κατάλογος Καταγραφών Northridge 1994

Record ID	Earthquake	Station	Data Source	Record/Component	HP (Hz)	LP (Hz)	PGA (g)	PGV (cm/s)	PGD (cm)
P0883	Northridge 1994/01/17 12:31	24278 Castaic - Old Ridge Route	CDMG	NORTHR/ORR-UP	0.12	23.0	0.217	12.4	1.94
P0883	Northridge 1994/01/17 12:31	24278 Castaic - Old Ridge Route	CDMG	NORTHR/ORR360	0.12	23.0	0.514	52.2	15.5
P0883	Northridge 1994/01/17 12:31	24278 Castaic - Old Ridge Route	CDMG	NORTHR/ORR090	0.12	23.0	0.568	52.1	9.11
P0884	Northridge 1994/01/17 12:31	24303 LA - Hollywood Stor FF	CDMG	NORTHR/HOL-UP	0.2	23.0	0.139	9.2	2.3
P0884	Northridge 1994/01/17 12:31	24303 LA - Hollywood Stor FF	CDMG	NORTHR/HOL090	0.2	23.0	0.231	18.3	4.81
P0884	Northridge 1994/01/17 12:31	24303 LA - Hollywood Stor FF	CDMG	NORTHR/HOL360	0.2	23.0	0.358	27.5	3.04
P0885	Northridge 1994/01/17 12:31	127 Lake Hughes #9	USGS	NORTHR/L09-UP	0.08	null	0.079	3.6	3.56
P0885	Northridge 1994/01/17 12:31	127 Lake Hughes #9	USGS	NORTHR/L09000	0.08	null	0.165	8.4	4.54
P0885	Northridge 1994/01/17 12:31	127 Lake Hughes #9	USGS	NORTHR/L09090	0.08	null	0.217	10.1	2.77
P0886	Northridge 1994/01/17 12:31	90088 Anaheim - W Ball Rd	USC	NORTHR/WBA090	0.23	30.0	0.066	5.1	1.53

P0886	Northridge 1994/01/17 12:31	90088 Anaheim - W Ball Rd	USC	NORTHR/WBA000	0.23	30.0	0.072	5.2	1.0
P0886	Northridge 1994/01/17 12:31	90088 Anaheim - W Ball Rd	USC	NORTHR/WBA-UP	1.0	30.0	0.048	1.5	0.11
P0887	Northridge 1994/01/17 12:31	24087 Arleta - Nordhoff Fire Sta	CDMG	NORTHR/ARL360	0.12	23.0	0.308	23.2	10.75
P0887	Northridge 1994/01/17 12:31	24087 Arleta - Nordhoff Fire Sta	CDMG	NORTHR/ARL090	0.12	23.0	0.344	40.6	15.04
P0887	Northridge 1994/01/17 12:31	24087 Arleta - Nordhoff Fire Sta	CDMG	NORTHR/ARL-UP	0.12	23.0	0.552	18.4	8.83
P0888	Northridge 1994/01/17 12:31	90094 Bell Gardens - Jaboneria	USC	NORTHR/JAB-UP	0.13	30.0	0.049	3.5	1.88
P0888	Northridge 1994/01/17 12:31	90094 Bell Gardens - Jaboneria	USC	NORTHR/JAB310	0.13	30.0	0.068	7.6	2.46
P0888	Northridge 1994/01/17 12:31	90094 Bell Gardens - Jaboneria	USC	NORTHR/JAB220	0.13	30.0	0.098	7.4	3.5
P0889	Northridge 1994/01/17 12:31	90014 Beverly Hills - 12520 Mulhol	USC	NORTHR/MU2125	0.03	30.0	0.444	30.2	4.84
P0889	Northridge 1994/01/17 12:31	90014 Beverly Hills - 12520 Mulhol	USC	NORTHR/MU2035	0.13	30.0	0.617	40.8	8.57
P0889	Northridge 1994/01/17 12:31	90014 Beverly Hills - 12520 Mulhol	USC	NORTHR/MU2-UP	0.3	30.0	0.314	14.1	1.31
P0890	Northridge 1994/01/17 12:31	90013 Beverly Hills - 14145 Mulhol	USC	NORTHR/MUL009	0.13	30.0	0.416	59.0	13.14

P0890	Northridge 1994/01/17 12:31	90013 Beverly Hills - 14145 Mulhol	USC	NORTHR/MUL279	0.2	30.0	0.516	62.8	11.08
P0890	Northridge 1994/01/17 12:31	90013 Beverly Hills - 14145 Mulhol	USC	NORTHR/MUL-UP	0.4	30.0	0.326	16.9	2.56
P0891	Northridge 1994/01/17 12:31	90061 Big Tujunga, Angeles Nat F	USC	NORTHR/TUJ262	0.3	30.0	0.163	8.1	0.83
P0891	Northridge 1994/01/17 12:31	90061 Big Tujunga, Angeles Nat F	USC	NORTHR/TUJ-UP	0.3	30.0	0.172	3.8	0.56
P0891	Northridge 1994/01/17 12:31	90061 Big Tujunga, Angeles Nat F	USC	NORTHR/TUJ352	0.3	30.0	0.245	12.7	1.12
P0892	Northridge 1994/01/17 12:31	90053 Canoga Park - Topanga Can	USC	NORTHR/CNP106	0.05	30.0	0.356	32.1	9.13
P0892	Northridge 1994/01/17 12:31	90053 Canoga Park - Topanga Can	USC	NORTHR/CNP196	0.05	30.0	0.42	60.8	20.17
P0892	Northridge 1994/01/17 12:31	90053 Canoga Park - Topanga Can	USC	NORTHR/CNP-UP	0.1	30.0	0.489	14.2	5.5
P0893	Northridge 1994/01/17 12:31	90057 Canyon Country - W Lost Cany	USC	NORTHR/LOS000	0.05	30.0	0.41	43.0	11.75
P0893	Northridge 1994/01/17 12:31	90057 Canyon Country - W Lost Cany	USC	NORTHR/LOS270	0.1	30.0	0.482	45.1	12.58
P0893	Northridge 1994/01/17 12:31	90057 Canyon Country - W Lost Cany	USC	NORTHR/LOS-UP	0.2	30.0	0.318	20.3	5.17
P0894	Northridge 1994/01/17 12:31	90040 Carson - Catskill Ave	USC	NORTHR/CAT090	0.2	30.0	0.087	8.0	1.5

P0894	Northridge 1994/01/17 12:31	90040 Carson - Catskill Ave	USC	NORTHR/CAT180	0.3	30.0	0.083	4.8	1.05
P0894	Northridge 1994/01/17 12:31	90040 Carson - Catskill Ave	USC	NORTHR/CAT-UP	0.4	30.0	0.05	2.9	0.33
P0895	Northridge 1994/01/17 12:31	90078 Compton - Castlegate St	USC	NORTHR/CAS000	0.1	30.0	0.088	6.8	3.41
P0895	Northridge 1994/01/17 12:31	90078 Compton - Castlegate St	USC	NORTHR/CAS270	0.2	30.0	0.136	7.1	2.15
P0895	Northridge 1994/01/17 12:31	90078 Compton - Castlegate St	USC	NORTHR/CAS-UP	0.4	30.0	0.046	2.6	0.42
P0896	Northridge 1994/01/17 12:31	90079 Downey - Birchdale	USC	NORTHR/BIR-UP	0.3	30.0	0.058	3.4	0.64
P0896	Northridge 1994/01/17 12:31	90079 Downey - Birchdale	USC	NORTHR/BIR090	0.3	30.0	0.165	12.1	1.52
P0896	Northridge 1994/01/17 12:31	90079 Downey - Birchdale	USC	NORTHR/BIR180	0.3	30.0	0.171	8.1	1.52
P0897	Northridge 1994/01/17 12:31	14368 Downey - Co Maint Bldg	CDMG	NORTHR/DWN-UP	0.2	23.0	0.146	3.9	0.27
P0897	Northridge 1994/01/17 12:31	14368 Downey - Co Maint Bldg	CDMG	NORTHR/DWN090	0.2	23.0	0.158	13.8	2.28
P0897	Northridge 1994/01/17 12:31	14368 Downey - Co Maint Bldg	CDMG	NORTHR/DWN360	0.2	23.0	0.23	11.3	2.14
P0898	Northridge 1994/01/17 12:31	90066 El Monte - Fairview Av	USC	NORTHR/FAI095	0.15	30.0	0.122	9.7	4.24

P0898	Northridge 1994/01/17 12:31	90066 El Monte - Fairview Av	USC	NORTHR/FAI-UP	0.2	30.0	0.059	2.8	1.36
P0898	Northridge 1994/01/17 12:31	90066 El Monte - Fairview Av	USC	NORTHR/FAI185	0.3	30.0	0.163	8.8	1.88
P0899	Northridge 1994/01/17 12:31	90063 Glendale - Las Palmas	USC	NORTHR/GLP267	0.1	30.0	0.206	7.4	1.75
P0899	Northridge 1994/01/17 12:31	90063 Glendale - Las Palmas	USC	NORTHR/GLP177	0.13	30.0	0.357	12.3	1.94
P0899	Northridge 1994/01/17 12:31	90063 Glendale - Las Palmas	USC	NORTHR/GLP-UP	0.3	30.0	0.127	4.3	0.44
P0900	Northridge 1994/01/17 12:31	13197 Huntington Beach - Lake St	CDMG	NORTHR/HNT-UP	0.2	23.0	0.018	4.0	0.89
P0900	Northridge 1994/01/17 12:31	13197 Huntington Beach - Lake St	CDMG	NORTHR/HNT090	0.2	23.0	0.07	5.9	1.49
P0900	Northridge 1994/01/17 12:31	13197 Huntington Beach - Lake St	CDMG	NORTHR/HNT000	0.2	23.0	0.091	5.5	1.13
P0901	Northridge 1994/01/17 12:31	14196 Inglewood - Union Oil	CDMG	NORTHR/ING-UP	0.16	23.0	0.055	2.6	1.01
P0901	Northridge 1994/01/17 12:31	14196 Inglewood - Union Oil	CDMG	NORTHR/ING000	0.16	23.0	0.091	7.1	2.25
P0901	Northridge 1994/01/17 12:31	14196 Inglewood - Union Oil	CDMG	NORTHR/ING090	0.16	23.0	0.101	10.3	3.15
P0902	Northridge 1994/01/17 12:31	14403 LA - 116th St School	CDMG	NORTHR/116360	0.16	23.0	0.133	13.5	2.83

P0902	Northridge 1994/01/17 12:31	14403 LA - 116th St School	CDMG	NORTHR/116090	0.16	23.0	0.208	10.3	2.67
P0902	Northridge 1994/01/17 12:31	14403 LA - 116th St School	CDMG	NORTHR/116-UP	0.7	23.0	0.061	2.8	0.3
P0903	Northridge 1994/01/17 12:31	24157 LA - Baldwin Hills	CDMG	NORTHR/BLD-UP	0.16	23.0	0.091	8.4	3.29
P0903	Northridge 1994/01/17 12:31	24157 LA - Baldwin Hills	CDMG	NORTHR/BLD360	0.16	23.0	0.168	17.6	4.79
P0903	Northridge 1994/01/17 12:31	24157 LA - Baldwin Hills	CDMG	NORTHR/BLD090	0.16	23.0	0.239	14.9	6.17
P0904	Northridge 1994/01/17 12:31	90054 LA - Centinela St	USC	NORTHR/CEN-UP	0.13	30.0	0.109	10.6	3.76
P0904	Northridge 1994/01/17 12:31	90054 LA - Centinela St	USC	NORTHR/CEN155	0.13	30.0	0.465	19.3	3.48
P0904	Northridge 1994/01/17 12:31	90054 LA - Centinela St	USC	NORTHR/CEN245	0.2	30.0	0.322	22.9	5.47
P0905	Northridge 1994/01/17 12:31	24389 LA - Century City CC North	CDMG	NORTHR/CCN-UP	0.14	23.0	0.116	8.7	3.47
P0905	Northridge 1994/01/17 12:31	24389 LA - Century City CC North	CDMG	NORTHR/CCN360	0.14	23.0	0.222	25.2	5.7
P0905	Northridge 1994/01/17 12:31	24389 LA - Century City CC North	CDMG	NORTHR/CCN090	0.14	23.0	0.256	21.1	6.68
P0906	Northridge 1994/01/17 12:31	90015 LA - Chalon Rd	USC	NORTHR/CHL160	0.2	30.0	0.185	27.1	5.77

P0906	Northridge 1994/01/17 12:31	90015 LA - Chalon Rd	USC	NORTHR/CHL070	0.3	30.0	0.225	16.6	3.39
P0906	Northridge 1994/01/17 12:31	90015 LA - Chalon Rd	USC	NORTHR/CHL-UP	0.5	30.0	0.174	8.0	1.09
P0907	Northridge 1994/01/17 12:31	90033 LA - Cypress Ave	USC	NORTHR/CYP143	0.13	30.0	0.149	10.0	2.23
P0907	Northridge 1994/01/17 12:31	90033 LA - Cypress Ave	USC	NORTHR/CYP053	0.2	30.0	0.21	17.3	2.01
P0907	Northridge 1994/01/17 12:31	90033 LA - Cypress Ave	USC	NORTHR/CYP-UP	0.3	30.0	0.085	3.1	0.44
P0908	Northridge 1994/01/17 12:31	90025 LA - E Vernon Ave	USC	NORTHR/VER180	0.1	30.0	0.153	10.1	1.79
P0908	Northridge 1994/01/17 12:31	90025 LA - E Vernon Ave	USC	NORTHR/VER-UP	0.2	30.0	0.063	3.4	1.21
P0908	Northridge 1994/01/17 12:31	90025 LA - E Vernon Ave	USC	NORTHR/VER090	0.2	30.0	0.12	9.2	1.67
P0909	Northridge 1994/01/17 12:31	90034 LA - Fletcher Dr	USC	NORTHR/FLE144	0.13	30.0	0.162	10.7	2.86
P0909	Northridge 1994/01/17 12:31	90034 LA - Fletcher Dr	USC	NORTHR/FLE234	0.15	30.0	0.24	26.2	3.6
P0909	Northridge 1994/01/17 12:31	90034 LA - Fletcher Dr	USC	NORTHR/FLE-UP	0.3	30.0	0.109	6.9	1.2
P0910	Northridge 1994/01/17 12:31	90016 LA - N Faring Rd	USC	NORTHR/FAR090	0.13	30.0	0.242	29.8	4.74

P0910	Northridge 1994/01/17 12:31	90016 LA - N Faring Rd	USC	NORTHR/FAR000	0.13	30.0	0.273	15.8	3.29
P0910	Northridge 1994/01/17 12:31	90016 LA - N Faring Rd	USC	NORTHR/FAR-UP	0.2	30.0	0.191	8.9	1.65
P0911	Northridge 1994/01/17 12:31	90021 LA - N Westmoreland	USC	NORTHR/WST-UP	0.2	30.0	0.093	6.3	1.08
P0911	Northridge 1994/01/17 12:31	90021 LA - N Westmoreland	USC	NORTHR/WST270	0.2	30.0	0.361	20.9	4.27
P0911	Northridge 1994/01/17 12:31	90021 LA - N Westmoreland	USC	NORTHR/WST000	0.2	30.0	0.401	20.9	2.29
P0912	Northridge 1994/01/17 12:31	24400 LA - Obregon Park	CDMG	NORTHR/OBR-UP	0.2	23.0	0.115	3.7	1.27
P0912	Northridge 1994/01/17 12:31	24400 LA - Obregon Park	CDMG	NORTHR/OBR090	0.6	23.0	0.355	16.7	1.43
P0912	Northridge 1994/01/17 12:31	24400 LA - Obregon Park	CDMG	NORTHR/OBR360	0.9	23.0	0.563	24.5	2.79
P0913	Northridge 1994/01/17 12:31	90022 LA - S Grand Ave	USC	NORTHR/GR2-UP	0.3	30.0	0.094	3.8	0.68
P0913	Northridge 1994/01/17 12:31	90022 LA - S Grand Ave	USC	NORTHR/GR2180	0.3	30.0	0.264	20.4	1.88
P0913	Northridge 1994/01/17 12:31	90022 LA - S Grand Ave	USC	NORTHR/GR2090	0.3	30.0	0.29	17.9	2.42
P0914	Northridge 1994/01/17 12:31	90091 LA - Saturn St	USC	NORTHR/STN110	0.1	30.0	0.439	39.0	6.45

P0914	Northridge 1994/01/17 12:31	90091 LA - Saturn St	USC	NORTHR/STN020	0.1	30.0	0.474	34.6	6.55
P0914	Northridge 1994/01/17 12:31	90091 LA - Saturn St	USC	NORTHR/STN-UP	0.13	30.0	0.097	7.7	2.12
P0915	Northridge 1994/01/17 12:31	90017 LA - Wonderland Ave	USC	NORTHR/WON185	0.1	30.0	0.172	11.8	2.77
P0915	Northridge 1994/01/17 12:31	90017 LA - Wonderland Ave	USC	NORTHR/WON-UP	0.13	30.0	0.106	3.6	1.11
P0915	Northridge 1994/01/17 12:31	90017 LA - Wonderland Ave	USC	NORTHR/WON095	0.13	30.0	0.112	8.7	1.79
P0916	Northridge 1994/01/17 12:31	90060 La Crescenta - New York	USC	NORTHR/NYA180	0.1	30.0	0.159	11.3	3.0
P0916	Northridge 1994/01/17 12:31	90060 La Crescenta - New York	USC	NORTHR/NYA-UP	0.13	30.0	0.106	3.9	0.87
P0916	Northridge 1994/01/17 12:31	90060 La Crescenta - New York	USC	NORTHR/NYA090	0.3	30.0	0.178	12.5	1.14
P0917	Northridge 1994/01/17 12:31	90074 La Habra - Briarcliff	USC	NORTHR/BRC000	0.2	30.0	0.109	8.2	1.13
P0917	Northridge 1994/01/17 12:31	90074 La Habra - Briarcliff	USC	NORTHR/BRC090	0.2	30.0	0.206	12.3	1.23
P0917	Northridge 1994/01/17 12:31	90074 La Habra - Briarcliff	USC	NORTHR/BRC-UP	0.4	30.0	0.056	2.6	0.37
P0918	Northridge 1994/01/17 12:31	24271 Lake Hughes #1	CDMG	NORTHR/LH1090	0.12	23.0	0.077	9.5	2.4

P0918	Northridge 1994/01/17 12:31	24271 Lake Hughes #1	CDMG	NORTHR/LH1000	0.12	23.0	0.087	9.4	3.7
P0918	Northridge 1994/01/17 12:31	24271 Lake Hughes #1	CDMG	NORTHR/LH1-UP	0.12	23.0	0.099	7.0	3.43
P0919	Northridge 1994/01/17 12:31	90084 Lakewood - Del Amo Blvd	USC	NORTHR/DEL000	0.13	30.0	0.137	11.2	1.98
P0919	Northridge 1994/01/17 12:31	90084 Lakewood - Del Amo Blvd	USC	NORTHR/DEL090	0.2	30.0	0.123	10.4	2.86
P0919	Northridge 1994/01/17 12:31	90084 Lakewood - Del Amo Blvd	USC	NORTHR/DEL-UP	0.8	30.0	0.058	1.6	0.18
P0920	Northridge 1994/01/17 12:31	90045 Lawndale - Osage Ave	USC	NORTHR/LOA-UP	0.13	30.0	0.053	3.5	1.78
P0920	Northridge 1994/01/17 12:31	90045 Lawndale - Osage Ave	USC	NORTHR/LOA092	0.13	30.0	0.084	8.5	2.9
P0920	Northridge 1994/01/17 12:31	90045 Lawndale - Osage Ave	USC	NORTHR/LOA182	0.13	30.0	0.152	8.0	2.59
P0921	Northridge 1994/01/17 12:31	24055 Leona Valley #5 - Ritter	CDMG	NORTHR/LV5090	0.2	23.0	0.092	10.5	2.7
P0921	Northridge 1994/01/17 12:31	24055 Leona Valley #5 - Ritter	CDMG	NORTHR/LV5-UP	0.2	23.0	0.097	11.6	2.53
P0921	Northridge 1994/01/17 12:31	24055 Leona Valley #5 - Ritter	CDMG	NORTHR/LV5000	0.2	23.0	0.146	14.9	2.35
P0922	Northridge 1994/01/17 12:31	24309 Leona Valley #6	CDMG	NORTHR/LV6-UP	0.2	23.0	0.062	8.2	2.02

P0922	Northridge 1994/01/17 12:31	24309 Leona Valley #6	CDMG	NORTHR/LV6360	0.2	23.0	0.131	10.1	1.22
P0922	Northridge 1994/01/17 12:31	24309 Leona Valley #6	CDMG	NORTHR/LV6090	0.2	23.0	0.178	14.4	2.11
P0923	Northridge 1994/01/17 12:31	24396 Malibu - Point Dume Sch	CDMG	NORTHR/MAL360	0.3	23.0	0.084	8.9	1.79
P0923	Northridge 1994/01/17 12:31	24396 Malibu - Point Dume Sch	CDMG	NORTHR/MAL-UP	0.3	23.0	0.087	4.4	1.09
P0923	Northridge 1994/01/17 12:31	24396 Malibu - Point Dume Sch	CDMG	NORTHR/MAL090	0.3	23.0	0.13	8.5	2.11
P0924	Northridge 1994/01/17 12:31	90046 Manhattan Beach - Manhattan	USC	NORTHR/MAN090	0.05	30.0	0.128	14.6	4.64
P0924	Northridge 1994/01/17 12:31	90046 Manhattan Beach - Manhattan	USC	NORTHR/MAN-UP	0.1	30.0	0.085	5.4	2.04
P0924	Northridge 1994/01/17 12:31	90046 Manhattan Beach - Manhattan	USC	NORTHR/MAN000	0.23	30.0	0.201	13.7	1.86
P0925	Northridge 1994/01/17 12:31	24283 Moorpark - Fire Sta	CDMG	NORTHR/MRP090	0.16	23.0	0.193	20.2	4.79
P0925	Northridge 1994/01/17 12:31	24283 Moorpark - Fire Sta	CDMG	NORTHR/MRP180	0.16	23.0	0.292	20.7	4.24
P0925	Northridge 1994/01/17 12:31	24283 Moorpark - Fire Sta	CDMG	NORTHR/MRP-UP	0.45	23.0	0.159	7.9	0.9
P0926	Northridge 1994/01/17 12:31	24399 Mt Wilson - CIT Seis Sta	CDMG	NORTHR/MTW-UP	0.08	null	0.087	3.6	0.58

P0926	Northridge 1994/01/17 12:31	24399 Mt Wilson - CIT Seis Sta	CDMG	NORTHR/MTW090	0.08	null	0.134	5.8	0.45
P0926	Northridge 1994/01/17 12:31	24399 Mt Wilson - CIT Seis Sta	CDMG	NORTHR/MTW000	0.08	null	0.234	7.4	0.7
P0927	Northridge 1994/01/17 12:31	24279 Newhall - Fire Sta	CDMG	NORTHR/NWH-UP	0.12	23.0	0.548	31.5	16.27
P0927	Northridge 1994/01/17 12:31	24279 Newhall - Fire Sta	CDMG	NORTHR/NWH090	0.12	23.0	0.583	75.5	17.57
P0927	Northridge 1994/01/17 12:31	24279 Newhall - Fire Sta	CDMG	NORTHR/NWH360	0.12	23.0	0.59	97.2	38.05
P0928	Northridge 1994/01/17 12:31	24088 Pacoima Kagel Canyon	CDMG	NORTHR/PKC090	0.14	23.0	0.301	31.4	10.87
P0928	Northridge 1994/01/17 12:31	24088 Pacoima Kagel Canyon	CDMG	NORTHR/PKC360	0.14	23.0	0.433	51.5	7.21
P0928	Northridge 1994/01/17 12:31	24088 Pacoima Kagel Canyon	CDMG	NORTHR/PKC-UP	0.2	23.0	0.169	15.1	4.14
P0929	Northridge 1994/01/17 12:31	90047 Playa Del Rey - Saran	USC	NORTHR/SAR-UP	0.1	30.0	0.055	8.4	4.33
P0929	Northridge 1994/01/17 12:31	90047 Playa Del Rey - Saran	USC	NORTHR/SAR270	0.1	30.0	0.076	13.8	6.88
P0929	Northridge 1994/01/17 12:31	90047 Playa Del Rey - Saran	USC	NORTHR/SAR000	0.1	30.0	0.136	18.6	4.51
P0930	Northridge 1994/01/17 12:31	90044 Rancho Palos Verdes - Luconia	USC	NORTHR/LUC-UP	0.2	30.0	0.075	3.6	0.67

P0930	Northridge 1994/01/17 12:31	90044 Rancho Palos Verdes - Luconia	USC	NORTHR/LUC095	0.3	30.0	0.118	9.2	0.69
P0930	Northridge 1994/01/17 12:31	90044 Rancho Palos Verdes - Luconia	USC	NORTHR/LUC005	0.3	30.0	0.167	9.9	0.87
P0931	Northridge 1994/01/17 12:31	24401 San Marino, SW Academy	CDMG	NORTHR/SMA090	0.3	23.0	0.116	7.3	1.1
P0931	Northridge 1994/01/17 12:31	24401 San Marino, SW Academy	CDMG	NORTHR/SMA-UP	0.6	23.0	0.083	3.7	0.41
P0931	Northridge 1994/01/17 12:31	24401 San Marino, SW Academy	CDMG	NORTHR/SMA360	0.6	23.0	0.15	7.4	0.75
P0932	Northridge 1994/01/17 12:31	90006 Sun Valley - Roscoe Blvd	USC	NORTHR/RO3000	0.1	30.0	0.303	22.1	7.84
P0932	Northridge 1994/01/17 12:31	90006 Sun Valley - Roscoe Blvd	USC	NORTHR/RO3-UP	0.1	30.0	0.306	12.5	5.0
P0932	Northridge 1994/01/17 12:31	90006 Sun Valley - Roscoe Blvd	USC	NORTHR/RO3090	0.1	30.0	0.443	38.2	10.04
P0933	Northridge 1994/01/17 12:31	90058 Sunland - Mt Gleason Ave	USC	NORTHR/GLE170	0.05	30.0	0.127	13.8	5.54
P0933	Northridge 1994/01/17 12:31	90058 Sunland - Mt Gleason Ave	USC	NORTHR/GLE260	0.05	30.0	0.157	14.5	4.29
P0933	Northridge 1994/01/17 12:31	90058 Sunland - Mt Gleason Ave	USC	NORTHR/GLE-UP	0.1	30.0	0.193	11.6	2.35
P0934	Northridge 1994/01/17 12:31	24514 Sylmar - Olive View Med FF	CDMG	NORTHR/SYL-UP	0.12	23.0	0.535	19.1	8.54

P0934	Northridge 1994/01/17 12:31	24514 Sylmar - Olive View Med FF	CDMG	NORTHR/SYL090	0.12	23.0	0.604	78.2	16.05
P0934	Northridge 1994/01/17 12:31	24514 Sylmar - Olive View Med FF	CDMG	NORTHR/SYL360	0.12	23.0	0.843	129.6	32.68
P0935	Northridge 1994/01/17 12:31	24436 Tarzana, Cedar Hill	CDMG	NORTHR/TAR360	0.1	23.0	0.99	77.6	30.45
P0935	Northridge 1994/01/17 12:31	24436 Tarzana, Cedar Hill	CDMG	NORTHR/TAR-UP	0.1	23.0	1.048	75.4	20.05
P0935	Northridge 1994/01/17 12:31	24436 Tarzana, Cedar Hill	CDMG	NORTHR/TAR090	0.1	23.0	1.779	113.6	33.22
P0936	Northridge 1994/01/17 12:31	90082 Terminal Island - S Seaside	USC	NORTHR/SSE-UP	0.13	30.0	0.048	3.1	1.54
P0936	Northridge 1994/01/17 12:31	90082 Terminal Island - S Seaside	USC	NORTHR/SSE240	0.13	30.0	0.133	13.7	2.68
P0936	Northridge 1994/01/17 12:31	90082 Terminal Island - S Seaside	USC	NORTHR/SSE330	0.13	30.0	0.194	12.1	2.28
P0937	Northridge 1994/01/17 12:31	24047 Vasquez Rocks Park	CDMG	NORTHR/VAS000	0.0	null	0.151	18.5	2.92
P0937	Northridge 1994/01/17 12:31	24047 Vasquez Rocks Park	CDMG	NORTHR/VAS090	0.08	null	0.139	11.2	2.89
P0937	Northridge 1994/01/17 12:31	24047 Vasquez Rocks Park	CDMG	NORTHR/VAS-UP	0.1	null	0.091	6.1	1.61
P0938	Northridge 1994/01/17 12:31	90099 Arcadia - Arcadia Av	USC	NORTHR/ARC172	0.25	30.0	0.104	7.3	1.59

P0938	Northridge 1994/01/17 12:31	90099 Arcadia - Arcadia Av	USC	NORTHR/ARC262	0.3	30.0	0.083	10.2	1.61
P0938	Northridge 1994/01/17 12:31	90099 Arcadia - Arcadia Av	USC	NORTHR/ARC-UP	0.5	30.0	0.092	4.0	0.56
P0939	Northridge 1994/01/17 12:31	90086 Buena Park - La Palma	USC	NORTHR/BPK180	0.3	30.0	0.095	8.1	1.6
P0939	Northridge 1994/01/17 12:31	90086 Buena Park - La Palma	USC	NORTHR/BPK090	0.3	30.0	0.139	10.7	1.62
P0939	Northridge 1994/01/17 12:31	90086 Buena Park - La Palma	USC	NORTHR/BPK-UP	0.8	30.0	0.034	1.5	0.11
P0940	Northridge 1994/01/17 12:31	90083 Huntington Bch - Waikiki	USC	NORTHR/WAI290	0.2	30.0	0.068	7.4	1.87
P0940	Northridge 1994/01/17 12:31	90083 Huntington Bch - Waikiki	USC	NORTHR/WAI200	0.2	30.0	0.086	5.0	1.63
P0940	Northridge 1994/01/17 12:31	90083 Huntington Bch - Waikiki	USC	NORTHR/WAI-UP	0.3	30.0	0.022	1.2	0.28
P0941	Northridge 1994/01/17 12:31	90020 LA - W 15th St	USC	NORTHR/W15090	0.13	30.0	0.104	11.6	5.73
P0941	Northridge 1994/01/17 12:31	90020 LA - W 15th St	USC	NORTHR/W15180	0.13	30.0	0.159	13.4	3.3
P0941	Northridge 1994/01/17 12:31	90020 LA - W 15th St	USC	NORTHR/W15-UP	0.3	30.0	0.051	5.8	1.38
P0942	Northridge 1994/01/17 12:31	24461 Alhambra - Fremont School	CDMG	NORTHR/ALH-UP	0.12	25.0	0.046	4.6	1.12

P0942	Northridge 1994/01/17 12:31	24461 Alhambra - Fremont School	CDMG	NORTHR/ALH360	0.12	25.0	0.079	5.0	1.43
P0942	Northridge 1994/01/17 12:31	24461 Alhambra - Fremont School	CDMG	NORTHR/ALH090	0.12	25.0	0.101	10.9	2.53
P0943	Northridge 1994/01/17 12:31	25169 Anacapa Island	CDMG	NORTHR/ACI-UP	0.3	23.0	0.013	0.8	0.25
P0943	Northridge 1994/01/17 12:31	25169 Anacapa Island	CDMG	NORTHR/ACI270	0.3	23.0	0.037	1.8	0.25
P0943	Northridge 1994/01/17 12:31	25169 Anacapa Island	CDMG	NORTHR/ACI000	0.3	23.0	0.067	3.2	0.47
P0944	Northridge 1994/01/17 12:31	24576 Anaverde Valley - City R	CDMG	NORTHR/ANA090	0.2	46.0	0.044	3.9	1.09
P0944	Northridge 1994/01/17 12:31	24576 Anaverde Valley - City R	CDMG	NORTHR/ANA-UP	0.2	46.0	0.044	4.7	1.7
P0944	Northridge 1994/01/17 12:31	24576 Anaverde Valley - City R	CDMG	NORTHR/ANA180	0.2	46.0	0.06	5.5	1.54
P0945	Northridge 1994/01/17 12:31	24310 Antelope Buttes	CDMG	NORTHR/ATB-UP	0.12	23.0	0.029	3.6	2.63
P0945	Northridge 1994/01/17 12:31	24310 Antelope Buttes	CDMG	NORTHR/ATB000	0.12	23.0	0.046	3.6	2.26
P0945	Northridge 1994/01/17 12:31	24310 Antelope Buttes	CDMG	NORTHR/ATB090	0.12	23.0	0.068	4.3	2.23
P0946	Northridge 1994/01/17 12:31	90093 Arcadia - Campus Dr.	USC	NORTHR/CAM279	0.23	30.0	0.11	8.1	1.73

P0946	Northridge 1994/01/17 12:31	90093 Arcadia - Campus Dr.	USC	NORTHR/CAM009	0.3	30.0	0.089	4.7	1.29
P0946	Northridge 1994/01/17 12:31	90093 Arcadia - Campus Dr.	USC	NORTHR/CAM-UP	0.5	30.0	0.057	4.2	0.59
P0947	Northridge 1994/01/17 12:31	90069 Baldwin Park - N. Holly Ave	USC	NORTHR/NHO180	0.2	30.0	0.09	3.9	1.19
P0947	Northridge 1994/01/17 12:31	90069 Baldwin Park - N. Holly Ave	USC	NORTHR/NHO270	0.23	30.0	0.123	8.2	1.33
P0947	Northridge 1994/01/17 12:31	90069 Baldwin Park - N. Holly Ave	USC	NORTHR/NHO-UP	0.7	30.0	0.045	1.7	0.23
P0948	Northridge 1994/01/17 12:31	90087 Brea - S. Flower Ave.	USC	NORTHR/FLO020	0.3	30.0	0.106	6.5	0.68
P0948	Northridge 1994/01/17 12:31	90087 Brea - S. Flower Ave.	USC	NORTHR/FLO290	0.3	30.0	0.108	9.1	1.39
P0948	Northridge 1994/01/17 12:31	90087 Brea - S. Flower Ave.	USC	NORTHR/FLO-UP	0.4	30.0	0.037	2.0	0.3
P0949	Northridge 1994/01/17 12:31	638 Brentwood V.A. Hospital	VA	NORTHR/BVA-UP	0.0	0.0	0.139	9.3	2.41
P0949	Northridge 1994/01/17 12:31	638 Brentwood V.A. Hospital	VA	NORTHR/BVA285	0.0	0.0	0.165	17.6	8.39
P0949	Northridge 1994/01/17 12:31	638 Brentwood V.A. Hospital	VA	NORTHR/BVA195	0.0	0.0	0.187	23.7	5.42
P0950	Northridge 1994/01/17 12:31	90059 Burbank - Howard Rd.	USC	NORTHR/HOW-UP	0.1	30.0	0.085	3.6	1.48

P0950	Northridge 1994/01/17 12:31	90059 Burbank - Howard Rd.	USC	NORTHR/HOW060	0.1	30.0	0.12	9.5	2.25
P0950	Northridge 1994/01/17 12:31	90059 Burbank - Howard Rd.	USC	NORTHR/HOW330	0.1	30.0	0.163	8.5	1.81
P0951	Northridge 1994/01/17 12:31	25282 Camarillo	CDMG	NORTHR/CMR-UP	0.1	25.0	0.05	4.5	1.28
P0951	Northridge 1994/01/17 12:31	25282 Camarillo	CDMG	NORTHR/CMR270	0.1	25.0	0.121	11.7	3.2
P0951	Northridge 1994/01/17 12:31	25282 Camarillo	CDMG	NORTHR/CMR180	0.1	25.0	0.125	10.9	3.49
P0952	Northridge 1994/01/17 12:31	90081 Carson - Water St.	USC	NORTHR/WAT180	0.2	30.0	0.089	6.4	1.58
P0952	Northridge 1994/01/17 12:31	90081 Carson - Water St.	USC	NORTHR/WAT270	0.3	30.0	0.086	8.0	1.92
P0952	Northridge 1994/01/17 12:31	90081 Carson - Water St.	USC	NORTHR/WAT-UP	0.7	30.0	0.041	2.3	0.25
P0953	Northridge 1994/01/17 12:31	90068 Covina - S. Grand Ave.	USC	NORTHR/GRA074	0.13	30.0	0.066	7.1	1.94
P0953	Northridge 1994/01/17 12:31	90068 Covina - S. Grand Ave.	USC	NORTHR/GRA344	0.2	30.0	0.062	6.9	1.43
P0953	Northridge 1994/01/17 12:31	90068 Covina - S. Grand Ave.	USC	NORTHR/GRA-UP	0.33	30.0	0.053	3.5	0.79
P0954	Northridge 1994/01/17 12:31	90070 Covina - W. Badillo	USC	NORTHR/BAD270	0.2	30.0	0.079	7.0	1.62

P0954	Northridge 1994/01/17 12:31	90070 Covina - W. Badillo	USC	NORTHR/BAD000	0.2	30.0	0.1	5.8	1.21
P0954	Northridge 1994/01/17 12:31	90070 Covina - W. Badillo	USC	NORTHR/BAD-UP	0.3	30.0	0.043	2.9	0.7
P0955	Northridge 1994/01/17 12:31	90067 Duarte - Mel Canyon Rd.	USC	NORTHR/MEL090	0.1	30.0	0.079	3.4	1.84
P0955	Northridge 1994/01/17 12:31	90067 Duarte - Mel Canyon Rd.	USC	NORTHR/MEL180	0.3	30.0	0.028	2.4	0.46
P0955	Northridge 1994/01/17 12:31	90067 Duarte - Mel Canyon Rd.	USC	NORTHR/MEL-UP	0.9	30.0	0.046	2.2	0.17
P0956	Northridge 1994/01/17 12:31	24575 Elizabeth Lake	CDMG	NORTHR/ELI-UP	0.16	46.0	0.05	5.7	1.46
P0956	Northridge 1994/01/17 12:31	24575 Elizabeth Lake	CDMG	NORTHR/ELI180	0.16	46.0	0.109	9.0	1.53
P0956	Northridge 1994/01/17 12:31	24575 Elizabeth Lake	CDMG	NORTHR/ELI090	0.16	46.0	0.155	7.3	2.7
P0957	Northridge 1994/01/17 12:31	13122 Featherly Park - Pk Maint Bldg	CDMG	NORTHR/FEA-UP	0.3	23.0	0.024	1.6	0.24
P0957	Northridge 1994/01/17 12:31	13122 Featherly Park - Pk Maint Bldg	CDMG	NORTHR/FEA090	0.3	23.0	0.1	5.8	0.51
P0957	Northridge 1994/01/17 12:31	13122 Featherly Park - Pk Maint Bldg	CDMG	NORTHR/FEA000	0.3	23.0	0.104	7.7	0.81
P0958	Northridge 1994/01/17 12:31	90085 Garden Grove - Santa Rita	USC	NORTHR/GAR270	0.3	30.0	0.103	10.0	2.13

P0958	Northridge 1994/01/17 12:31	90085 Garden Grove - Santa Rita	USC	NORTHR/GAR000	0.3	30.0	0.104	8.7	2.1
P0959	Northridge 1994/01/17 12:31	90065 Glendora - N. Oakbank	USC	NORTHR/OAK170	0.1	30.0	0.092	4.9	1.75
P0959	Northridge 1994/01/17 12:31	90065 Glendora - N. Oakbank	USC	NORTHR/OAK080	0.5	30.0	0.04	3.1	0.43
P0959	Northridge 1994/01/17 12:31	90065 Glendora - N. Oakbank	USC	NORTHR/OAK-UP	0.5	30.0	0.051	3.6	0.58
P0960	Northridge 1994/01/17 12:31	90073 Hacienda Hts - Colima Rd	USC	NORTHR/COM-UP	0.4	30.0	0.041	2.2	0.35
P0960	Northridge 1994/01/17 12:31	90073 Hacienda Hts - Colima Rd	USC	NORTHR/COM230	0.4	30.0	0.056	3.2	0.87
P0960	Northridge 1994/01/17 12:31	90073 Hacienda Hts - Colima Rd	USC	NORTHR/COM140	0.4	30.0	0.067	4.8	0.72
P0961	Northridge 1994/01/17 12:31	13660 Hemet - Ryan Airfield	CDMG	NORTHR/HEM-UP	0.3	46.0	0.027	2.0	0.18
P0961	Northridge 1994/01/17 12:31	13660 Hemet - Ryan Airfield	CDMG	NORTHR/HEM090	0.3	46.0	0.046	4.7	0.51
P0961	Northridge 1994/01/17 12:31	13660 Hemet - Ryan Airfield	CDMG	NORTHR/HEM000	0.3	46.0	0.064	4.5	0.66
P0962	Northridge 1994/01/17 12:31	90018 Hollywood - Willoughby Ave	USC	NORTHR/WIL090	0.1	30.0	0.136	12.8	4.82
P0962	Northridge 1994/01/17 12:31	90018 Hollywood - Willoughby Ave	USC	NORTHR/WIL180	0.13	30.0	0.245	33.5	6.28

P0962	Northridge 1994/01/17 12:31	90018 Hollywood - Willoughby Ave	USC	NORTHR/WIL-UP	0.2	30.0	0.142	9.0	3.4
P0963	Northridge 1994/01/17 12:31	0655 Jensen Filter Plant	USGS	NORTHR/JEN022	0.08	null	0.424	106.2	43.06
P0963	Northridge 1994/01/17 12:31	0655 Jensen Filter Plant	USGS	NORTHR/JEN292	0.2	null	0.593	99.3	24.0
P0963	Northridge 1994/01/17 12:31	0655 Jensen Filter Plant	USGS	NORTHR/JEN-UP	0.3	null	0.4	34.1	8.89
P0964	Northridge 1994/01/17 12:31	00000 LA Dam	USGS	NORTHR/LDM064	0.1	null	0.511	63.7	21.18
P0964	Northridge 1994/01/17 12:31	00000 LA Dam	USGS	NORTHR/LDM334	0.12	null	0.349	50.8	15.11
P0964	Northridge 1994/01/17 12:31	00000 LA Dam	USGS	NORTHR/LDM-UP	0.13	null	0.424	19.5	8.71
P0965	Northridge 1994/01/17 12:31	24592 LA - City Terrace	CDMG	NORTHR/LAC-UP	0.2	46.0	0.135	7.6	1.84
P0965	Northridge 1994/01/17 12:31	24592 LA - City Terrace	CDMG	NORTHR/LAC090	0.2	46.0	0.263	12.8	2.89
P0965	Northridge 1994/01/17 12:31	24592 LA - City Terrace	CDMG	NORTHR/LAC180	0.2	46.0	0.316	14.1	2.42
P0966	Northridge 1994/01/17 12:31	90032 LA - N. Figueroa St.	USC	NORTHR/FIG058	0.3	30.0	0.128	9.6	1.43
P0966	Northridge 1994/01/17 12:31	90032 LA - N. Figueroa St.	USC	NORTHR/FIG328	0.3	30.0	0.174	9.1	1.28

P0966	Northridge 1994/01/17 12:31	90032 LA - N. Figueroa St.	USC	NORTHR/FIG-UP	0.4	30.0	0.097	4.3	0.78
P0967	Northridge 1994/01/17 12:31	24612 LA - Pico & Sentous	CDMG	NORTHR/PIC-UP	0.2	46.0	0.065	5.3	1.69
P0967	Northridge 1994/01/17 12:31	24612 LA - Pico & Sentous	CDMG	NORTHR/PIC090	0.2	46.0	0.103	12.2	3.71
P0967	Northridge 1994/01/17 12:31	24612 LA - Pico & Sentous	CDMG	NORTHR/PIC180	0.2	46.0	0.186	14.3	2.38
P0968	Northridge 1994/01/17 12:31	90096 LA - S. Vermont Ave	USC	NORTHR/VRM090	0.3	30.0	0.071	6.2	1.7
P0968	Northridge 1994/01/17 12:31	90096 LA - S. Vermont Ave	USC	NORTHR/VRM000	0.3	30.0	0.164	10.7	1.83
P0968	Northridge 1994/01/17 12:31	90096 LA - S. Vermont Ave	USC	NORTHR/VRM-UP	0.3	30.0	0.165	23.4	3.57
P0969	Northridge 1994/01/17 12:31	24611 LA - Temple & Hope	CDMG	NORTHR/TEM-UP	0.2	46.0	0.097	4.6	1.34
P0969	Northridge 1994/01/17 12:31	24611 LA - Temple & Hope	CDMG	NORTHR/TEM090	0.2	46.0	0.126	13.9	3.15
P0969	Northridge 1994/01/17 12:31	24611 LA - Temple & Hope	CDMG	NORTHR/TEM180	0.2	46.0	0.184	20.0	2.74
P0970	Northridge 1994/01/17 12:31	24605 LA - Univ. Hospital	CDMG	NORTHR/UNI-UP	0.2	46.0	0.119	6.4	1.37
P0970	Northridge 1994/01/17 12:31	24605 LA - Univ. Hospital	CDMG	NORTHR/UNI095	0.2	46.0	0.214	10.8	2.37

P0970	Northridge 1994/01/17 12:31	24605 LA - Univ. Hospital	CDMG	NORTHR/UNI005	0.2	46.0	0.493	31.1	2.39
P0971	Northridge 1994/01/17 12:31	24688 LA - UCLA Grounds	CDMG	NORTHR/UCL-UP	0.08	25.0	0.265	10.2	3.08
P0971	Northridge 1994/01/17 12:31	24688 LA - UCLA Grounds	CDMG	NORTHR/UCL090	0.08	25.0	0.278	22.0	4.32
P0971	Northridge 1994/01/17 12:31	24688 LA - UCLA Grounds	CDMG	NORTHR/UCL360	0.08	25.0	0.474	22.2	7.38
P0972	Northridge 1994/01/17 12:31	90072 La Puente - 504 Rimgrove Ave	USC	NORTHR/RIM015	0.8	30.0	0.109	7.9	0.7
P0972	Northridge 1994/01/17 12:31	90072 La Puente - 504 Rimgrove Ave	USC	NORTHR/RIM105	0.8	30.0	0.129	9.7	0.83
P0972	Northridge 1994/01/17 12:31	90072 La Puente - 504 Rimgrove Ave	USC	NORTHR/RIM-UP	1.0	30.0	0.048	2.6	0.16
P0973	Northridge 1994/01/17 12:31	24469 Lake Hughes #4 - Camp Mend	CDMG	NORTHR/LH4-UP	0.12	23.0	0.053	4.1	3.05
P0973	Northridge 1994/01/17 12:31	24469 Lake Hughes #4 - Camp Mend	CDMG	NORTHR/LH4000	0.12	23.0	0.057	6.6	3.98
P0973	Northridge 1994/01/17 12:31	24469 Lake Hughes #4 - Camp Mend	CDMG	NORTHR/LH4090	0.12	23.0	0.084	6.2	2.27
P0974	Northridge 1994/01/17 12:31	24523 Lake Hughes #4B - Camp Mend	CDMG	NORTHR/L4B000	0.12	23.0	0.036	3.2	2.21
P0974	Northridge 1994/01/17 12:31	24523 Lake Hughes #4B - Camp Mend	CDMG	NORTHR/L4B-UP	0.12	23.0	0.042	3.7	3.48

P0974	Northridge 1994/01/17 12:31	24523 Lake Hughes #4B - Camp Mend	CDMG	NORTHR/L4B090	0.12	23.0	0.063	5.4	1.97
P0975	Northridge 1994/01/17 12:31	24607 Lake Hughes #12A	CDMG	NORTHR/H12090	0.12	46.0	0.174	11.8	4.64
P0975	Northridge 1994/01/17 12:31	24607 Lake Hughes #12A	CDMG	NORTHR/H12180	0.12	46.0	0.257	8.9	4.13
P0975	Northridge 1994/01/17 12:31	24607 Lake Hughes #12A	CDMG	NORTHR/H12-UP	0.13	46.0	0.121	4.0	2.59
P0976	Northridge 1994/01/17 12:31	24475 Lancaster - Fox Airfield Grnds	CDMG	NORTHR/LAN-UP	0.15	25.0	0.045	4.1	0.88
P0976	Northridge 1994/01/17 12:31	24475 Lancaster - Fox Airfield Grnds	CDMG	NORTHR/LAN090	0.15	25.0	0.064	5.3	1.21
P0976	Northridge 1994/01/17 12:31	24475 Lancaster - Fox Airfield Grnds	CDMG	NORTHR/LAN360	0.15	25.0	0.081	7.1	1.45
P0977	Northridge 1994/01/17 12:31	14560 LB - City Hall	CDMG	NORTHR/LBC090	0.3	23.0	0.036	5.0	1.65
P0977	Northridge 1994/01/17 12:31	14560 LB - City Hall	CDMG	NORTHR/LBC360	0.3	23.0	0.051	4.0	1.09
P0977	Northridge 1994/01/17 12:31	14560 LB - City Hall	CDMG	NORTHR/LBC-UP	1.2	23.0	0.021	1.2	0.11
P0978	Northridge 1994/01/17 12:31	14242 LB - Rancho Los Cerritos	CDMG	NORTHR/LBR-UP	0.16	23.0	0.039	2.7	0.87
P0978	Northridge 1994/01/17 12:31	14242 LB - Rancho Los Cerritos	CDMG	NORTHR/LBR000	0.16	23.0	0.065	4.8	2.3

P0978	Northridge 1994/01/17 12:31	14242 LB - Rancho Los Cerritos	CDMG	NORTHR/LBR090	0.16	23.0	0.069	8.3	2.21
P0979	Northridge 1994/01/17 12:31	24305 Leona Valley #1	CDMG	NORTHR/LV1-UP	0.2	23.0	0.05	6.8	2.18
P0979	Northridge 1994/01/17 12:31	24305 Leona Valley #1	CDMG	NORTHR/LV1090	0.2	23.0	0.073	7.1	1.76
P0979	Northridge 1994/01/17 12:31	24305 Leona Valley #1	CDMG	NORTHR/LV1000	0.2	23.0	0.089	7.8	1.63
P0980	Northridge 1994/01/17 12:31	24306 Leona Valley #2	CDMG	NORTHR/LV2-UP	0.2	23.0	0.058	7.1	2.07
P0980	Northridge 1994/01/17 12:31	24306 Leona Valley #2	CDMG	NORTHR/LV2090	0.2	23.0	0.063	7.2	1.6
P0980	Northridge 1994/01/17 12:31	24306 Leona Valley #2	CDMG	NORTHR/LV2000	0.2	23.0	0.091	7.5	1.63
P0981	Northridge 1994/01/17 12:31	24307 Leona Valley #3	CDMG	NORTHR/LV3-UP	0.2	23.0	0.051	6.9	2.36
P0981	Northridge 1994/01/17 12:31	24307 Leona Valley #3	CDMG	NORTHR/LV3000	0.2	23.0	0.084	8.5	2.24
P0981	Northridge 1994/01/17 12:31	24307 Leona Valley #3	CDMG	NORTHR/LV3090	0.2	23.0	0.106	8.1	1.77
P0982	Northridge 1994/01/17 12:31	24308 Leona Valley #4	CDMG	NORTHR/LV4-UP	0.2	23.0	0.047	8.0	2.36
P0982	Northridge 1994/01/17 12:31	24308 Leona Valley #4	CDMG	NORTHR/LV4090	0.2	23.0	0.057	8.0	1.98

P0982	Northridge 1994/01/17 12:31	24308 Leona Valley #4	CDMG	NORTHR/LV4000	0.2	23.0	0.079	8.6	1.77
P0983	Northridge 1994/01/17 12:31	23595 Littlerock - Brainard Can	CDMG	NORTHR/LIT180	0.2	46.0	0.06	6.3	1.25
P0983	Northridge 1994/01/17 12:31	23595 Littlerock - Brainard Can	CDMG	NORTHR/LIT090	0.2	46.0	0.072	6.0	1.35
P0983	Northridge 1994/01/17 12:31	23595 Littlerock - Brainard Can	CDMG	NORTHR/LIT-UP	0.25	46.0	0.034	2.4	0.5
P0984	Northridge 1994/01/17 12:31	90011 Montebello - Bluff Rd.	USC	NORTHR/BLF296	0.1	30.0	0.128	5.9	2.25
P0984	Northridge 1994/01/17 12:31	90011 Montebello - Bluff Rd.	USC	NORTHR/BLF-UP	0.2	30.0	0.076	2.8	0.48
P0984	Northridge 1994/01/17 12:31	90011 Montebello - Bluff Rd.	USC	NORTHR/BLF206	0.2	30.0	0.179	9.4	1.48
P0985	Northridge 1994/01/17 12:31	34093 Mojave - Hwys 14 & 58	CDMG	NORTHR/MJH-UP	0.3	23.0	0.027	1.8	0.3
P0985	Northridge 1994/01/17 12:31	34093 Mojave - Hwys 14 & 58	CDMG	NORTHR/MJH000	0.3	23.0	0.037	4.5	0.79
P0985	Northridge 1994/01/17 12:31	34093 Mojave - Hwys 14 & 58	CDMG	NORTHR/MJH090	0.3	23.0	0.053	4.1	0.47
P0986	Northridge 1994/01/17 12:31	34237 Mojave - Oak Creek Canyon	CDMG	NORTHR/MJO-UP	0.3	23.0	0.023	2.0	0.46
P0986	Northridge 1994/01/17 12:31	34237 Mojave - Oak Creek Canyon	CDMG	NORTHR/MJO000	0.3	23.0	0.05	3.1	0.52

P0986	Northridge 1994/01/17 12:31	34237 Mojave - Oak Creek Canyon	CDMG	NORTHR/MJO090	0.3	23.0	0.059	3.4	0.46
P0987	Northridge 1994/01/17 12:31	23572 Mt Baldy - Elementary Sch	CDMG	NORTHR/BAL-UP	0.3	46.0	0.037	2.2	0.39
P0987	Northridge 1994/01/17 12:31	23572 Mt Baldy - Elementary Sch	CDMG	NORTHR/BAL180	0.3	46.0	0.07	4.3	0.39
P0987	Northridge 1994/01/17 12:31	23572 Mt Baldy - Elementary Sch	CDMG	NORTHR/BAL090	0.3	46.0	0.08	3.8	0.56
P0988	Northridge 1994/01/17 12:31	90009 N. Hollywood - Coldwater Can	USC	NORTHR/CWC270	0.1	30.0	0.271	22.2	11.69
P0988	Northridge 1994/01/17 12:31	90009 N. Hollywood - Coldwater Can	USC	NORTHR/CWC180	0.1	30.0	0.298	25.0	6.46
P0988	Northridge 1994/01/17 12:31	90009 N. Hollywood - Coldwater Can	USC	NORTHR/CWC-UP	0.13	30.0	0.289	9.6	4.2
P0989	Northridge 1994/01/17 12:31	24586 Neenach - Sacatara Ck	CDMG	NORTHR/NEE-UP	0.12	46.0	0.047	7.2	3.1
P0989	Northridge 1994/01/17 12:31	24586 Neenach - Sacatara Ck	CDMG	NORTHR/NEE090	0.12	46.0	0.056	10.0	6.48
P0989	Northridge 1994/01/17 12:31	24586 Neenach - Sacatara Ck	CDMG	NORTHR/NEE180	0.12	46.0	0.069	13.1	8.22
P0990	Northridge 1994/01/17 12:31	90056 Newhall - W. Pico Canyon Rd.	USC	NORTHR/WPI-UP	0.05	30.0	0.29	37.2	13.29
P0990	Northridge 1994/01/17 12:31	90056 Newhall - W. Pico Canyon Rd.	USC	NORTHR/WPI046	0.05	30.0	0.455	92.8	56.64

P0990	Northridge 1994/01/17 12:31	90056 Newhall - W. Pico Canyon Rd.	USC	NORTHR/WPI316	0.1	30.0	0.325	67.4	16.11
P0991	Northridge 1994/01/17 12:31	13160 Newport Bch - Irvine Ave. F.S.	CDMG	NORTHR/NBI-UP	0.2	23.0	0.017	2.3	0.75
P0991	Northridge 1994/01/17 12:31	13160 Newport Bch - Irvine Ave. F.S.	CDMG	NORTHR/NBI000	0.2	23.0	0.041	4.1	1.29
P0991	Northridge 1994/01/17 12:31	13160 Newport Bch - Irvine Ave. F.S.	CDMG	NORTHR/NBI090	0.2	23.0	0.061	5.2	1.36
P0992	Northridge 1994/01/17 12:31	13610 Newport Bch - Newp & Coast	CDMG	NORTHR/NEW180	0.12	46.0	0.085	6.3	1.34
P0992	Northridge 1994/01/17 12:31	13610 Newport Bch - Newp & Coast	CDMG	NORTHR/NEW090	0.12	46.0	0.103	5.8	1.21
P0992	Northridge 1994/01/17 12:31	13610 Newport Bch - Newp & Coast	CDMG	NORTHR/NEW-UP	0.17	46.0	0.021	2.2	0.66
P0993	Northridge 1994/01/17 12:31	90003 Northridge - 17645 Saticoy St	USC	NORTHR/STC090	0.1	30.0	0.368	28.9	8.44
P0993	Northridge 1994/01/17 12:31	90003 Northridge - 17645 Saticoy St	USC	NORTHR/STC180	0.1	30.0	0.477	61.5	22.06
P0994	Northridge 1994/01/17 12:31	90049 Pacific Palisades - Sunset Blvd	USC	NORTHR/SUN280	0.05	30.0	0.197	14.9	5.62
P0994	Northridge 1994/01/17 12:31	90049 Pacific Palisades - Sunset Blvd	USC	NORTHR/SUN190	0.05	30.0	0.469	31.0	5.26
P0994	Northridge 1994/01/17 12:31	90049 Pacific Palisades - Sunset Blvd	USC	NORTHR/SUN-UP	0.1	30.0	0.179	14.7	3.98

P0995	Northridge 1994/01/17 12:31	24207 Pacoima Dam (downstr)	CDMG	NORTHR/PAC175	0.16	23.0	0.415	45.6	5.06
P0995	Northridge 1994/01/17 12:31	24207 Pacoima Dam (downstr)	CDMG	NORTHR/PAC265	0.16	23.0	0.434	31.3	4.8
P0995	Northridge 1994/01/17 12:31	24207 Pacoima Dam (downstr)	CDMG	NORTHR/PAC-UP	0.75	23.0	0.19	14.2	1.35
P0996	Northridge 1994/01/17 12:31	24207 Pacoima Dam (upper left)	CDMG	NORTHR/PUL-UP	0.16	23.0	1.229	49.6	11.75
P0996	Northridge 1994/01/17 12:31	24207 Pacoima Dam (upper left)	CDMG	NORTHR/PUL194	0.16	23.0	1.285	103.9	23.8
P0996	Northridge 1994/01/17 12:31	24207 Pacoima Dam (upper left)	CDMG	NORTHR/PUL104	0.16	23.0	1.585	55.7	6.06
P0997	Northridge 1994/01/17 12:31	24521 Palmdale - Hwy 14 & Palmdale	CDMG	NORTHR/PHP-UP	0.2	46.0	0.04	8.0	5.5
P0997	Northridge 1994/01/17 12:31	24521 Palmdale - Hwy 14 & Palmdale	CDMG	NORTHR/PHP000	0.2	46.0	0.061	14.8	7.18
P0997	Northridge 1994/01/17 12:31	24521 Palmdale - Hwy 14 & Palmdale	CDMG	NORTHR/PHP270	0.2	46.0	0.067	16.9	7.96
P0998	Northridge 1994/01/17 12:31	0 Pardee - SCE	SCE	NORTHR/PAR--T	0.4	20.0	0.406	43.6	12.09
P0998	Northridge 1994/01/17 12:31	0 Pardee - SCE	SCE	NORTHR/PAR--L	0.5	20.0	0.657	75.2	13.16
P0998	Northridge 1994/01/17 12:31	0 Pardee - SCE	SCE	NORTHR/PAR-UP	1.5	23.0	0.384	10.9	0.5

P0999	Northridge 1994/01/17 12:31	90095 Pasadena - N Sierra Madre	USC	NORTHR/SMV270	0.2	30.0	0.174	9.6	1.53
P0999	Northridge 1994/01/17 12:31	90095 Pasadena - N Sierra Madre	USC	NORTHR/SMV180	0.3	30.0	0.245	12.3	1.09
P0999	Northridge 1994/01/17 12:31	90095 Pasadena - N Sierra Madre	USC	NORTHR/SMV-UP	0.4	30.0	0.141	8.4	0.57
P1000	Northridge 1994/01/17 12:31	23597 Phelan - Wilson Ranch	CDMG	NORTHR/PHE-UP	0.2	46.0	0.034	2.3	0.54
P1000	Northridge 1994/01/17 12:31	23597 Phelan - Wilson Ranch	CDMG	NORTHR/PHE090	0.2	46.0	0.047	5.0	1.0
P1000	Northridge 1994/01/17 12:31	23597 Phelan - Wilson Ranch	CDMG	NORTHR/PHE180	0.2	46.0	0.057	4.0	1.23
P1001	Northridge 1994/01/17 12:31	25148 Point Mugu - Laguna Peak	CDMG	NORTHR/PTM-UP	0.3	23.0	0.067	3.4	0.47
P1001	Northridge 1994/01/17 12:31	25148 Point Mugu - Laguna Peak	CDMG	NORTHR/PTM000	0.3	23.0	0.134	10.2	1.36
P1001	Northridge 1994/01/17 12:31	25148 Point Mugu - Laguna Peak	CDMG	NORTHR/PTM090	0.3	23.0	0.223	19.1	1.87
P1002	Northridge 1994/01/17 12:31	24281 Port Hueneme - Naval Lab.	CDMG	NORTHR/PTH-UP	0.14	23.0	0.037	2.3	1.17
P1002	Northridge 1994/01/17 12:31	24281 Port Hueneme - Naval Lab.	CDMG	NORTHR/PTH180	0.14	23.0	0.086	7.7	3.08
P1002	Northridge 1994/01/17 12:31	24281 Port Hueneme - Naval Lab.	CDMG	NORTHR/PTH090	0.14	23.0	0.103	7.8	2.23

P1003	Northridge 1994/01/17 12:31	23598 Rancho Cucamonga - Deer Can	CDMG	NORTHR/CUC-UP	0.3	46.0	0.025	2.2	0.4
P1003	Northridge 1994/01/17 12:31	23598 Rancho Cucamonga - Deer Can	CDMG	NORTHR/CUC180	0.3	46.0	0.051	5.9	0.78
P1003	Northridge 1994/01/17 12:31	23598 Rancho Cucamonga - Deer Can	CDMG	NORTHR/CUC090	0.3	46.0	0.071	4.2	0.56
P1004	Northridge 1994/01/17 12:31	14404 Rancho Palos Verdes - Hawth	CDMG	NORTHR/RAN-UP	0.3	23.0	0.043	1.8	0.39
P1004	Northridge 1994/01/17 12:31	14404 Rancho Palos Verdes - Hawth	CDMG	NORTHR/RAN090	0.3	23.0	0.054	3.5	0.98
P1004	Northridge 1994/01/17 12:31	14404 Rancho Palos Verdes - Hawth	CDMG	NORTHR/RAN000	0.3	23.0	0.072	5.0	0.73
P1005	Northridge 1994/01/17 12:31	77 Rinaldi Receiving Sta	DWP	NORTHR/RRS318	null	null	0.472	73.0	19.76
P1005	Northridge 1994/01/17 12:31	77 Rinaldi Receiving Sta	DWP	NORTHR/RRS228	null	null	0.838	166.1	28.78
P1005	Northridge 1994/01/17 12:31	77 Rinaldi Receiving Sta	DWP	NORTHR/RRS-UP	null	null	0.852	50.7	11.65
P1006	Northridge 1994/01/17 12:31	13123 Riverside - Airport	CDMG	NORTHR/RIV-UP	0.3	23.0	0.022	2.3	0.39
P1006	Northridge 1994/01/17 12:31	13123 Riverside - Airport	CDMG	NORTHR/RIV180	0.3	23.0	0.059	2.7	0.28
P1006	Northridge 1994/01/17 12:31	13123 Riverside - Airport	CDMG	NORTHR/RIV270	0.3	23.0	0.064	3.1	0.5

P1007	Northridge 1994/01/17 12:31	14405 Rolling Hills Est-Rancho Vista	CDMG	NORTHR/RHE-UP	0.15	25.0	0.041	2.4	0.44
P1007	Northridge 1994/01/17 12:31	14405 Rolling Hills Est-Rancho Vista	CDMG	NORTHR/RHE360	0.15	25.0	0.106	5.8	1.17
P1007	Northridge 1994/01/17 12:31	14405 Rolling Hills Est-Rancho Vista	CDMG	NORTHR/RHE090	0.15	25.0	0.116	8.9	1.41
P1008	Northridge 1994/01/17 12:31	24092 Rosamond - Airport	CDMG	NORTHR/RMA-UP	0.3	23.0	0.023	1.4	0.36
P1008	Northridge 1994/01/17 12:31	24092 Rosamond - Airport	CDMG	NORTHR/RMA090	0.3	23.0	0.039	3.5	0.75
P1008	Northridge 1994/01/17 12:31	24092 Rosamond - Airport	CDMG	NORTHR/RMA000	0.3	23.0	0.075	4.7	0.43
P1009	Northridge 1994/01/17 12:31	23672 San Bernardino - CSUSB Gr	CDMG	NORTHR/BER-UP	0.3	46.0	0.021	1.5	0.25
P1009	Northridge 1994/01/17 12:31	23672 San Bernardino - CSUSB Gr	CDMG	NORTHR/BER000	0.3	46.0	0.034	2.8	0.31
P1009	Northridge 1994/01/17 12:31	23672 San Bernardino - CSUSB Gr	CDMG	NORTHR/BER090	0.3	46.0	0.069	4.0	0.77
P1010	Northridge 1994/01/17 12:31	23542 San Bernardino - E & Hosp	CDMG	NORTHR/HOS-UP	0.2	46.0	0.044	2.6	0.51
P1010	Northridge 1994/01/17 12:31	23542 San Bernardino - E & Hosp	CDMG	NORTHR/HOS090	0.2	46.0	0.085	5.9	0.97
P1010	Northridge 1994/01/17 12:31	23542 San Bernardino - E & Hosp	CDMG	NORTHR/HOS180	0.2	46.0	0.096	6.5	1.34

P1011	Northridge 1994/01/17 12:31	90019 San Gabriel - E. Grand Ave.	USC	NORTHR/GRN-UP	0.1	30.0	0.073	3.7	1.49
P1011	Northridge 1994/01/17 12:31	90019 San Gabriel - E. Grand Ave.	USC	NORTHR/GRN270	0.1	30.0	0.256	9.8	2.79
P1011	Northridge 1994/01/17 12:31	90019 San Gabriel - E. Grand Ave.	USC	NORTHR/GRN180	0.13	30.0	0.141	9.6	2.21
P1012	Northridge 1994/01/17 12:31	12673 San Jacinto - CDF Fire Sta	CDMG	NORTHR/CDF-UP	0.16	46.0	0.022	3.7	1.27
P1012	Northridge 1994/01/17 12:31	12673 San Jacinto - CDF Fire Sta	CDMG	NORTHR/CDF000	0.16	46.0	0.081	8.1	1.62
P1012	Northridge 1994/01/17 12:31	12673 San Jacinto - CDF Fire Sta	CDMG	NORTHR/CDF090	0.16	46.0	0.099	7.7	1.56
P1013	Northridge 1994/01/17 12:31	14159 San Pedro - Palos Verdes	CDMG	NORTHR/SAP-UP	0.3	23.0	0.07	3.0	0.3
P1013	Northridge 1994/01/17 12:31	14159 San Pedro - Palos Verdes	CDMG	NORTHR/SAP090	0.3	23.0	0.095	6.6	1.02
P1013	Northridge 1994/01/17 12:31	14159 San Pedro - Palos Verdes	CDMG	NORTHR/SAP000	0.3	23.0	0.101	5.6	0.59
P1014	Northridge 1994/01/17 12:31	24644 Sandberg - Bald Mtn	CDMG	NORTHR/SAN-UP	0.12	46.0	0.044	6.4	3.66
P1014	Northridge 1994/01/17 12:31	24644 Sandberg - Bald Mtn	CDMG	NORTHR/SAN090	0.12	46.0	0.091	12.2	4.73
P1014	Northridge 1994/01/17 12:31	24644 Sandberg - Bald Mtn	CDMG	NORTHR/SAN180	0.12	46.0	0.098	8.9	4.61

P1015	Northridge 1994/01/17 12:31	25091 Santa Barbara - UCSB Goleta	CDMG	NORTHR/SBG-UP	0.2	23.0	0.039	2.9	0.74
P1015	Northridge 1994/01/17 12:31	25091 Santa Barbara - UCSB Goleta	CDMG	NORTHR/SBG090	0.2	23.0	0.069	6.7	1.57
P1015	Northridge 1994/01/17 12:31	25091 Santa Barbara - UCSB Goleta	CDMG	NORTHR/SBG000	0.2	23.0	0.078	7.0	1.46
P1016	Northridge 1994/01/17 12:31	90077 Santa Fe Spr - E. Joslin	USC	NORTHR/EJS120	0.3	30.0	0.123	7.0	0.96
P1016	Northridge 1994/01/17 12:31	90077 Santa Fe Spr - E. Joslin	USC	NORTHR/EJS030	0.3	30.0	0.135	9.5	1.13
P1016	Northridge 1994/01/17 12:31	90077 Santa Fe Spr - E. Joslin	USC	NORTHR/EJS-UP	0.4	30.0	0.052	2.6	0.32
P1017	Northridge 1994/01/17 12:31	24538 Santa Monica City Hall	CDMG	NORTHR/STM-UP	0.14	23.0	0.23	14.3	4.17
P1017	Northridge 1994/01/17 12:31	24538 Santa Monica City Hall	CDMG	NORTHR/STM360	0.14	23.0	0.37	25.1	7.16
P1017	Northridge 1994/01/17 12:31	24538 Santa Monica City Hall	CDMG	NORTHR/STM090	0.14	23.0	0.883	41.7	15.09
P1018	Northridge 1994/01/17 12:31	5108 Santa Susana Ground	USGS	NORTHR/SSU090	null	null	0.29	19.7	7.45
P1018	Northridge 1994/01/17 12:31	5108 Santa Susana Ground	USGS	NORTHR/SSU000	0.2	null	0.279	19.4	4.11
P1019	Northridge 1994/01/17 12:31	14578 Seal Beach - Office Bldg	CDMG	NORTHR/SEA-UP	0.16	46.0	0.037	2.0	1.9

P1019	Northridge 1994/01/17 12:31	14578 Seal Beach - Office Bldg	CDMG	NORTHR/SEA000	0.16	46.0	0.061	5.8	1.99
P1019	Northridge 1994/01/17 12:31	14578 Seal Beach - Office Bldg	CDMG	NORTHR/SEA090	0.16	46.0	0.084	6.9	1.34
P1020	Northridge 1994/01/17 12:31	0637 Sepulveda VA	USGS	NORTHR/SPV360	0.0	null	0.939	76.6	14.95
P1020	Northridge 1994/01/17 12:31	0637 Sepulveda VA	USGS	NORTHR/SPV-UP	0.1	null	0.467	33.2	9.58
P1020	Northridge 1994/01/17 12:31	0637 Sepulveda VA	USGS	NORTHR/SPV270	0.1	null	0.753	84.8	18.68
P1021	Northridge 1994/01/17 12:31	90055 Simi Valley - Katherine Rd	USC	NORTHR/KAT-UP	0.3	30.0	0.402	13.1	2.18
P1021	Northridge 1994/01/17 12:31	90055 Simi Valley - Katherine Rd	USC	NORTHR/KAT090	0.4	30.0	0.64	37.8	5.09
P1021	Northridge 1994/01/17 12:31	90055 Simi Valley - Katherine Rd	USC	NORTHR/KAT000	0.5	30.0	0.877	40.9	5.29
P1022	Northridge 1994/01/17 12:31	78 Stone Canyon	MWD	NORTHR/SCR000	0.03	null	0.252	28.0	3.14
P1022	Northridge 1994/01/17 12:31	78 Stone Canyon	MWD	NORTHR/SCR090	0.03	null	0.388	38.0	4.6
P1022	Northridge 1994/01/17 12:31	78 Stone Canyon	MWD	NORTHR/SCR-UP	0.08	null	0.181	6.1	2.42
P1023	Northridge 1994/01/17 12:31	74 Sylmar - Converter Sta	DWP	NORTHR/SCS-UP	null	null	0.586	34.6	25.44

P1023	Northridge 1994/01/17 12:31	74 Sylmar - Converter Sta	DWP	NORTHR/SCS052	null	null	0.612	117.4	53.47
P1023	Northridge 1994/01/17 12:31	74 Sylmar - Converter Sta	DWP	NORTHR/SCS142	null	null	0.897	102.8	46.99
P1024	Northridge 1994/01/17 12:31	75 Sylmar - Converter Sta East	DWP	NORTHR/SCE-UP	null	null	0.377	24.3	7.3
P1024	Northridge 1994/01/17 12:31	75 Sylmar - Converter Sta East	DWP	NORTHR/SCE288	null	null	0.493	74.6	28.69
P1024	Northridge 1994/01/17 12:31	75 Sylmar - Converter Sta East	DWP	NORTHR/SCE018	null	null	0.828	117.5	34.22
P1025	Northridge 1994/01/17 12:31	5081 Topanga - Fire Sta	USGS	NORTHR/TPF-UP	0.1	null	0.199	10.5	3.1
P1025	Northridge 1994/01/17 12:31	5081 Topanga - Fire Sta	USGS	NORTHR/TPF000	0.2	null	0.364	17.6	2.87
P1025	Northridge 1994/01/17 12:31	5081 Topanga - Fire Sta	USGS	NORTHR/TPF090	0.3	null	0.266	12.9	1.34
P1026	Northridge 1994/01/17 12:31	90089 Tustin - E. Sycamore	USC	NORTHR/SYC-UP	0.23	30.0	0.025	1.5	0.33
P1026	Northridge 1994/01/17 12:31	90089 Tustin - E. Sycamore	USC	NORTHR/SYC135	0.3	30.0	0.07	4.0	0.76
P1026	Northridge 1994/01/17 12:31	90089 Tustin - E. Sycamore	USC	NORTHR/SYC225	0.4	30.0	0.074	4.5	0.42
P1027	Northridge 1994/01/17 12:31	25340 Ventura - Harbor & California	CDMG	NORTHR/VEN-UP	0.1	25.0	0.025	5.1	3.12

P1027	Northridge 1994/01/17 12:31	25340 Ventura - Harbor & California	CDMG	NORTHR/VEN090	0.1	25.0	0.054	7.9	2.65
P1027	Northridge 1994/01/17 12:31	25340 Ventura - Harbor & California	CDMG	NORTHR/VEN360	0.1	25.0	0.075	12.0	3.87
P1028	Northridge 1994/01/17 12:31	90090 Villa Park - Serrano Ave	USC	NORTHR/SER000	0.1	30.0	0.043	3.1	1.19
P1028	Northridge 1994/01/17 12:31	90090 Villa Park - Serrano Ave	USC	NORTHR/SER270	0.1	30.0	0.045	3.8	2.0
P1028	Northridge 1994/01/17 12:31	90090 Villa Park - Serrano Ave	USC	NORTHR/SER-UP	0.3	30.0	0.027	2.5	0.37
P1029	Northridge 1994/01/17 12:31	90071 West Covina - S. Orange Ave	USC	NORTHR/SOR315	0.1	30.0	0.067	5.8	2.65
P1029	Northridge 1994/01/17 12:31	90071 West Covina - S. Orange Ave	USC	NORTHR/SOR-UP	0.2	30.0	0.049	2.7	0.95
P1029	Northridge 1994/01/17 12:31	90071 West Covina - S. Orange Ave	USC	NORTHR/SOR225	0.2	30.0	0.063	5.9	1.34
P1030	Northridge 1994/01/17 12:31	90075 Whittier - S. Alta Dr	USC	NORTHR/SAL000	0.3	30.0	0.089	7.5	1.12
P1030	Northridge 1994/01/17 12:31	90075 Whittier - S. Alta Dr	USC	NORTHR/SAL-UP	0.4	30.0	0.024	1.6	0.34
P1030	Northridge 1994/01/17 12:31	90075 Whittier - S. Alta Dr	USC	NORTHR/SAL090	0.4	30.0	0.052	3.3	0.56
P1031	Northridge 1994/01/17 12:31	23590 Wrightwood - Jackson Flat	CDMG	NORTHR/WWJ-UP	0.24	46.0	0.034	5.8	1.32

P1031	Northridge 1994/01/17 12:31	23590 Wrightwood - Jackson Flat	CDMG	NORTHR/WWJ180	0.24	46.0	0.037	7.0	2.84
P1031	Northridge 1994/01/17 12:31	23590 Wrightwood - Jackson Flat	CDMG	NORTHR/WWJ090	0.24	46.0	0.056	10.0	2.92
P1032	Northridge 1994/01/17 12:31	23573 Wrightwood - Nielson Ranch	CDMG	NORTHR/WWN-UP	0.24	46.0	0.021	2.5	0.77
P1032	Northridge 1994/01/17 12:31	23573 Wrightwood - Nielson Ranch	CDMG	NORTHR/WWN090	0.24	46.0	0.042	5.8	2.29
P1032	Northridge 1994/01/17 12:31	23573 Wrightwood - Nielson Ranch	CDMG	NORTHR/WWN180	0.24	46.0	0.042	6.3	2.33
P1033	Northridge 1994/01/17 12:31	23574 Wrightwood - Swarthout	CDMG	NORTHR/WRI-UP	0.3	46.0	0.034	1.9	0.24
P1033	Northridge 1994/01/17 12:31	23574 Wrightwood - Swarthout	CDMG	NORTHR/WRI090	0.3	46.0	0.047	3.7	0.49
P1033	Northridge 1994/01/17 12:31	23574 Wrightwood - Swarthout	CDMG	NORTHR/WRI180	0.3	46.0	0.06	3.7	0.52

3.4. Μέθοδος εκτίμησης του συχνοτικού περιεχομένου των παλμών κατευθυντικότητας

3.4.1. Σύνοψη των υφιστάμενων μεθόδων εκτίμησης του συχνοτικού περιεχομένου των παλμών κατευθυντικότητας

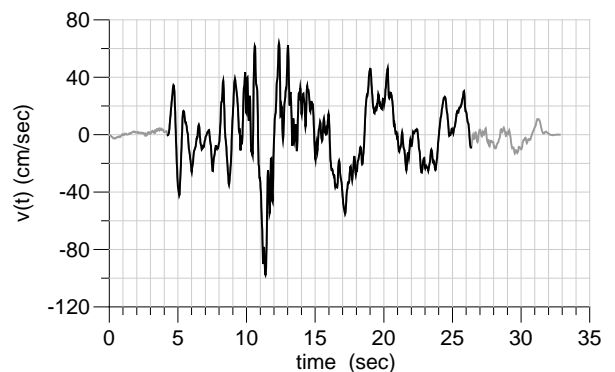
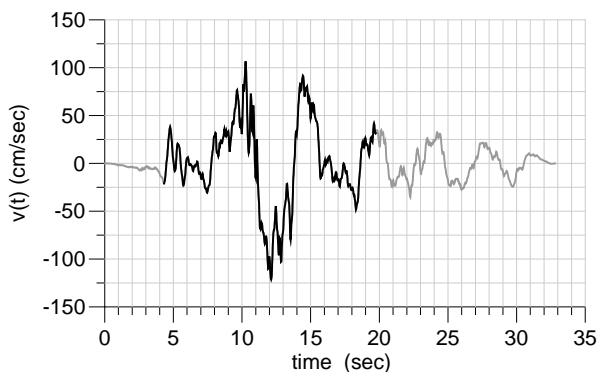
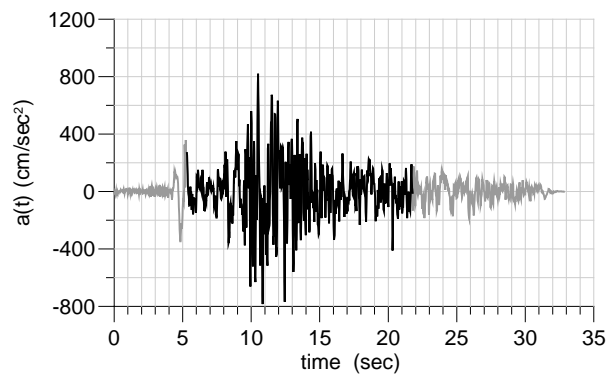
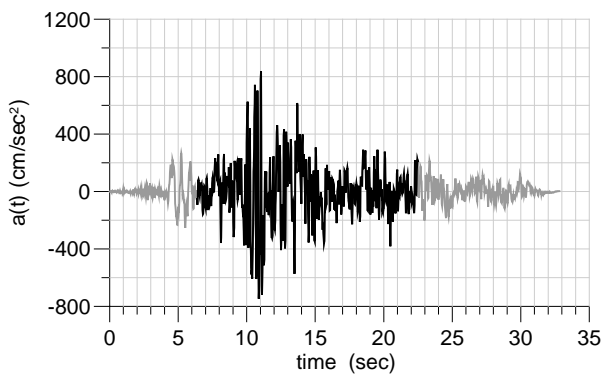
Υστερα από όσα παρουσιάστηκαν στο κεφάλαιο 1, κρίνεται σκόπιμο να γίνει μια συνοπτική παρουσίαση των μεθόδων που προτάθηκαν από κάποιους ερευνητές για την εκτίμηση του συχνοτικού περιεχομένου των καταγραφών.

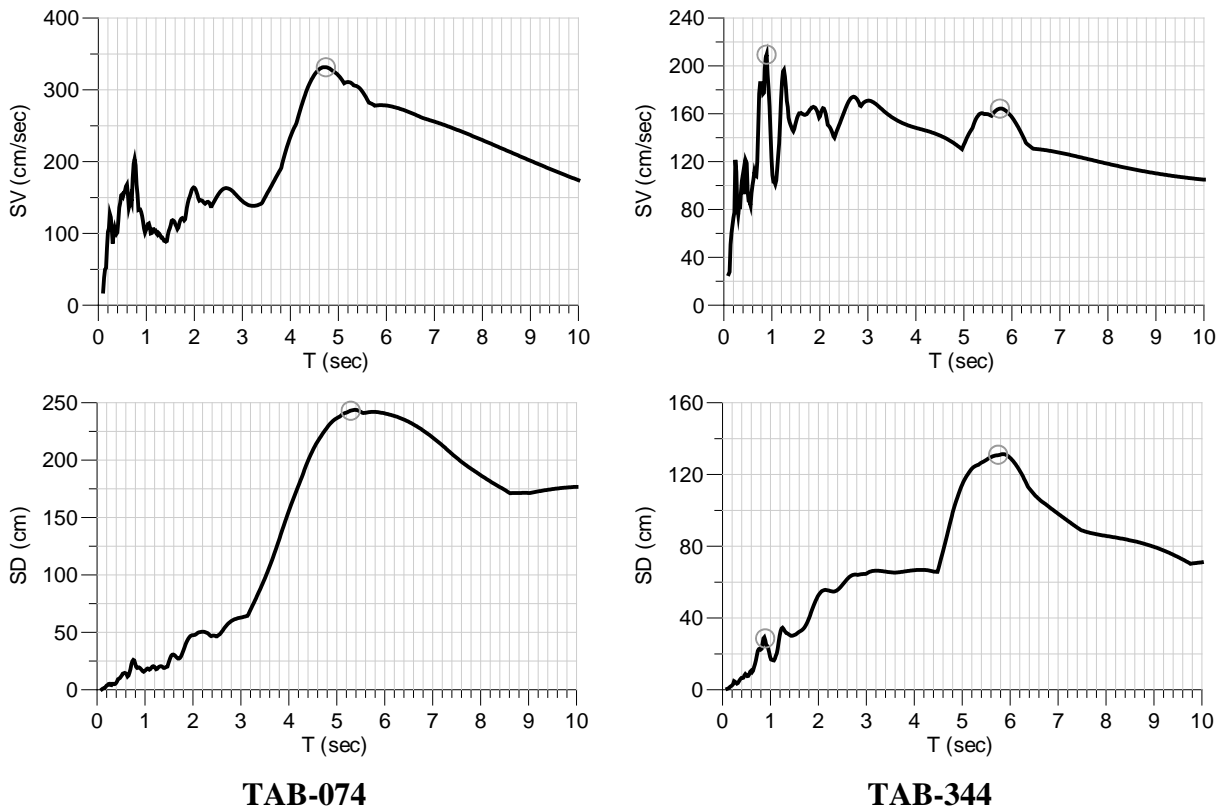
Μια σημαντική παρατήρηση αφορά στην απόκλιση που παρουσιάζεται μερικές φορές ανάμεσα στις εκτιμώμενες περιόδους των παλμών της κατευθυντικότητας και στις περιόδους που αντιστοιχούν στη μέγιστη φασματική τιμή της ταχύτητας, που θεωρείται από πολλούς μελετητές ως η πλέον αντιπροσωπευτική εκτίμηση της περιόδου του παλμού. Η απόκλιση αυτή αυξάνει με την αύξηση του σεισμικού μεγέθους. Η διαφοροποίηση αυτή μπορεί να εξηγηθεί αν αναλογισθούμε ότι το φάσμα απόκρισης σε όρους ταχυτήτων μιας καταγραφής σχετίζεται, όπως είναι γνωστό, με το φάσμα Fourier της αντίστοιχης χρονοϊστορίας της επιτάχυνσης. Επομένως η μέγιστη κορυφή του φάσματος απόκρισης των ταχυτήτων αντιστοιχεί στην πιο σημαντική αρμονική Fourier της επιτάχυνσης και όχι της ταχύτητας, και αναμένεται να είναι σχετικά υψίσυχη.

Στην περίπτωση πολύ ισχυρού παλμού ταχύτητας, μπορεί η αρμονική που αντιστοιχεί στο συχνοτικό περιεχόμενο της χρονοϊστορίας της επιτάχυνσης να είναι ενδεικτική και για το συχνοτικό περιεχόμενο της εδαφικής ταχύτητας. Οι πιο σημαντικές καταγραφές αυτού του είδους έχουν προσανατολισμό κάθετο στο ρήγμα, όπου το φαινόμενο του παλμού κατευθυντικότητας είναι ισχυρότερο. Όπως προέκυψε όμως από τη μελέτη του Baker [2007], η περίπτωση αυτή αποτελεί ένα υποσύνολο των καταγραφών κοντινού πεδίου. Εμπεριέχονται δηλαδή χαρακτηριστικά παλμού και σε σειρά καταγραφών κοντινού πεδίου που έχουν διαφορετική διεύθυνση από τις 90° ως προς το ίχνος του ρήματος. Σε αυτές τις περιπτώσεις, λόγω της μορφής διάδοσης των διατμητικών κυμάτων, το εύρος του παλμού κατευθυντικότητας μειώνεται με τη μείωση της γωνίας διάδοσης, με αποτέλεσμα η αρμονική που δεσπόζει στην εδαφική επιτάχυνση να είναι αρκετά πιο υψίσυχη από τον παλμό κατευθυντικότητας. Επομένως, η περίοδος που δεσπόζει στο φάσμα Fourier της εδαφικής επιτάχυνσης και στη μέγιστη φασματική ταχύτητα είναι

μικρότερη από αυτήν του παλμού ταχύτητας. Στην περίπτωση αυτή, εμφανίζεται στο φάσμα ταχυτήτων ένα τοπικό μέγιστο σε μεγαλύτερη περίοδο, η οποία αντιστοιχεί στην μέγιστη φασματική τιμή των μετακινήσεων και ταυτίζεται με την πιο σημαντική αρμονική της εδαφικής ταχύτητας που είναι η περίοδος του παλμού.

Χαρακτηριστική είναι η καταγραφή του σεισμού στην περιοχή Tabas (Iran 1978, $M_w=7.1$), όπου η πλησιέστερη στην κάθετο προς το ίχνος του ρήγματος συνιστώσα, η TAB-074, αντιστοιχεί στον ισχυρό παλμό που κυριαρχεί στην χρονοϊστορία της εδαφικής κίνησης, ενώ, η άλλη συνιστώσα της καταγραφής, η TAB-344, αντιστοιχεί στον παλμό μικρότερου εύρους (βλ. σχήμα 35). Σημειώνεται ότι, ενώ και στις δύο συνιστώσες η μέγιστη τιμή της φασματικής μετακίνησης εμφανίζεται για περίοδο $T \approx 5 \div 6$ sec, στη δεύτερη περίπτωση, η μέγιστη τιμή της φασματικής ταχύτητας εμφανίζεται σε περίοδο μικρότερη του 1 sec. Η παρατήρηση αυτή αιτιολογεί την αυξανόμενη απόκλιση μεταξύ της διαπιστωμένης περιόδου του παλμού και της εκτιμώμενης τιμής μέσω του μέγιστου του φάσματος.





Σχήμα 35. Χρονοϊστορίες και φάσματα (σεισμός TABAS, Iran 1978, Mw=7.1)

Οι παρατηρήσεις αυτές ενισχύονται από τα αποτελέσματα της προτεινόμενης διαδικασίας προσομοίωσης των παλμών κατευθυντικότητας από τους Mavroudis and Papageorgiou [2003]. Από τα αποτελέσματα προκύπτει, ότι, σε αρκετές περιπτώσεις, η προσδιοριζόμενη περίοδος είναι αρκετά μεγαλύτερη από τη δεσπόζουσα περίοδο του φάσματος ταχυτήτων. Σε αυτές τις περιπτώσεις, η προσδιοριζόμενη περίοδος είναι επίσης μεγαλύτερη από αυτήν που αντιστοιχεί στη διάρκεια του παλμού μέγιστης εδαφικής ταχύτητας.

Από τα παραπάνω προκύπτει, ότι οι προσεγγιστικές αυτές εκτιμήσεις του συχνοτικού περιεχομένου των παλμών κατευθυντικότητας, παρουσιάζουν σημαντικές αποκλίσεις από τις πραγματικές τιμές και, όπως στην περίπτωση της δεσπόζουσας περιόδου του φάσματος ταχυτήτων, δε συσχετίζονται θεωρητικά με το συχνοτικό περιεχόμενο της εδαφικής ταχύτητας.

Συνεπώς, υπάρχει ανάγκη μιας αποδεδειγμένα ικανοποιητικής μεθόδου για τον καθορισμό του συχνοτικού περιεχομένου των παλμών κατευθυντικότητας και τον προσδιορισμό της αντίστοιχης χρονοϊστορίας.

3.4.2 Προτεινόμενη διαδικασία εκτίμησης του συχνοτικού περιεχομένου των παλμών κατευθυντικότητας

Με την μέθοδο που προτείνεται παρακάτω, η εκτίμηση της δεσπόζουσας περιόδου του παλμού κατευθυντικότητας καθορίζεται από το φάσμα απόκρισης SD της καταγραφής. Όπως αποδεικνύεται, το φάσμα Fourier της εδαφικής ταχύτητας σχετίζεται άμεσα με το φάσμα απόκρισης SD, ανάλογα με την συσχέτιση της εδαφικής επιτάχυνσης με το φάσμα απόκρισης SV.

Ως γνωστόν ο μετασχηματισμός Fourier μιας χρονοϊστορίας $f(t)$ δίνεται από την σχέση:

$$F(\omega) = \int_0^{tr} f(\tau) e^{-i\omega\tau} d\tau = \int_0^{tr} f(\tau) (\cos \omega\tau + i \sin \omega\tau) d\tau \quad (42)$$

Αντίστοιχα, το φάσμα εύρους Fourier, $FS(\omega)$ δίνεται με την μορφή:

$$FS(\omega) = \left\{ \left[\int_0^{tr} f(\tau) \cos \omega\tau d\tau \right]^2 + \left[\int_0^{tr} f(\tau) \sin \omega\tau d\tau \right]^2 \right\}^{1/2} \quad (43)$$

Για την περίπτωση όπου η χρονοϊστορία $f(t)$ αντιστοιχεί στην εδαφική επιτάχυνση $a(t)$, η τιμή του φάσματος απόκρισης για μηδενική απόσβεση και για ιδιοσυχνότητα ω , σύμφωνα με το ολοκλήρωμα Duhamel, δίνεται από τη σχέση:

$$\dot{x}(t) = \int_0^t a(\tau) \cos \omega(t - \tau) d\tau \quad (44)$$

Από την ανάπτυξη του ολοκληρώματος προκύπτει η έκφραση:

$$\begin{aligned} \dot{x}(t) &= \int_0^t a(\tau) (\cos \omega t \cos \omega\tau + \sin \omega t \sin \omega\tau) d\tau \\ &= \left[\int_0^t a(\tau) \cos \omega\tau d\tau \right] \cos \omega t + \left[\int_0^t a(\tau) \sin \omega\tau d\tau \right] \sin \omega t \end{aligned} \quad (45)$$

Κατά συνέπεια, η φασματική τιμή της ταχύτητας απόκρισης $SV(\omega)$ ισούται με:

$$|\dot{x}(t)|_{\max} = \left\{ \left[\int_0^{t_{\max}} a(\tau) \cos \omega \tau \, d\tau \right]^2 + \left[\int_0^{t_{\max}} a(\tau) \sin \omega \tau \, d\tau \right]^2 \right\}^{1/2} \quad (46)$$

Η χρονική στιγμή t_{\max} αντιστοιχεί στη μέγιστη τιμή της ταχύτητας απόκρισης και είναι μικρότερη από την συνολική διάρκεια t_r . Από την σύγκριση των σχέσεων (43) και (46) προκύπτει η γνωστή ιδιότητα ότι η φασματική τιμή $FS(\omega)$ του φάσματος $F_o u i e r$ αντιστοιχεί στην τιμή της ταχύτητας στο τέλος της διέγερσης και είναι μικρότερη ή ίση της φασματικής τιμής $SV(\omega)$.

Αν θεωρηθεί ως χρονική συνάρτηση επιταχύνσεων $f_1(t)$ η χρονοϊστορία της εδαφικής επιτάχυνσης $a(t)$ με συνολική διάρκεια t_r , και ως χρονική συνάρτηση επιταχύνσεων $f_2(t)$ η αντίστοιχη χρονοϊστορία της εδαφικής ταχύτητας $v(t)$, πολλαπλασιασμένη με μία συχνότητα Ω , ώστε να τροποποιηθεί σε μονάδες επιτάχυνσης, ισχύουν οι εξής σχέσεις:

$$\begin{aligned} f_1(t) &= a(t) \quad , \quad f_2(t) = \Omega \times v(t) \\ f_1(0) &= f_1(t_r) = 0 \\ f_2(0) &= f_2(t_r) = 0 \\ \dot{f}_2(t) &= \Omega \times f_1(t) \end{aligned} \quad (47)$$

εφόσον η παράγωγος της χρονοϊστορίας της εδαφικής ταχύτητας είναι η εδαφική επιτάχυνση και οι αρχικές και τελικές τιμές των χρονοϊστοριών της εδαφικής επιτάχυνσης και ταχύτητας είναι μηδενικές.

Για συχνότητα ω και μηδενική απόσβεση, η χρονοϊστορία της μετακίνησης της απόκρισης για διέγερση με τη χρονική συνάρτηση επιταχύνσεων $f_1(t)$ δίνεται από την σχέση:

$$x_1(t) = \int_0^t \frac{f_1(\tau)}{\omega} \sin \omega(t - \tau) \, d\tau \quad (48)$$

Αντίστοιχα, η χρονοϊστορία της ταχύτητας απόκρισης για διέγερση με την χρονική συνάρτηση επιταχύνσεων $f_2(\tau)$ δίνεται από την σχέση:

$$\dot{x}_2(t) = \int_0^t f_2(\tau) \cos \omega(t-\tau) d\tau \quad (49)$$

Θεωρώντας την έκφραση $\cos \omega(t-\tau)$ ως μία συνάρτηση $\dot{g}(\tau)$ προκύπτει ότι:

$$\dot{g}(\tau) = \cos \omega(t-\tau) \Rightarrow g(\tau) = -\frac{\sin \omega(t-\tau)}{\omega} + C \quad (50)$$

Εφαρμόζοντας ολοκλήρωση κατά μέρη στην εξίσωση (50) προκύπτει:

$$\begin{aligned} \dot{x}_2(t) &= \int_0^t f_2(\tau) \dot{g}(\tau) d\tau \\ &= f_2(\tau)g(\tau) \Big|_0^t - \int_0^t g(\tau) \dot{f}_2(\tau) d\tau \\ &= f_2(t) \times \left[-\frac{\sin \omega(t-t)}{\omega} + C \right] - f_2(0)g(0) - \int_0^t g(\tau) \dot{f}_2(\tau) d\tau \\ &= C f_2(t) - C \int_0^t \dot{f}_2(\tau) d\tau + \int_0^t \frac{\dot{f}_2(\tau)}{\omega} \sin \omega(t-\tau) d\tau \\ &= \Omega \int_0^t \frac{\dot{f}_1(\tau)}{\omega} \sin \omega(t-\tau) d\tau = \Omega \times x_1(t) \end{aligned} \quad (51)$$

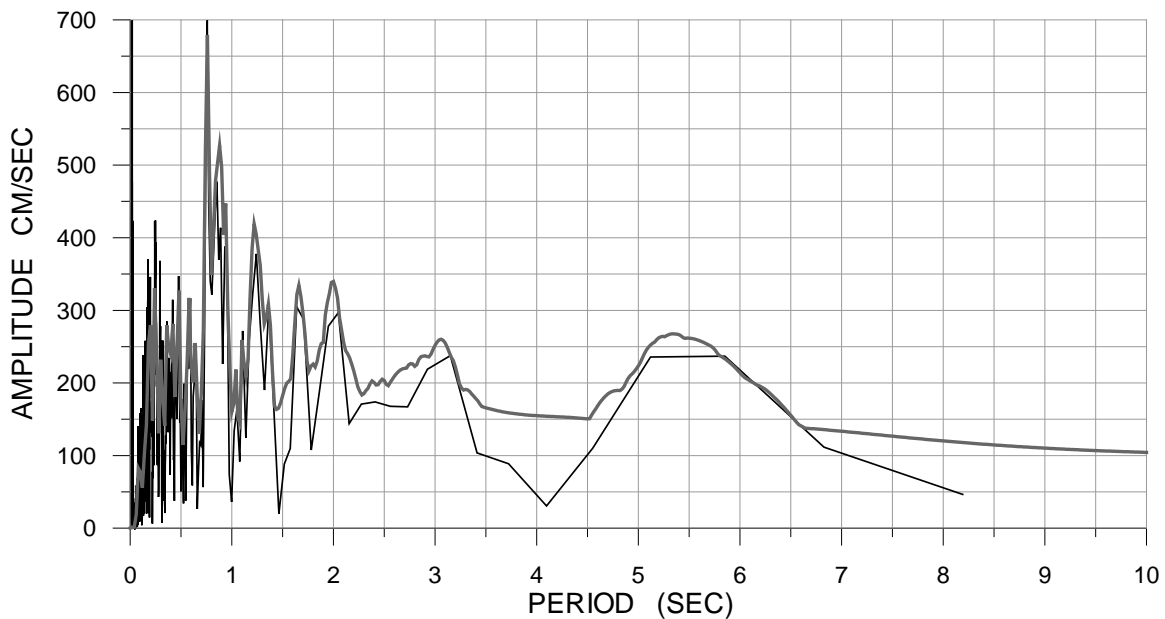
Από τη σχέση (51) προκύπτει ότι η χρονοϊστορία της ταχύτητας απόκρισης για διέγερση με τη χρονική συνάρτηση επιτάχυνσης $f_2(t) = \Omega \cdot v(t)$, είναι ίση με τη χρονοϊστορία της μετακίνησης απόκρισης για διέγερση με τη χρονική συνάρτηση επιταχύνσεων $\Omega \cdot f_1(\tau) = \Omega \cdot a(t)$. Επομένως, η γνωστή συσχέτιση μεταξύ φάσματος Fourier και φάσματος απόκρισης ταχυτήτων δίνει:

$$\begin{aligned} FS(f_2) &\leq \max |\dot{x}_2| \\ \Rightarrow \Omega \cdot FS(v) &\leq \Omega \cdot \max |x_1| \\ \Rightarrow FS(v) &\leq SD \end{aligned} \quad (52)$$

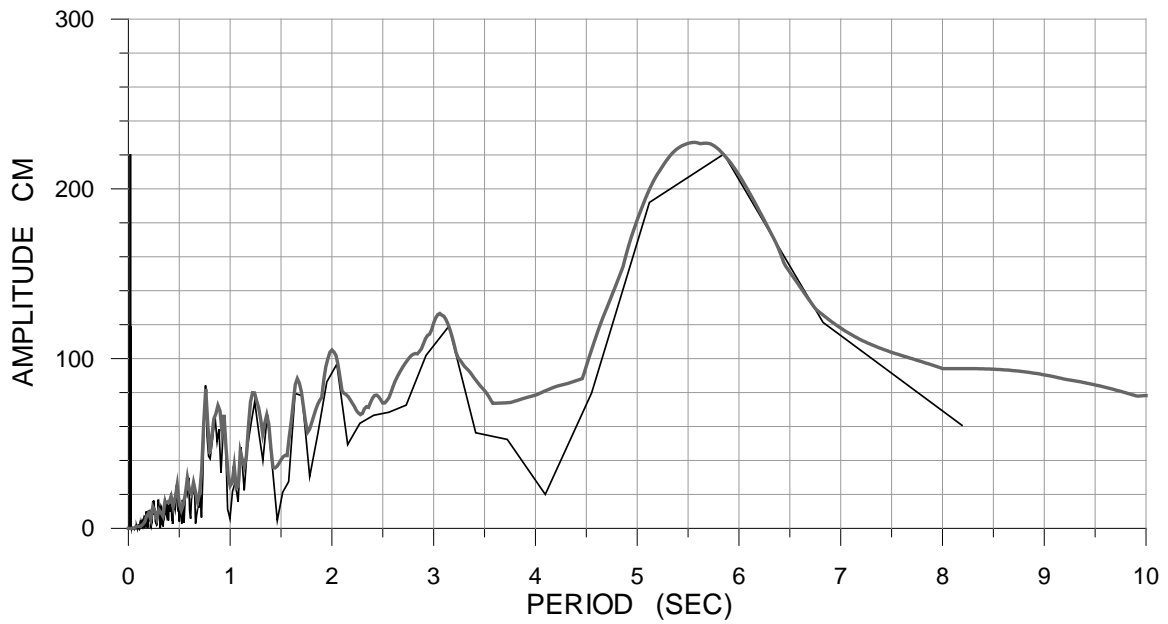
Προκύπτει, επομένως, ότι το φάσμα Fourier της εδαφικής ταχύτητας σχετίζεται με το φάσμα απόκρισης μετακινήσεων SD με το ν ίδιο τρόπο που το φάσμα Fourier της εδαφικής επιτάχυνσης σχετίζεται με το φάσμα απόκρισης ταχυτήτων SV.

Στα σχήματα 36α και 37α παρουσιάζεται η γνωστή συσχέτιση ανάμεσα στο φάσμα Fourier της εδαφικής επιτάχυνσης και στο φάσμα απόκρισης ταχυτήτων για τις καταγραφές TAB-344 και LEF1-LN (Λευκάδα, 2003). Στα σχήματα 36(β) και 37(β) παρουσιάζεται η συσχέτιση που αποδείχθηκε παραπάνω, ανάμεσα στο φάσμα Fourier της εδαφικής ταχύτητας και στο φάσμα απόκρισης μετακινήσεων για μηδενική απόσβεση. Η δεύτερη καταγραφή αντιστοιχεί ενδεχομένως σε φαινόμενο όπισθεν κατευθυντικότητας και παρουσιάζεται προκειμένου να γίνει καταφανής η γενική ισχύς της αντιστοιχίας του φάσματος Fourier της εδαφικής ταχύτητας και του φάσματος απόκρισης μετακινήσεων.

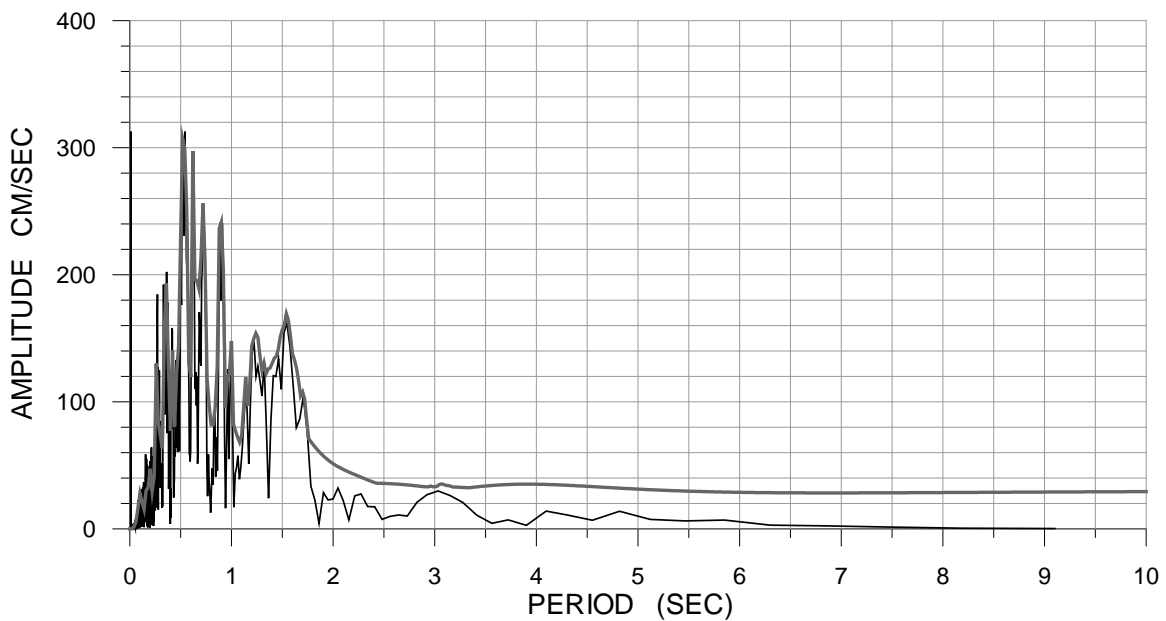
Δεδομένου ότι, στις καταγραφές με χαρακτηριστικά κατευθυντικότητας κοντινού πεδίου, ο αντίστοιχος παλμός δεσπόζει στη χρονοϊστορία της εδαφικής ταχύτητας, αναμένεται η δεσπόζουσα περίοδος του φάσματος Fourier της εδαφικής ταχύτητας να αντιστοιχεί στη δεσπόζουσα περίοδο του παλμού κατευθυντικότητας. Με βάση την προαναφερθείσα συσχέτιση μεταξύ φασμάτων Fourier και φασμάτων απόκρισης, η ίδια περίοδος αναμένεται να δεσπόζει και στο φάσμα μετακινήσεων για μηδενική απόσβεση.



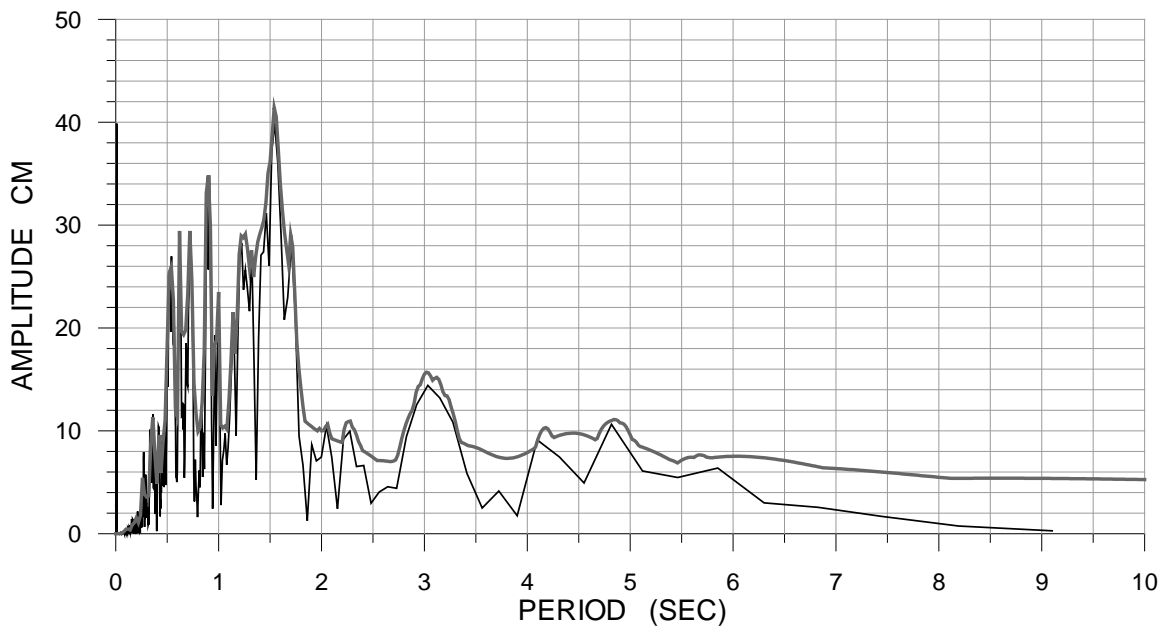
Σχήμα 36α. Φάσμα Fourier επιτάχυνσης και φάσμα απόκρισης ταχύτητας (σεισμός TABAS, Iran 1978, $M_w=7.1$)



Σχήμα 36β. Φάσμα Fourier ταχύτητας και φάσμα απόκρισης μετακίνησης (σεισμός TABAS , Iran 1978, $M_w=7.1$)



Σχήμα 37α. Φάσμα Fourier επιτάχυνσης και φάσμα απόκρισης ταχύτητας (σεισμός ΛΕΥΚΑΔΑΣ 2003 , LEF1-LN, $M_w=6.2$)



Σχήμα 37β. Φάσμα Fourier ταχύτητας και φάσμα απόκρισης μετακίνησης (σεισμός ΛΕΥΚΑΔΑΣ 2003 , LEF1-LN, $M_w=6.2$)

3.5. Διόρθωση και παρουσίαση των καταγραφών κοντινού πεδίου του σεισμού του Northridge.

Στην παρούσα εργασία αφού συλλέχθηκαν οι καταγραφές από την προαναφερθείσα ηλεκτρονική βάση δεδομένων, με την βοήθεια του προγράμματος Seismosignal δημιουργήθηκαν οι χρονοϊστορίες επιτάχυνσης, ταχύτητας και μετακίνησης για τις δύο οριζόντιες συνιστώσες της κίνησης. Σε περιπτώσεις που διαπιστώθηκαν λάθη στις μεγάλες περιόδους έγινε διόρθωση των καταγραφών με χρήση κατάλληλου φίλτρου διάβασης υψηλών συχνοτήτων HP (high-pass filter), απ' όπου απομακρύνονταν συχνότητες μικρότερες του 0.05 Hz (filtering για $f < 0.05$ Hz). Ωστόσο οι περιπτώσεις στις οποίες εντοπίστηκαν λάθη ήταν μεμονωμένες καθώς οι χρονοϊστορίες που χρησιμοποιήσαμε από την βάση δεδομένων «peer strong motion data» ήταν ήδη διορθωμένες. Στην συνέχεια, από τις τελικές διορθωμένες χρονοϊστορίες προέκυψαν τα ελαστικά φάσματα επιτάχυνσης, ταχύτητας και μετακίνησης με τη βοήθεια του προγράμματος *Grapher*.

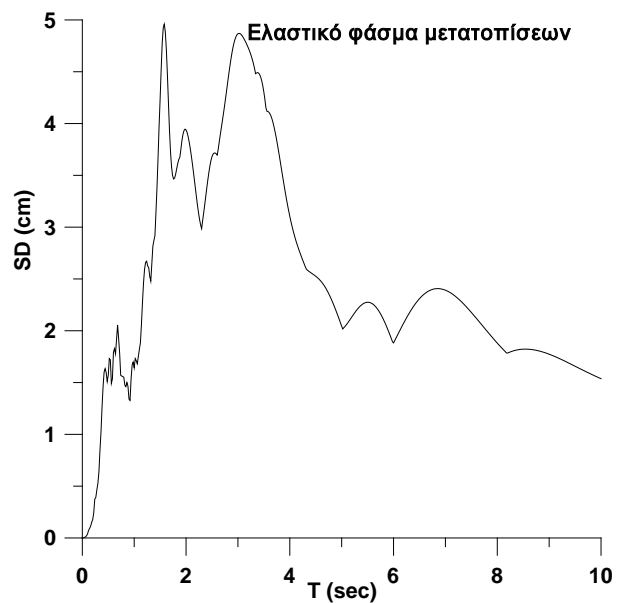
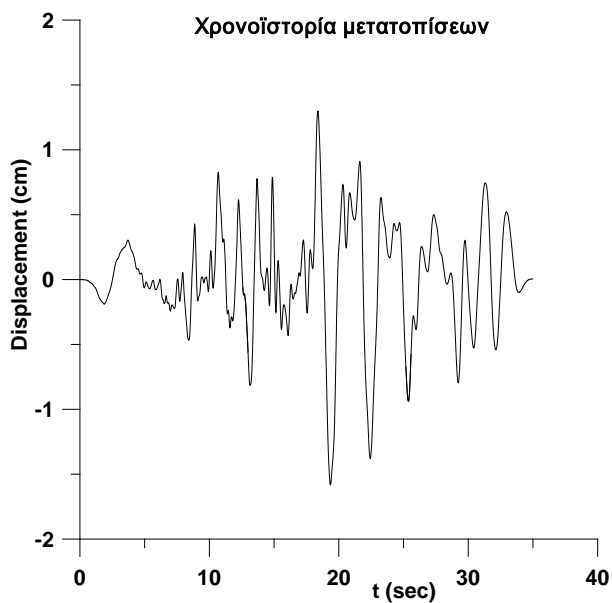
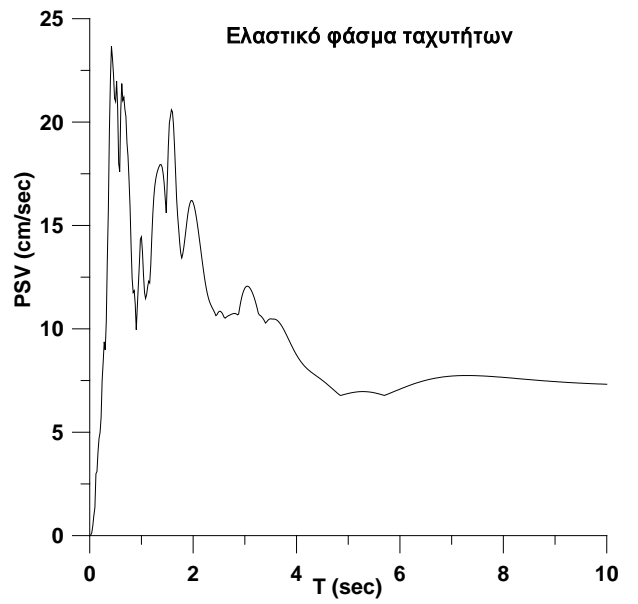
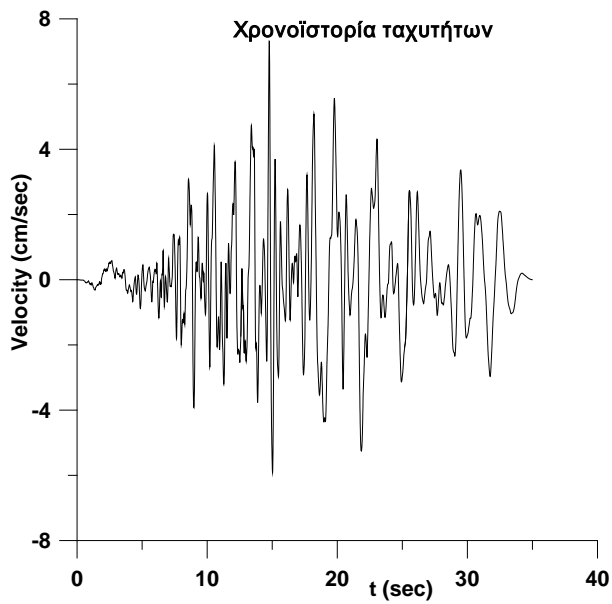
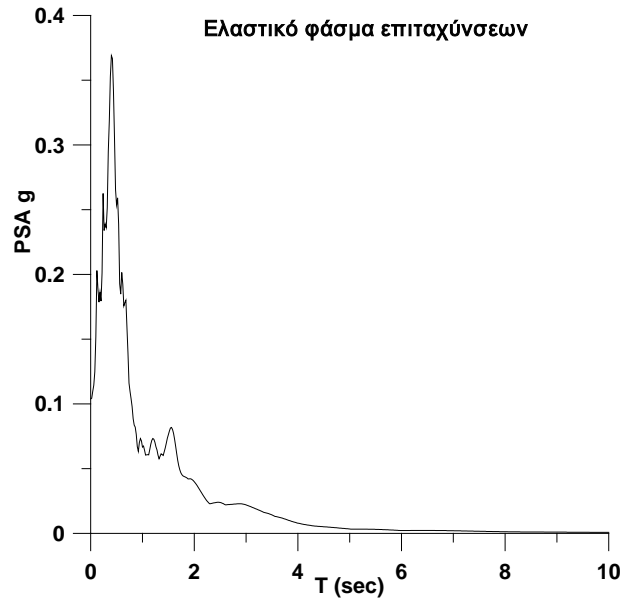
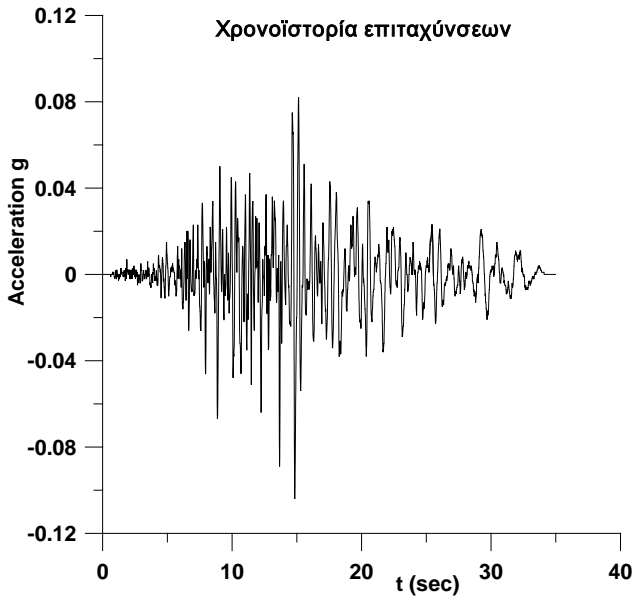
Στον Πίνακα 6 παρουσιάζονται οι 150 καταγραφές του σεισμού του Northridge,

των οποίων δημιουργήθηκαν τα φάσματα για τις δύο οριζόντιες συνιστώσες. Από τις καταγραφές αυτές επιλέχθηκαν 50 χαρακτηριστικές, μέσω των οποίων γίνεται σαφές το φαινόμενο της πρόσω και όπισθεν κατευθυντικότητας και τονίζεται ο ουσιαστικός ρόλος του χρόνου ανάδυσης και της διάρκειας διάρρηξης του ρήγματος και πώς επηρεάζουν το εύρος και το σχήμα του φάσματος. Αποδεικνύεται ότι οι μέγιστες φασματικές τιμές εξαρτώνται από το αζιμούθιο μεταξύ της θέσης καταγραφής και της διάρρηξης του ρήγματος και είναι ανάλογες προς τη σεισμική ροπή και αντιστρόφως ανάλογες προς το χρονικό διάστημα μεταξύ της πρώτης και τελευταίας άφιξης των S κυμάτων. Επίσης μια νέα παράμετρος της ισχυρής εδαφικής κίνησης που βασίζεται στο χρονικό ολοκλήρωμα της απόλυτης εδαφικής ταχύτητας, η αθροιστική απόλυτη μετατόπιση CAD, χρησιμοποιείται για την εκτίμηση της διάρκειας ισχυρής εδαφικής κίνησης.

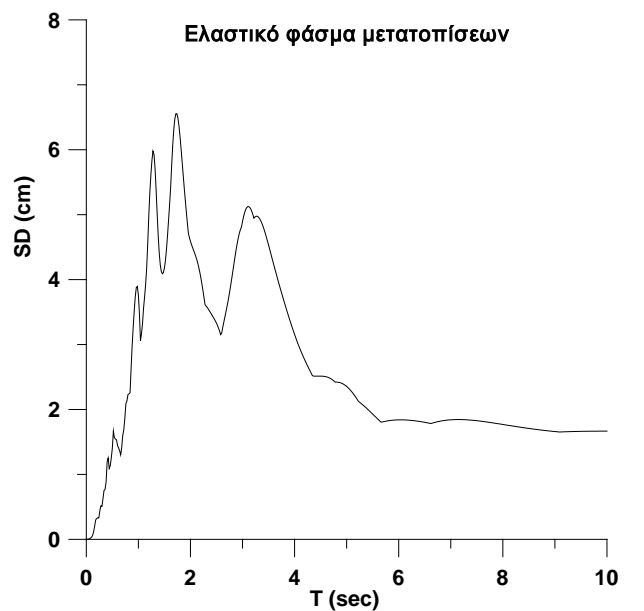
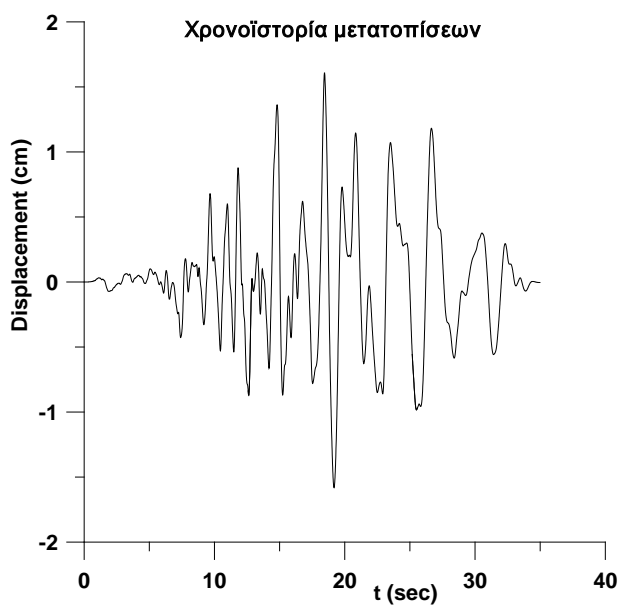
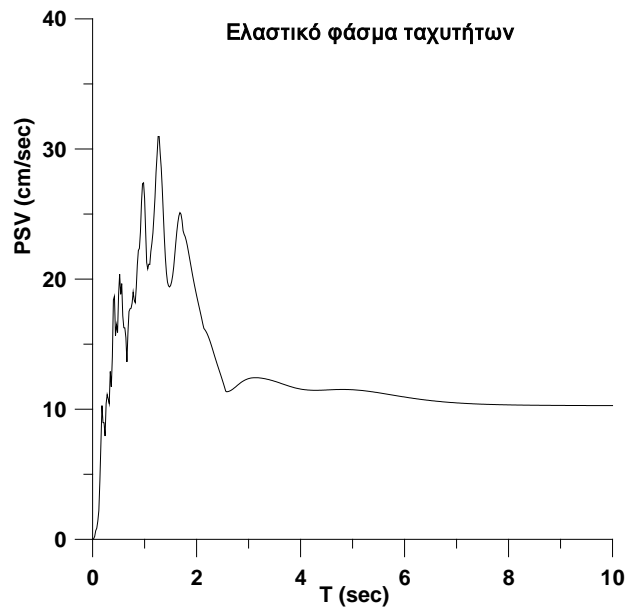
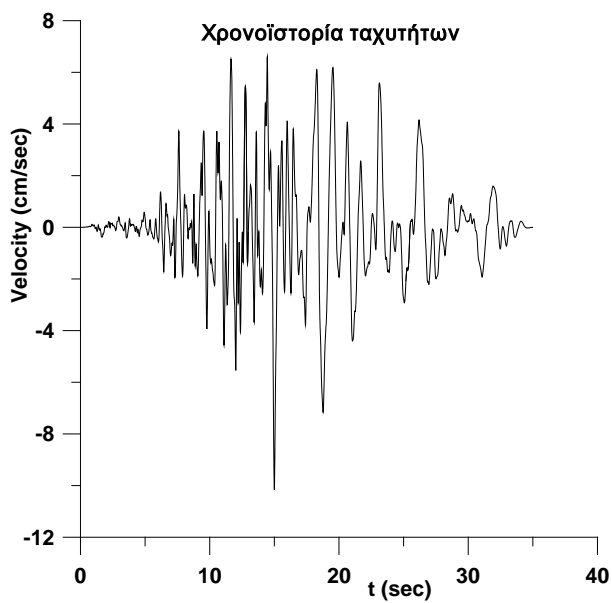
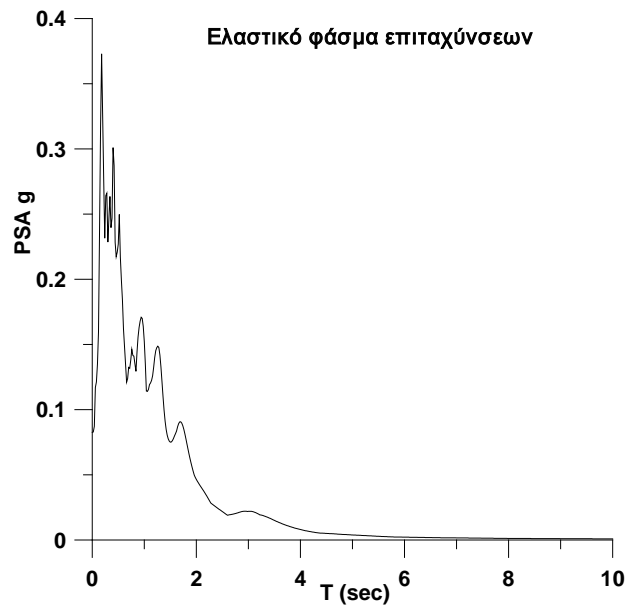
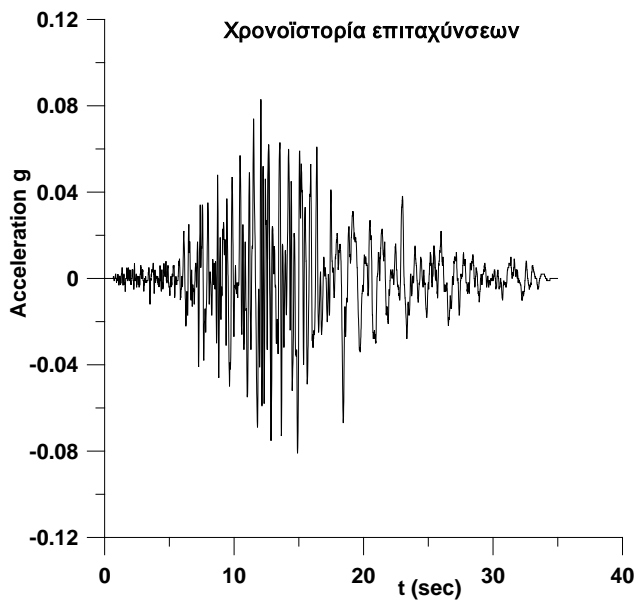
Τέλος παρουσιάζεται ένα διάγραμμα μέγιστων φασματικών μετακινήσεων-μεγέθους σεισμικής ροπής ($SD_{max}-M_w$), το οποίο εκτιμήθηκε από την Μαρία – Ειρήνη Εμμανουηλίδου στα πλαίσια της διπλωματικής της εργασίας με ανάλυση 153 καταγραφών προερχόμενες από 26 σεισμικά γεγονότα, τα οποία παρουσιάζονται στον Πίνακα 7 του κεφαλαίου 4. Παρουσιάζεται και το λογαριθμικό διάγραμμα από όπου εκτιμήθηκε η σχέση μεταξύ των μετακινήσεων και του μεγέθους του σεισμού.

Ακολουθεί το σύνολο των 50 καταγραφών που επιλέχθηκαν προς παρουσίαση.

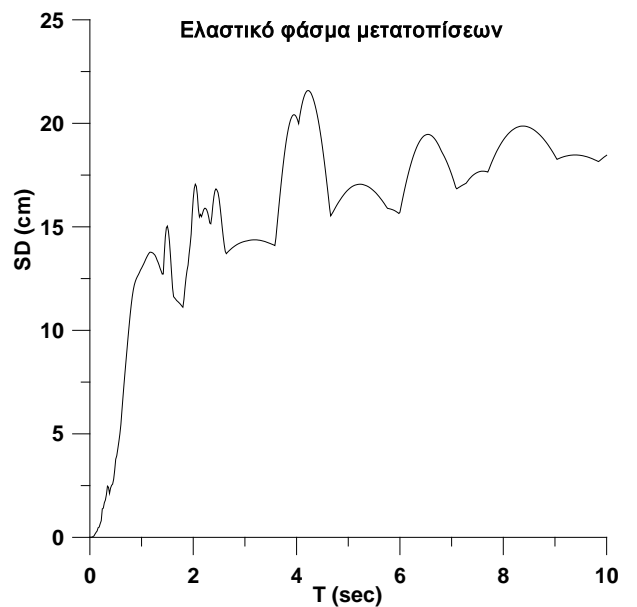
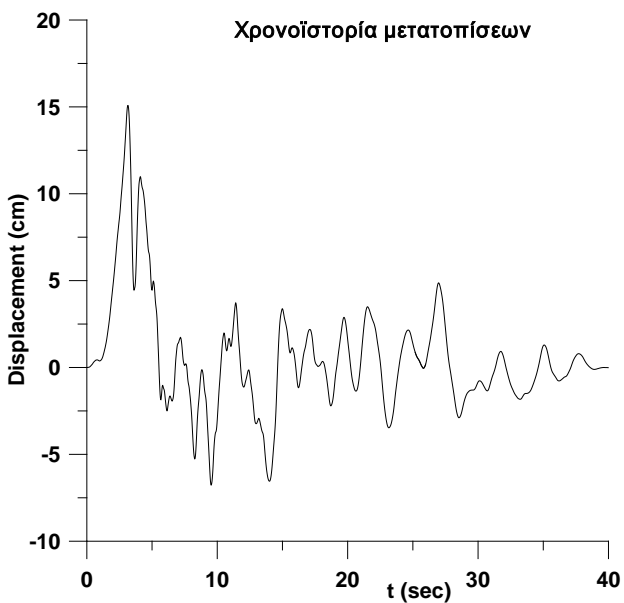
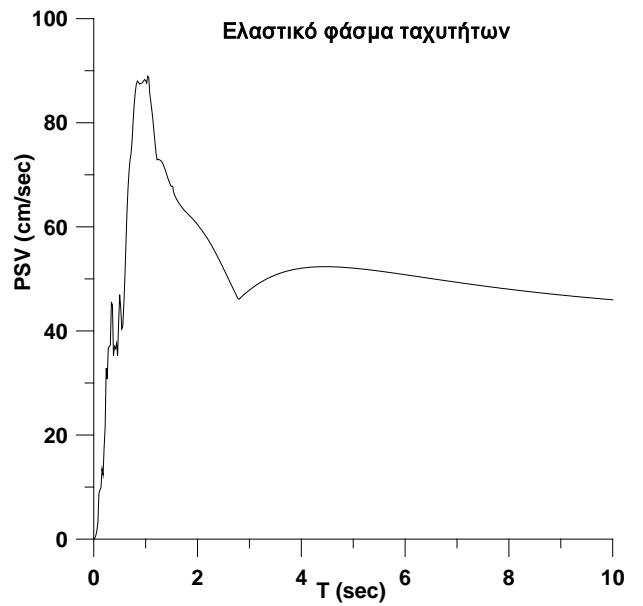
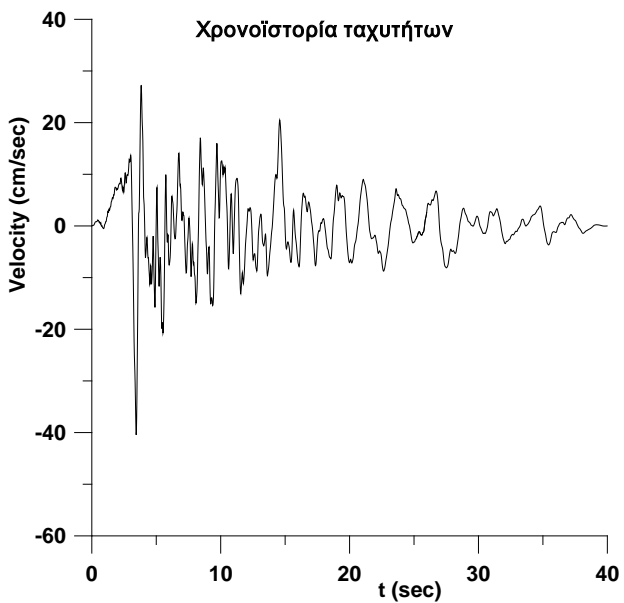
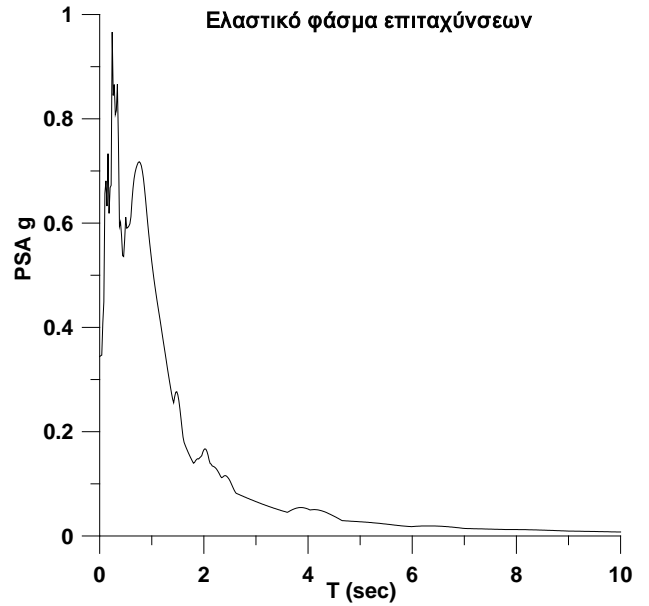
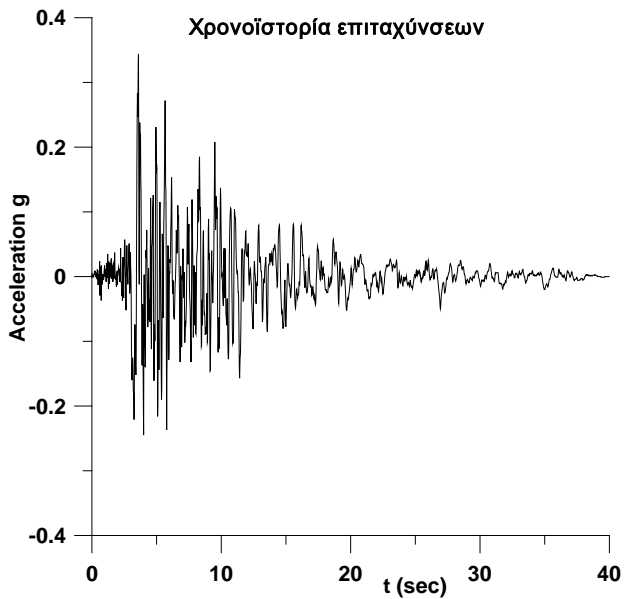
NORTHRIDGE 01/17/94, ARCADIA - ARCADIA AVE, deg. 172, Lat. 34.127,
Long.-118.059 PGA (g)= 0.104 PGV (cm/s)= 7.3 PGD (cm) = 1.59



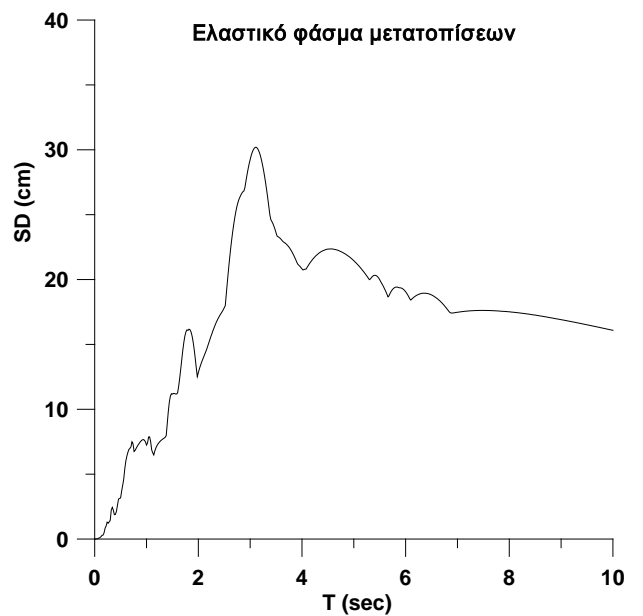
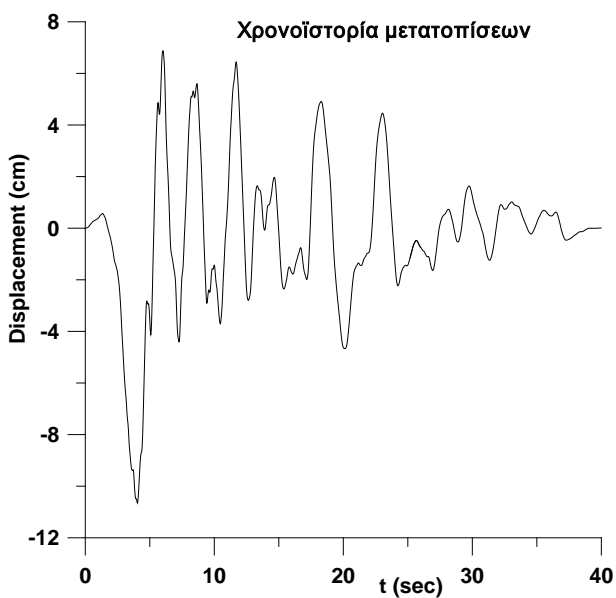
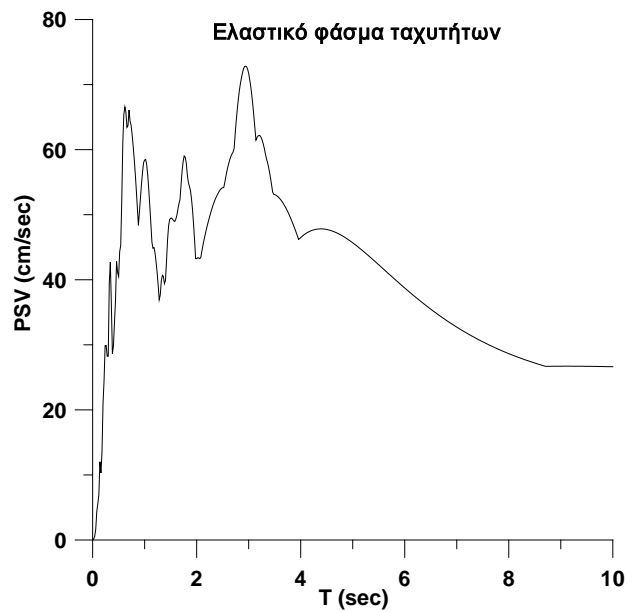
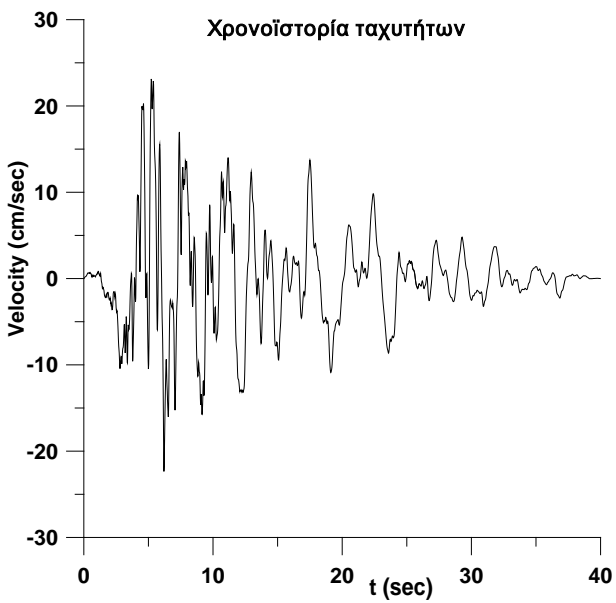
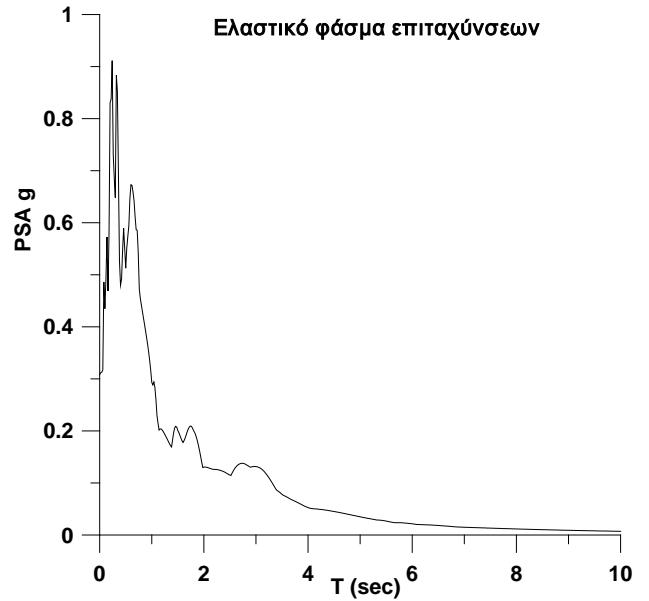
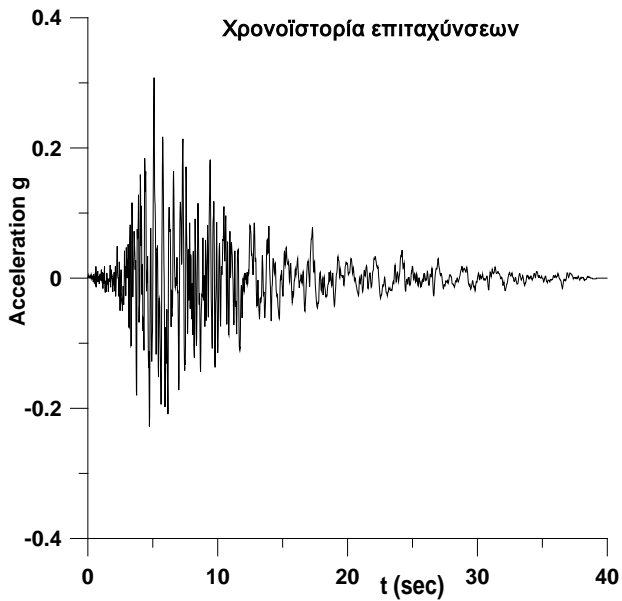
NORTHRIDGE 01/17/94, ARCADIA - ARCADIA AVE, deg. 262, Lat. 34.127,
Long.-118.059 PGA (g)= 0.083 PGV (cm/s)= 10.2 PGD (cm) = 1.61



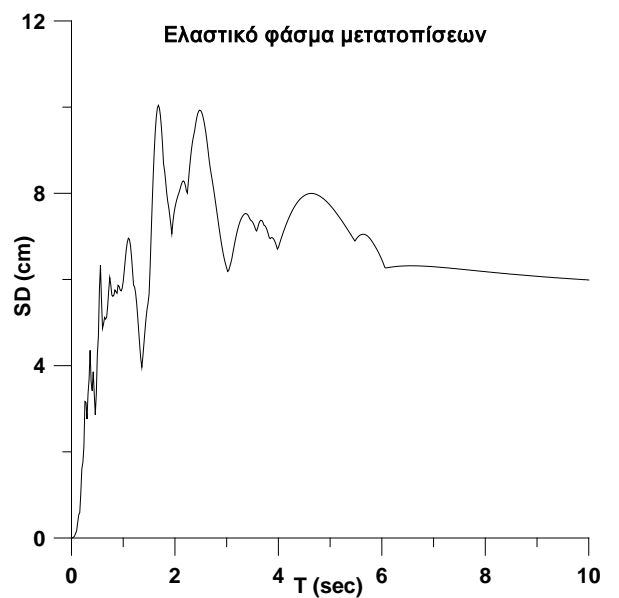
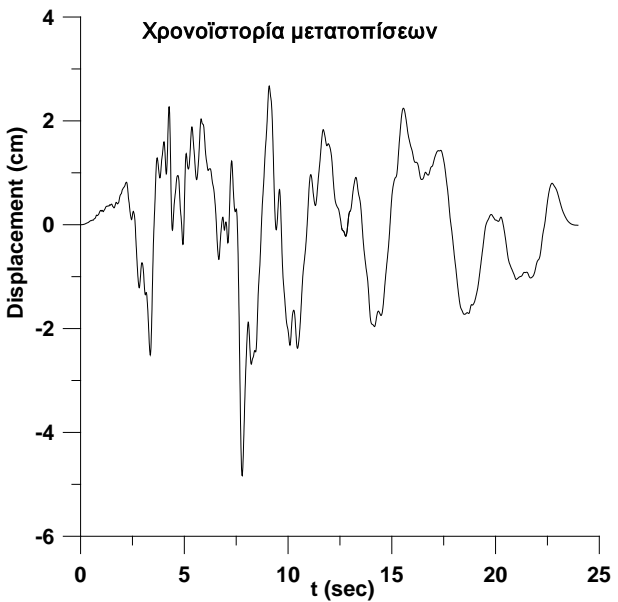
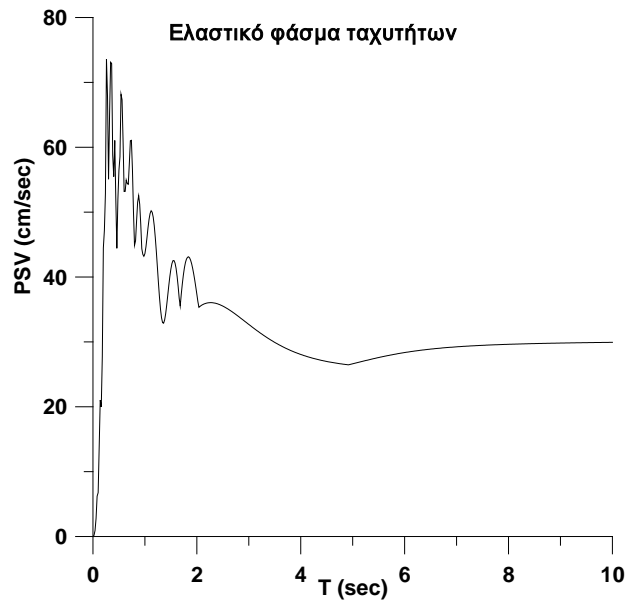
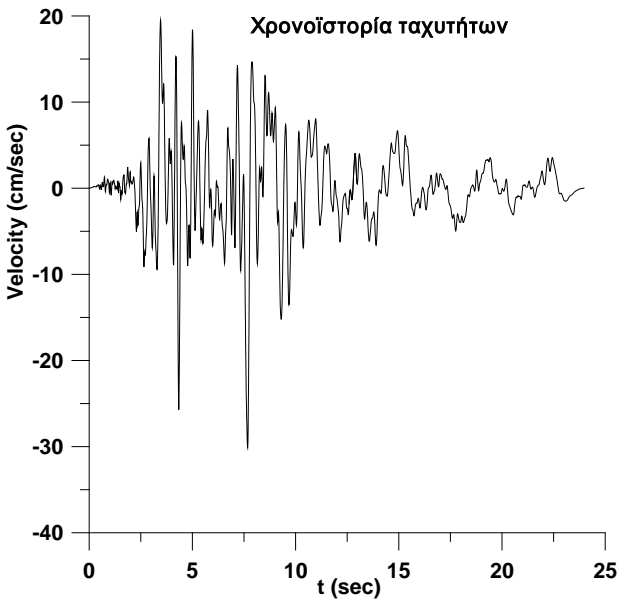
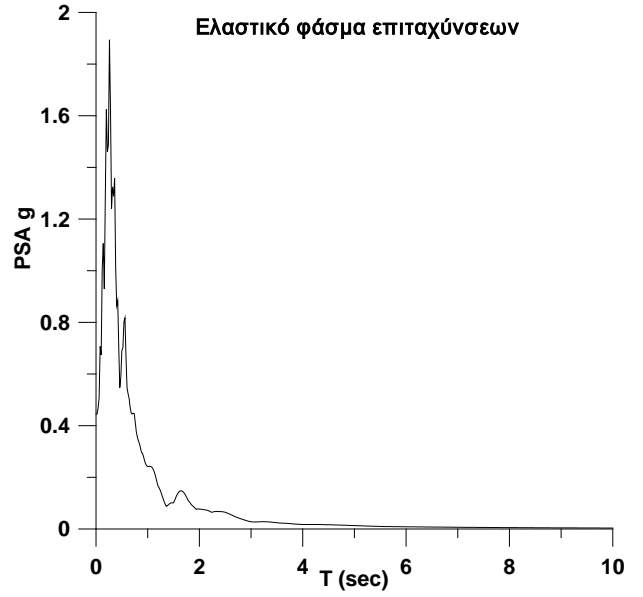
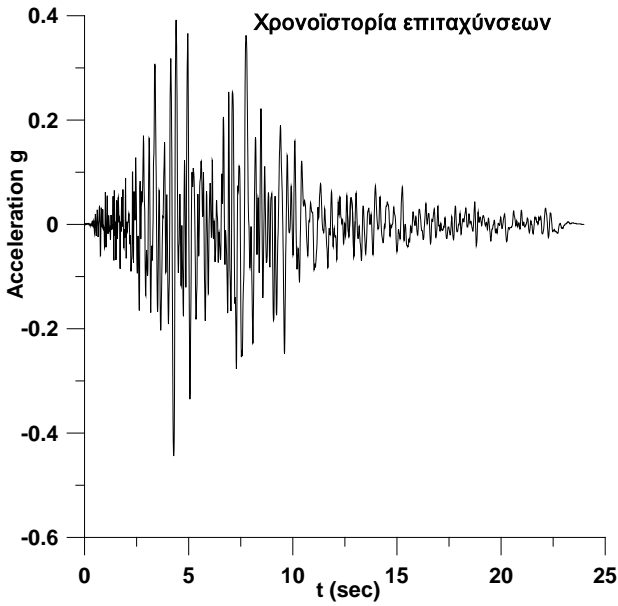
NORTHRIDGE 01/17/94, ARLETA, deg. 090, Lat. 34.236, Long.-118.439
PGA (g)= 0.344 PGV (cm/s)= 40.6 PGD (cm) = 15.04



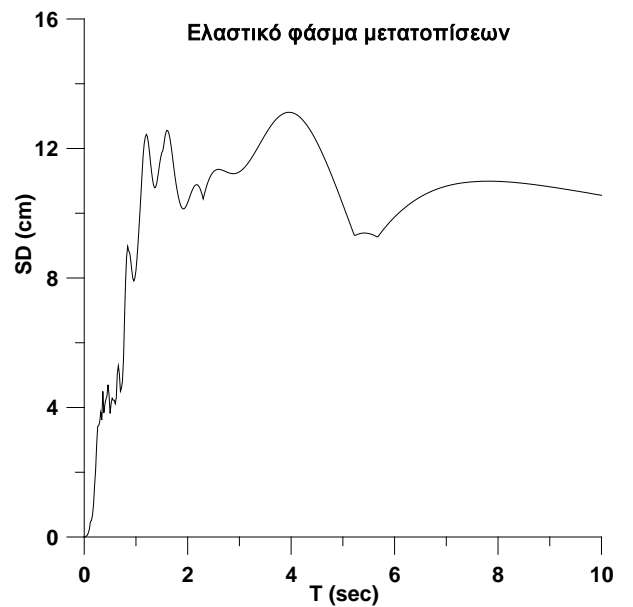
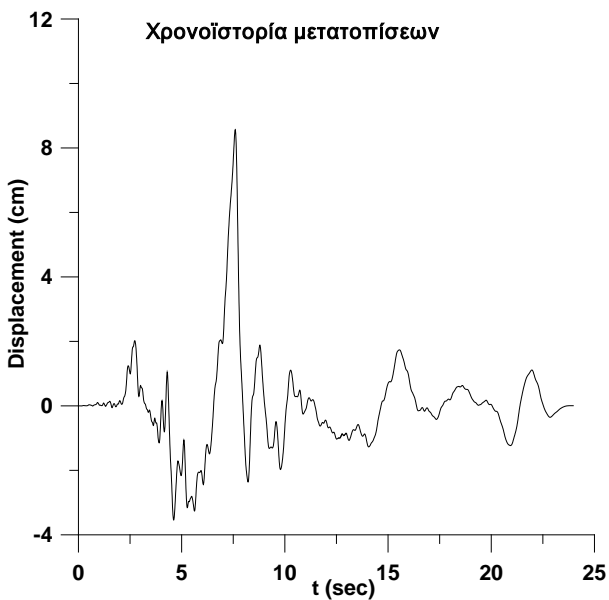
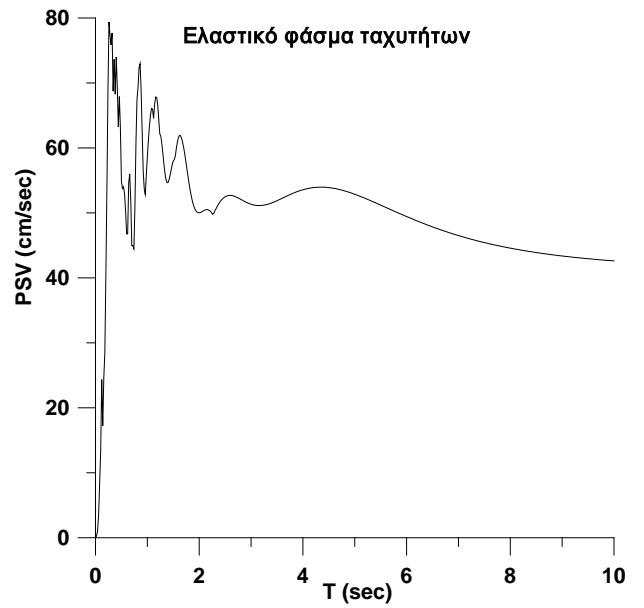
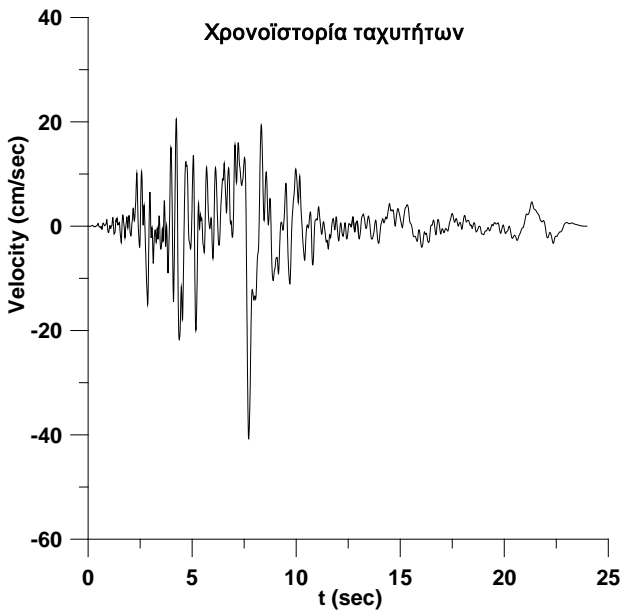
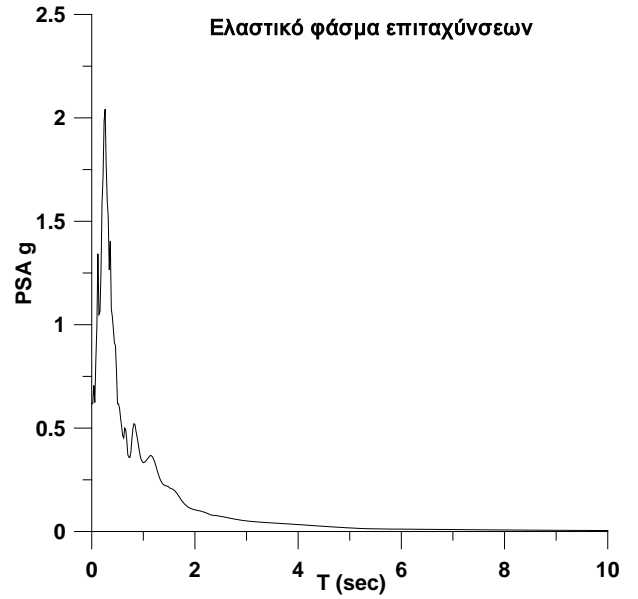
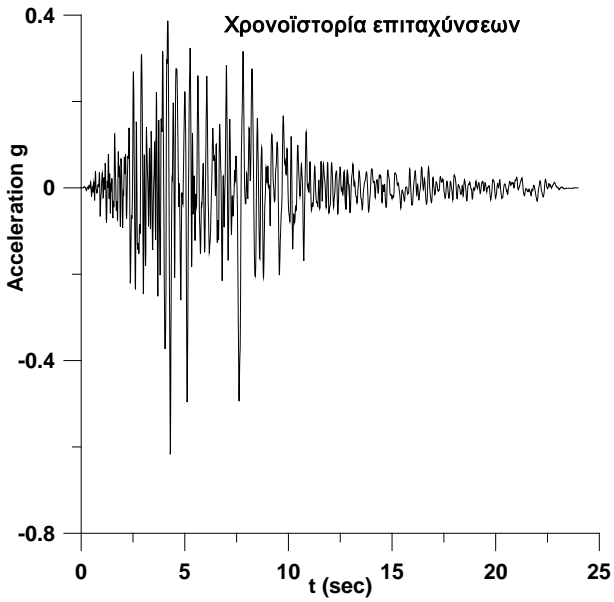
NORTHRIDGE 01/17/94 , ARLETA, deg. 360, Lat. 34.236, Long.-118.439
PGA (g)= 0.308 PGV (cm/s)= 23.2 PGD (cm) = 10.75



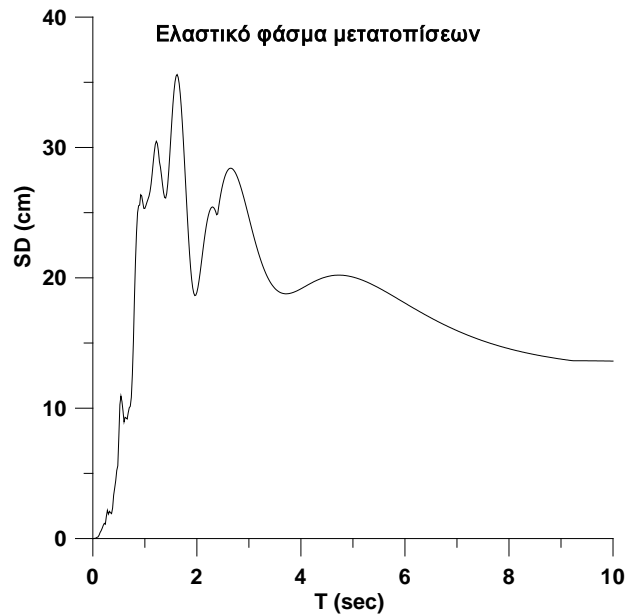
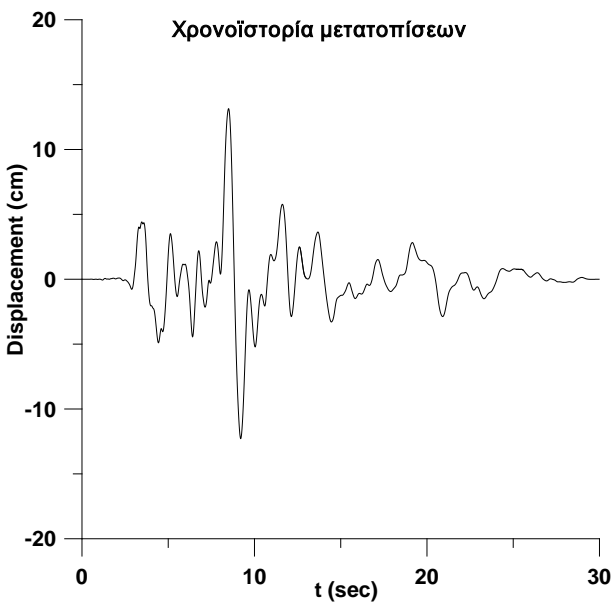
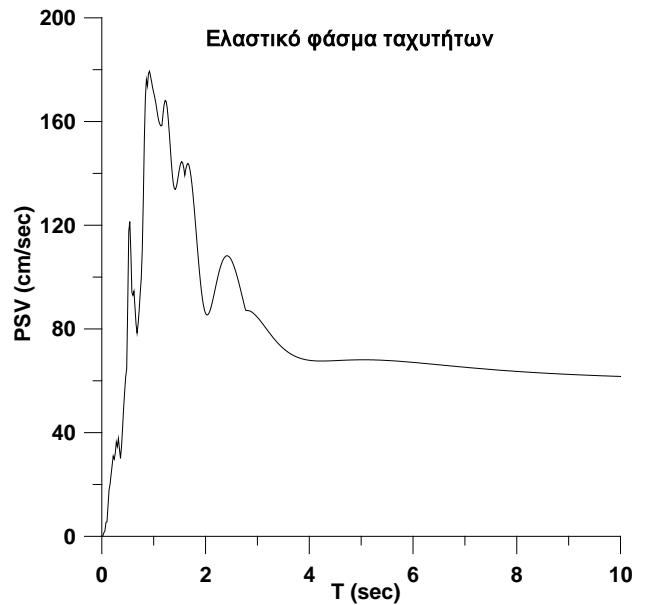
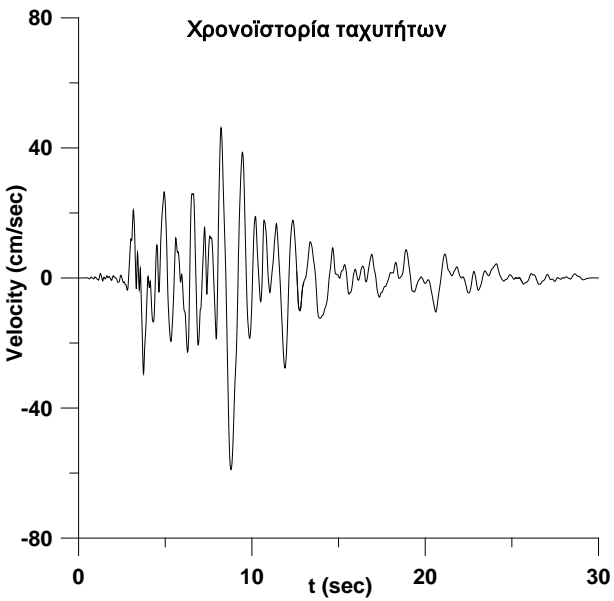
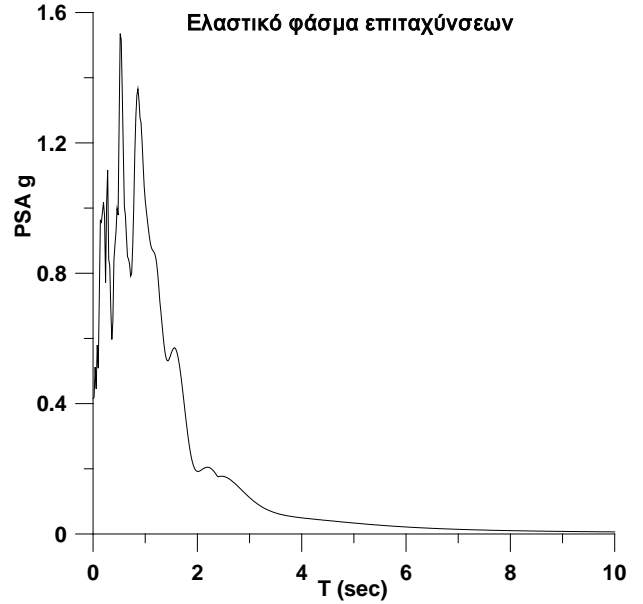
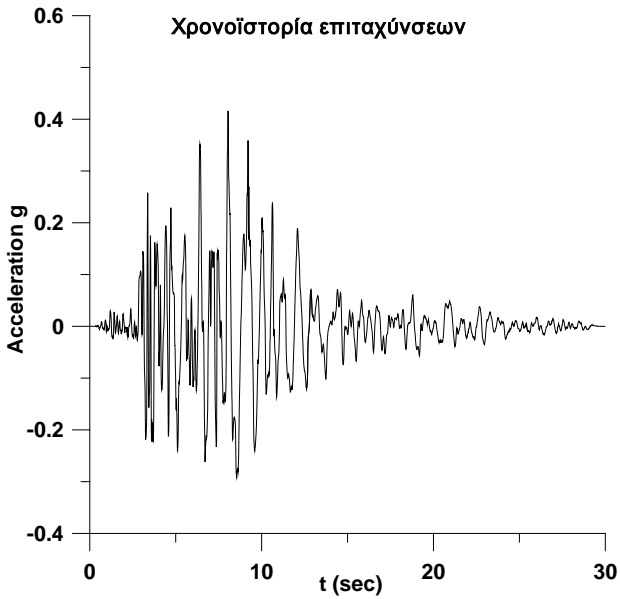
NORTHRIDGE 01/17/94 , BEVERLY HILLS - 12520 MULH, deg. 125, Lat. 34.127,
Long.-118.405 PGA (g)= 0.444 PGV (cm/s)= 30.2 PGD (cm) = 4.84



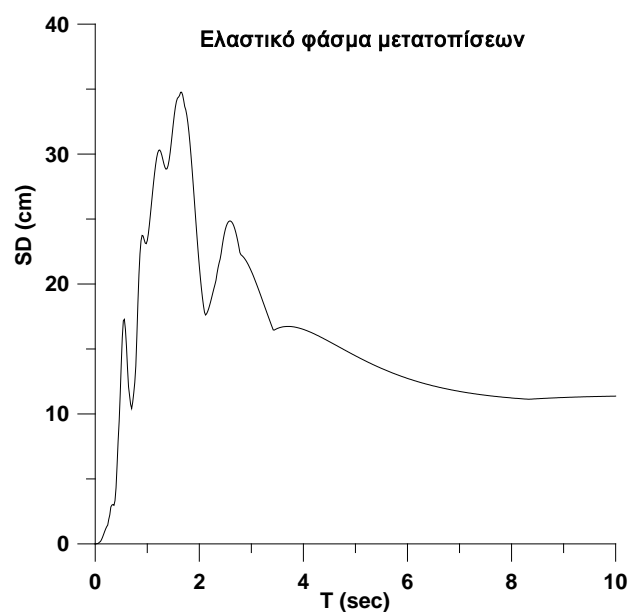
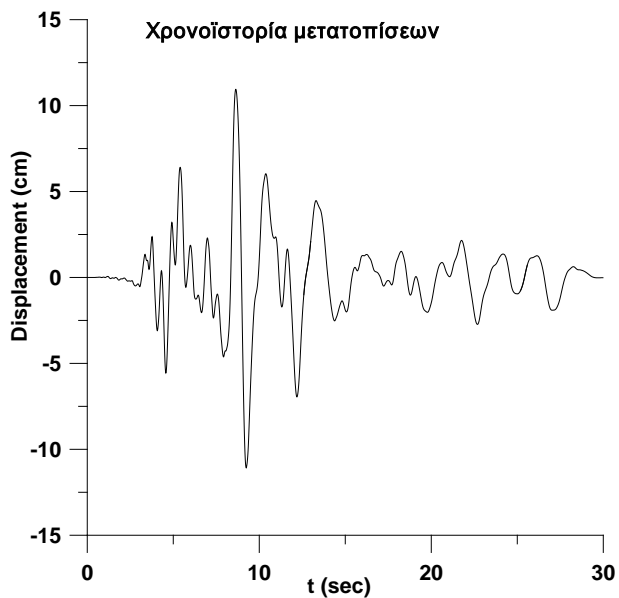
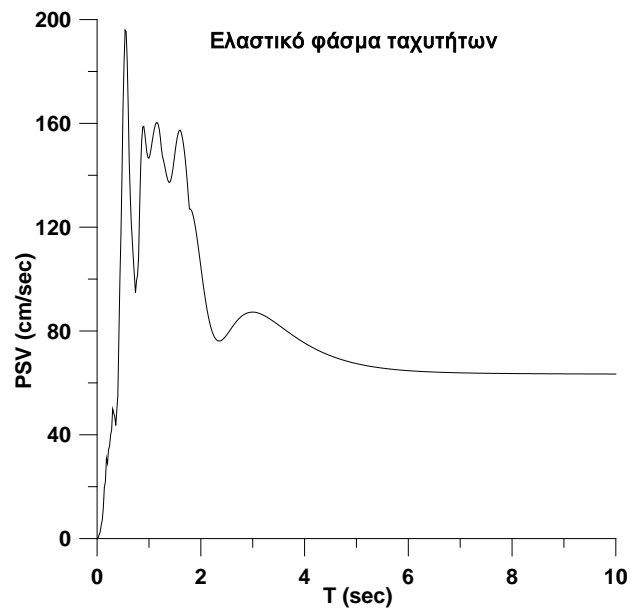
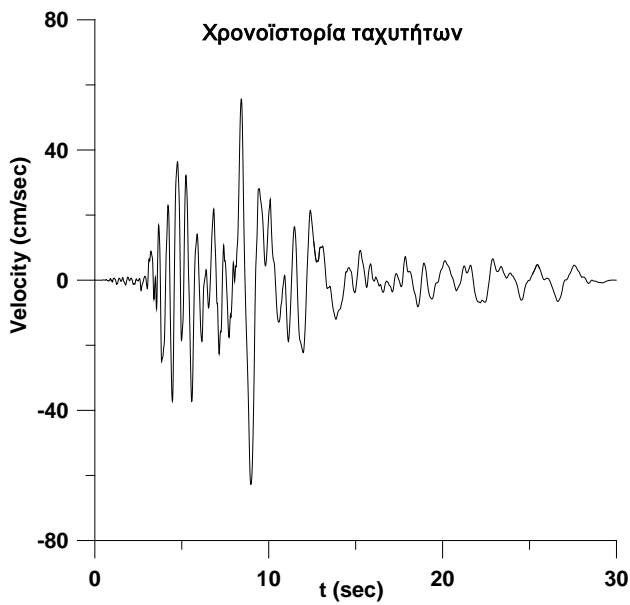
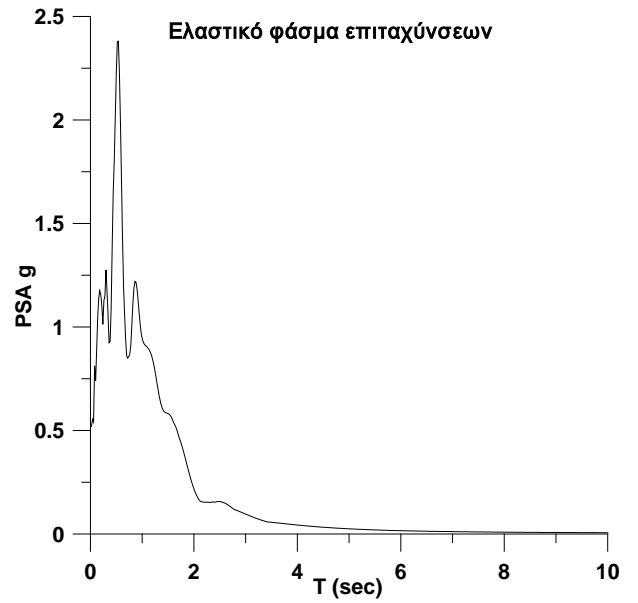
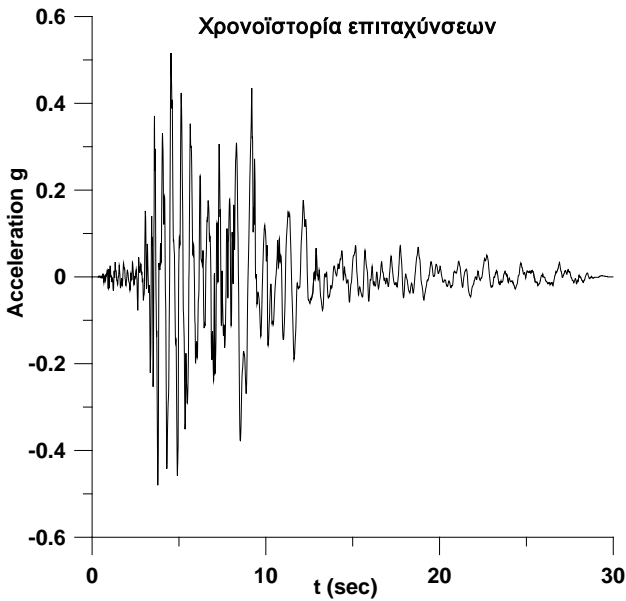
NORTHRIDGE 01/17/94 , BEVERLY HILLS - 12520 MULH, deg. 035, Lat. 34.127,
Long.-118.405 PGA (g)= 0.617 PGV (cm/s)= 40.8 PGD (cm) = 8.57



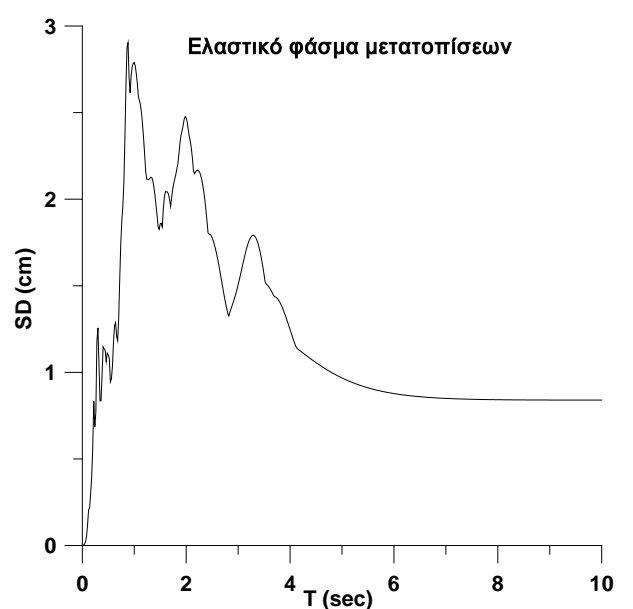
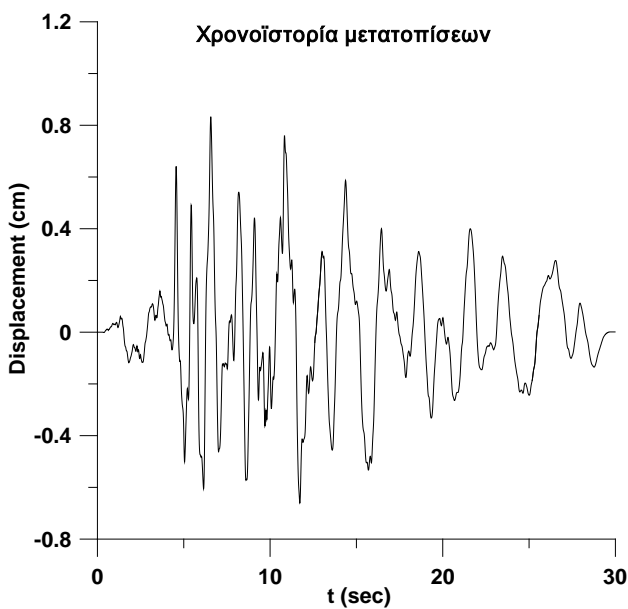
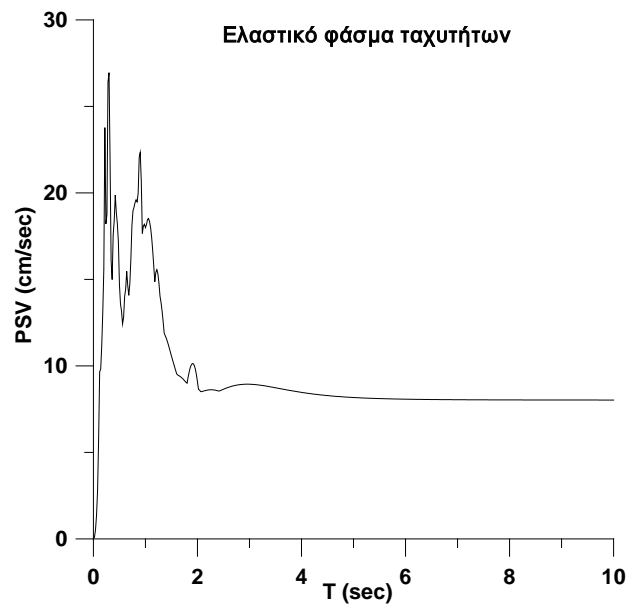
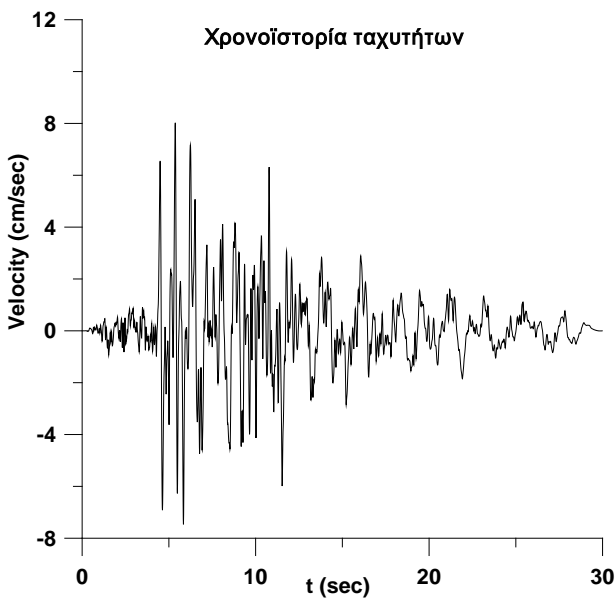
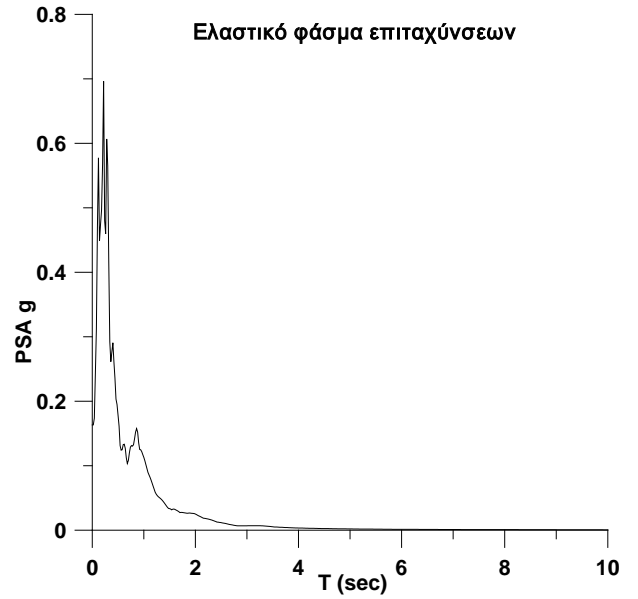
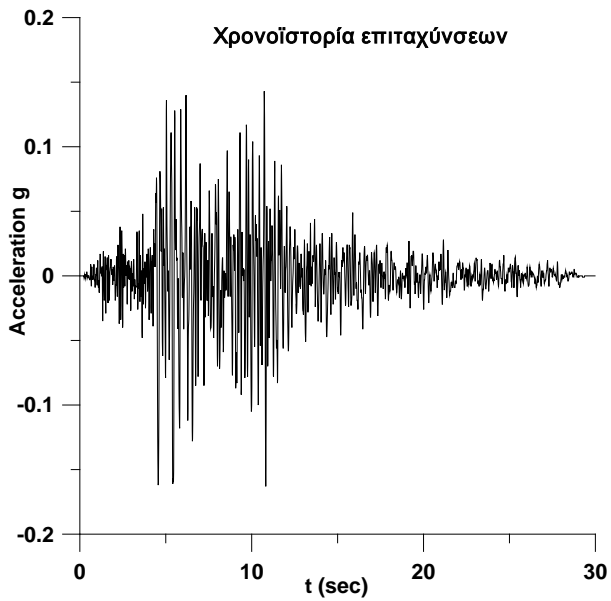
NORTHRIDGE 01/17/94 , BEVERLY HILLS - 14145 MULH, deg. 009, Lat. 34.132,
Long.-118.439 PGA (g)= 0.416 PGV (cm/s)= 59 PGD (cm) = 13.14



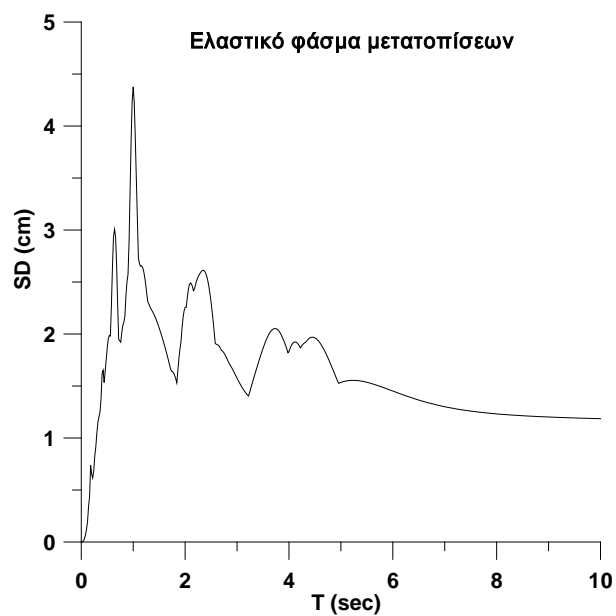
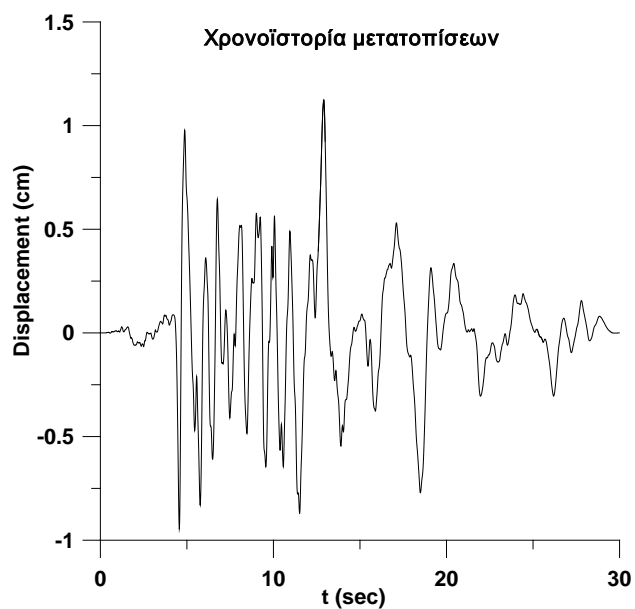
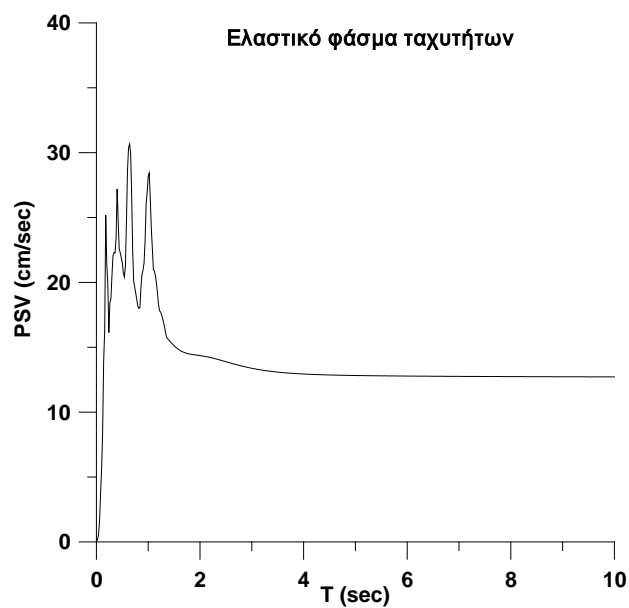
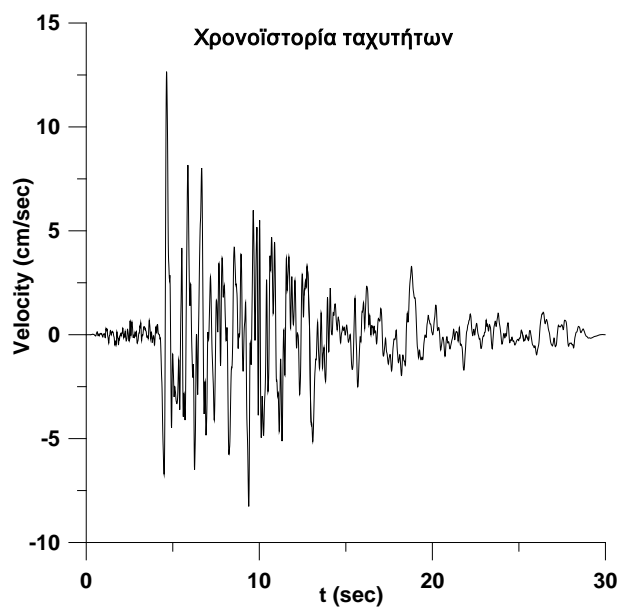
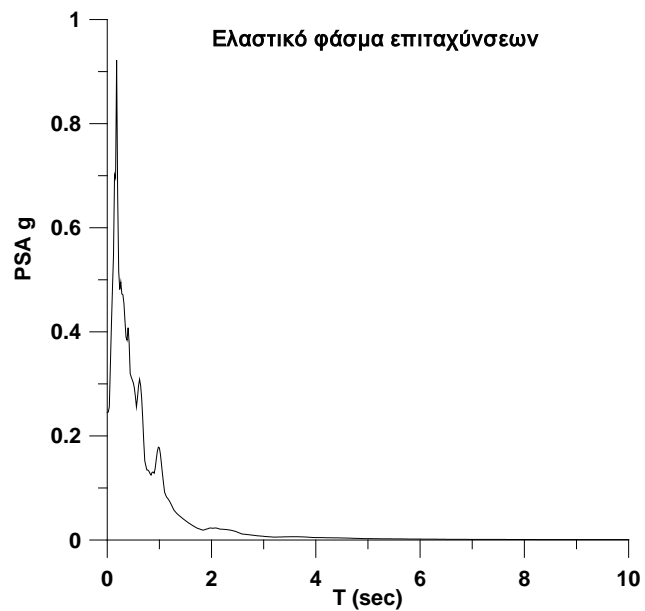
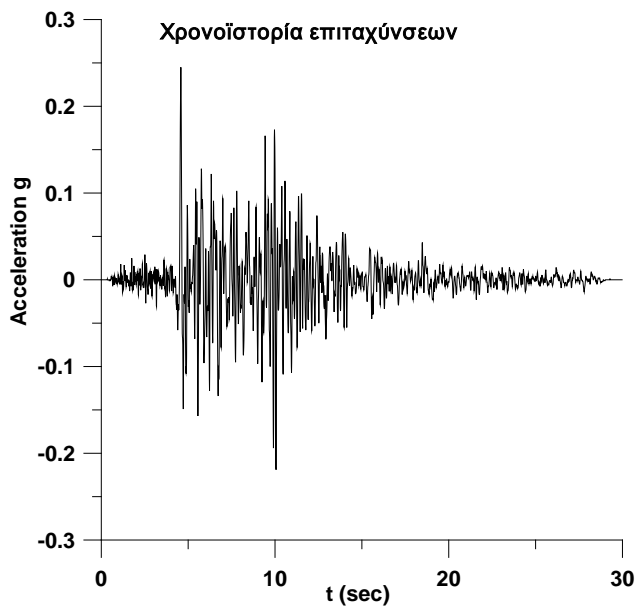
NORTHRIDGE 01/17/94 , BEVERLY HILLS - 14145 MULH, deg. 279, Lat. 34.132,
Long.-118.439 PGA (g)= 0.516 PGV (cm/s)= 62.8 PGD (cm) = 11.08



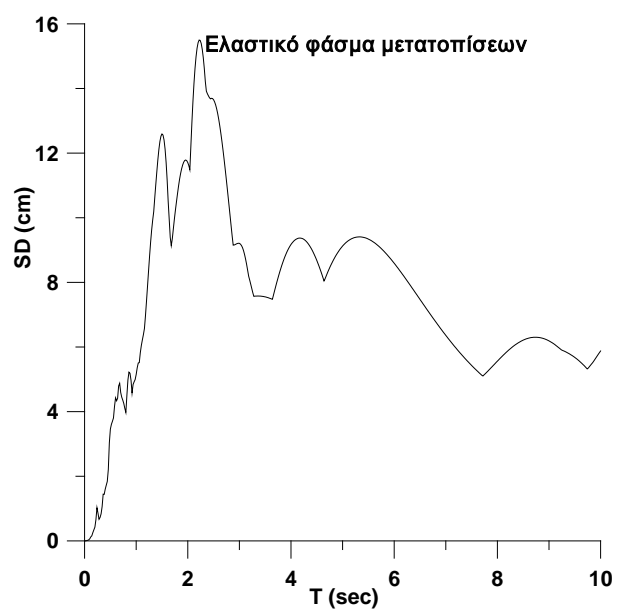
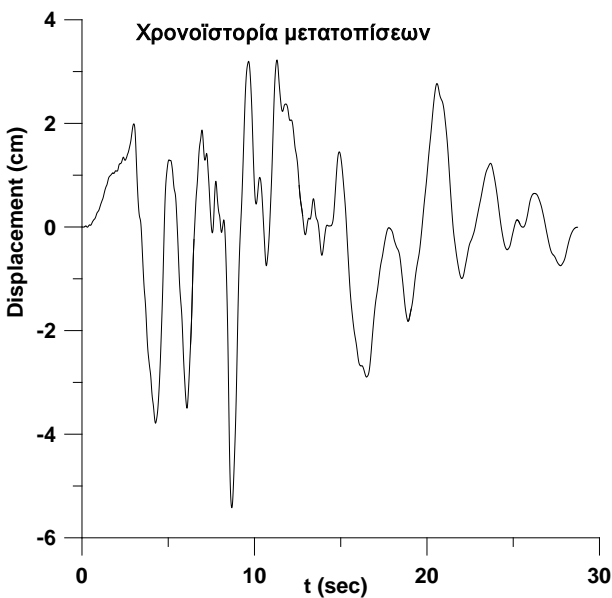
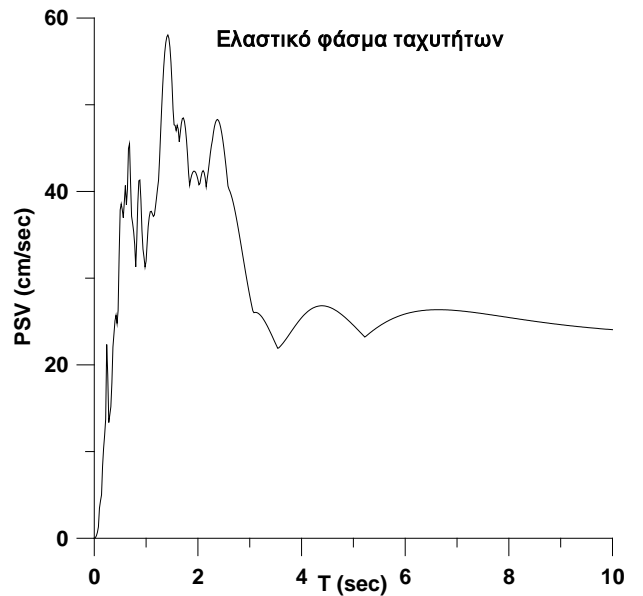
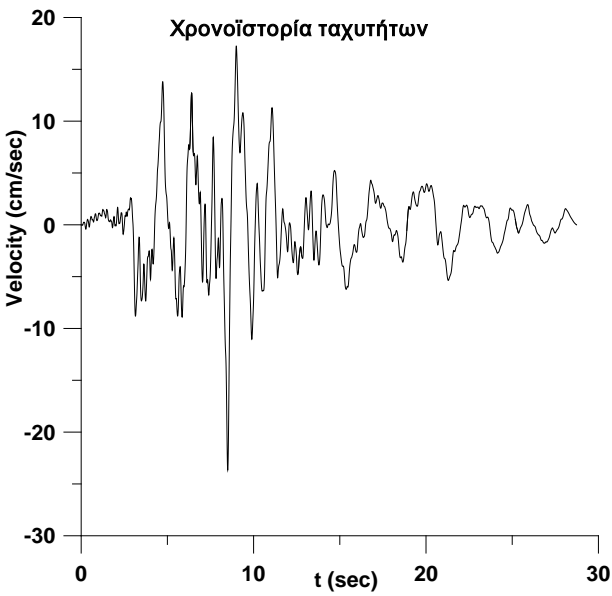
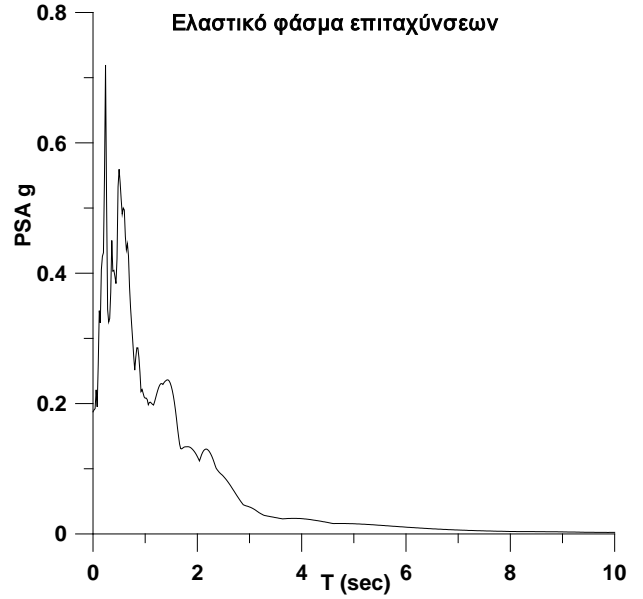
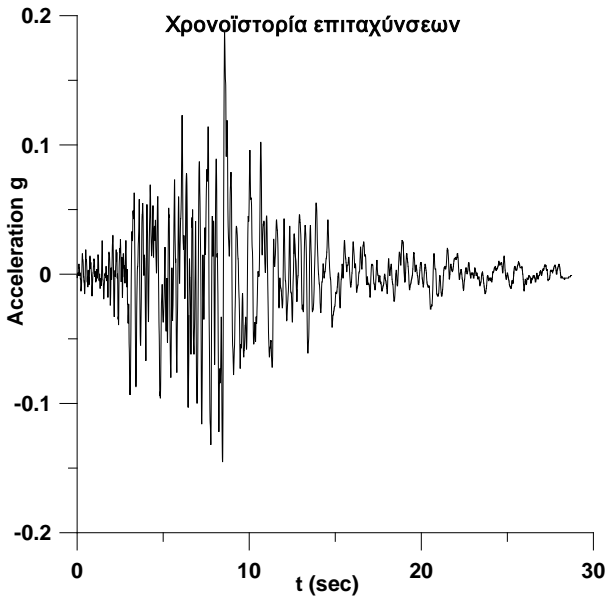
NORTHRIDGE 01/17/94 , BIG TUJUNGA, deg. 262, Lat. 34.286, Long.-118.225
PGA (g)= 0.163 PGV (cm/s)= 8.2 PGD (cm) = 0.83



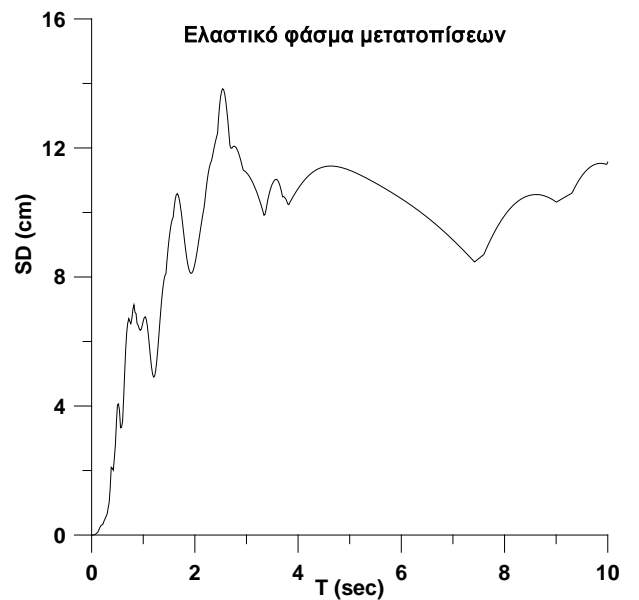
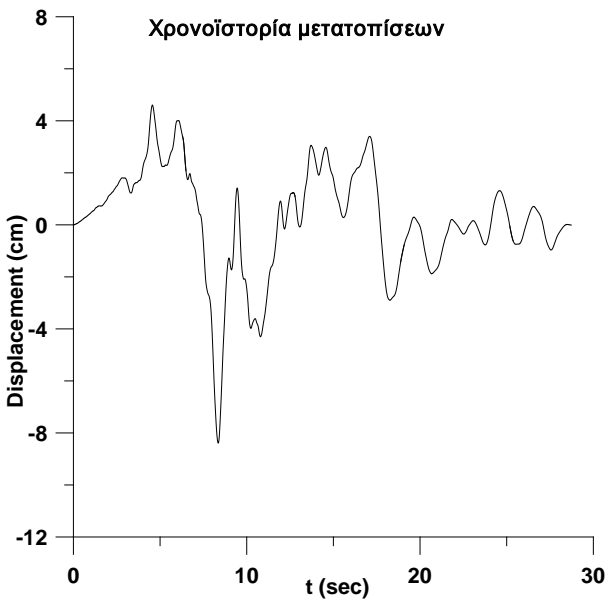
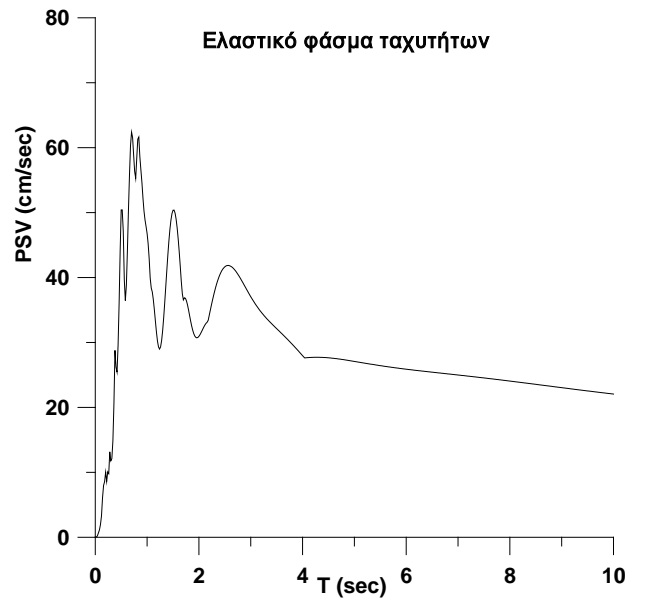
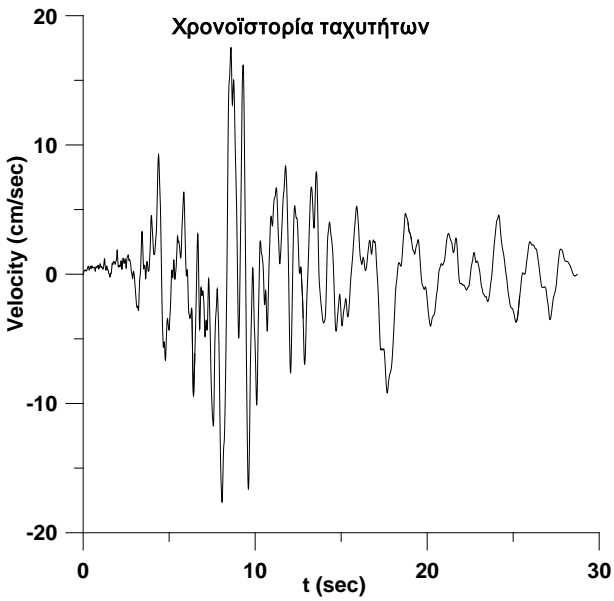
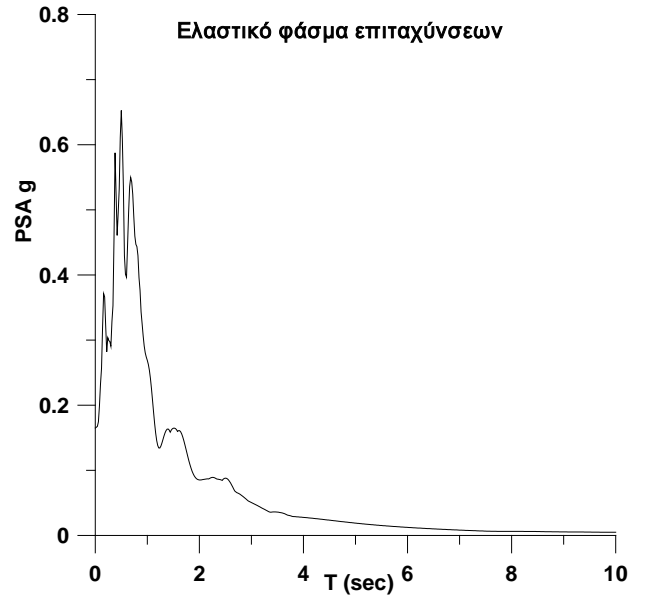
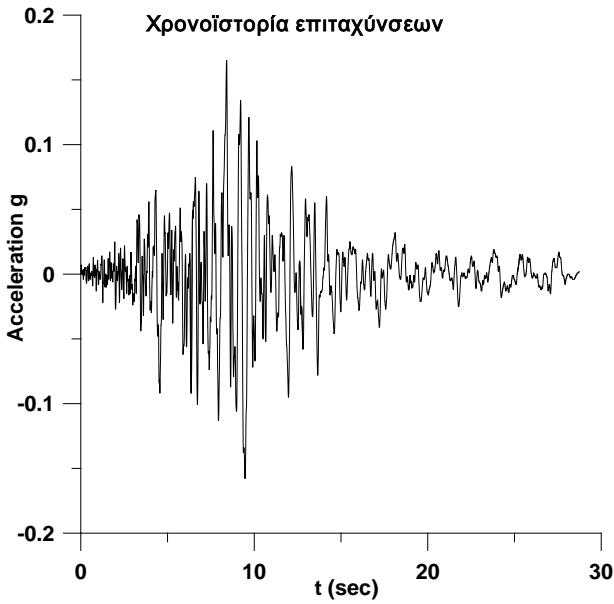
NORTHRIDGE 01/17/94 , BIG TUJUNGA, deg. 352, Lat. 34.286, Long.-118.225
PGA (g)= 0.245 PGV (cm/s)= 12.7 PGD (cm) = 1.12



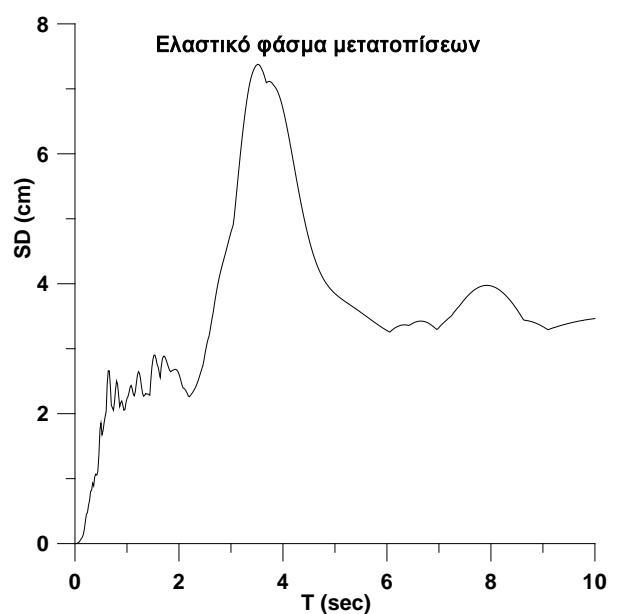
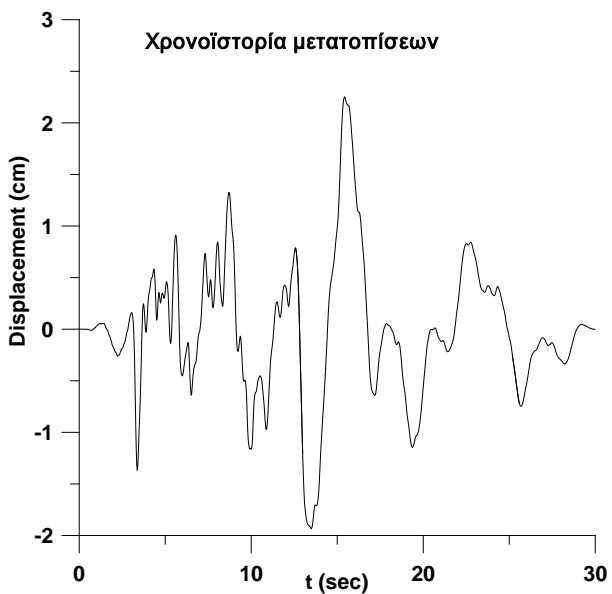
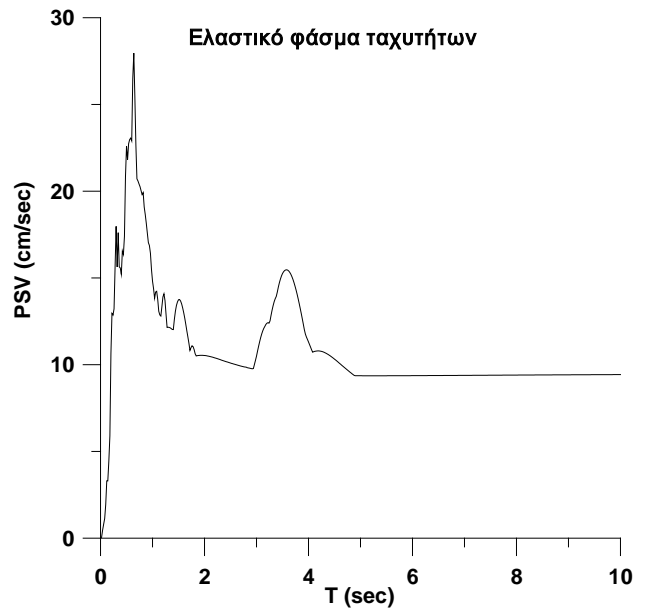
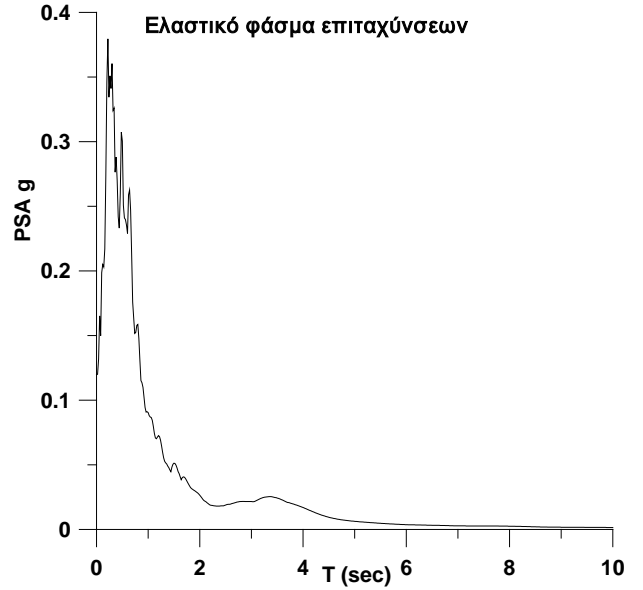
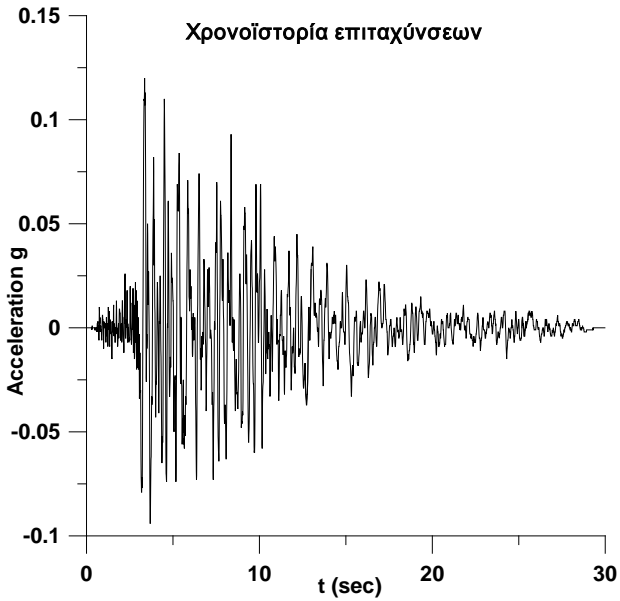
NORTHRIDGE 01/17/94 , BRENTWOOD V.A. HOSPITAL, deg. 195, Lat. 34.036,
Long.-118.463 PGA (g)= 0.187 PGV (cm/s)= 23.7 PGD (cm) = 5.42



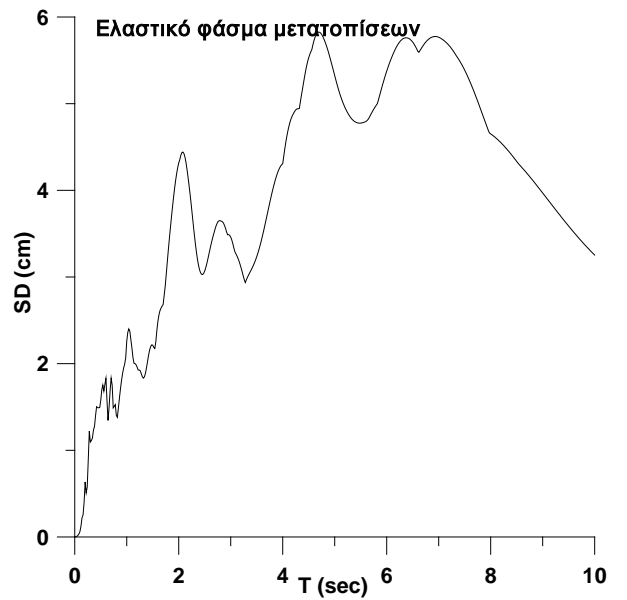
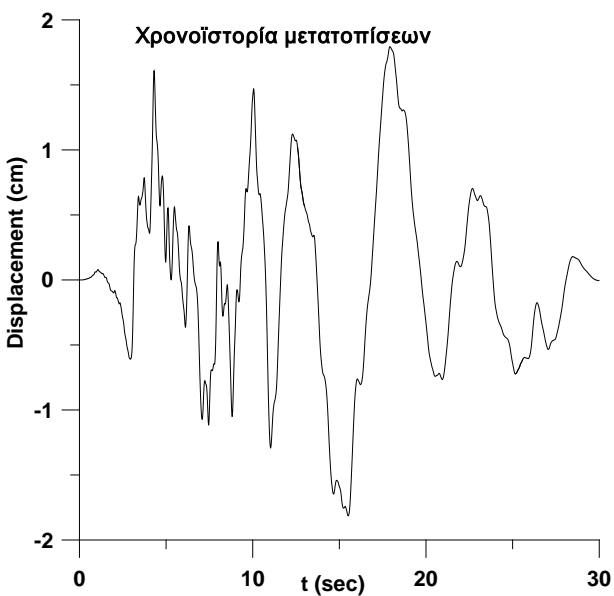
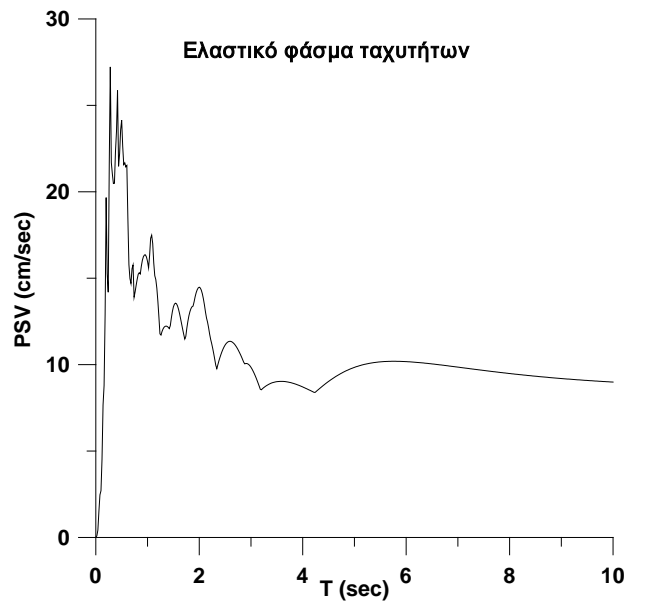
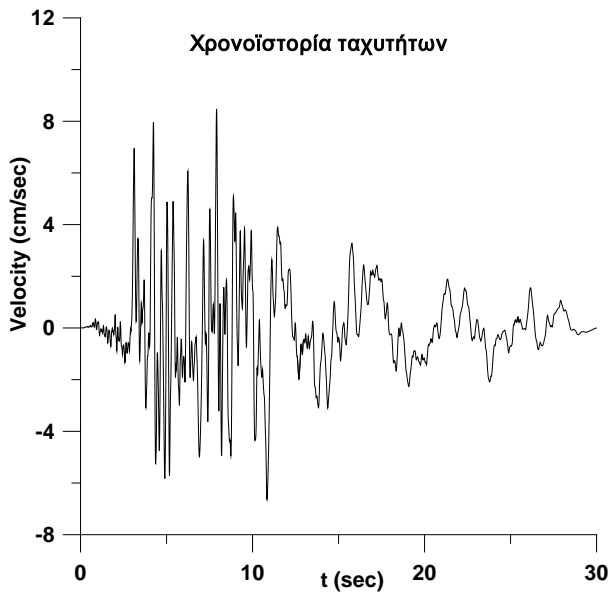
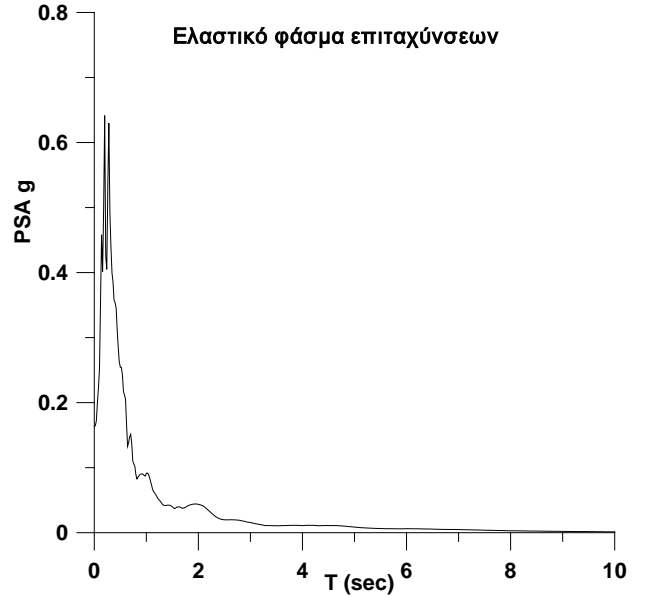
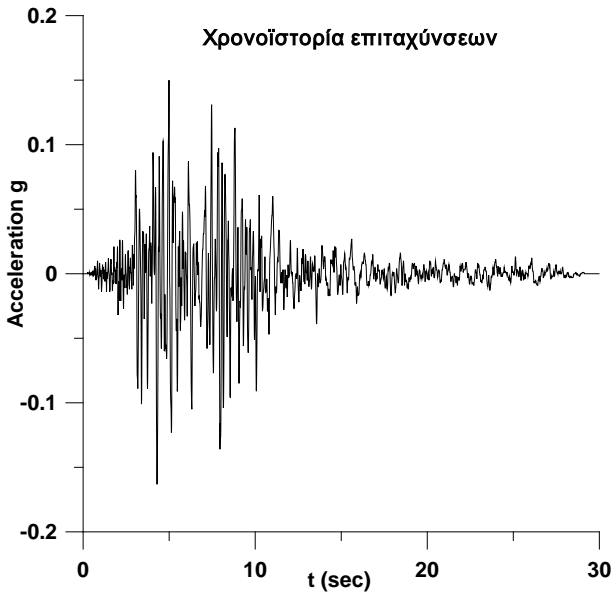
NORTHRIDGE 01/17/94 , BRENTWOOD V.A. HOSPITAL, deg. 285, Lat. 34.036,
Long.-118.463 PGA (g)= 0.165 PGV (cm/s)= 17.6 PGD (cm) = 8.39



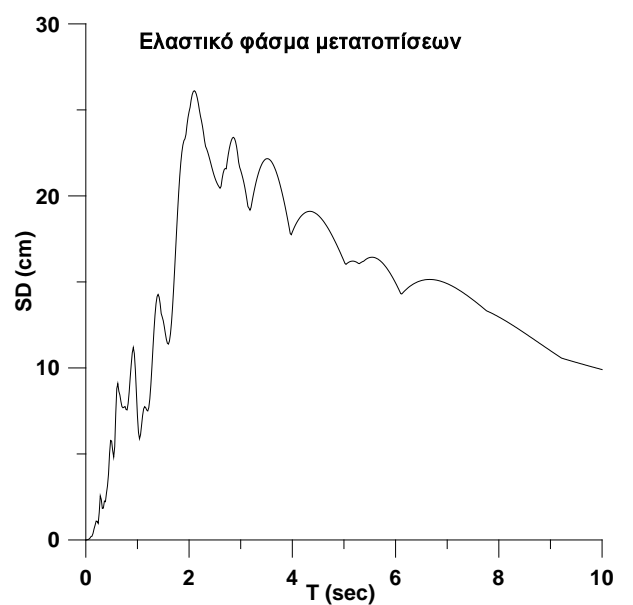
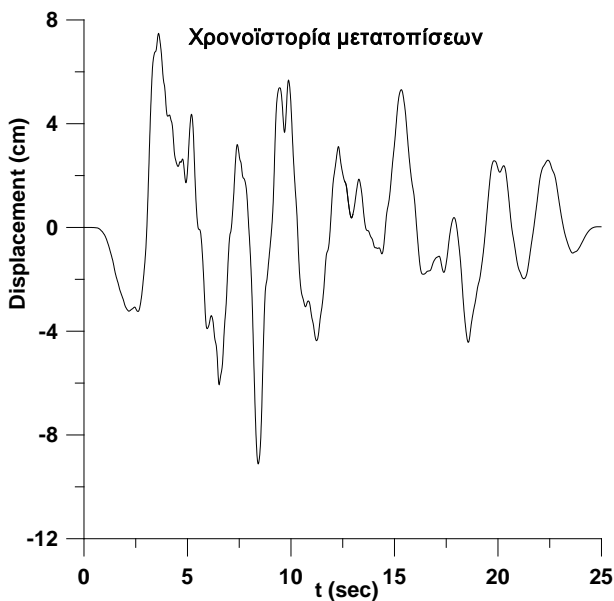
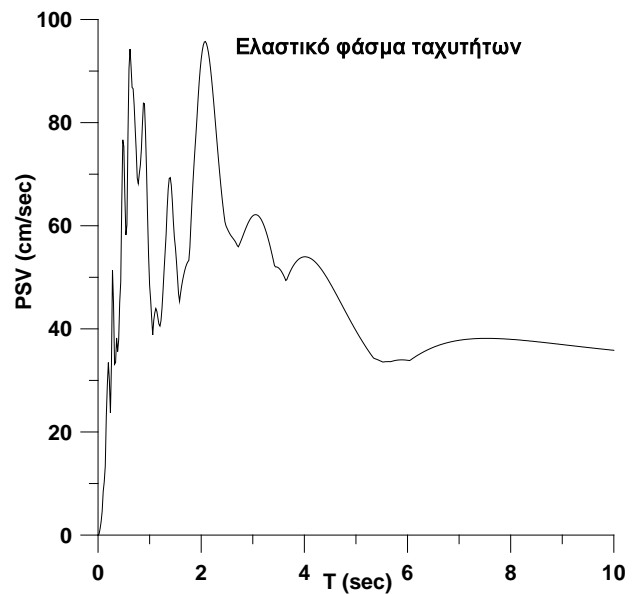
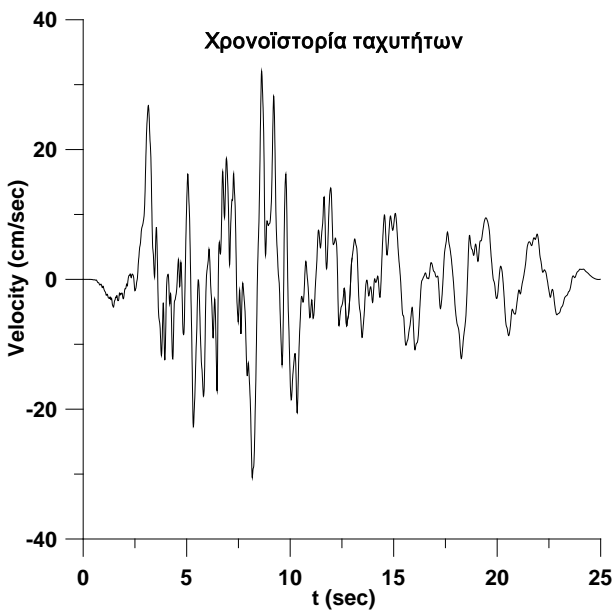
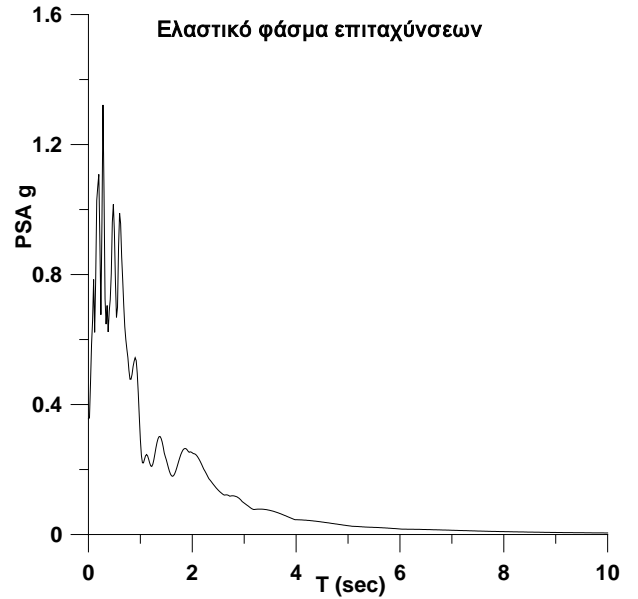
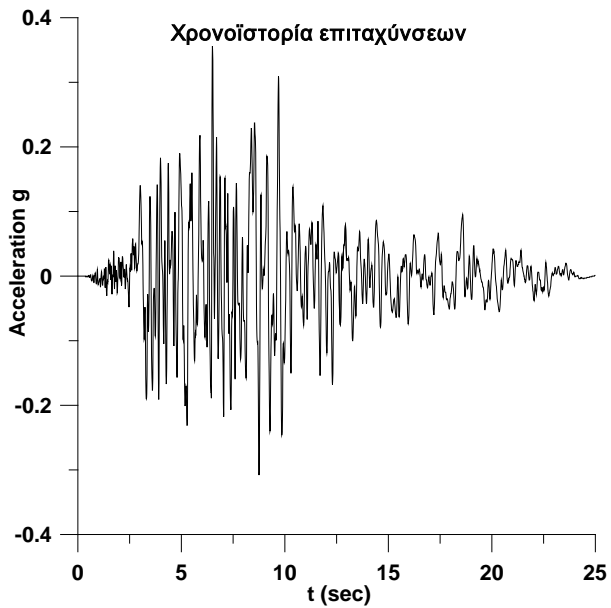
NORTHRIDGE 01/17/94 , BURBANK - HOWARD, deg. 060, Lat. 34.204,
Long.-118.302 PGA (g)= 0.12 PGV (cm/s)= 9.5 PGD (cm) = 2.25



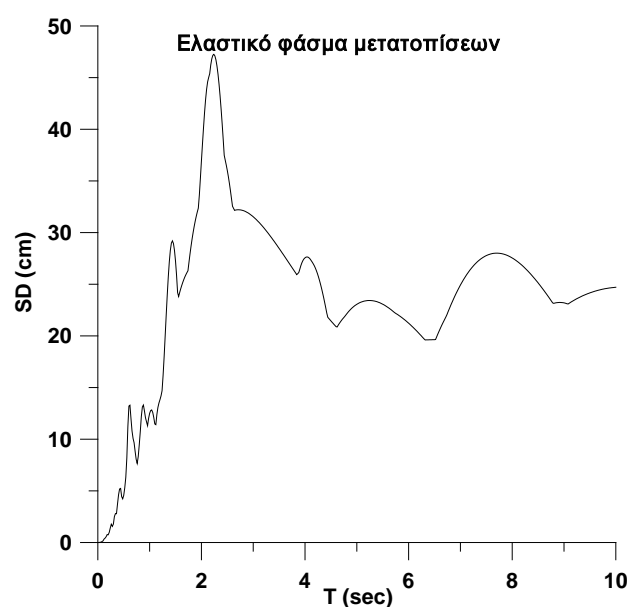
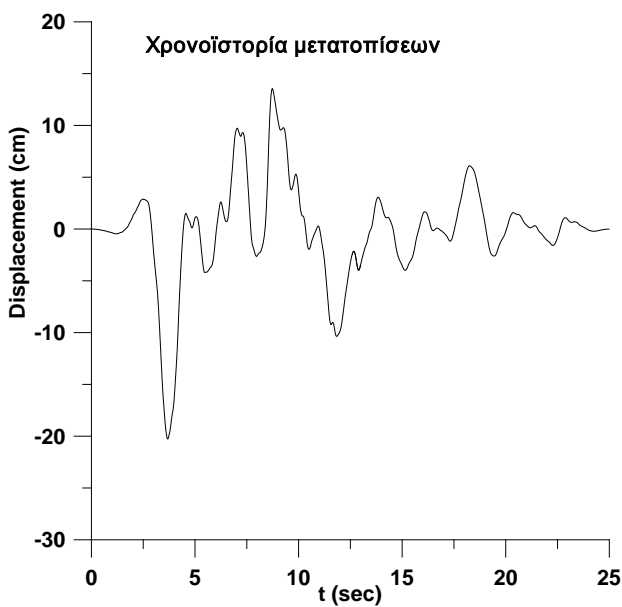
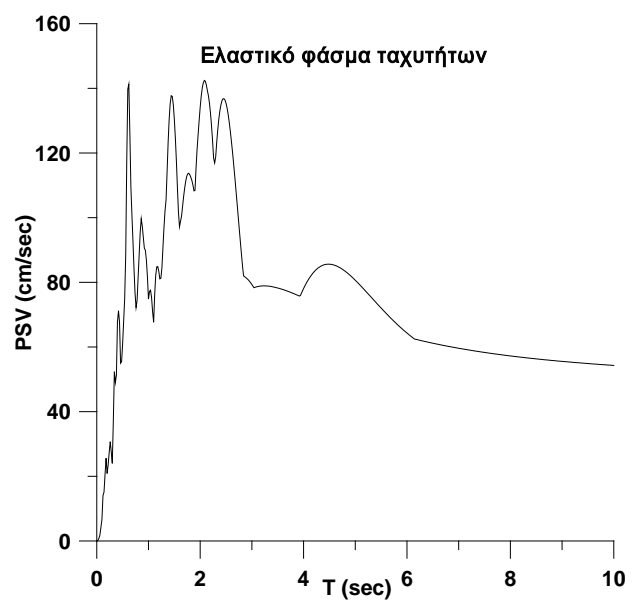
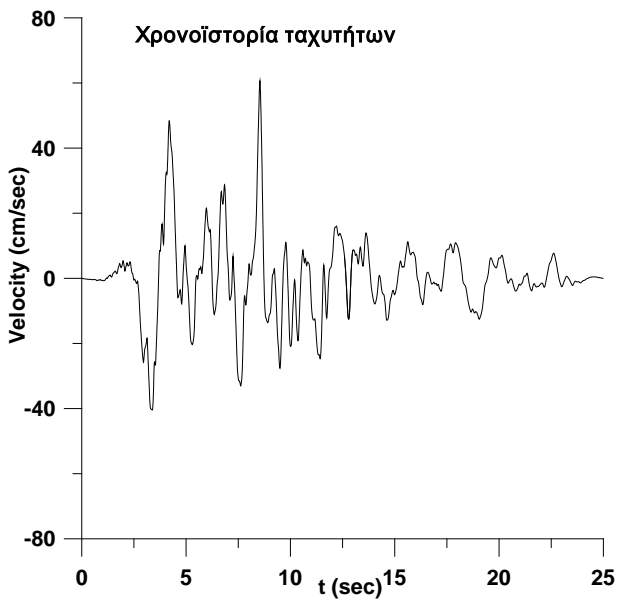
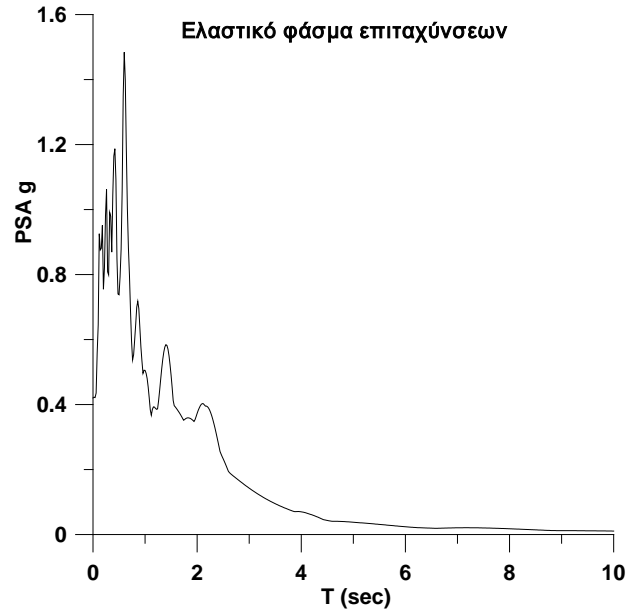
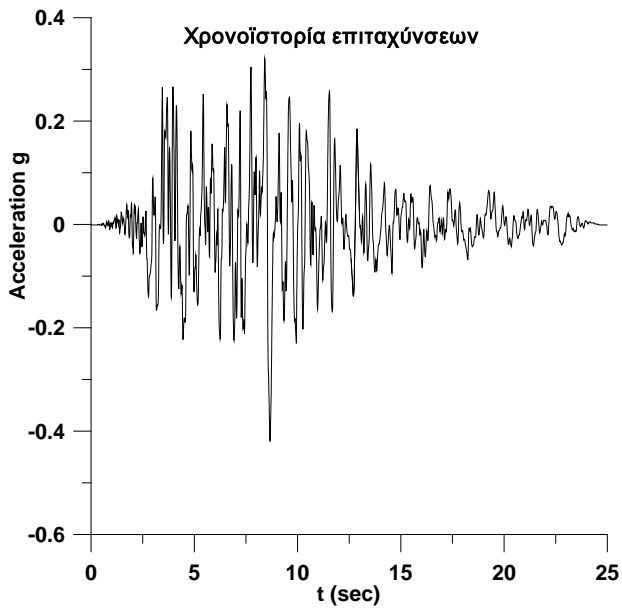
NORTHRIDGE 01/17/94 , BURBANK - HOWARD, deg. 330, Lat. 34.204,
Long.-118.302 PGA (g)= 0.163 PGV (cm/s)= 8.5 PGD (cm) = 1.81



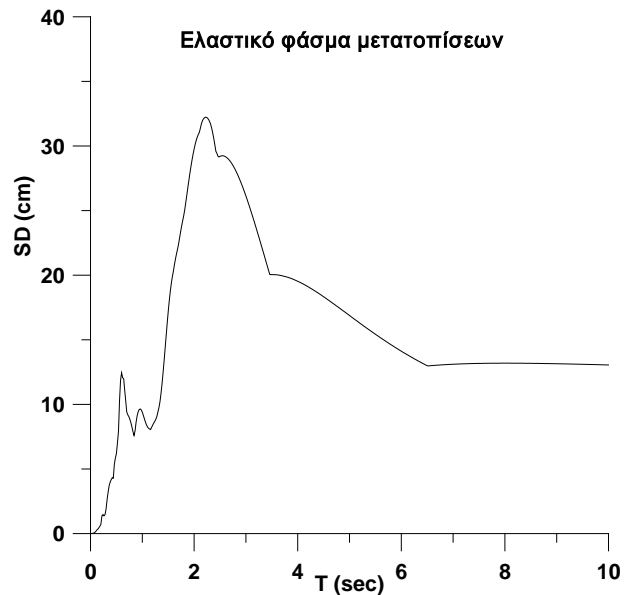
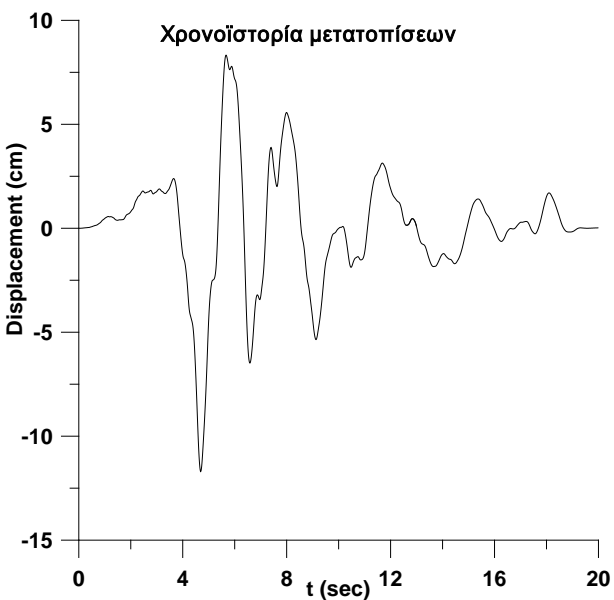
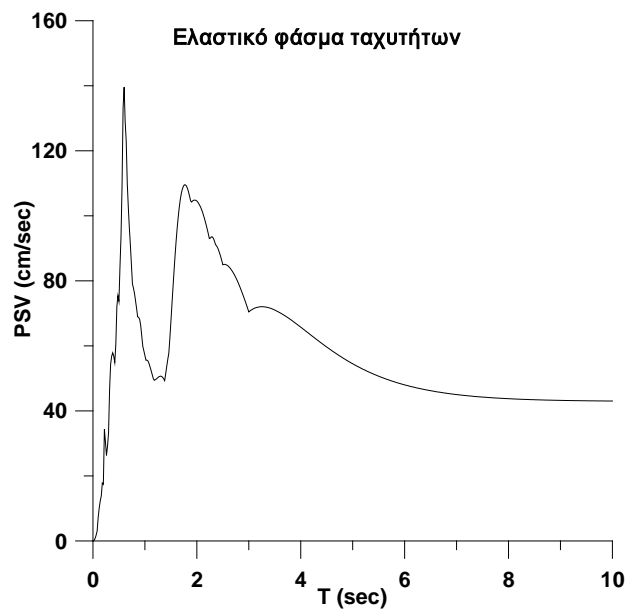
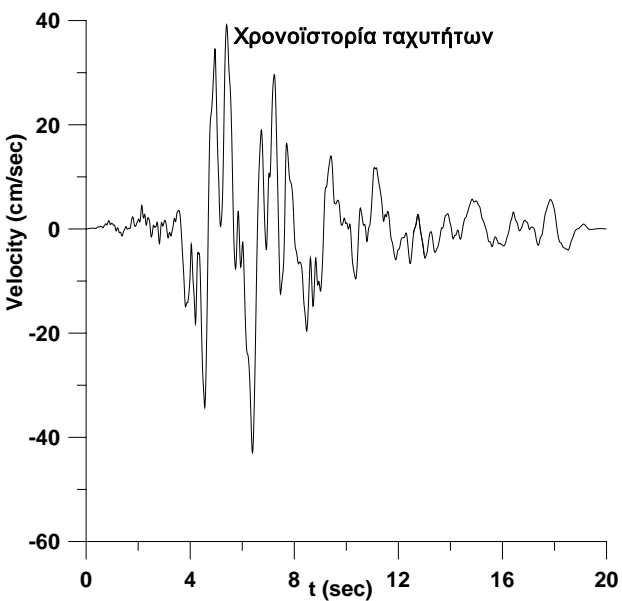
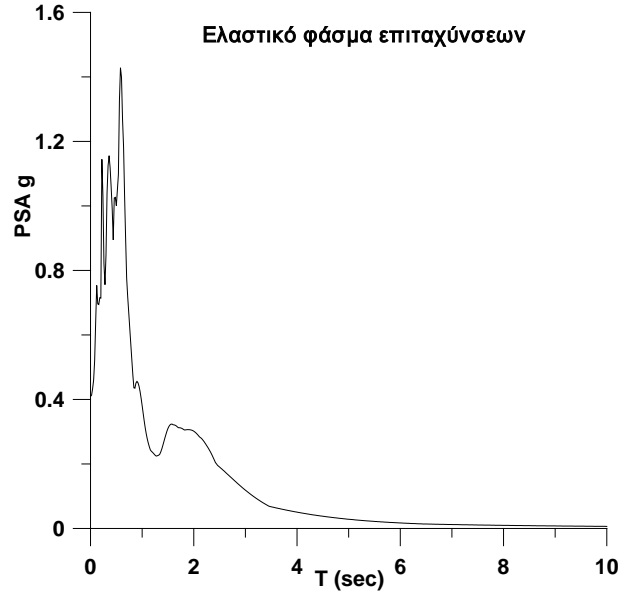
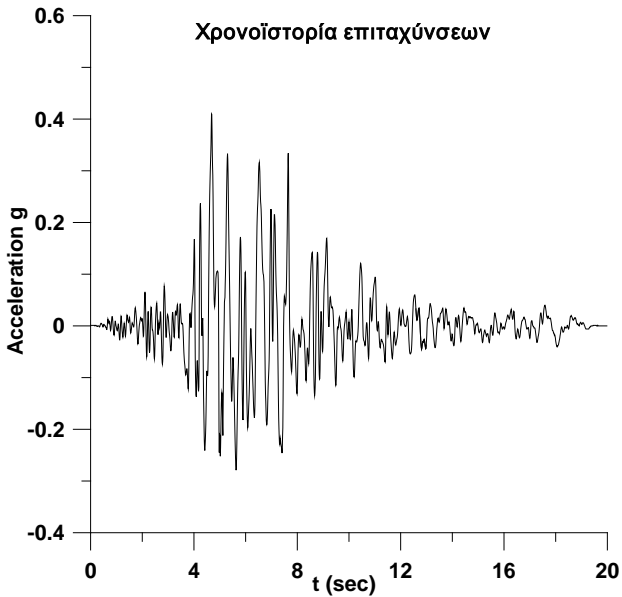
NORTHRIDGE 01/17/94, CANOGA PARK - TOPANGA CANYON, deg. 106, Lat. 34.212, Long.-118.606 **PGA (g)= 0.356** **PGV (cm/s)= 32.1** **PGD (cm) = 9.13**



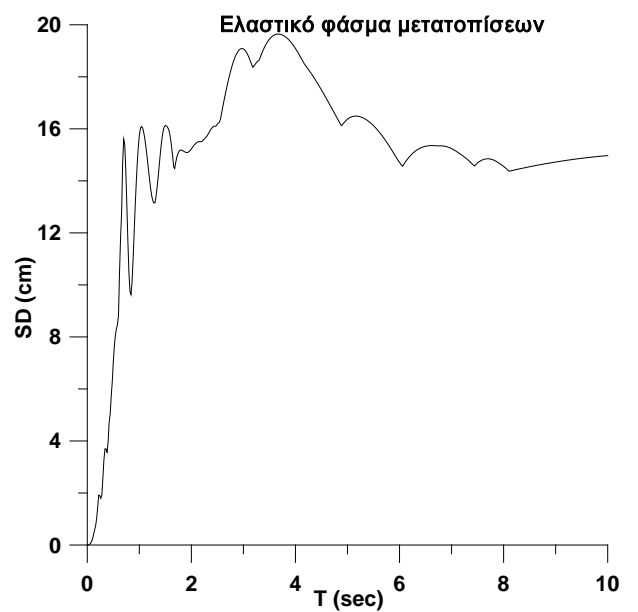
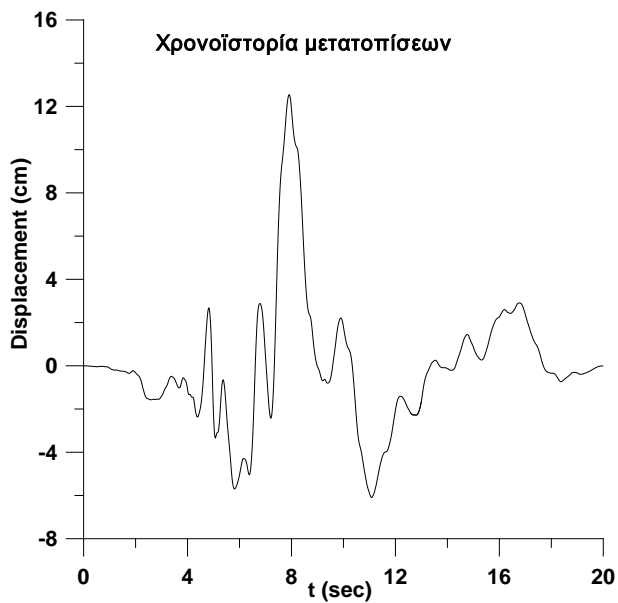
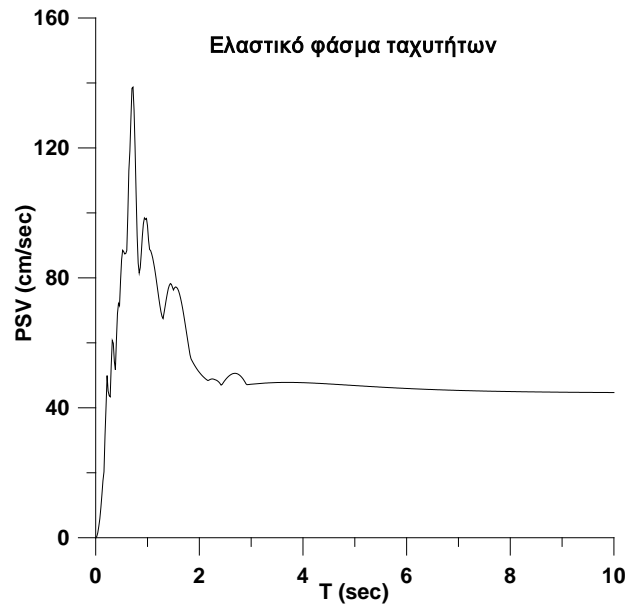
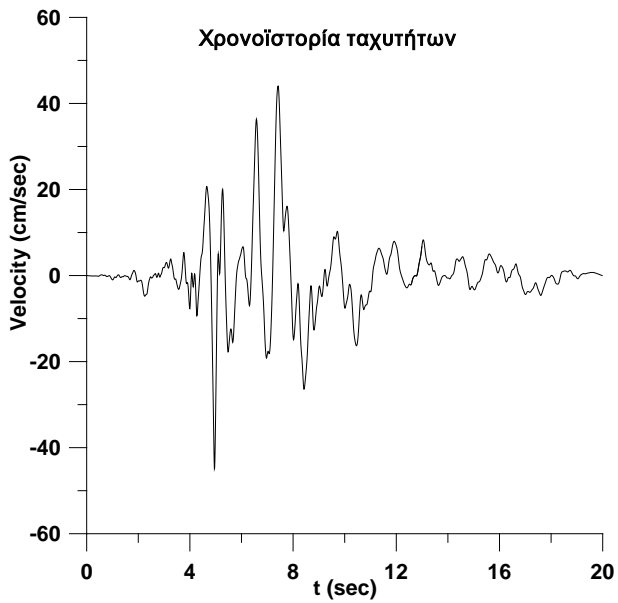
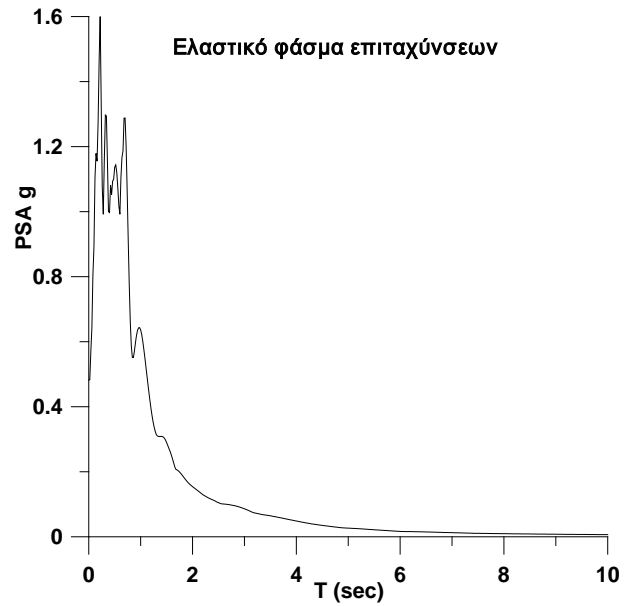
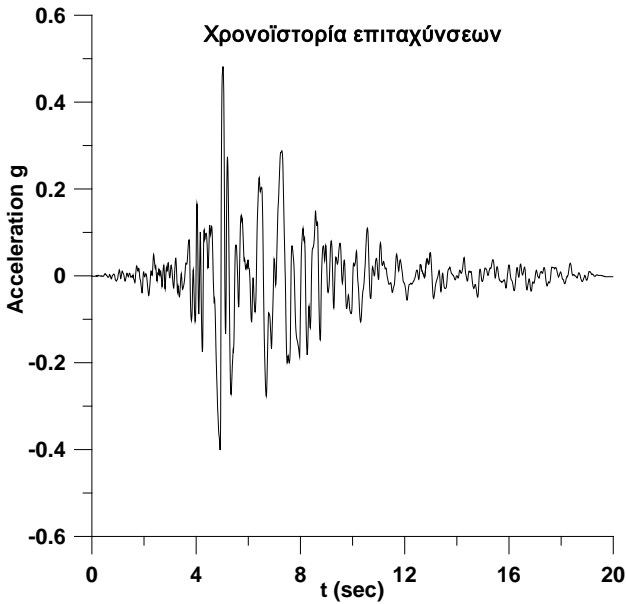
NORTHRIDGE 01/17/94, CANOGA PARK - TOPANGA CANYON, deg. 196, Lat. 34.212, Long.-118.606 PGA (g)= 0.42 PGV (cm/s)= 60.8 PGD (cm) = 20.17



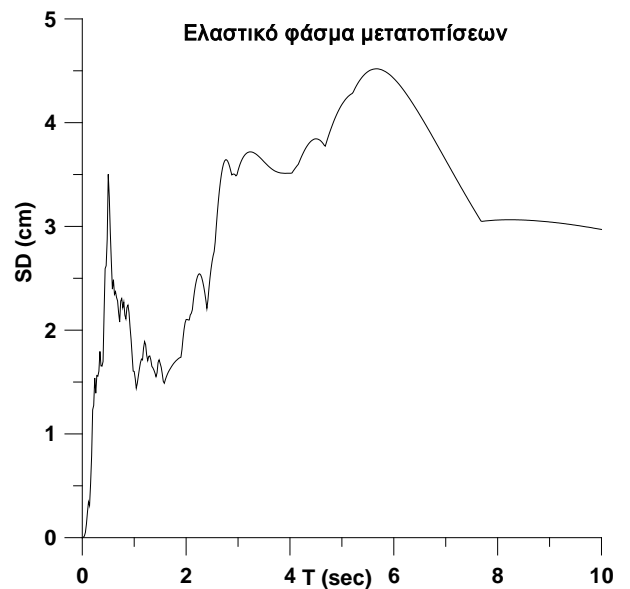
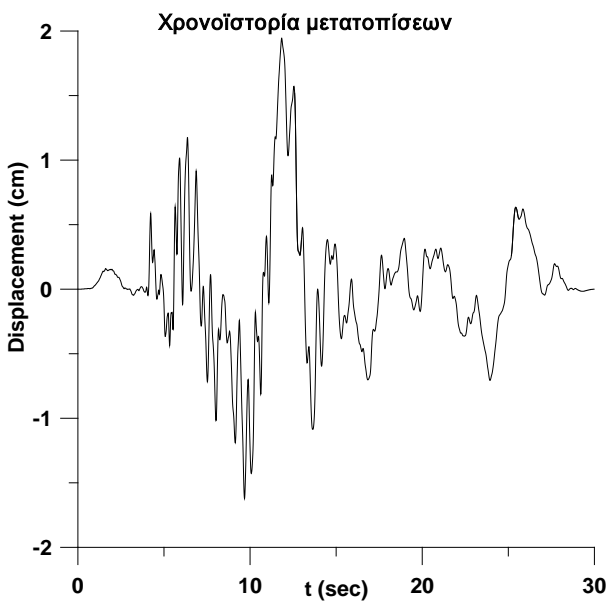
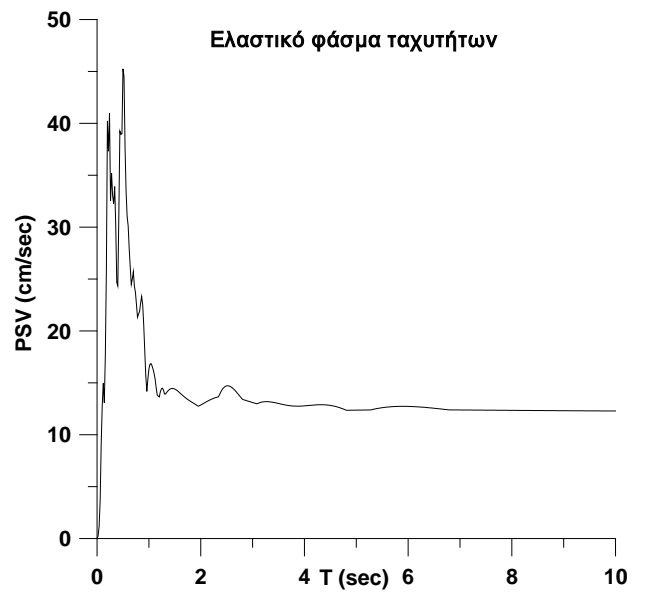
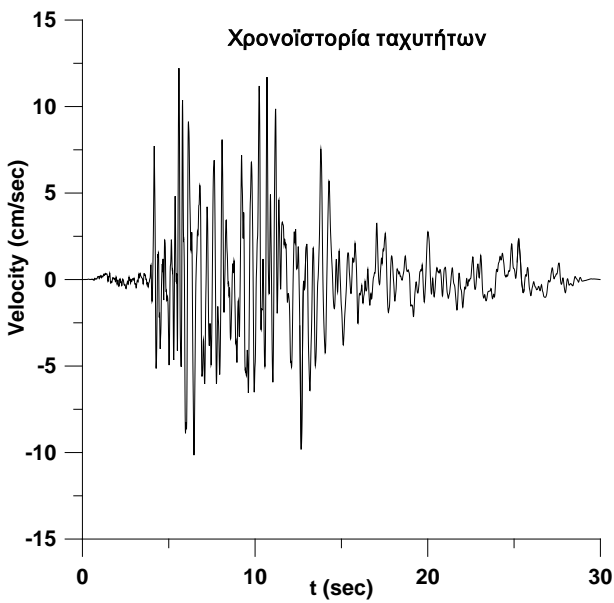
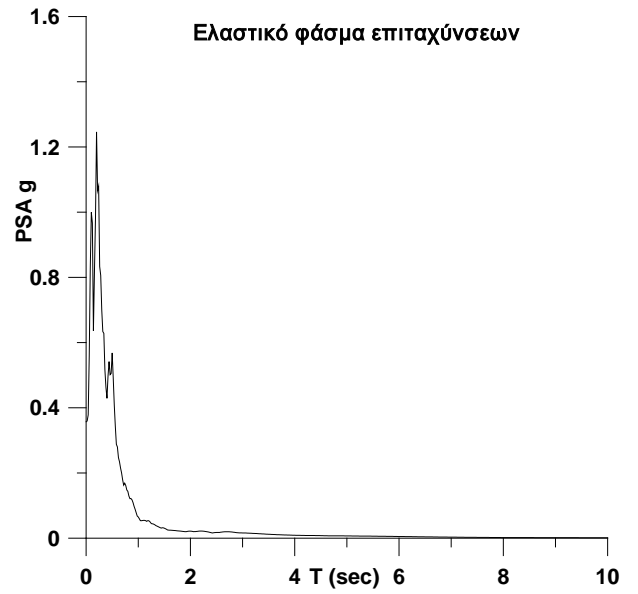
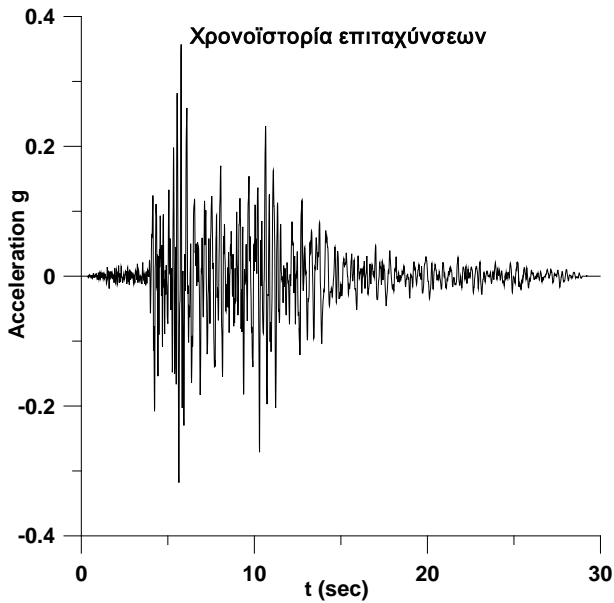
NORTHRIDGE 01/17/94, CANYON COUNTRY - W LOST CANYON, deg. 000,
Lat. 34.419, Long.-118.426 PGA (g)= 0.41 PGV (cm/s)= 43 PGD (cm) = 11.75



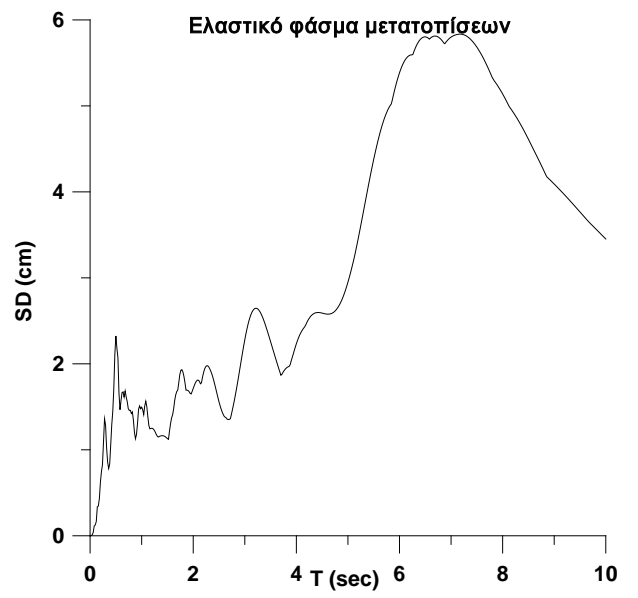
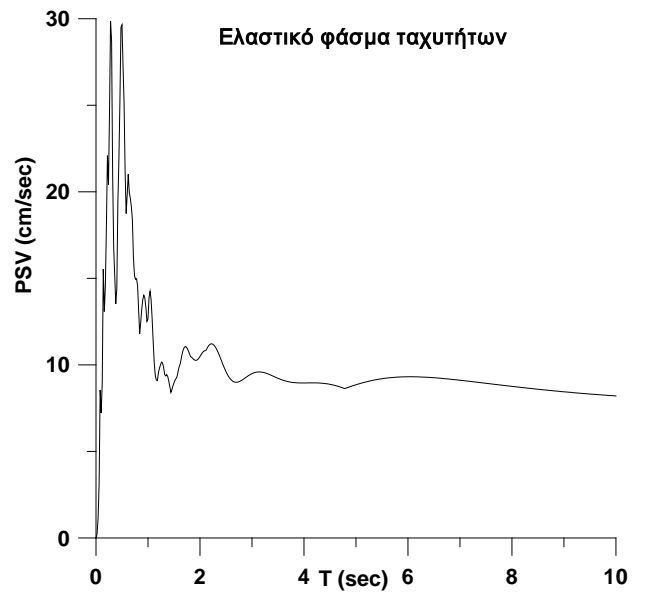
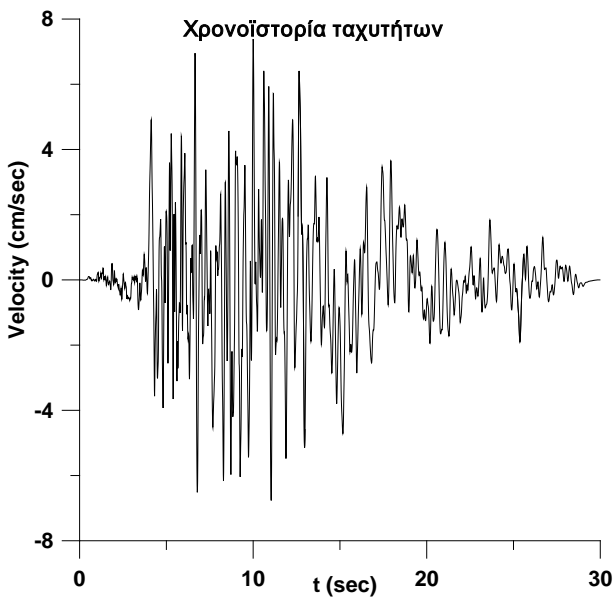
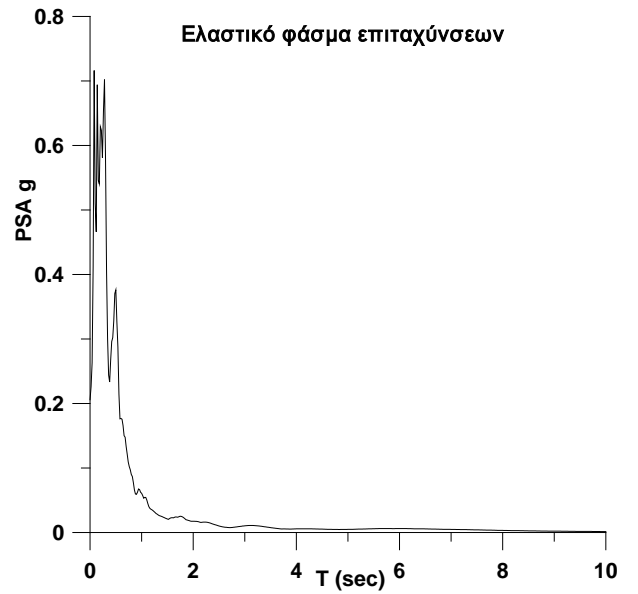
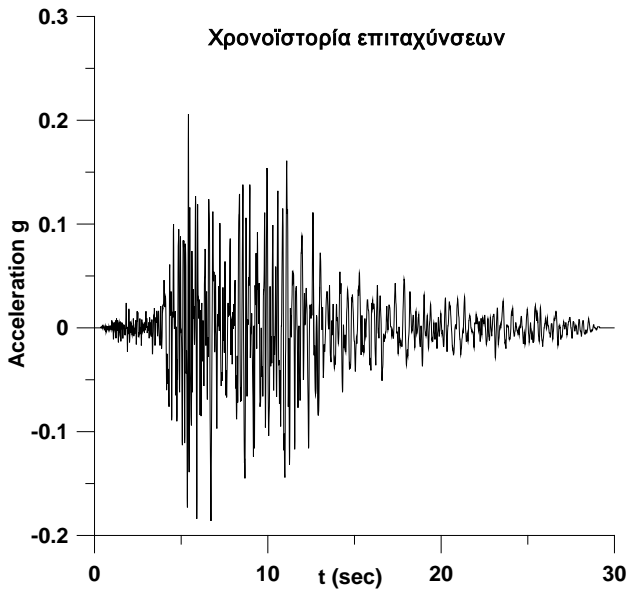
NORTHRIDGE 01/17/94, CANYON COUNTRY - W LOST CANYON, deg. 270,
Lat. 34.419, Long.-118.426 PGA (g)= 0.482 PGV (cm/s)= 45.1 PGD (cm) = 12.58



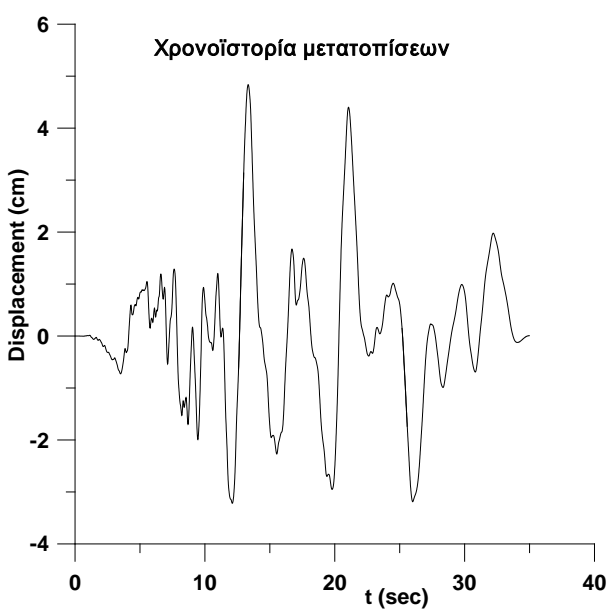
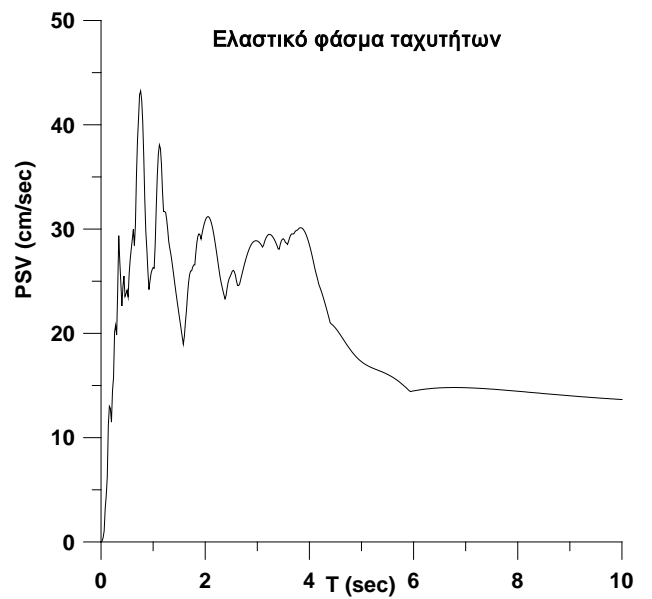
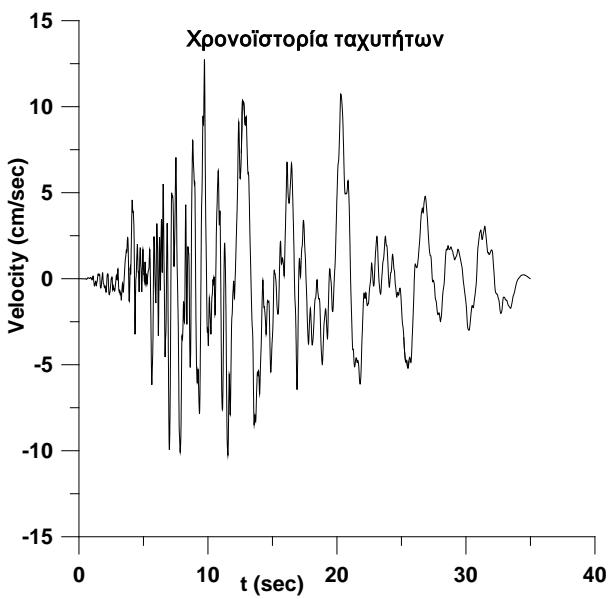
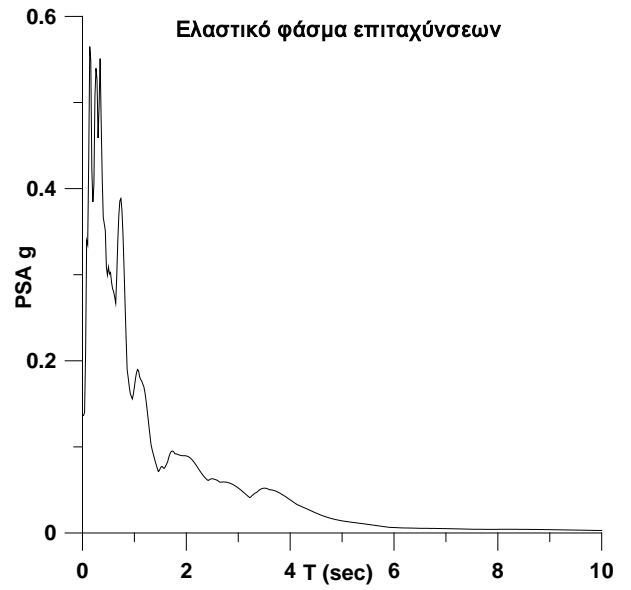
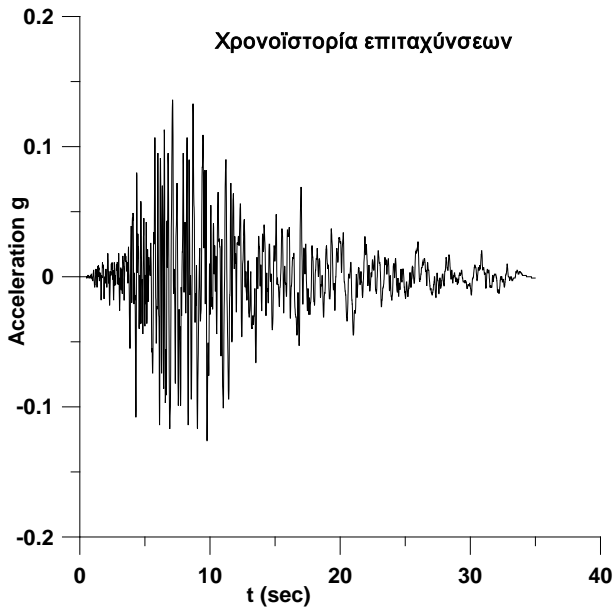
NORTHRIDGE 01/17/94, GLENDALE - LAS PALMAS, deg.177, Lat. 34.200,
Long.-118.231 PGA (g)= 0.357 PGV (cm/s)= 12.3 PGD (cm) = 1.94



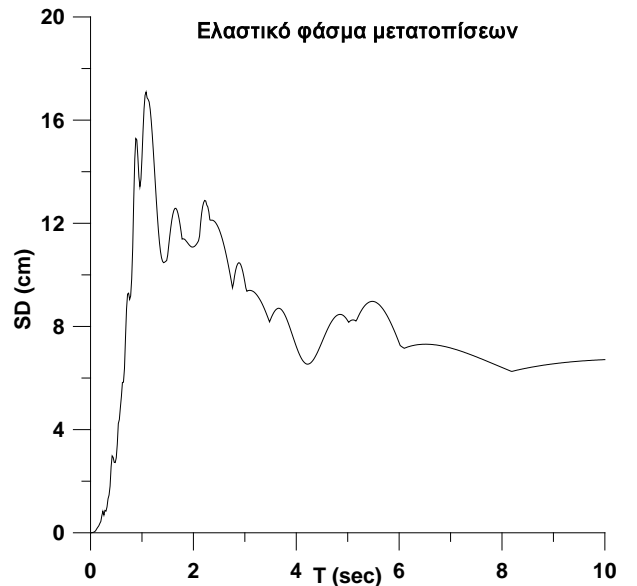
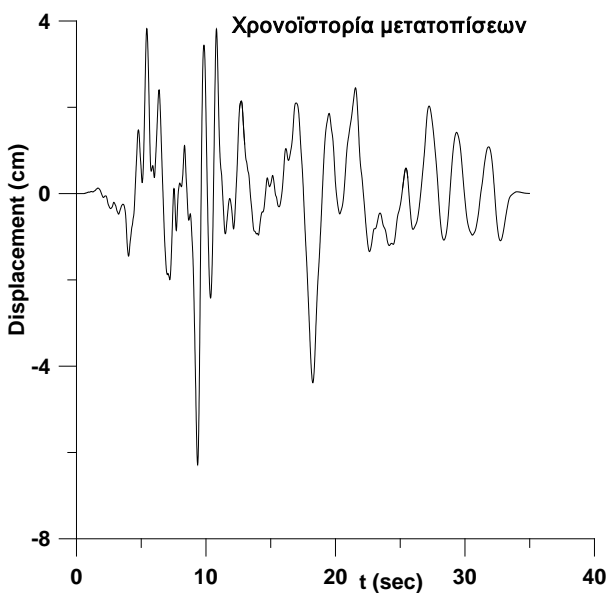
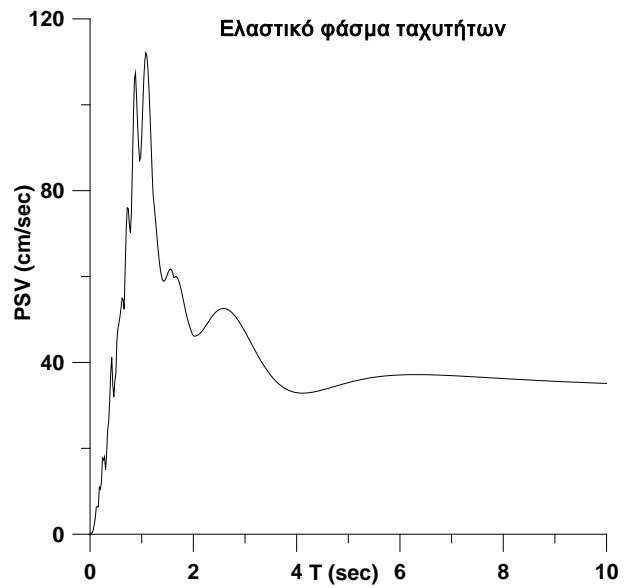
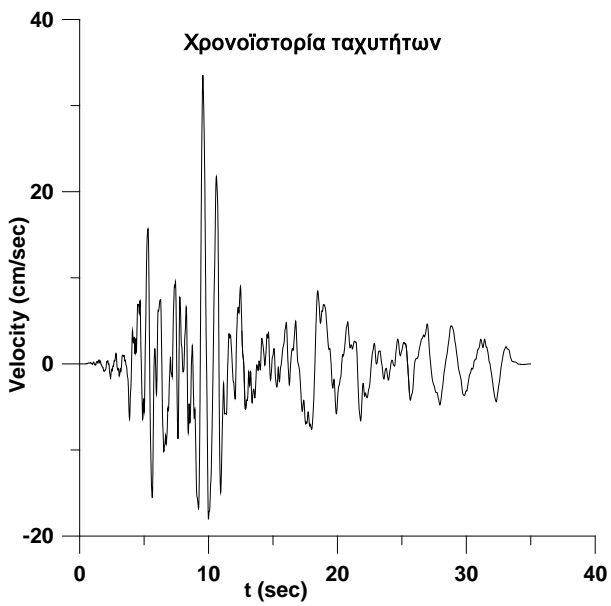
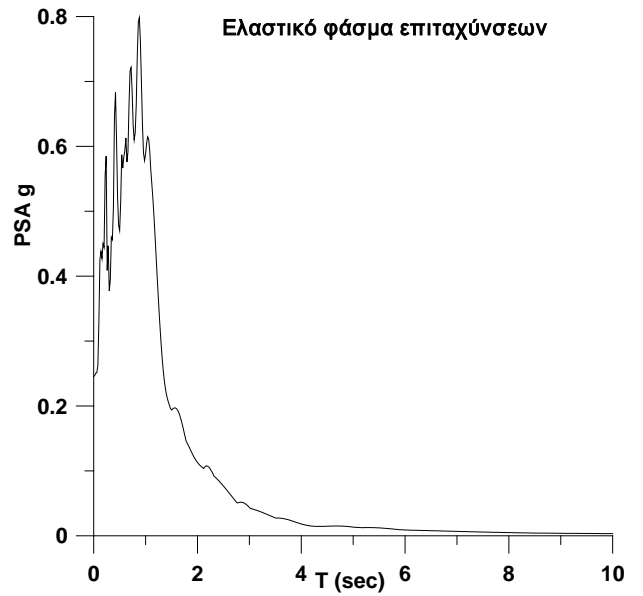
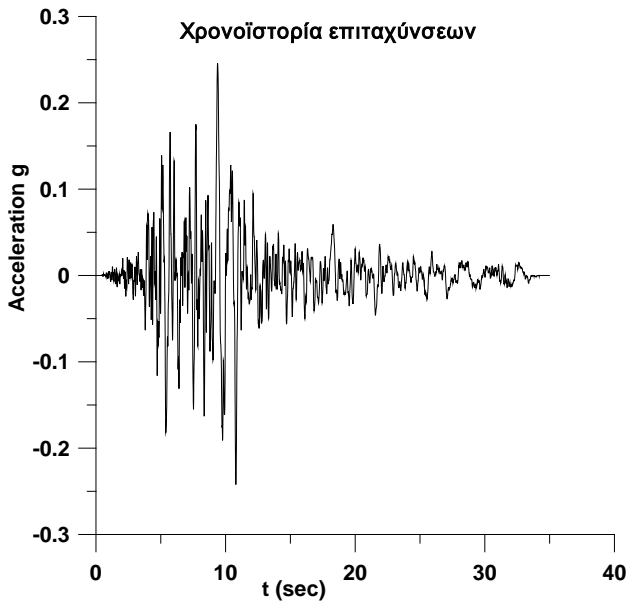
NORTHRIDGE 01/17/94, GLENDALE - LAS PALMAS, deg.267, Lat. 34.200,
Long.-118.231 PGA (g)= 0.206 PGV (cm/s)= 7.4 PGD (cm) = 1.75



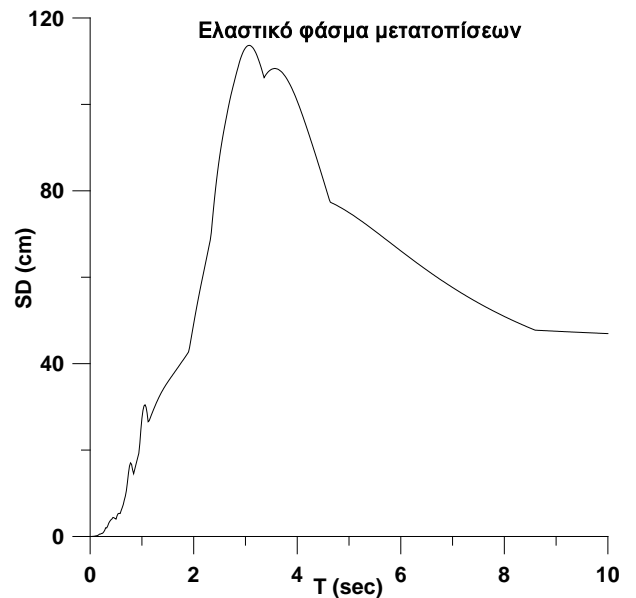
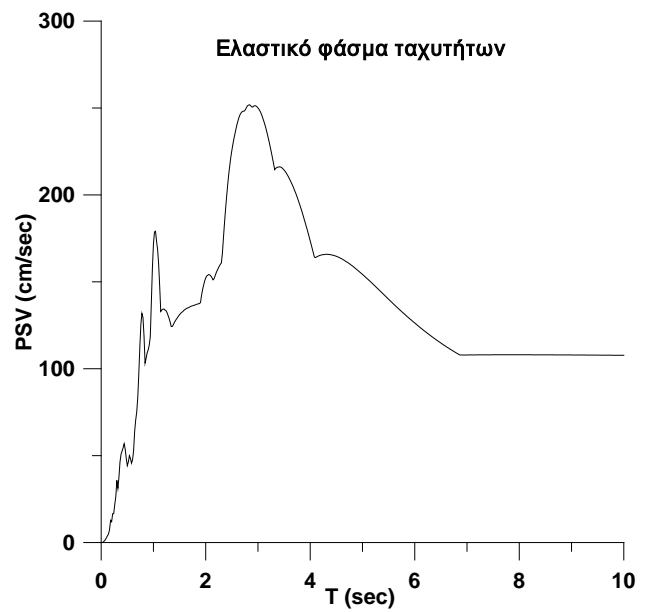
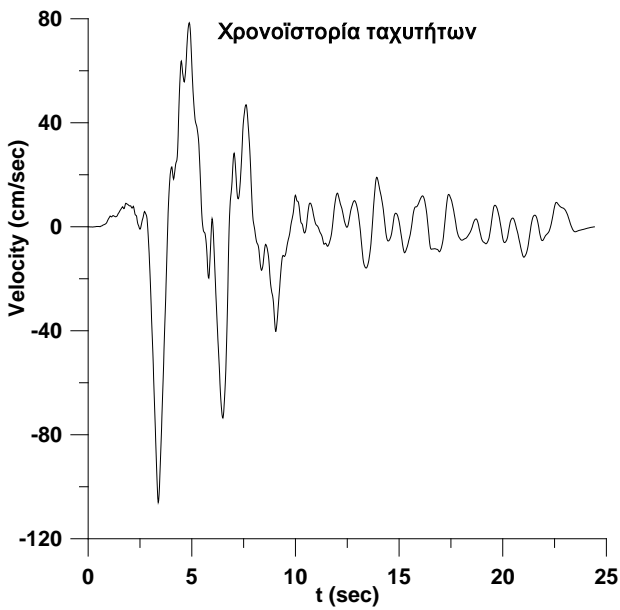
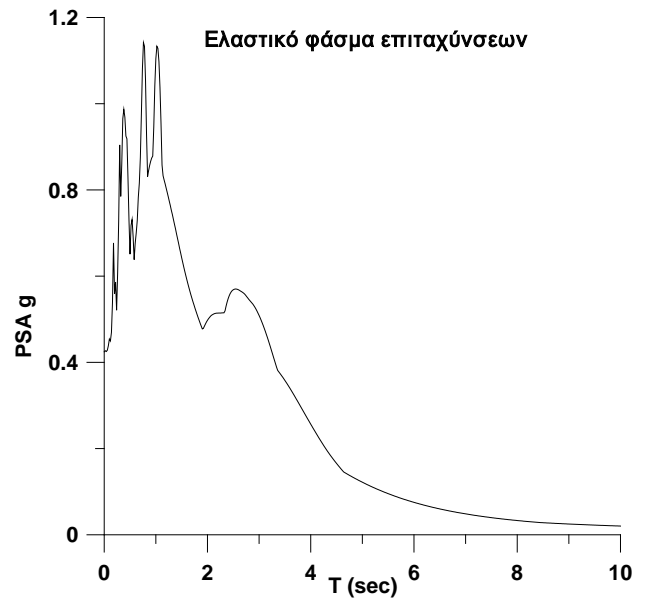
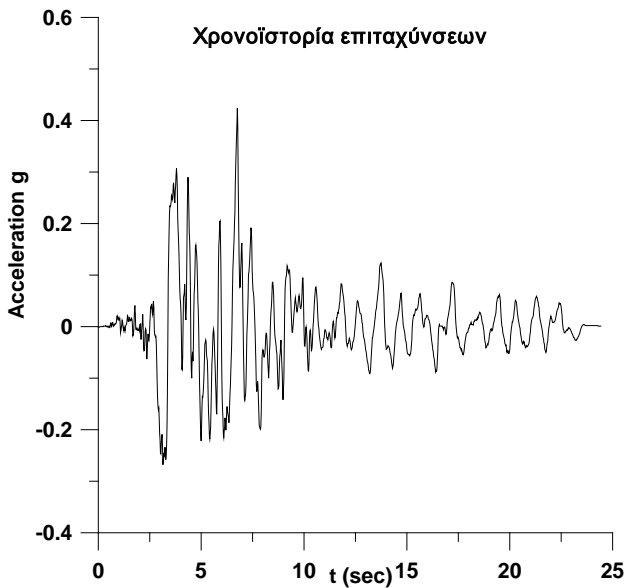
NORTHRIDGE 01/17/94, HOLLYWOOD - WILLOUGHBY, deg.090, Lat. 34.088,
Long.-118.365 PGA (g)= 0.136 PGV (cm/s)= 12.8 PGD (cm) = 4.82



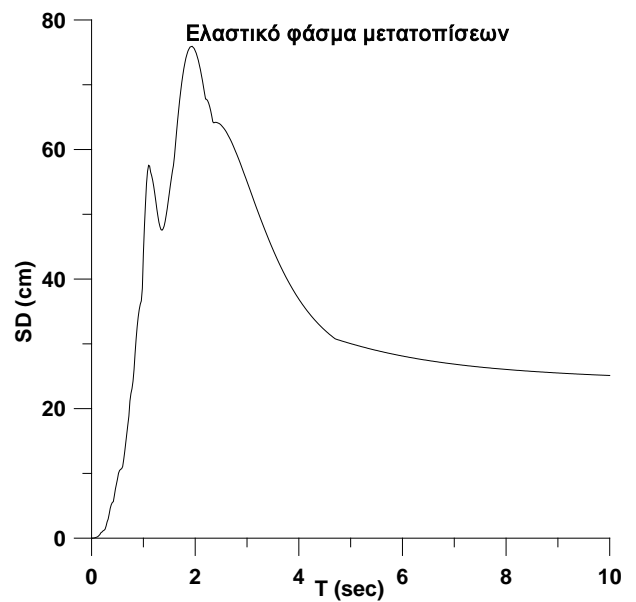
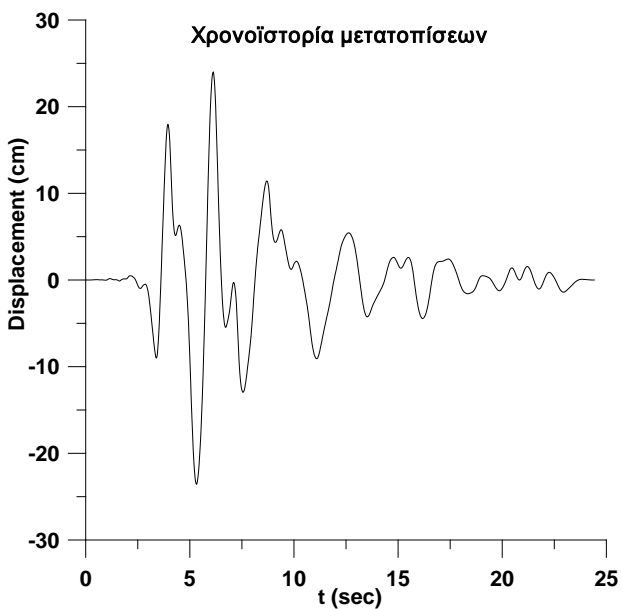
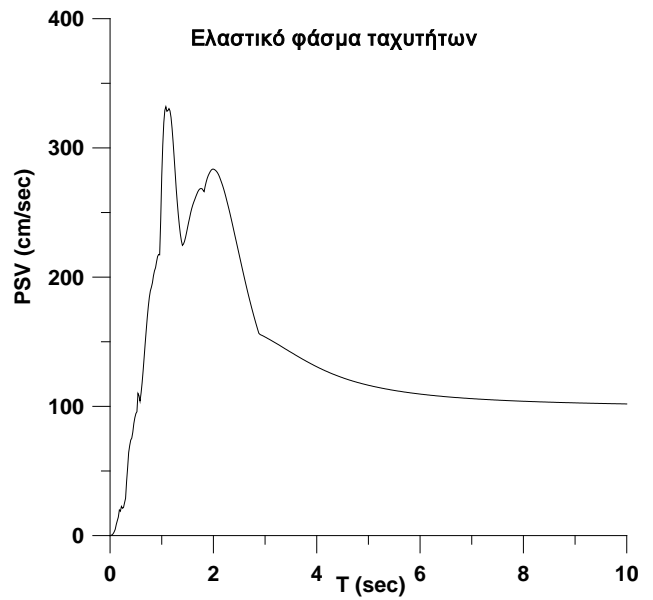
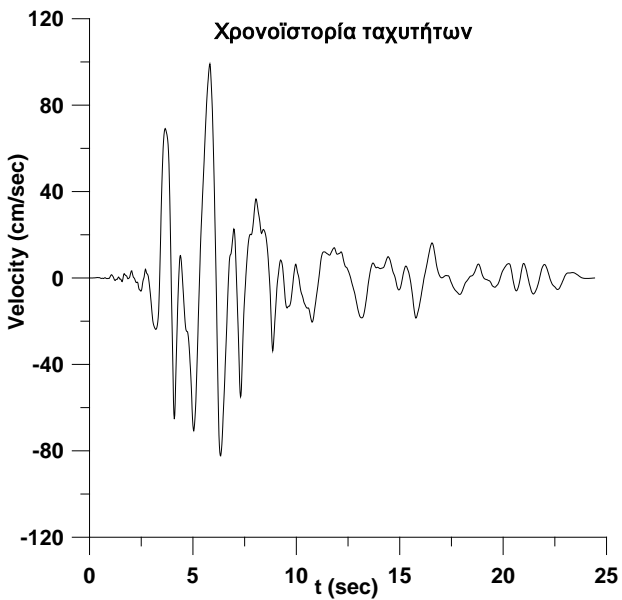
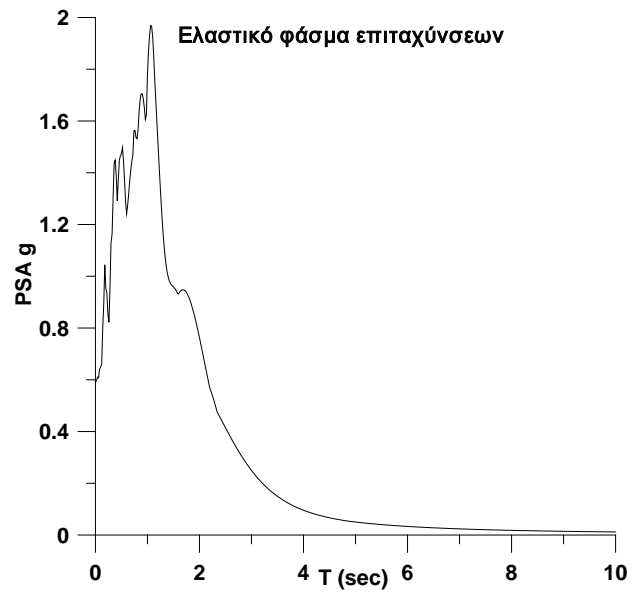
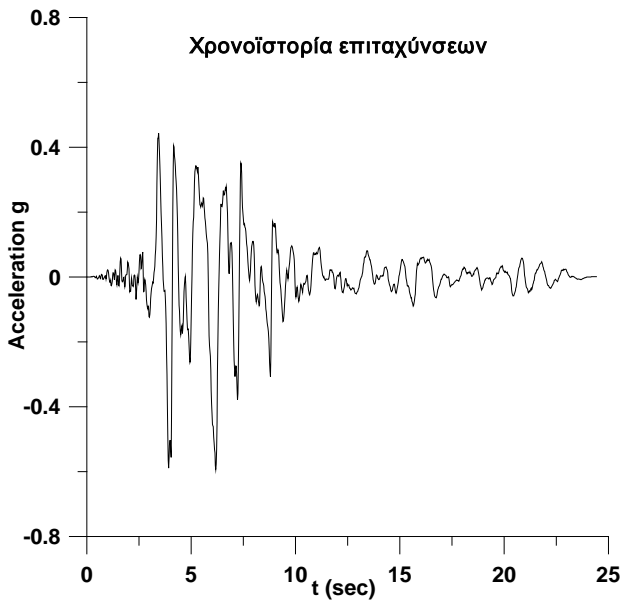
NORTHRIDGE 01/17/94, HOLLYWOOD - WILLOUGHBY, deg.180, Lat. 34.088,
Long.-118.365 PGA (g)= 0.245 PGV (cm/s)= 33.5 PGD (cm) = 6.28



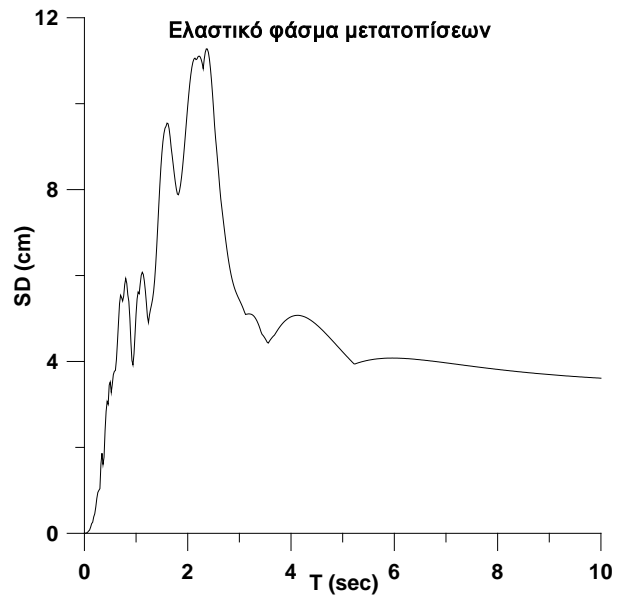
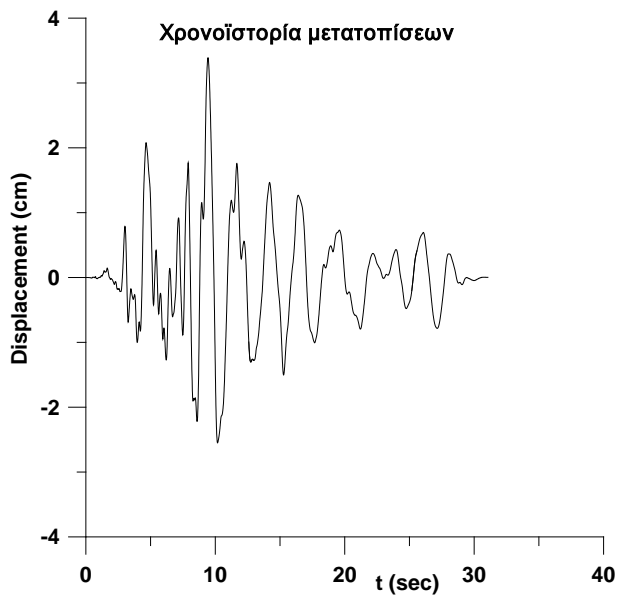
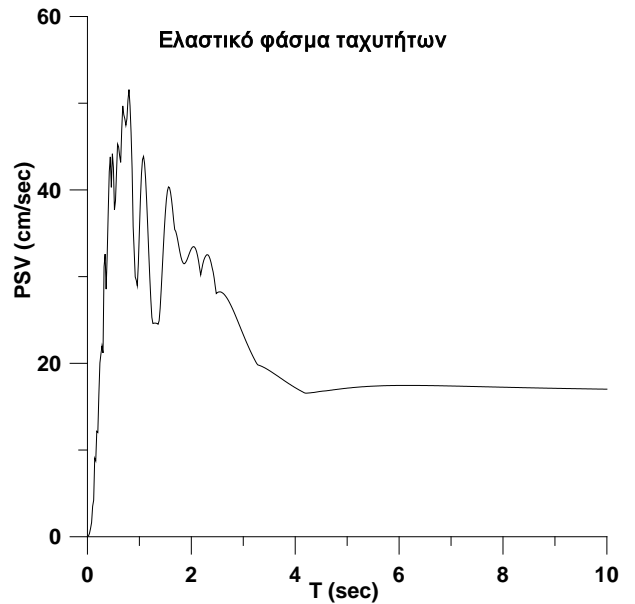
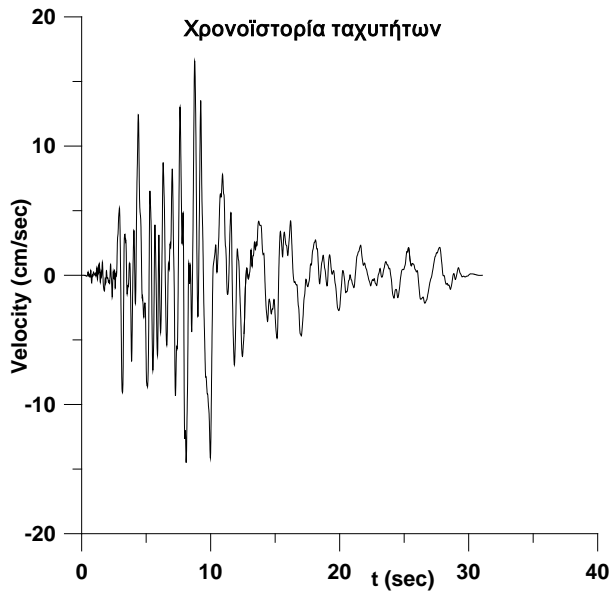
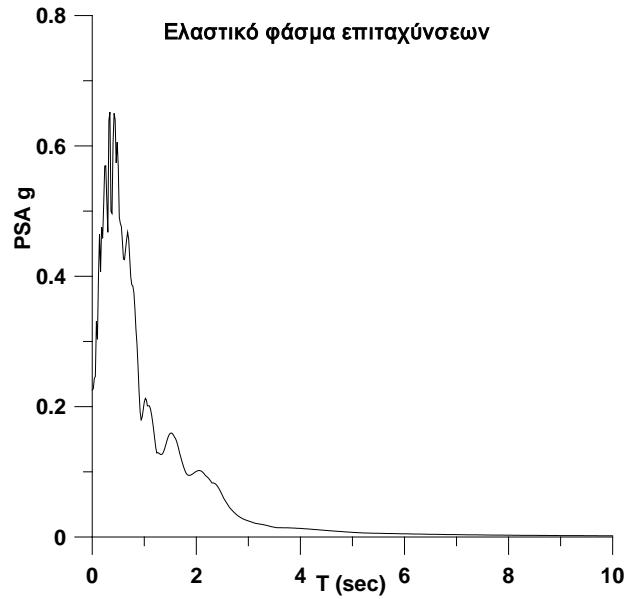
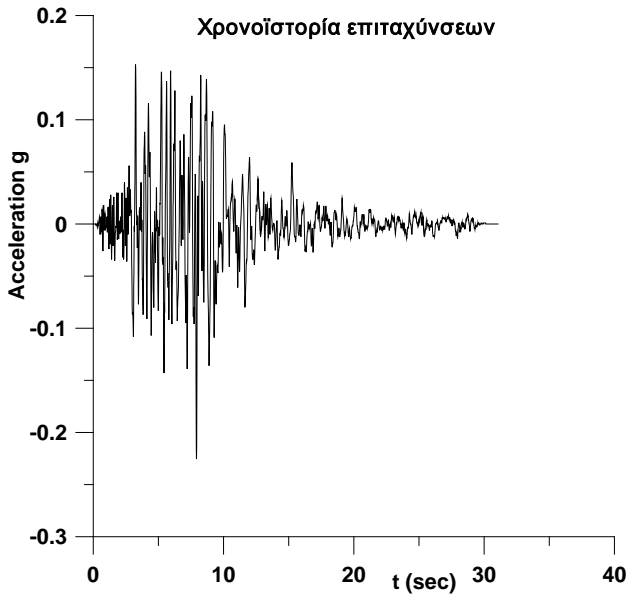
NORTHRIDGE 01/17/94, JENSEN FILTER PLANT, deg.022, Lat. 34.313, Long.-118.498
PGA (g)= 0.424 PGV (cm/s)= 106.2 PGD (cm) = 43.06



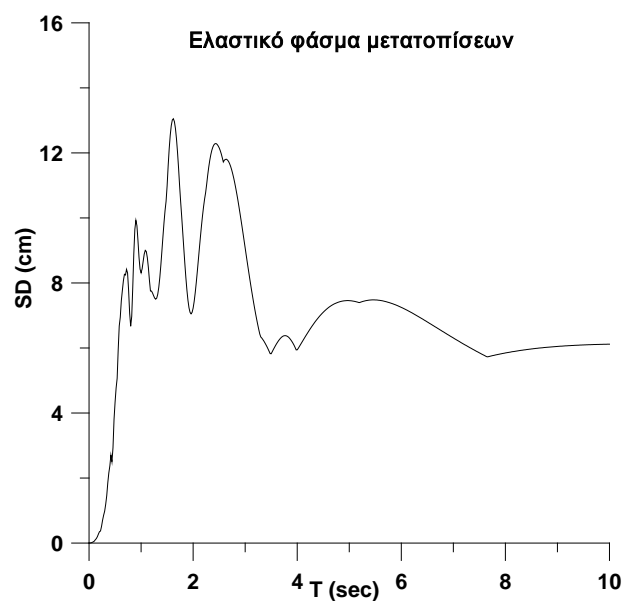
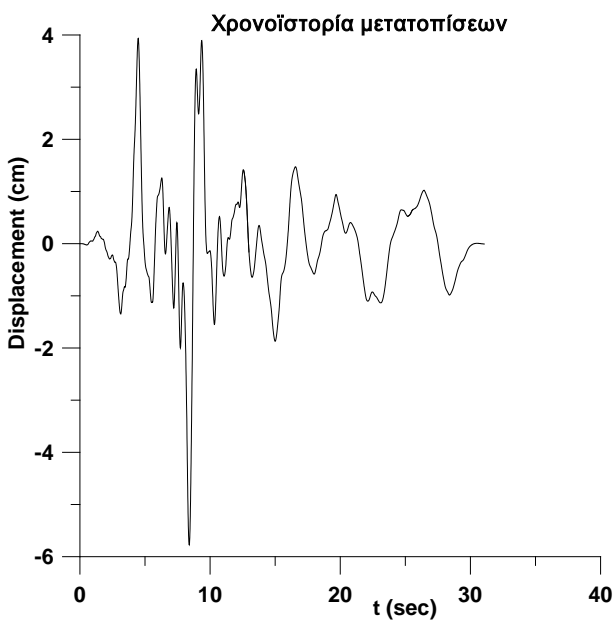
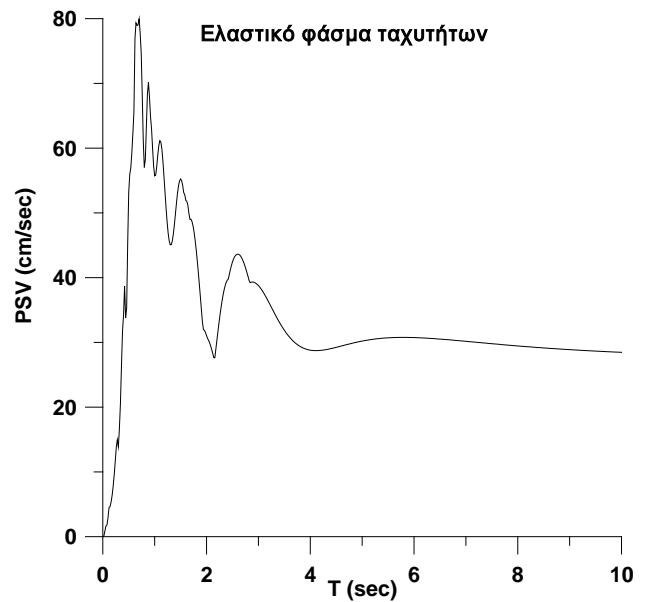
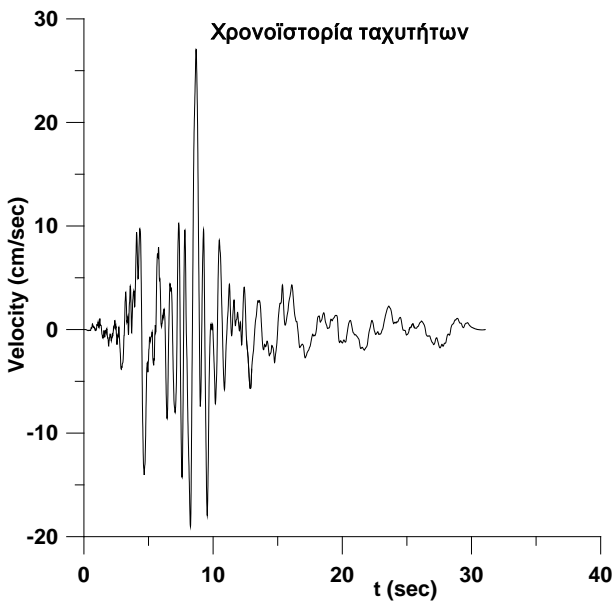
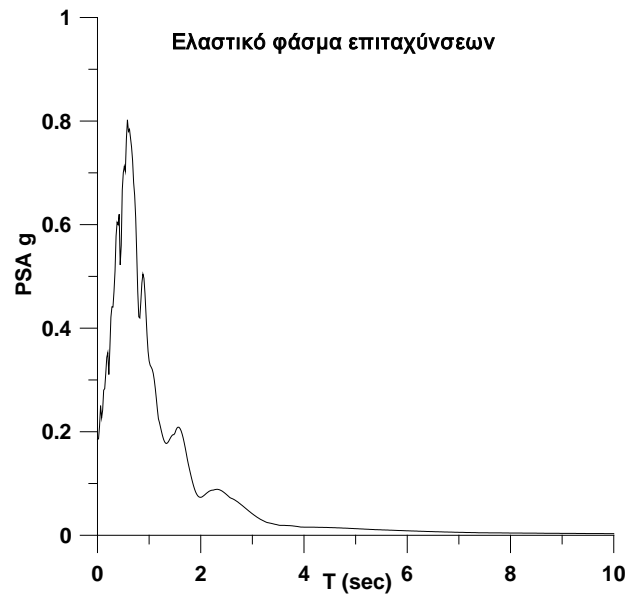
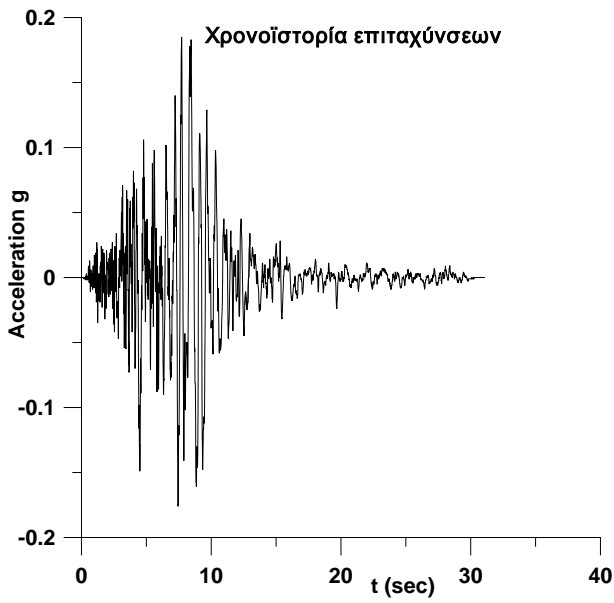
NORTHRIDGE 01/17/94, JENSEN FILTER PLANT, deg.292, Lat. 34.313, Long.-118.498
PGA (g)= 0.593 PGV (cm/s)= 99.3 PGD (cm) = 24



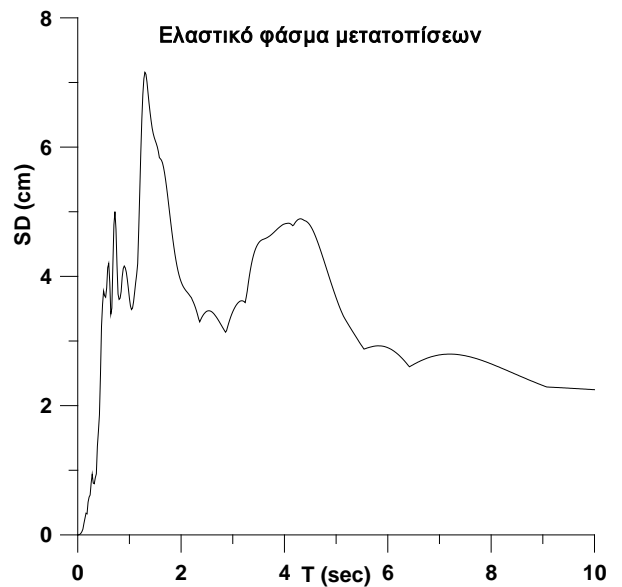
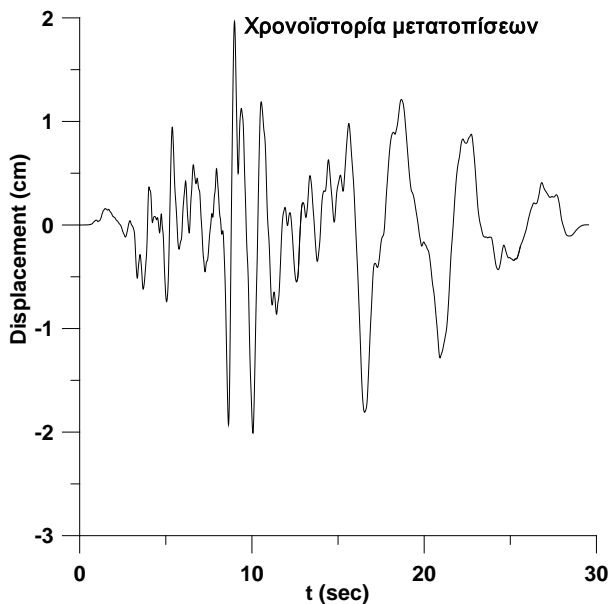
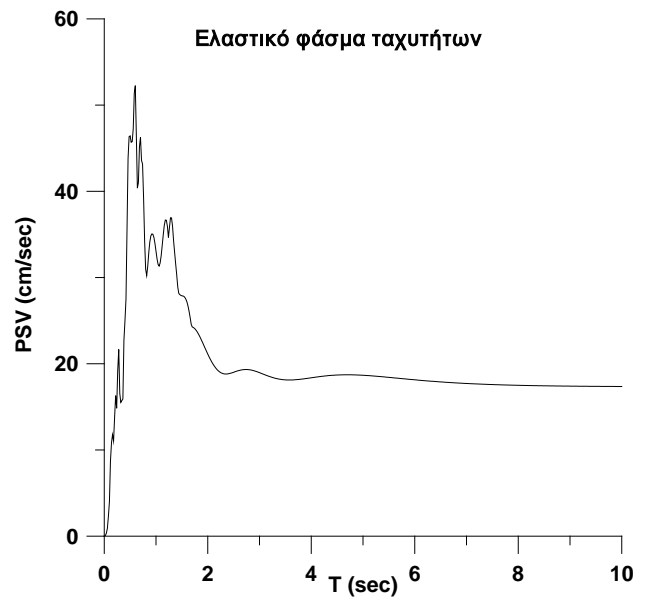
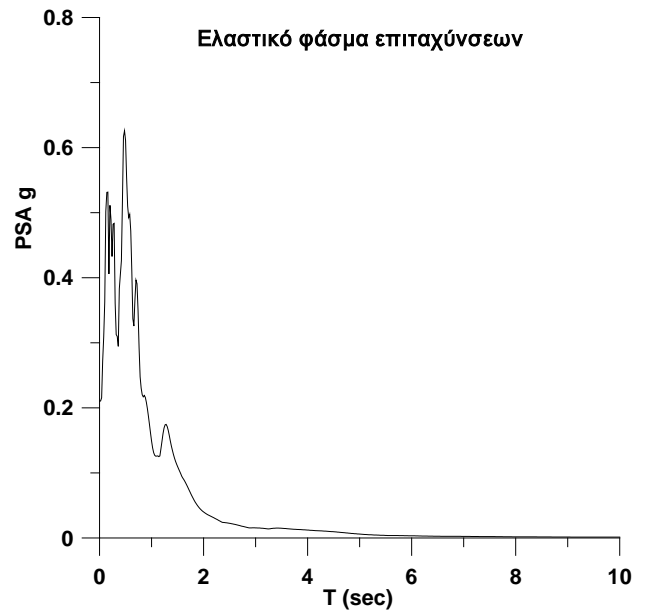
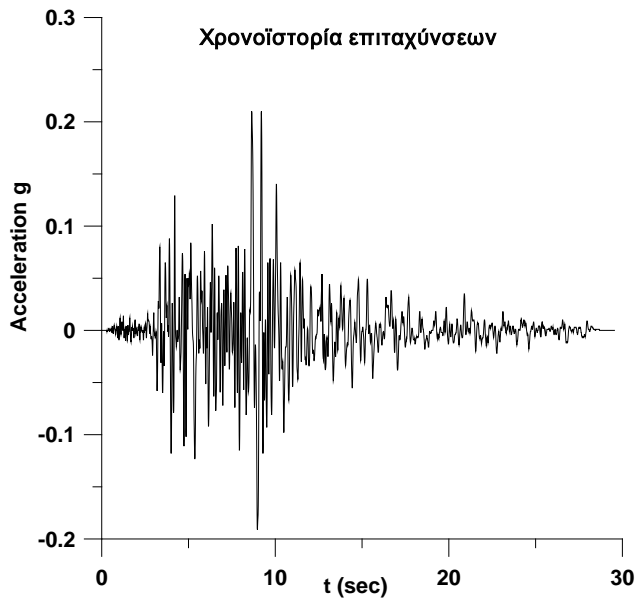
NORTHRIDGE 01/17/94, LA - CHALON RD, deg.070, Lat. 34.086, Long.-118.481
PGA (g)= 0.225 PGV (cm/s)= 16.6 PGD (cm) = 3.39



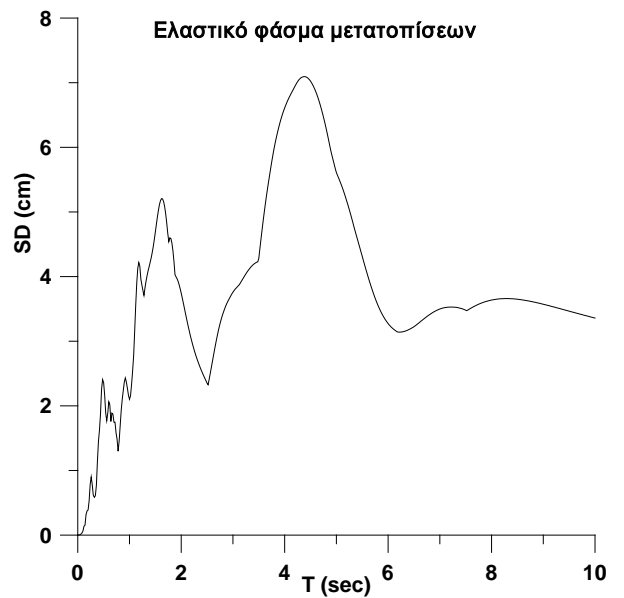
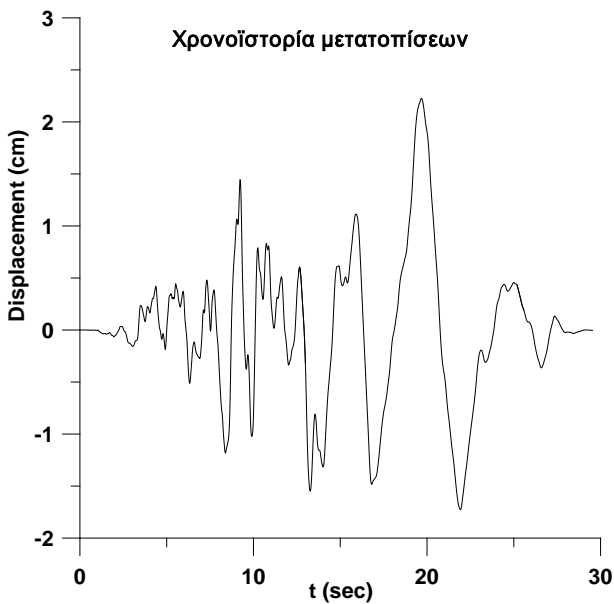
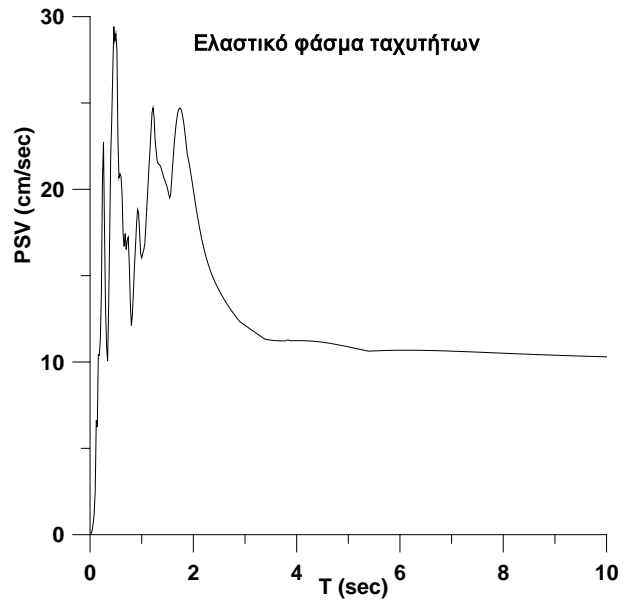
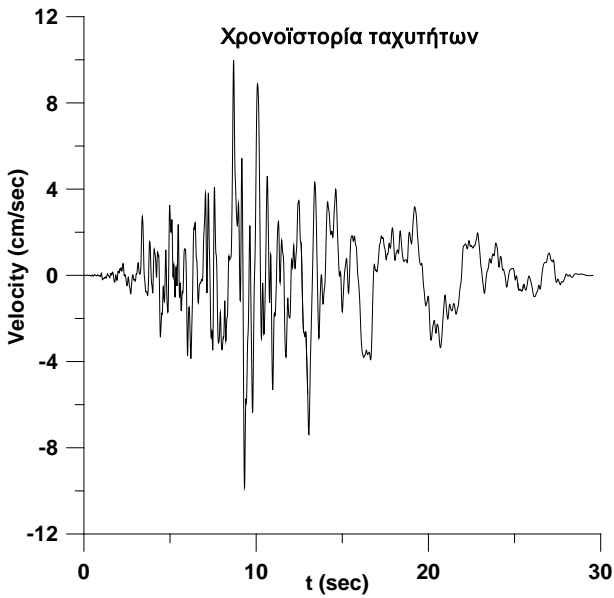
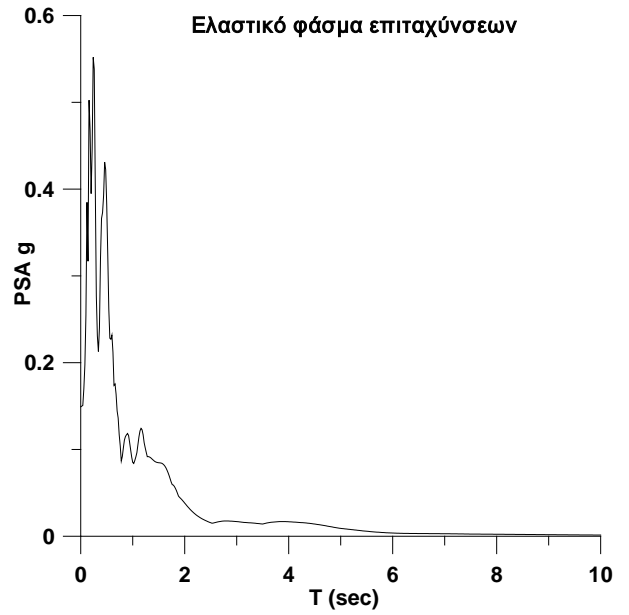
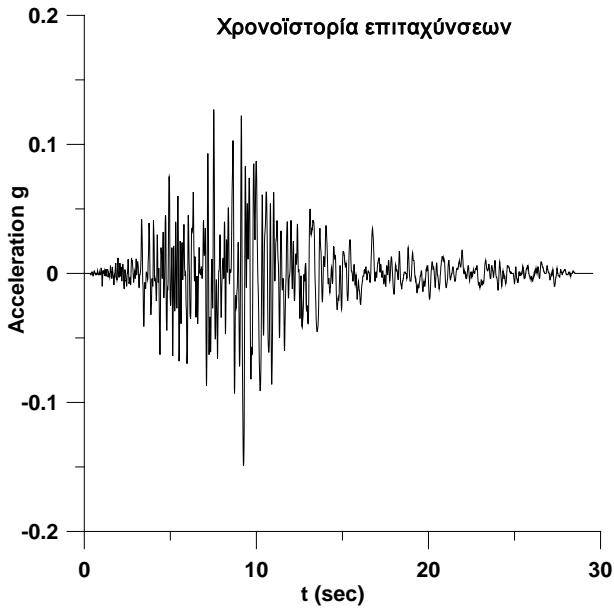
NORTHRIDGE 01/17/94, LA - CHALON RD, deg.160, Lat. 34.086, Long.-118.481
PGA (g)= 0.185 PGV (cm/s)= 27.1 PGD (cm) = 5.77



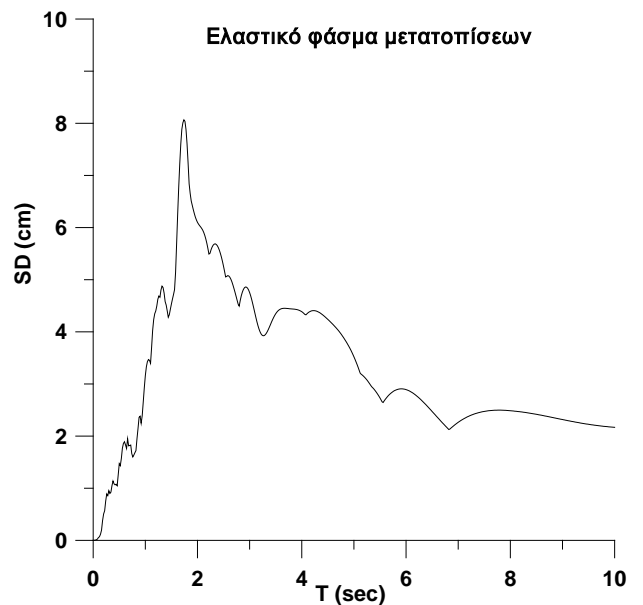
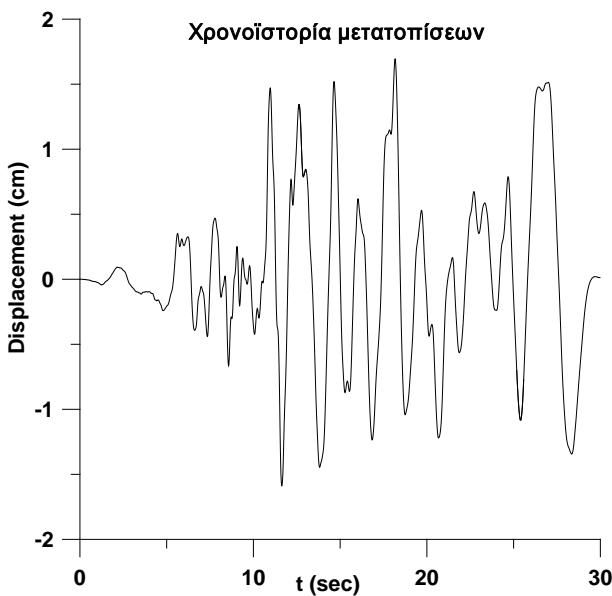
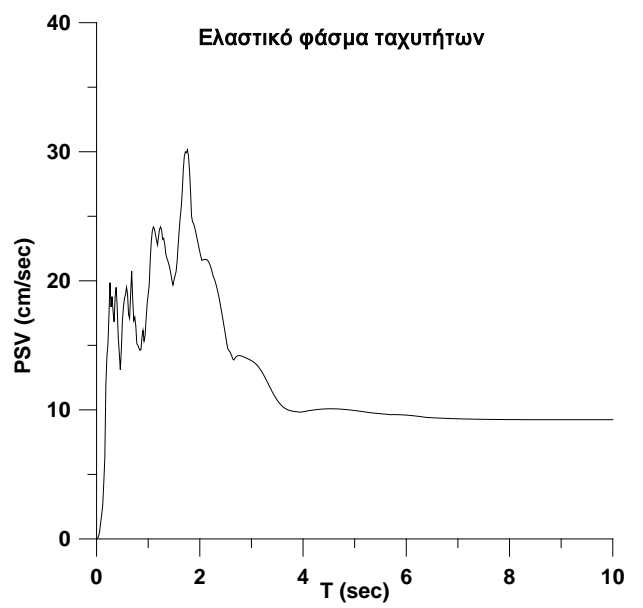
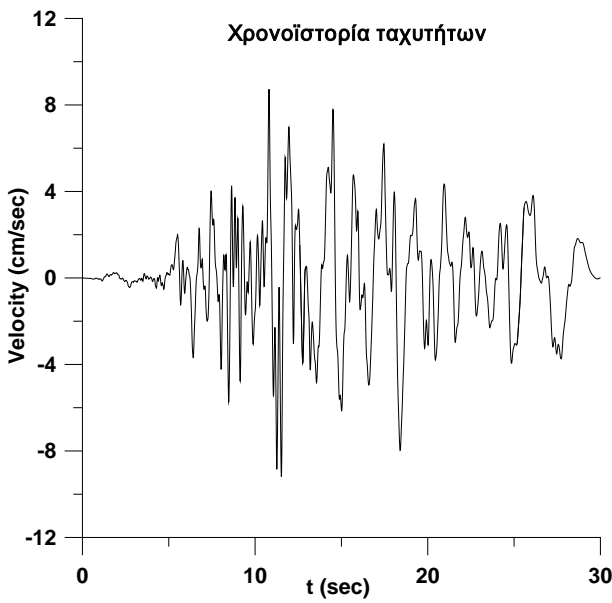
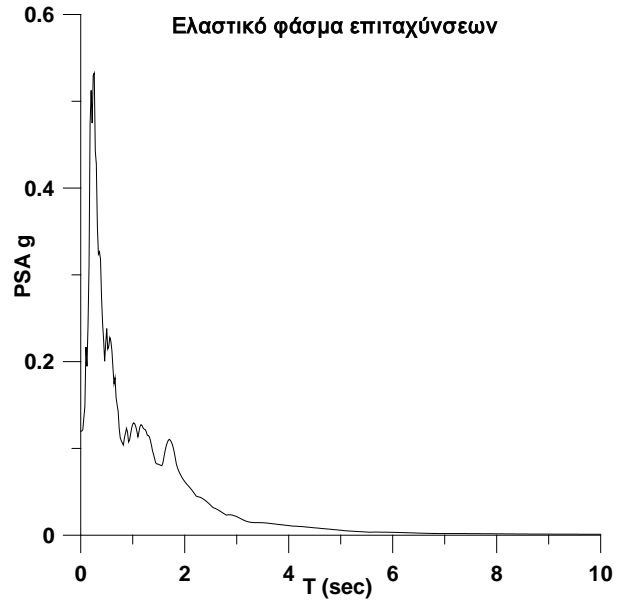
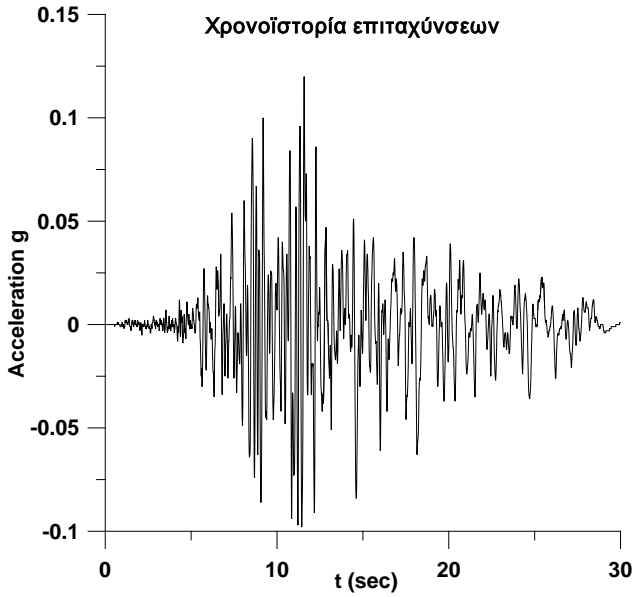
NORTHRIDGE 01/17/94, LA - CYPRESS, deg.053, Lat. 34.088, Long.-118.222
PGA (g)= 0.21 PGV (cm/s)= 17.3 PGD (cm) = 2.01



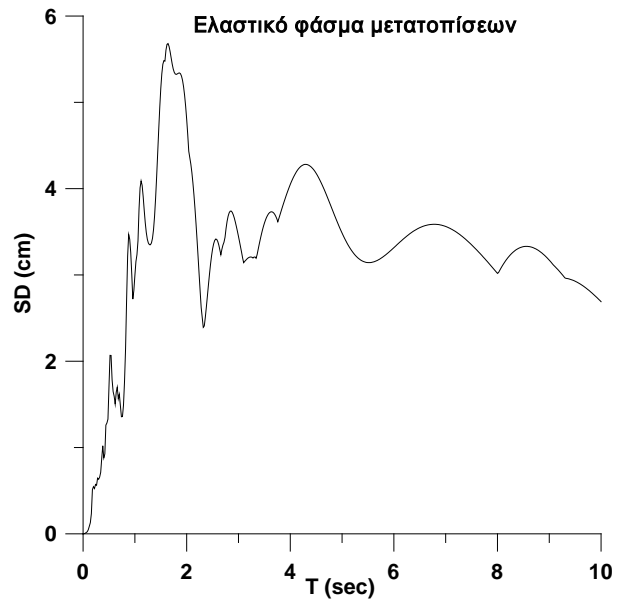
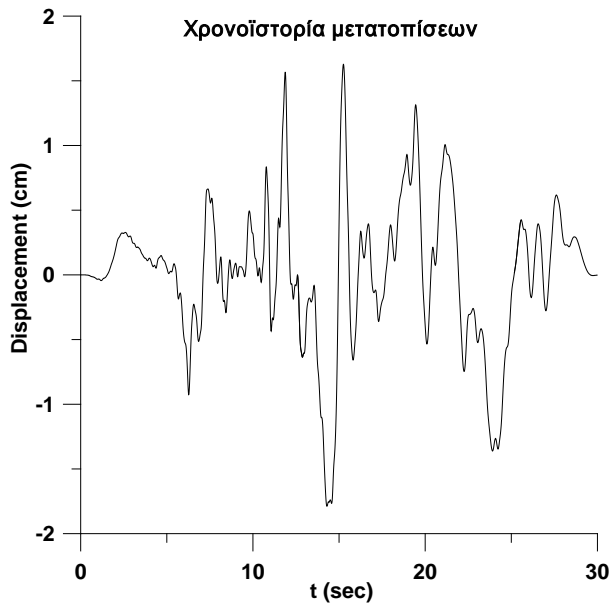
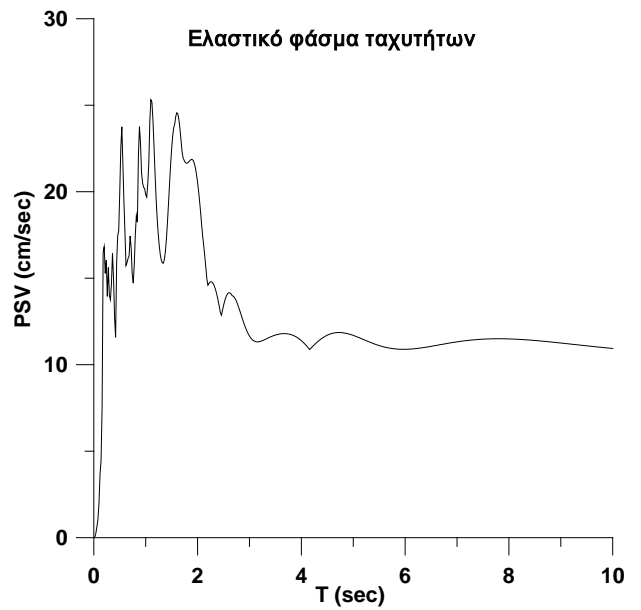
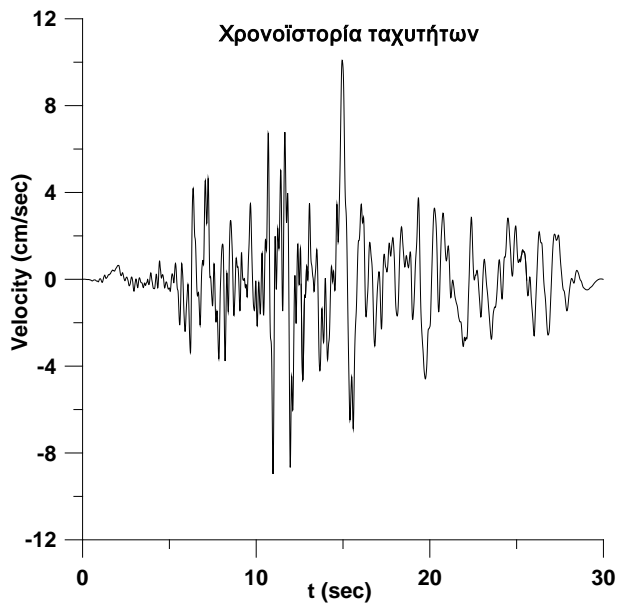
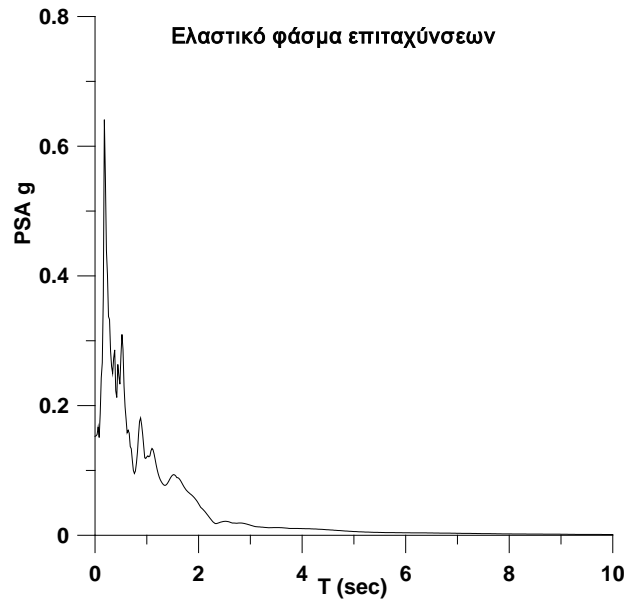
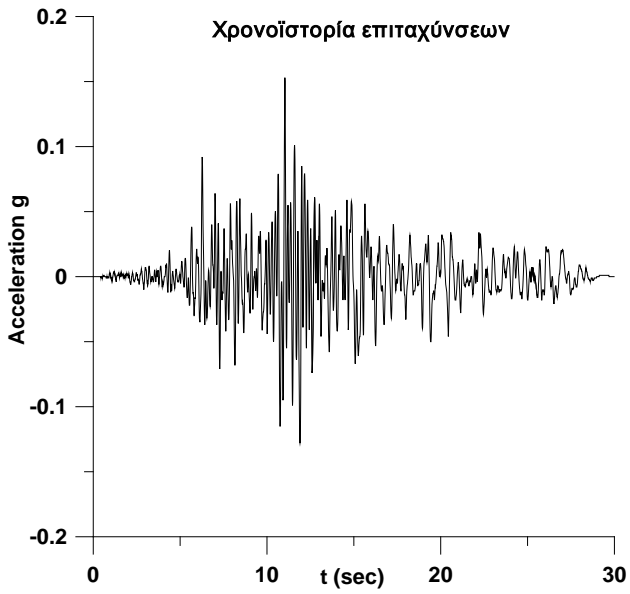
NORTHRIDGE 01/17/94, LA - CYPRESS, deg.143, Lat. 34.088, Long.-118.222
PGA (g)= 0.149 PGV (cm/s)= 10 PGD (cm) = 2.23



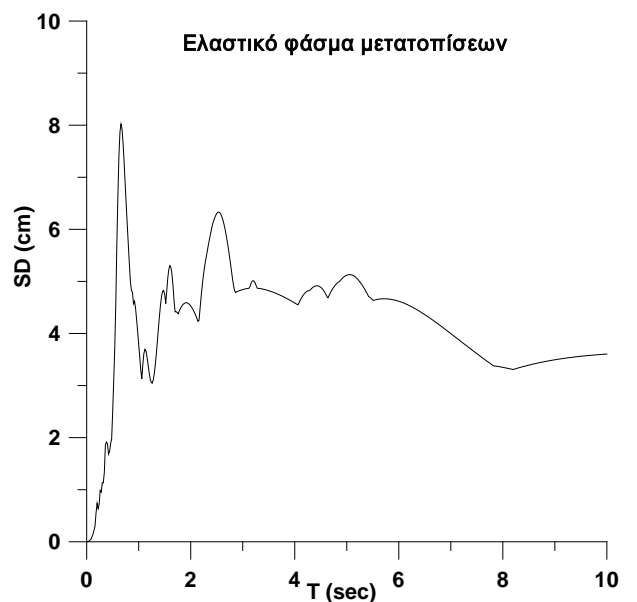
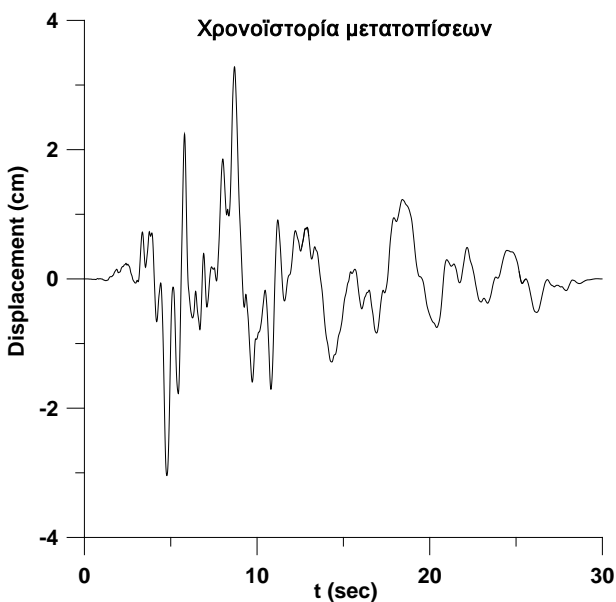
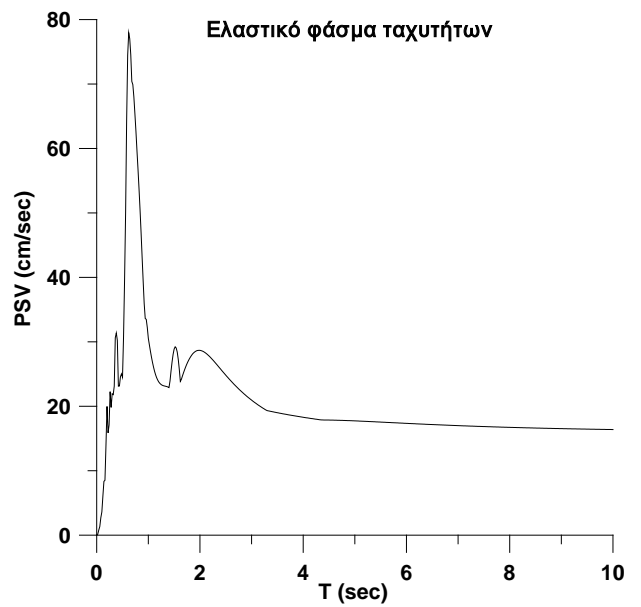
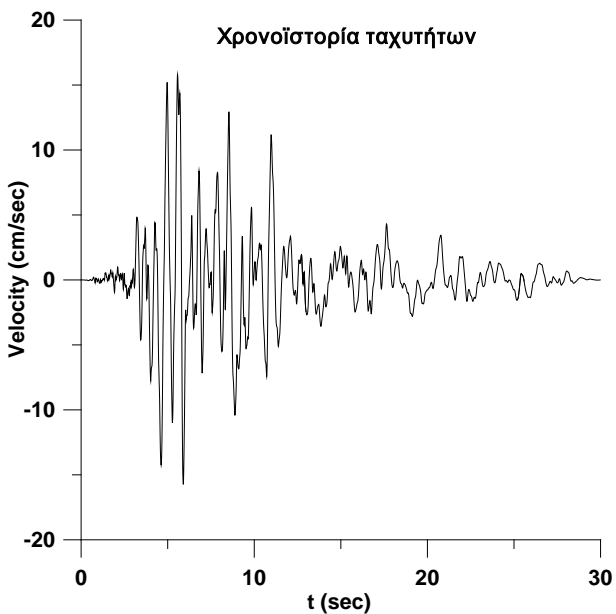
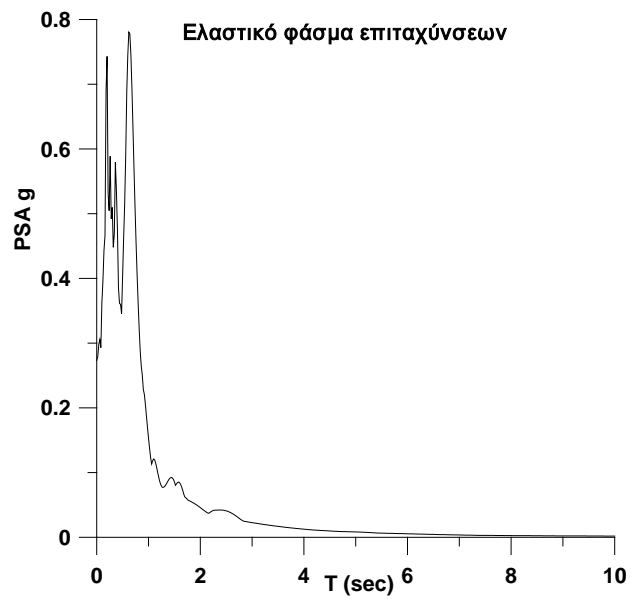
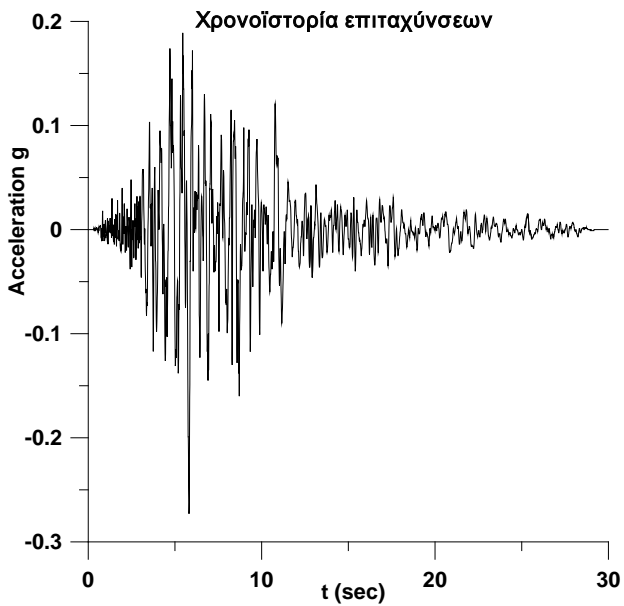
NORTHRIDGE 01/17/94, LA – E.VERNON, deg.090, Lat. 34.004, Long.-118.230
PGA (g)= 0.12 PGV (cm/s)= 9.2 PGD (cm) = 1.67



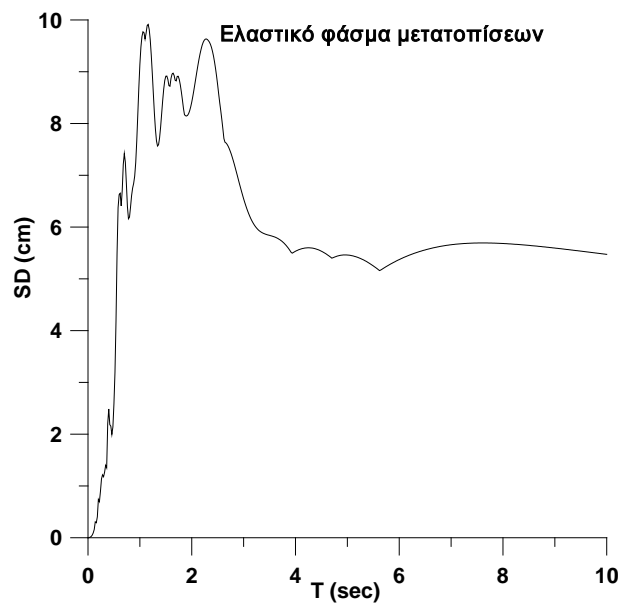
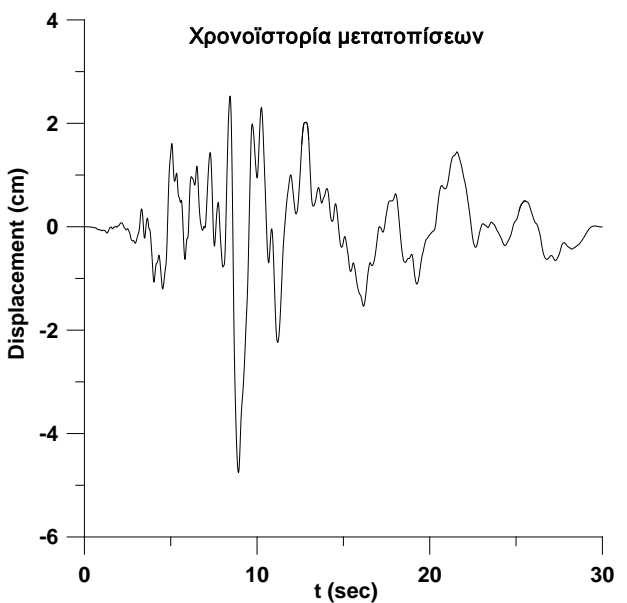
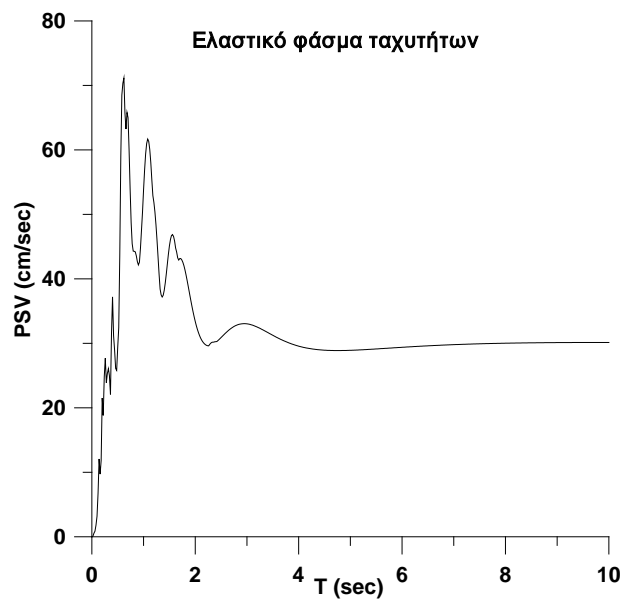
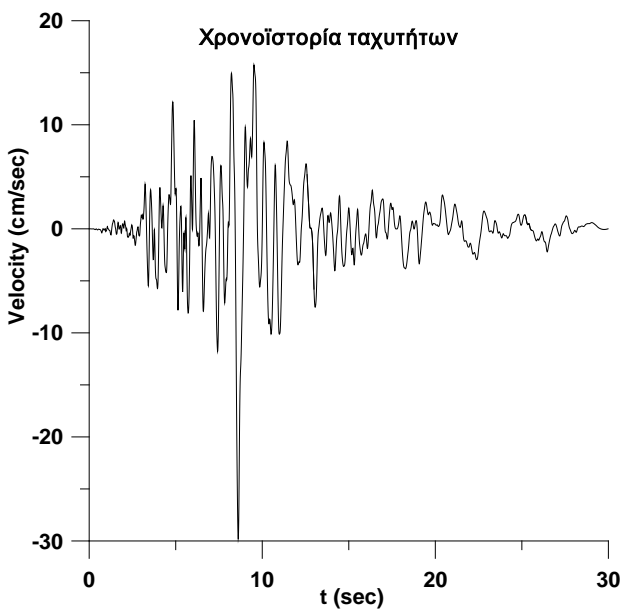
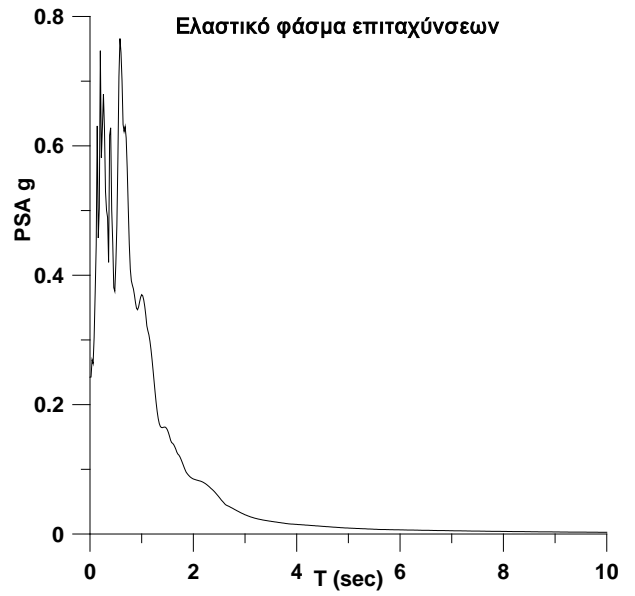
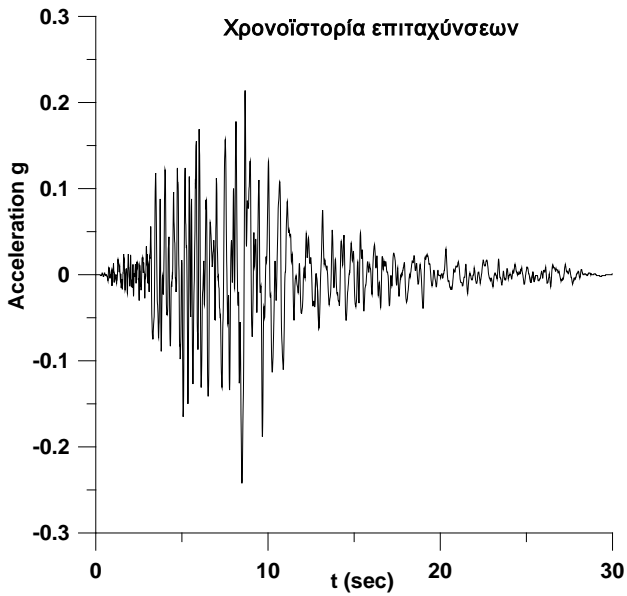
NORTHRIDGE 01/17/94, LA - E.VERNON, deg.180, Lat. 34.004, Long.-118.230
PGA (g)= 0.153 PGV (cm/s)= 10.1 PGD (cm) = 1.79



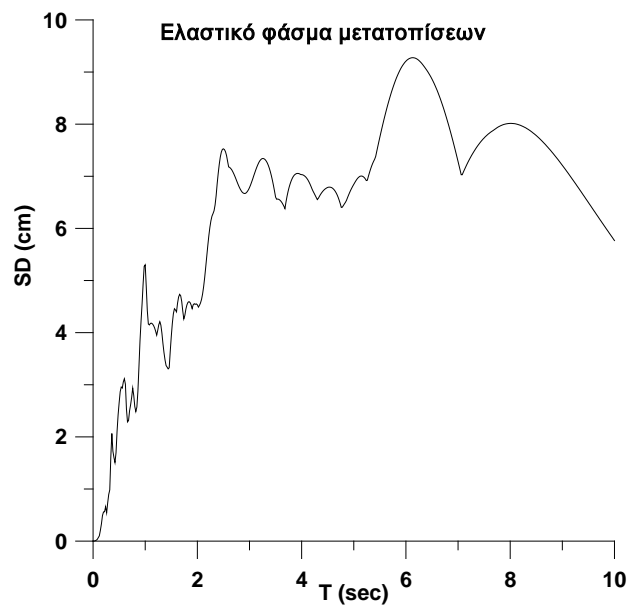
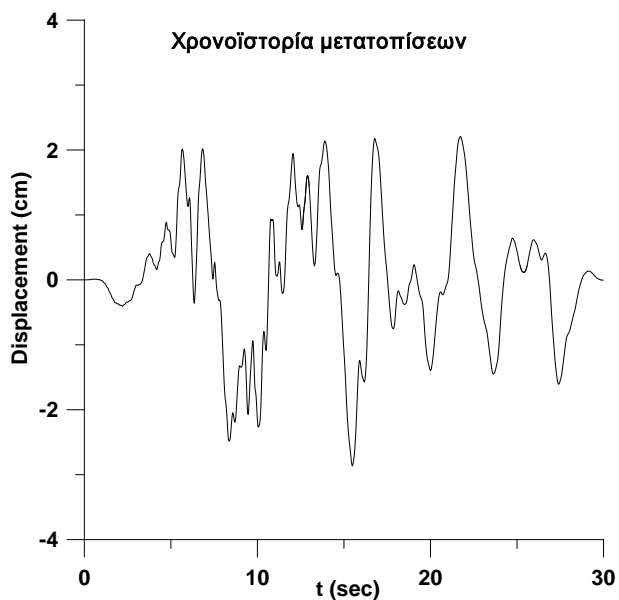
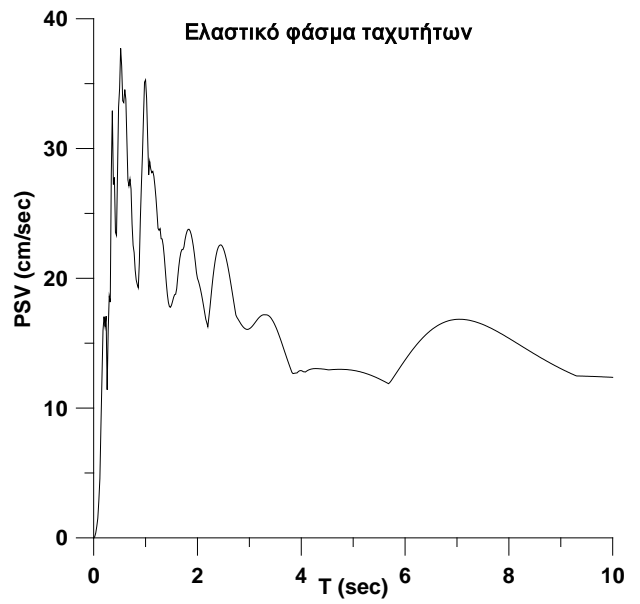
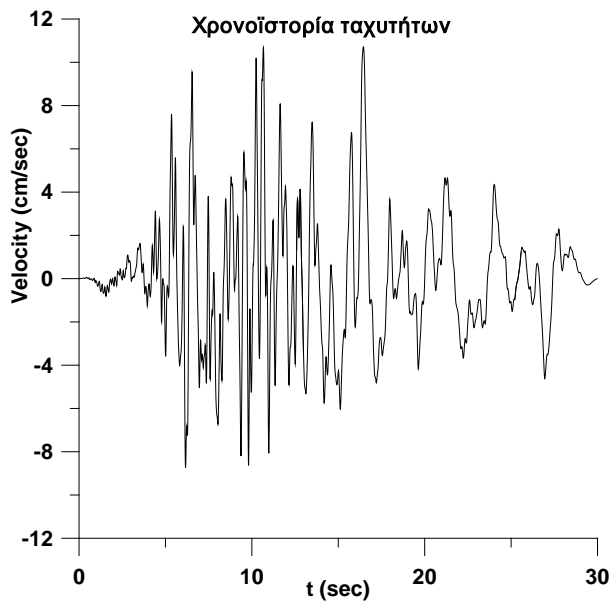
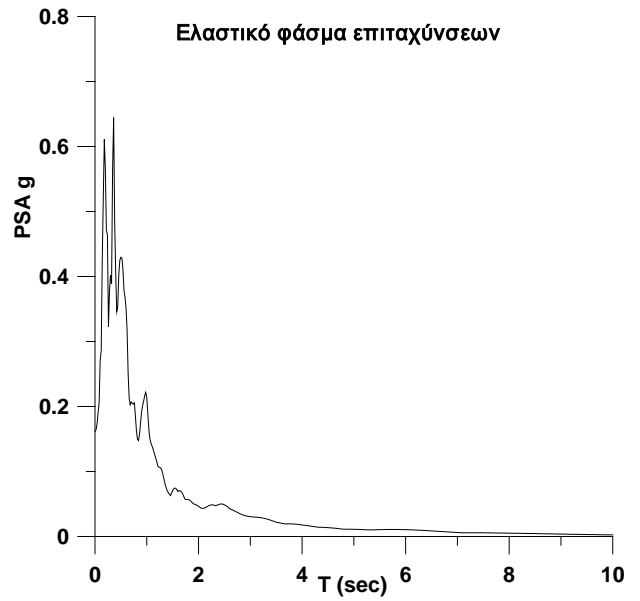
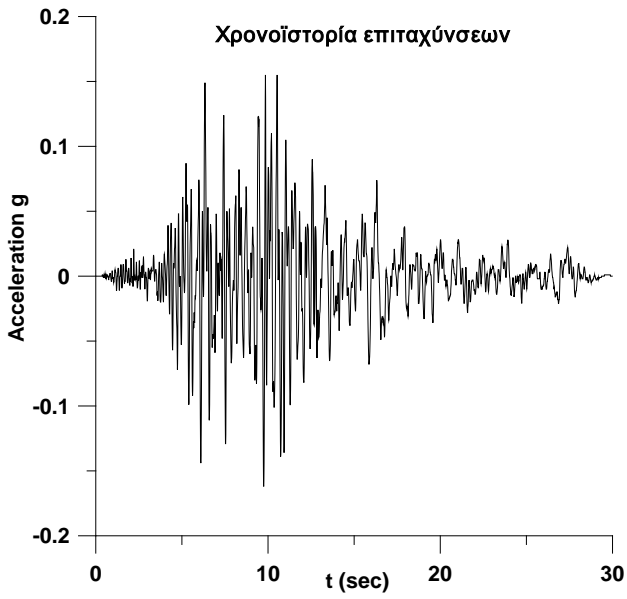
NORTHRIDGE 01/17/94, LA - FARING RD, deg.000, Lat. 34.089, Long.-118.435
PGA (g)= 0.273 PGV (cm/s)= 15.8 PGD (cm) = 3.29



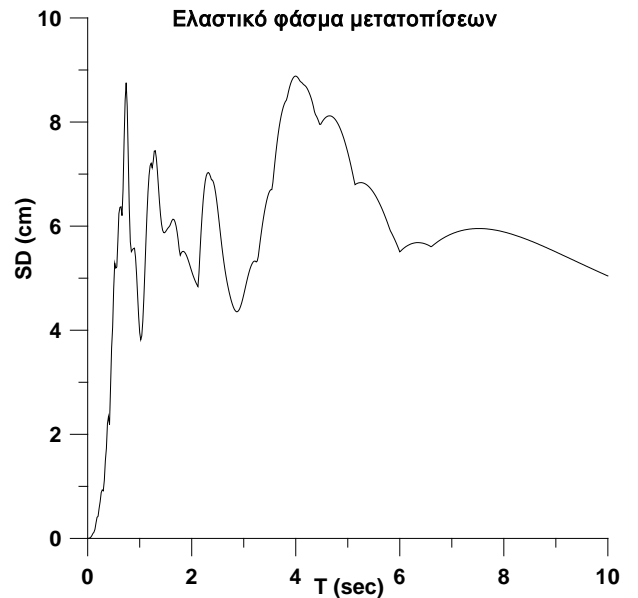
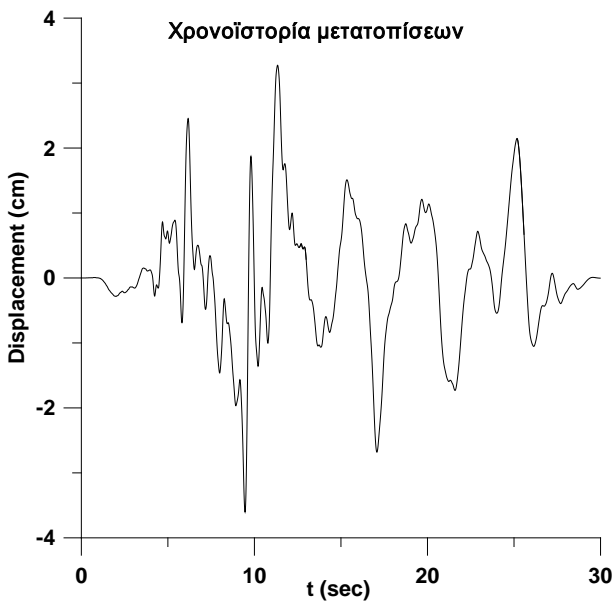
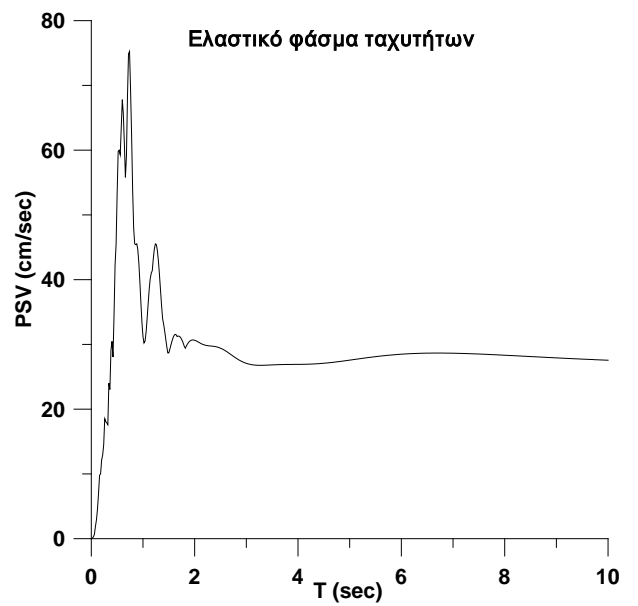
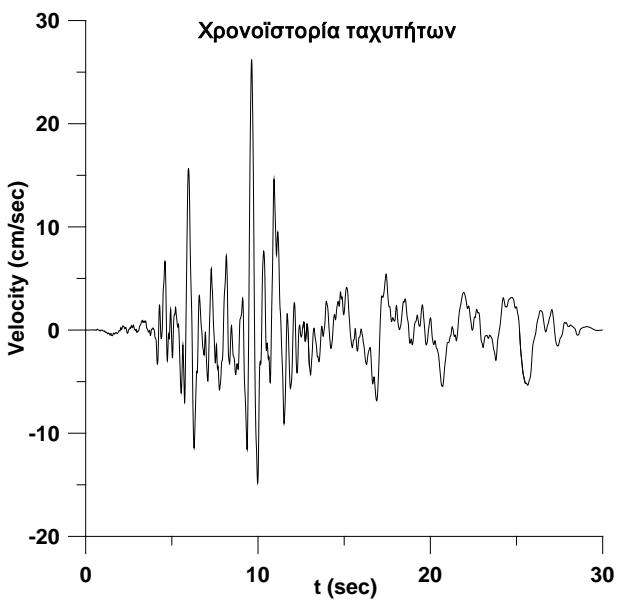
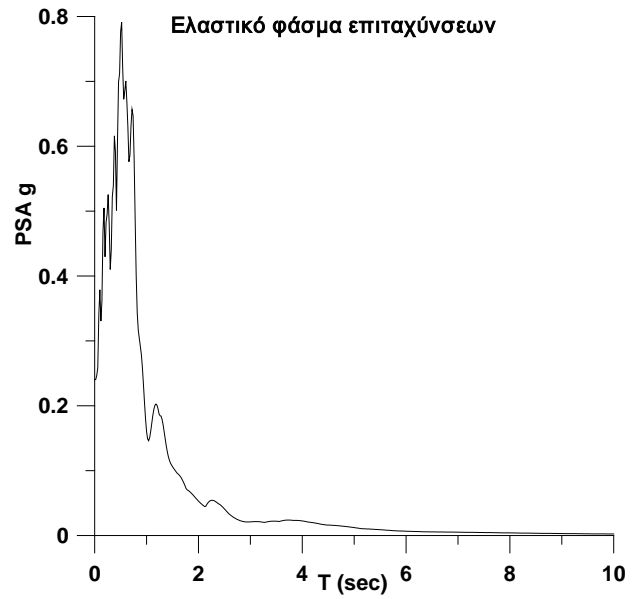
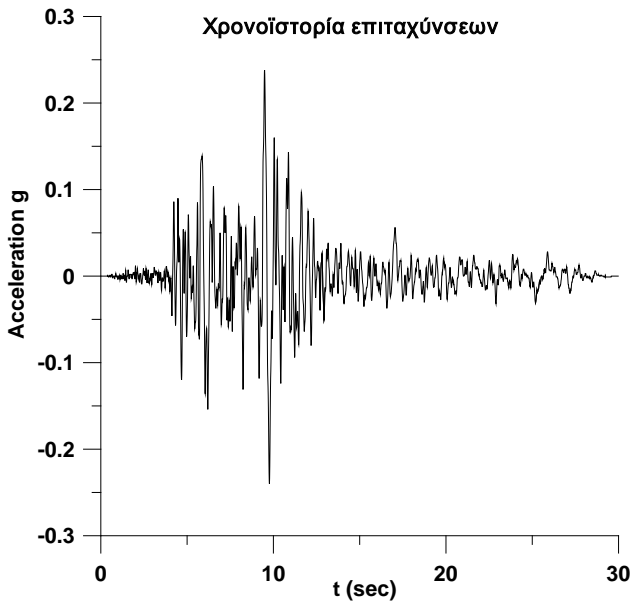
NORTHRIDGE 01/17/94, LA - FARING RD, deg.090, Lat. 34.089, Long.-118.435
PGA (g)= 0.242 PGV (cm/s)= 29.8 PGD (cm) = 4.74



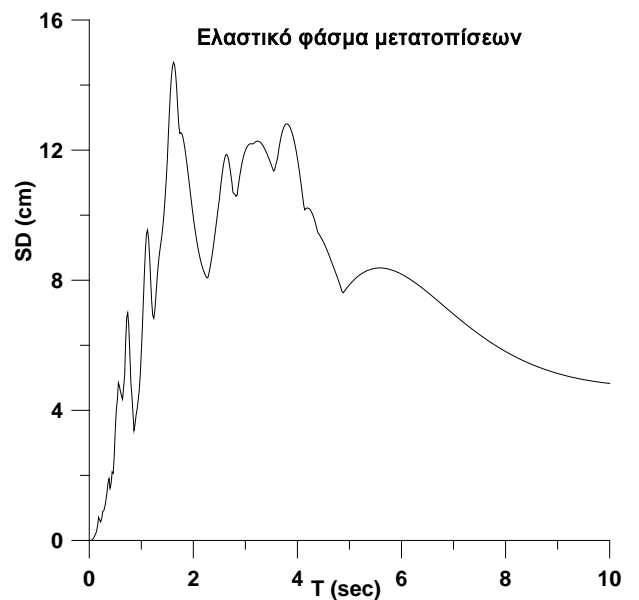
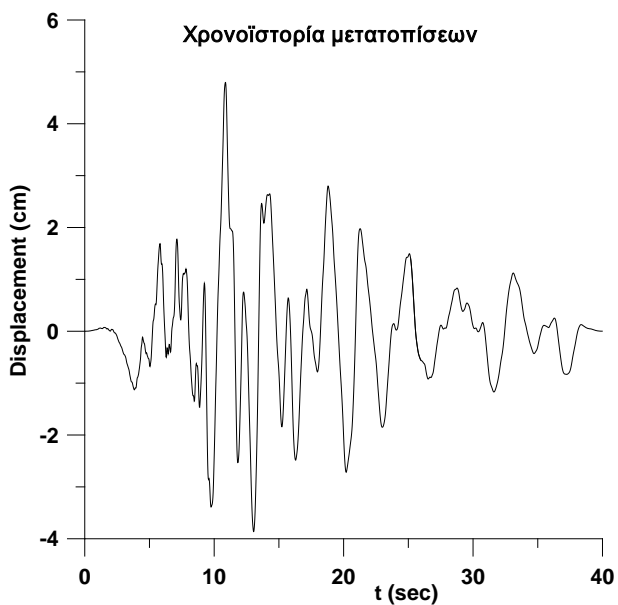
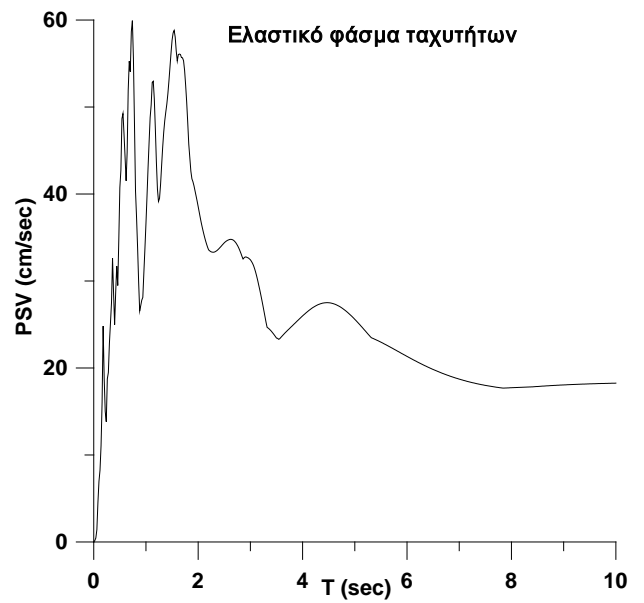
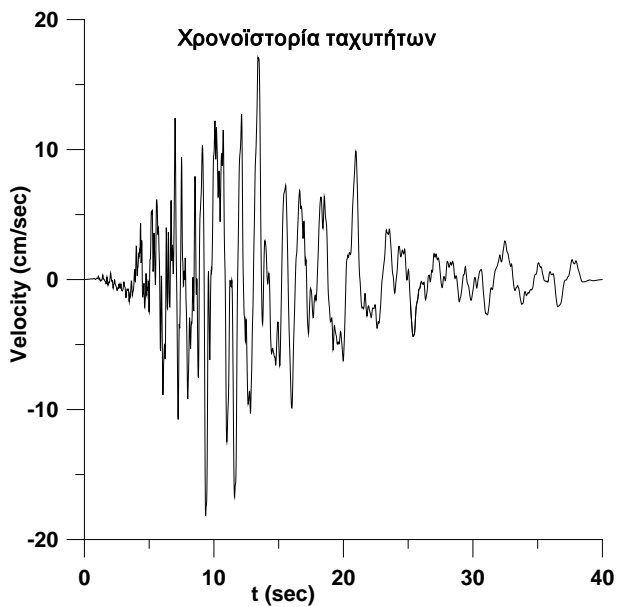
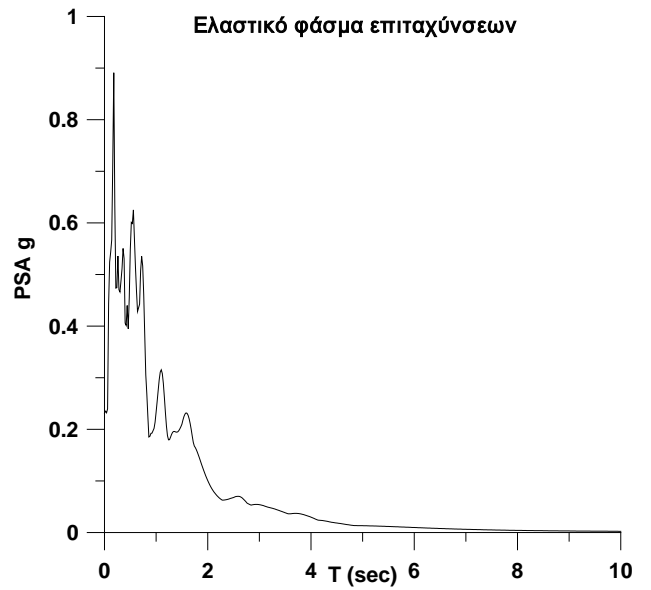
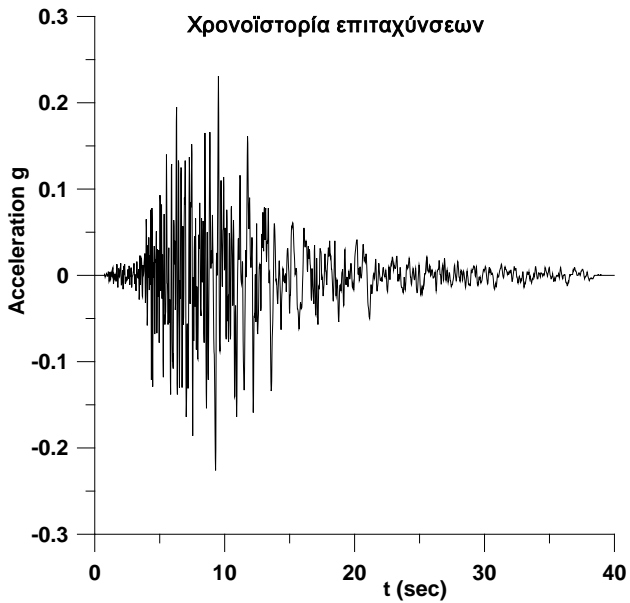
NORTHRIDGE 01/17/94, LA - FLETCHER, deg.144, Lat. 34.115, Long.-118.244
PGA (g)= 0.162 PGV (cm/s)= 10.7 PGD (cm) = 2.86



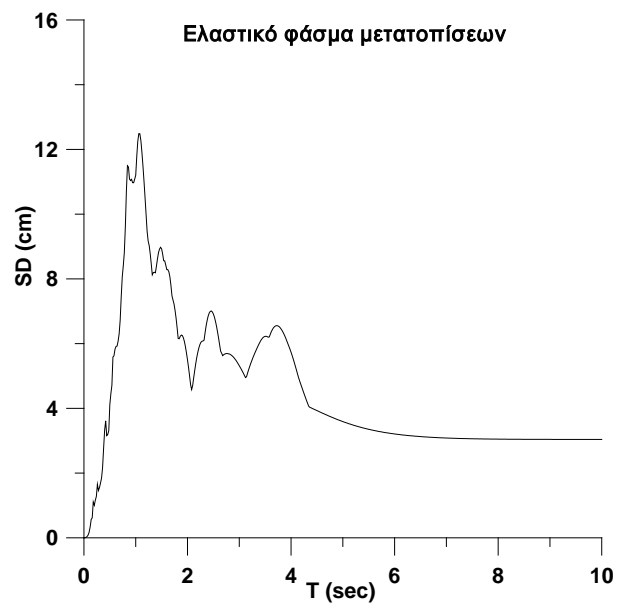
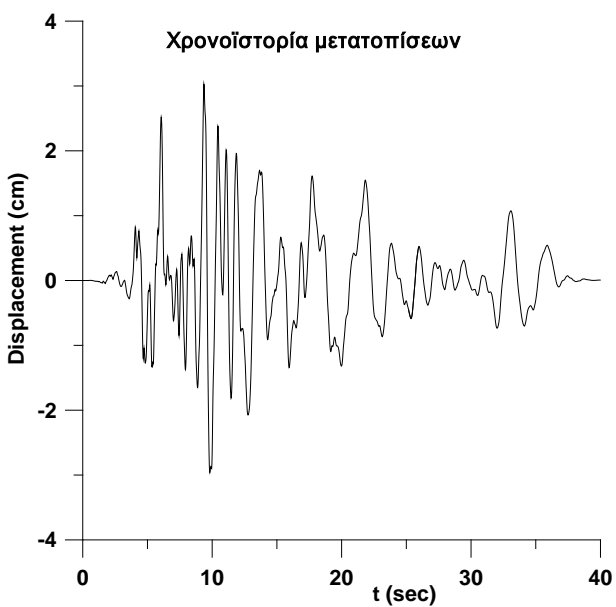
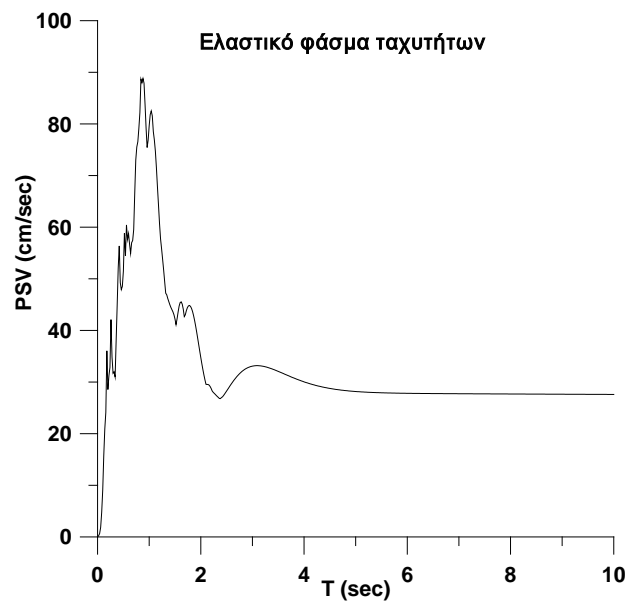
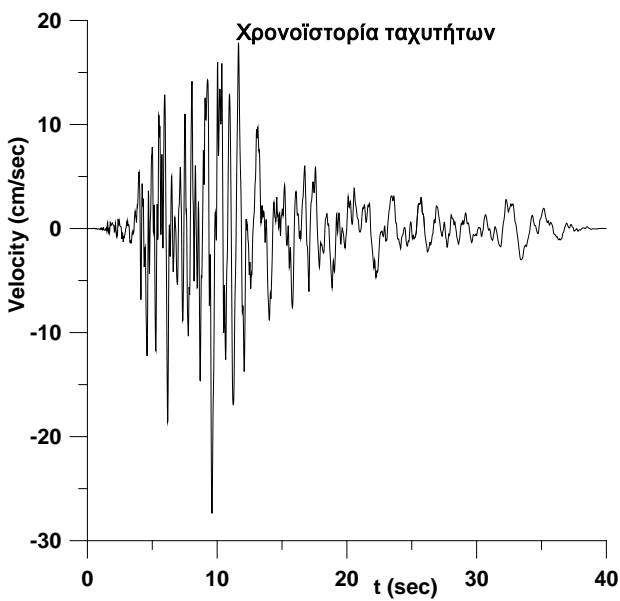
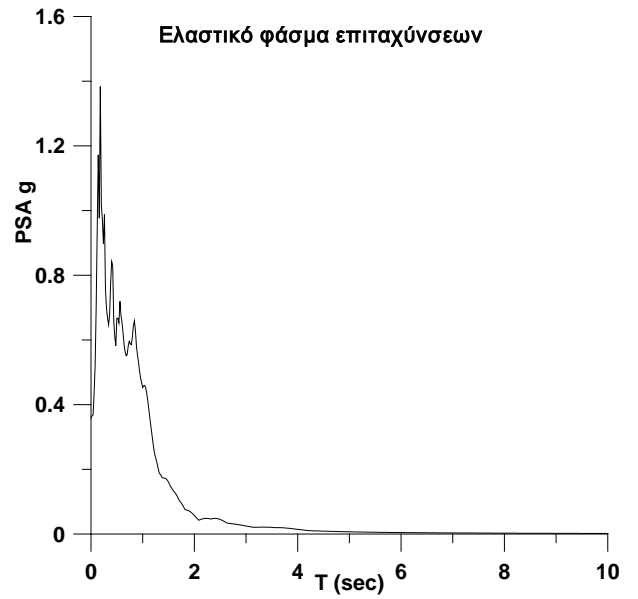
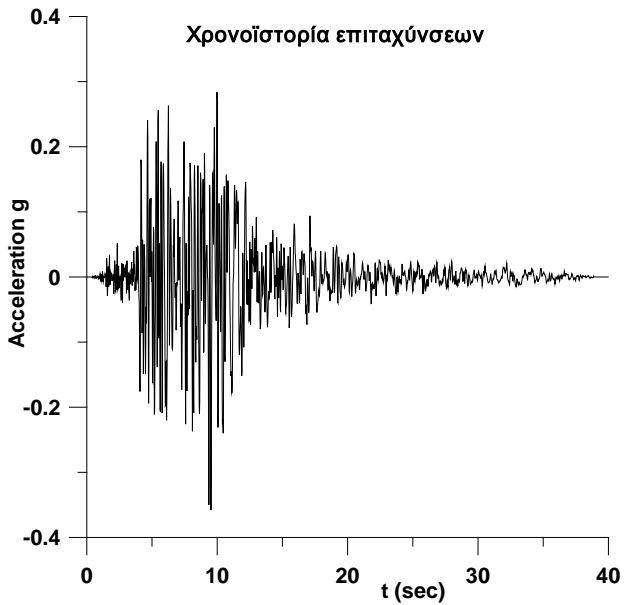
NORTHRIDGE 01/17/94, LA - FLETCHER, deg.234, Lat. 34.115, Long.-118.244
PGA (g)= 0.24 PGV (cm/s)= 26.2 PGD (cm) = 3.6



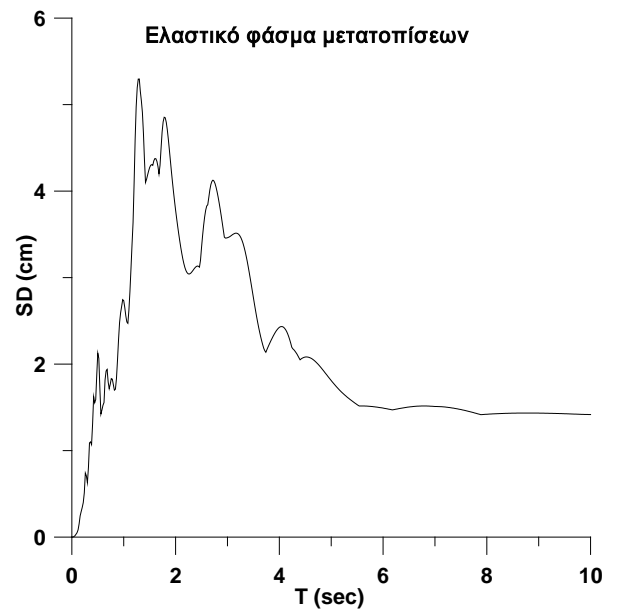
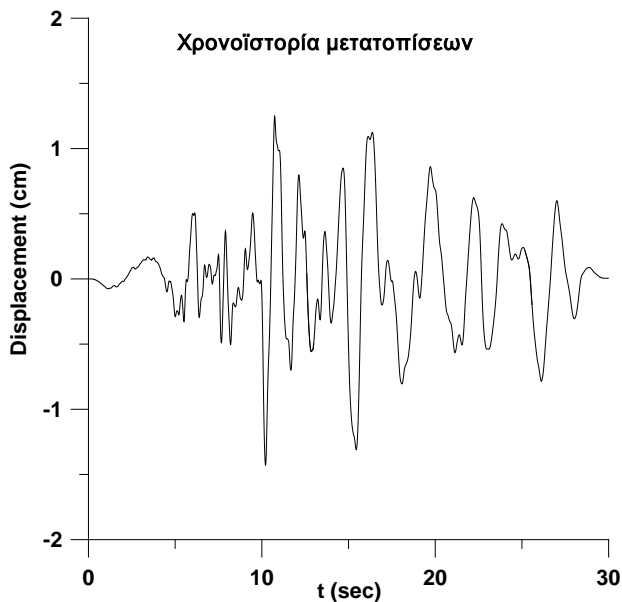
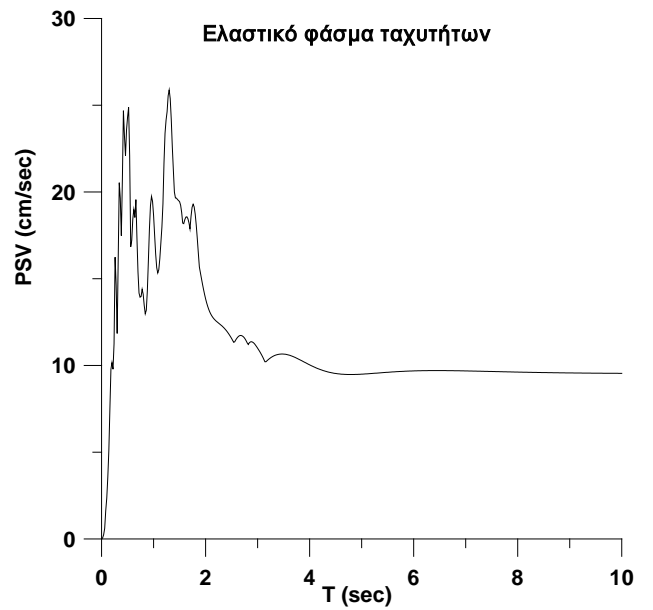
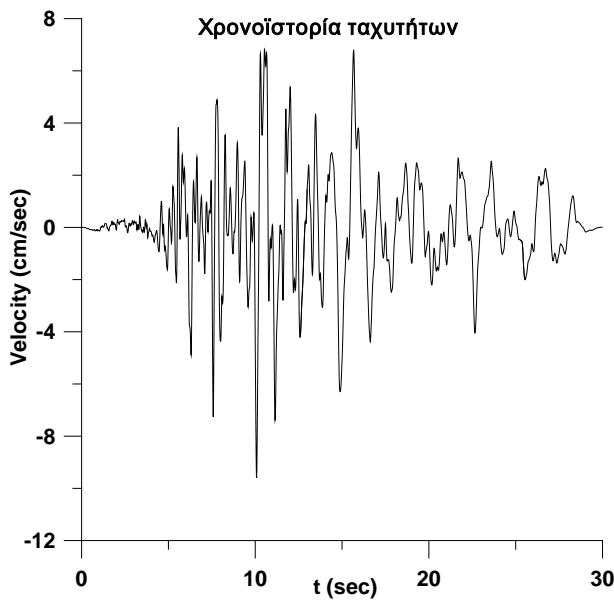
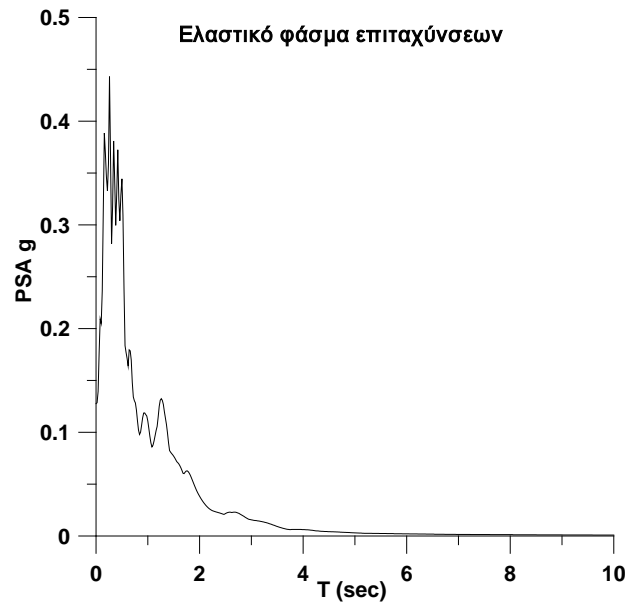
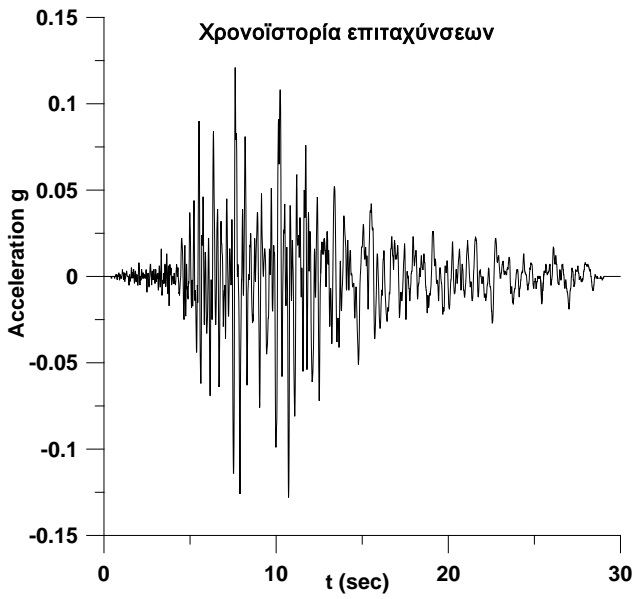
NORTHRIDGE 01/17/94, LA - HOLLYWOOD STORAGE FF, deg.090, Lat. 34.090,
Long.-118.339 PGA (g)= 0.231 PGV (cm/s)= 18.3 PGD (cm) = 4.81



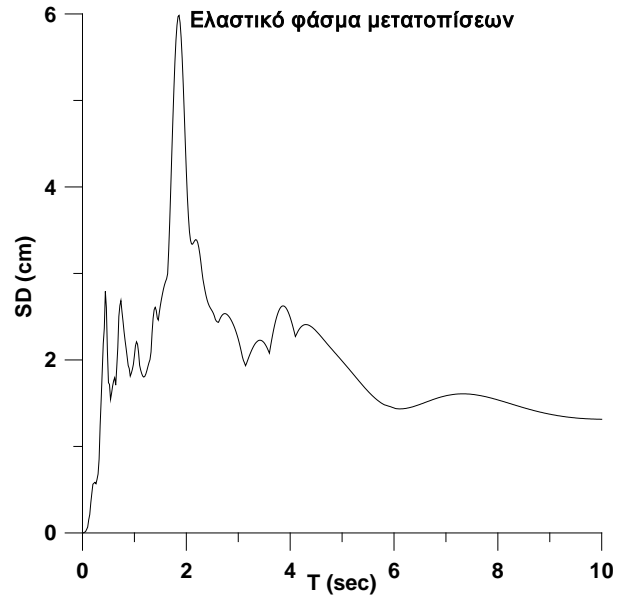
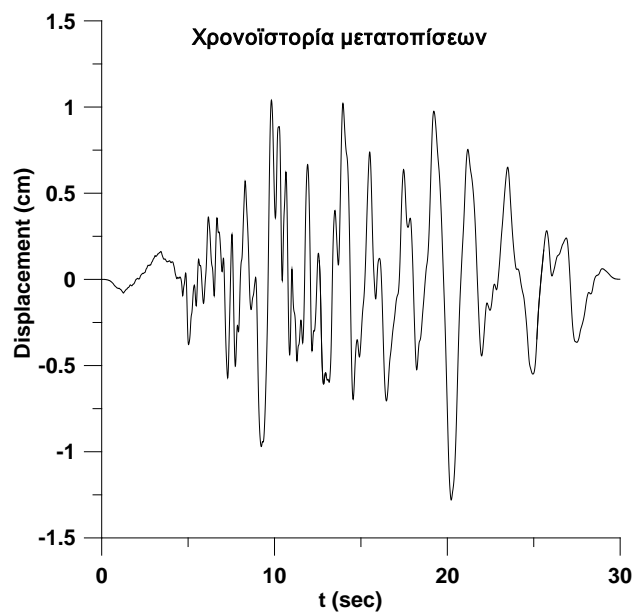
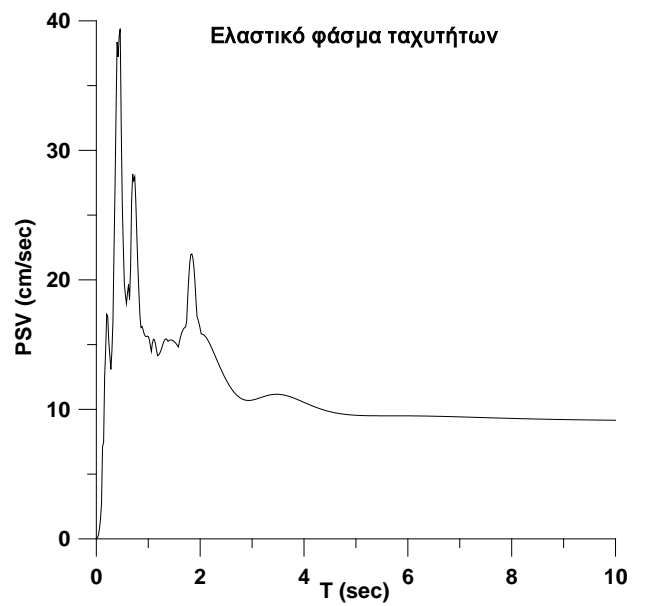
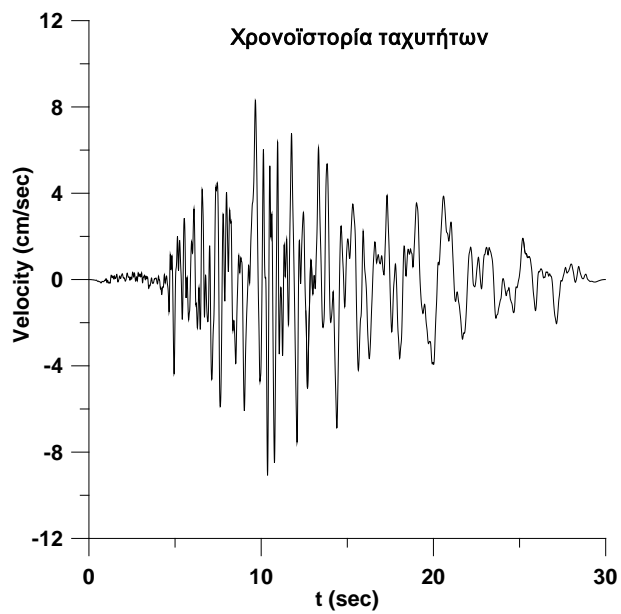
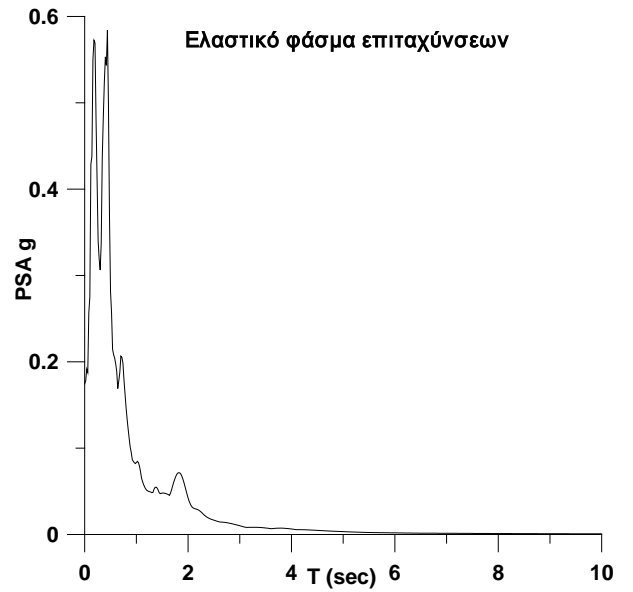
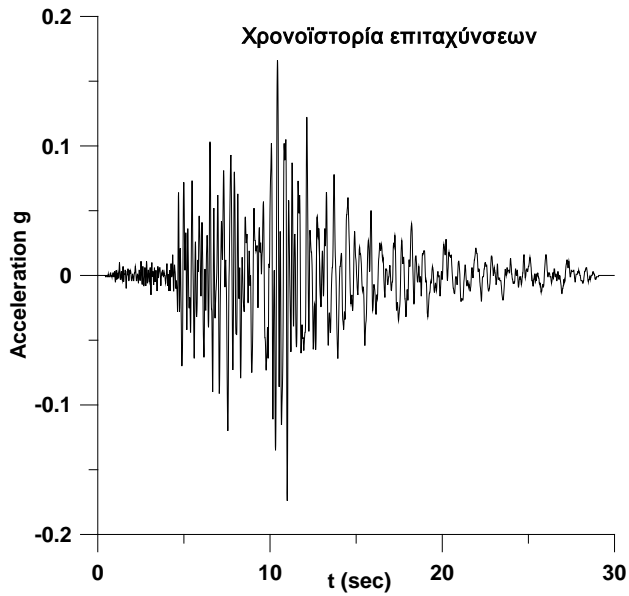
NORTHRIDGE 01/17/94, LA - HOLLYWOOD STORAGE FF, deg.360, Lat. 34.090,
Long.-118.339 PGA (g)= 0.358 PGV (cm/s)= 27.5 PGD (cm) = 3.04



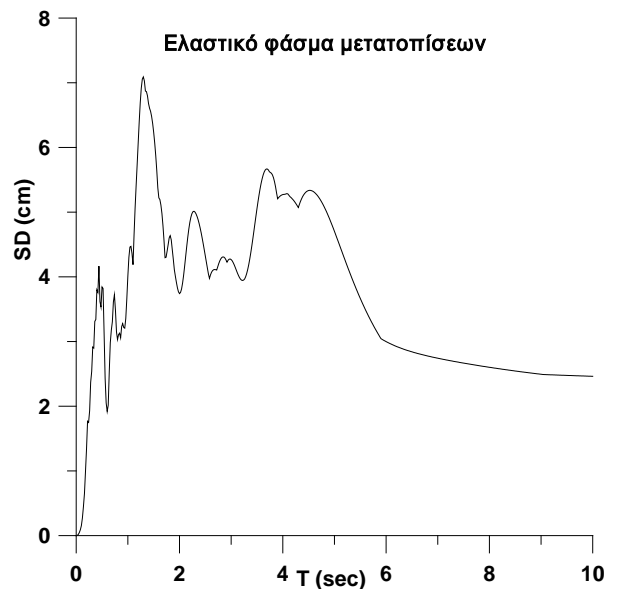
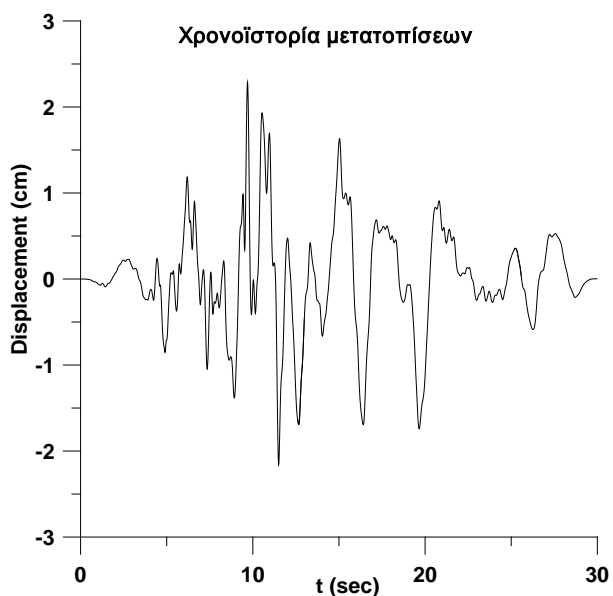
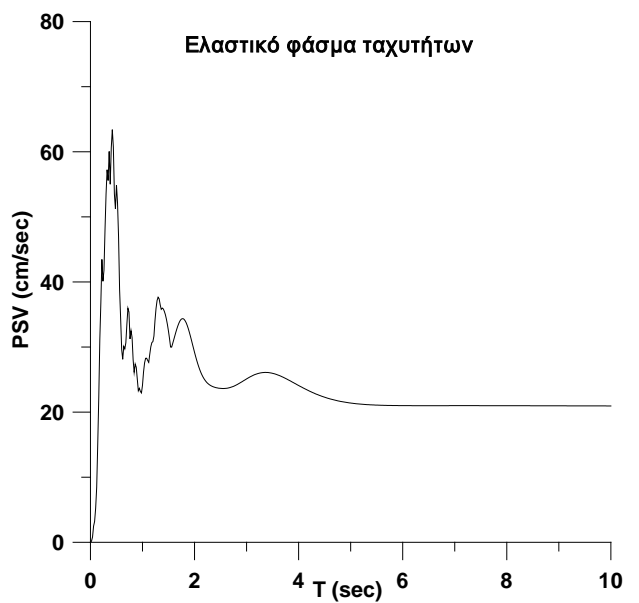
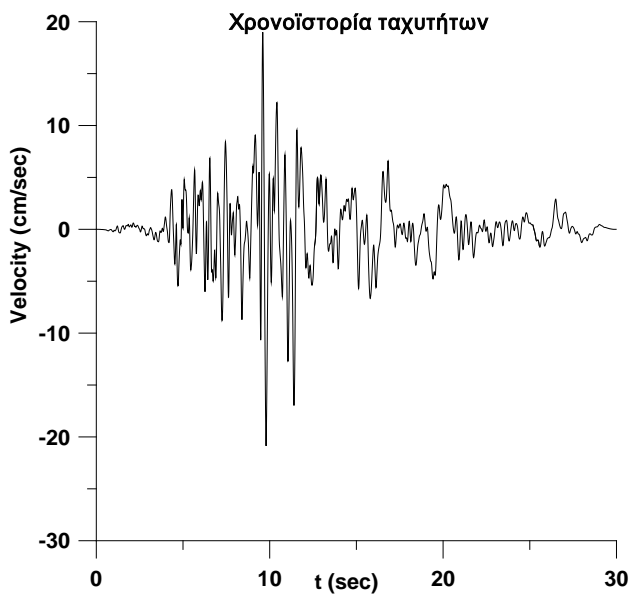
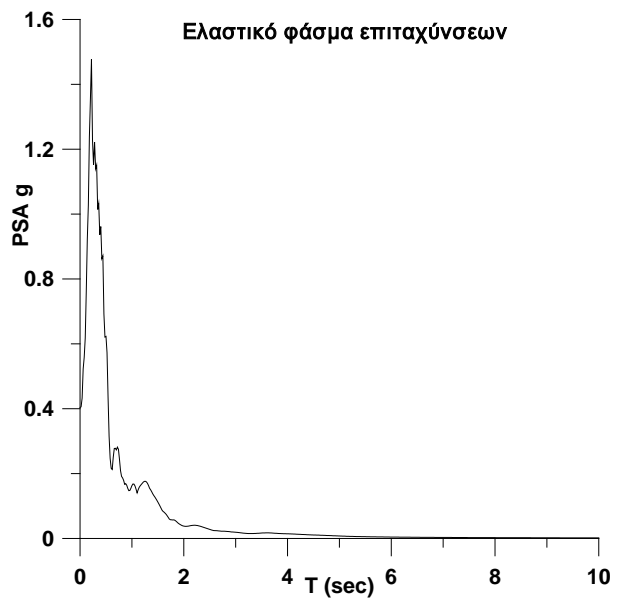
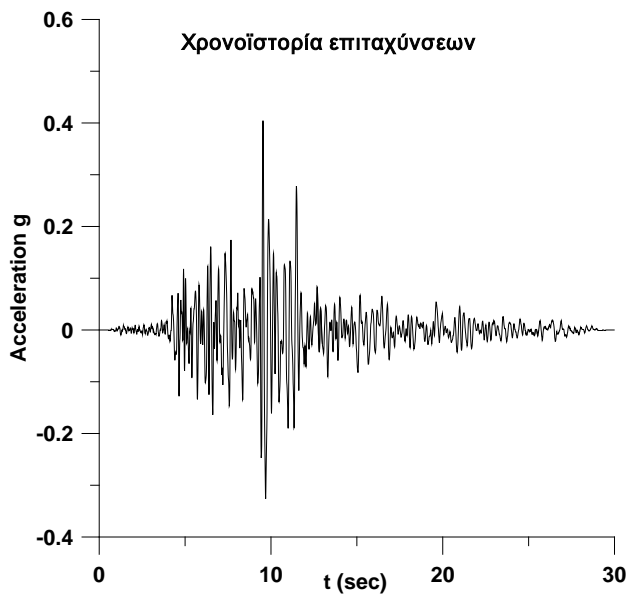
NORTHRIDGE 01/17/94, LA - N FIGUEROA, deg.058, Lat. 34.111, Long.-118.189
PGA (g)= 0.128 PGV (cm/s)= 9.6 PGD (cm) = 1.43



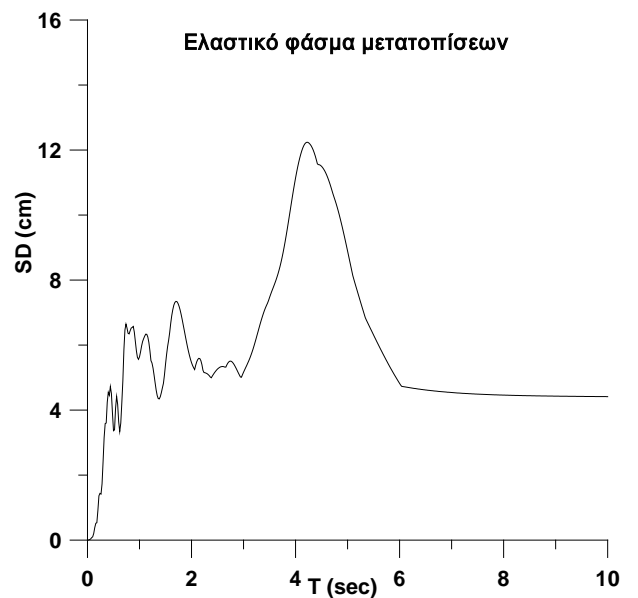
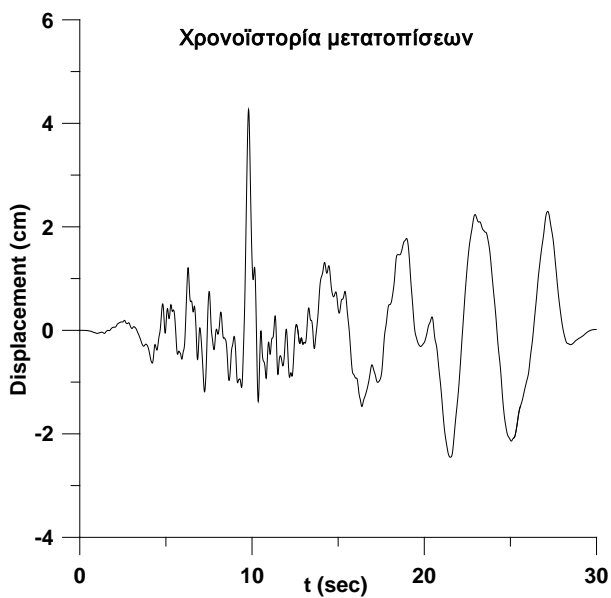
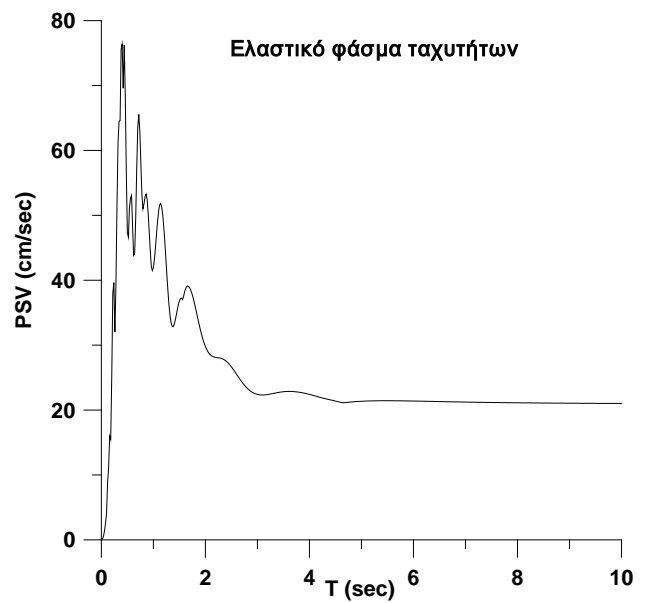
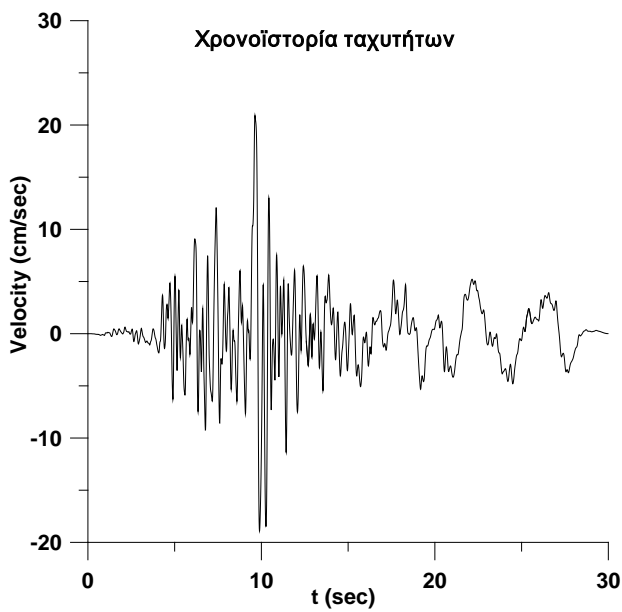
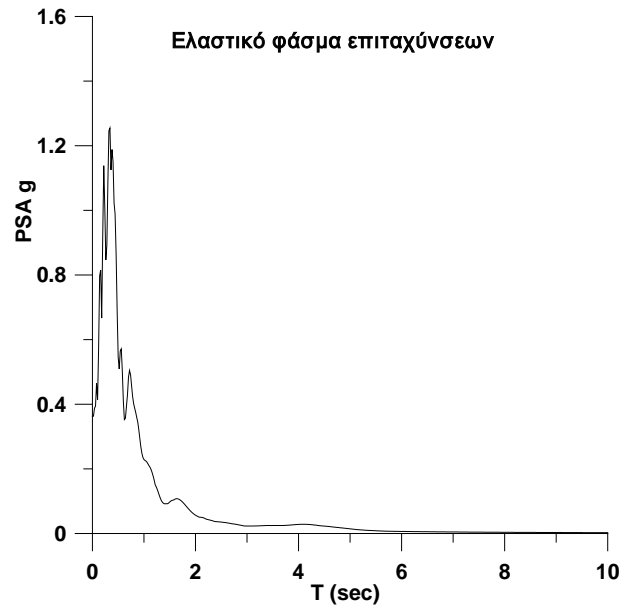
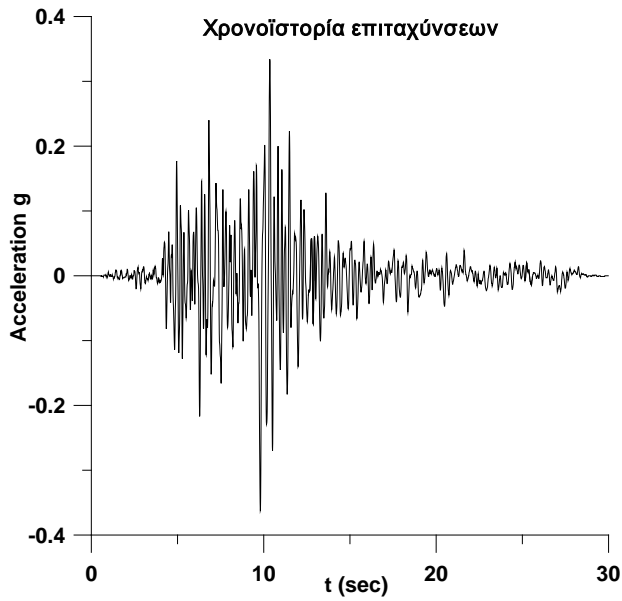
NORTHRIDGE 01/17/94, LA - N FIGUEROA, deg.328, Lat. 34.111, Long.-118.189
PGA (g)= 0.174 PGV (cm/s)= 9.1 PGD (cm) = 1.28



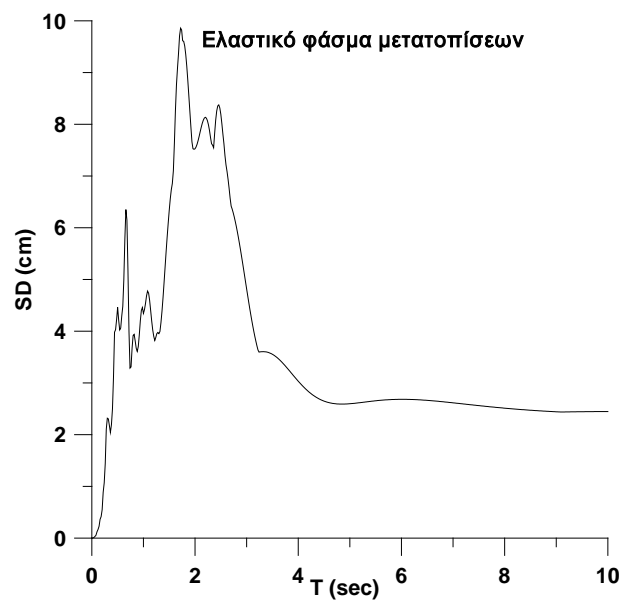
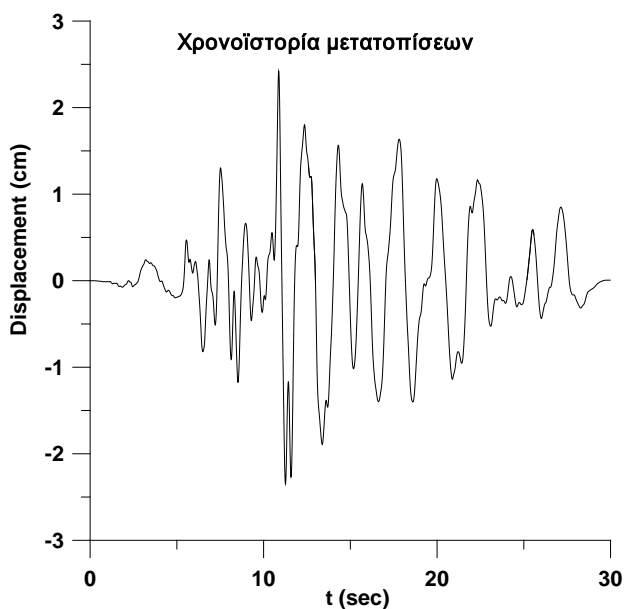
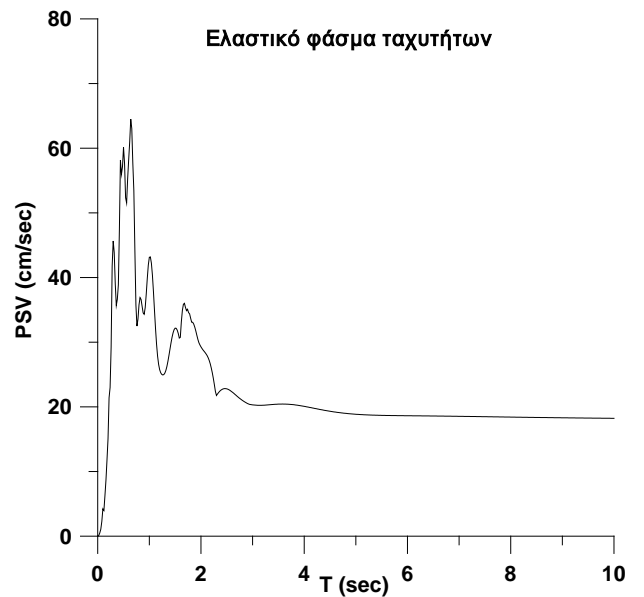
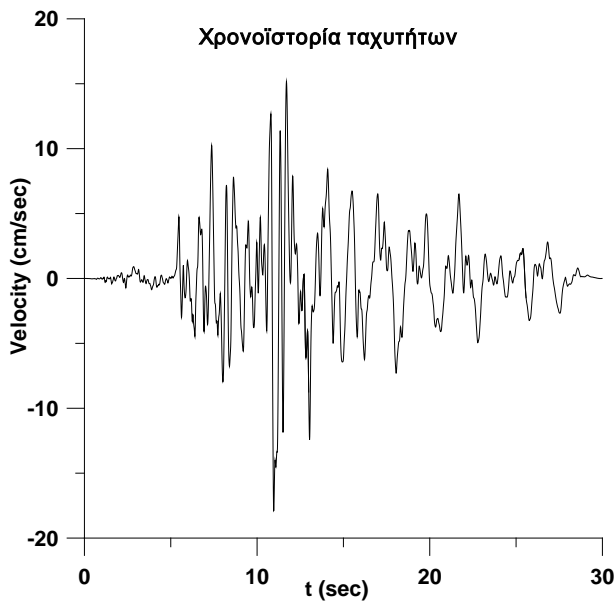
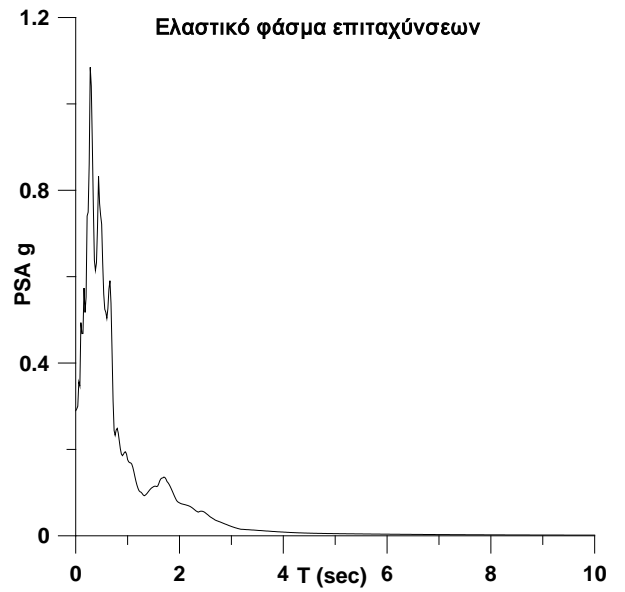
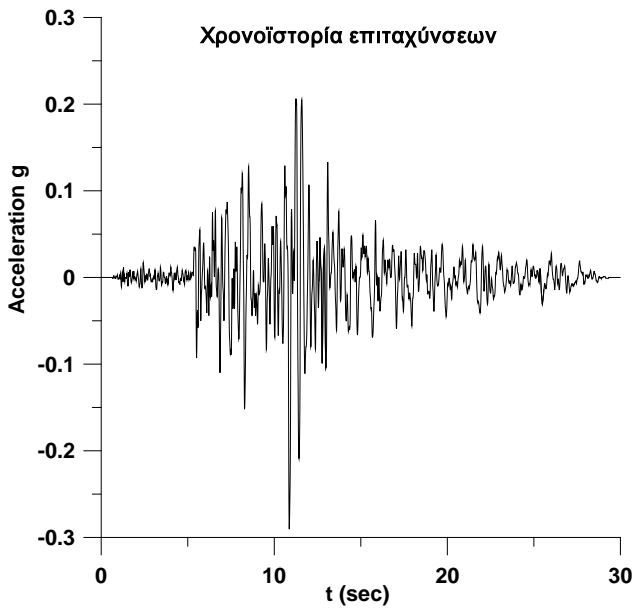
NORTHRIDGE 01/17/94, LA - N WESTMORELAND, deg.000, Lat. 34.082,
Long.-118.298 PGA (g)= 0.401 PGV (cm/s)= 20.9 PGD (cm) = 2.29



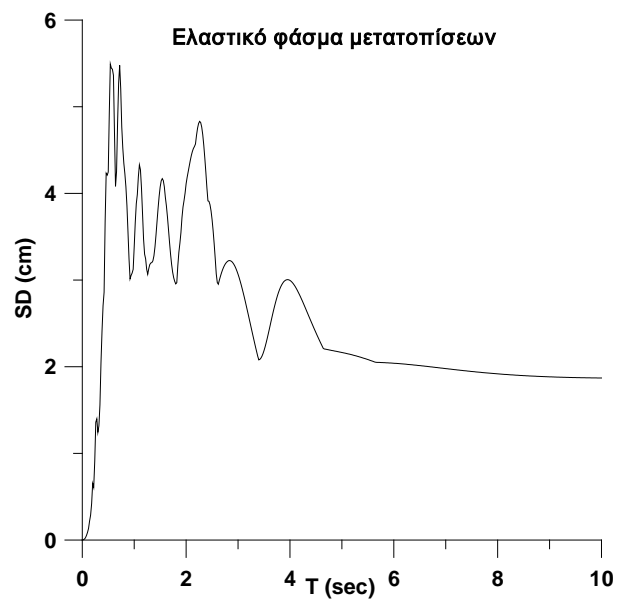
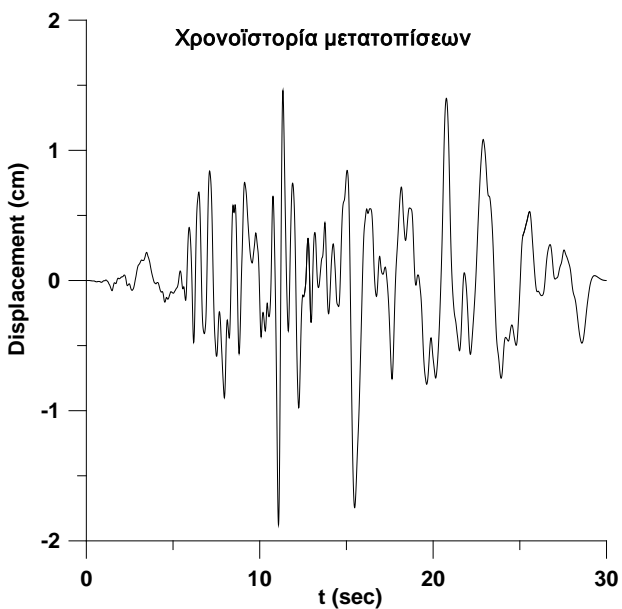
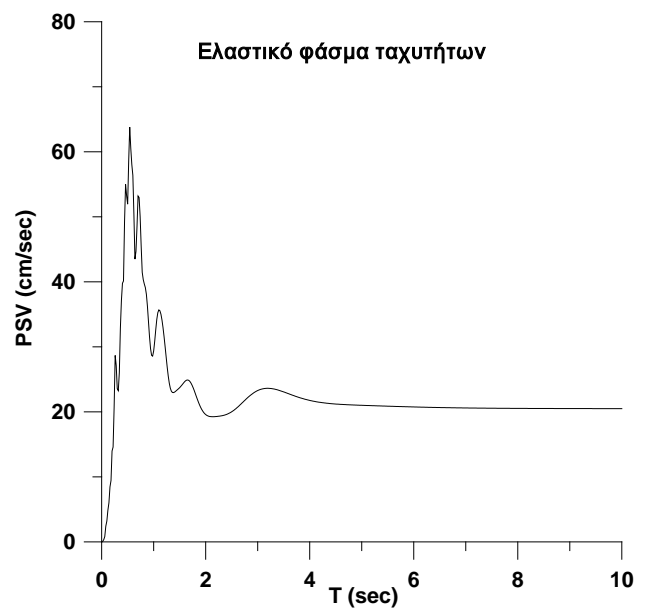
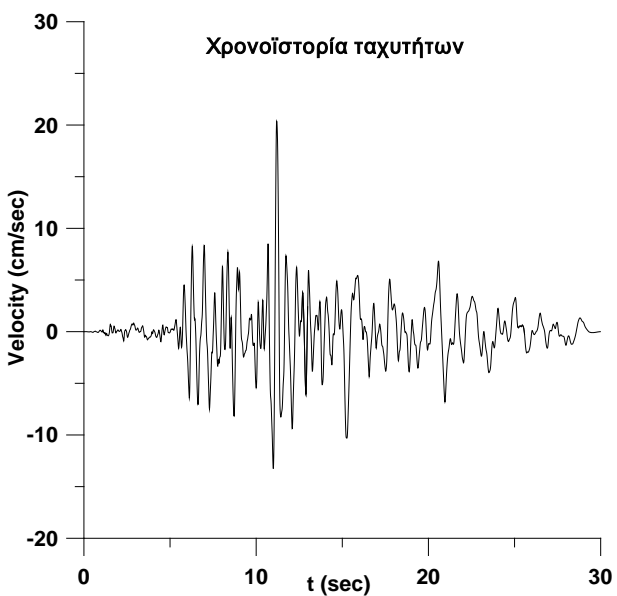
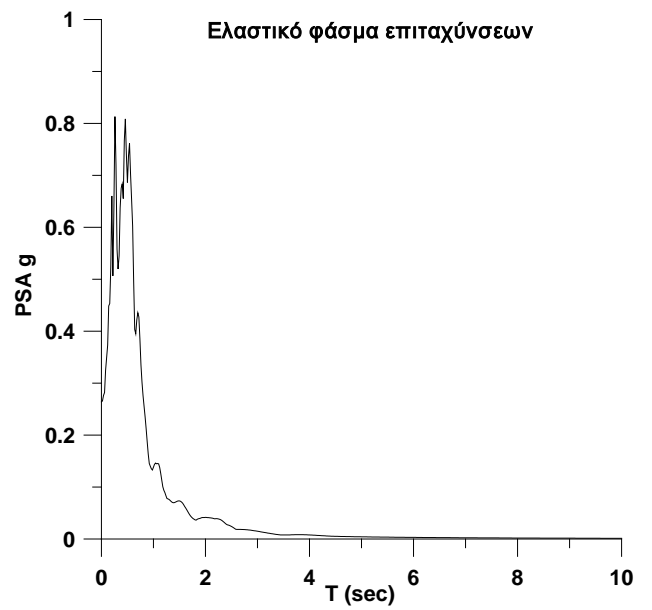
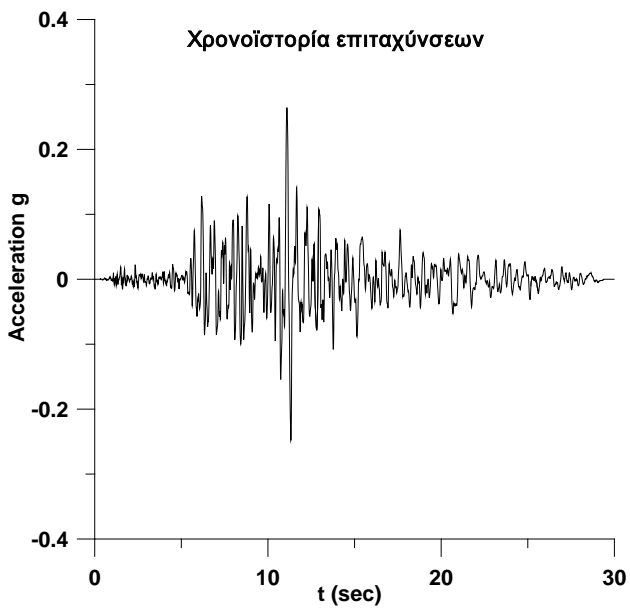
NORTHRIDGE 01/17/94, LA - N WESTMORELAND, deg.270, Lat. 34.082,
Long.-118.298 PGA (g)= 0.361 PGV (cm/s)= 20.9 PGD (cm) = 4.27



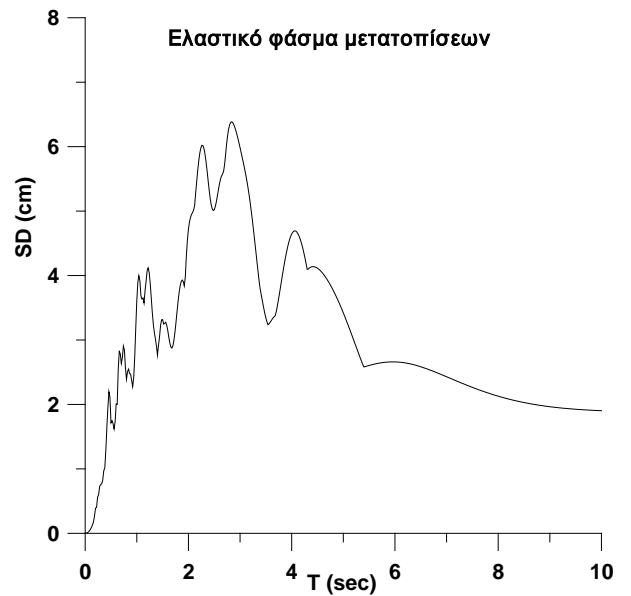
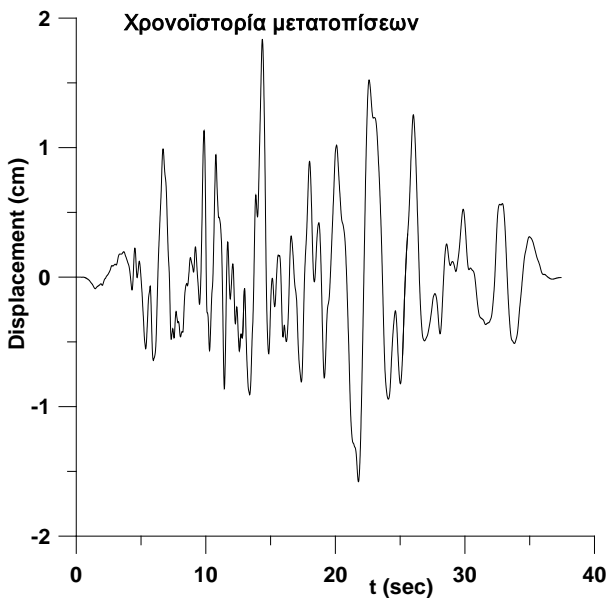
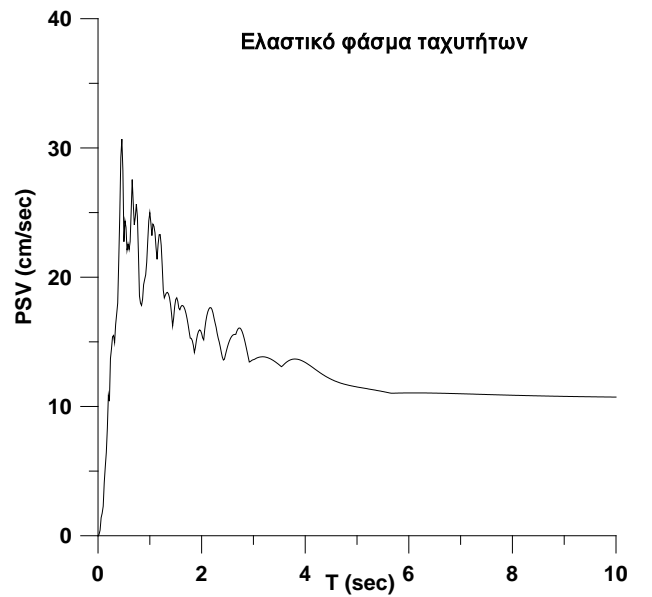
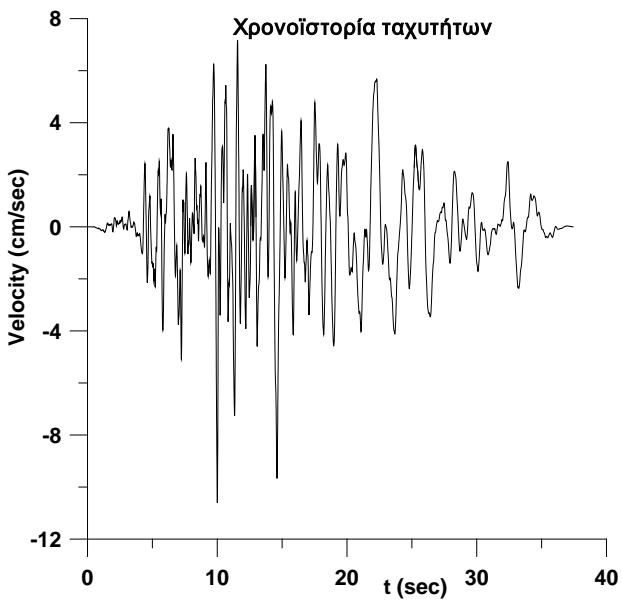
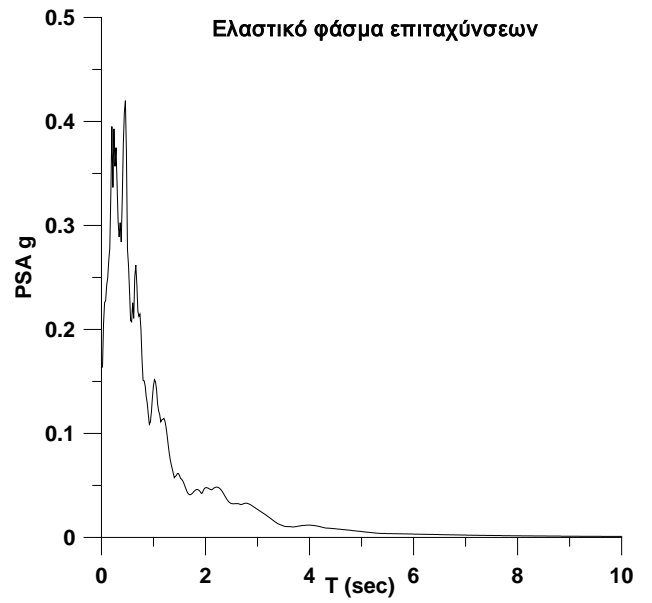
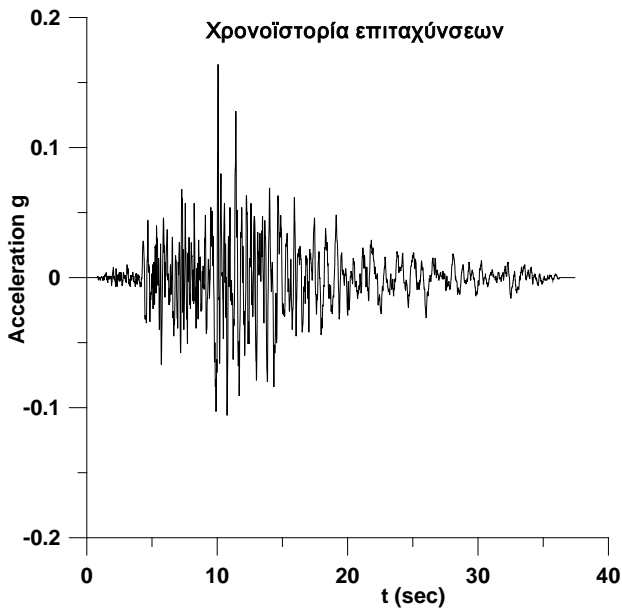
NORTHRIDGE 01/17/94, LA - S GRAND, deg.090, Lat. 34.005, Long.-118.279
PGA (g)= 0.29 PGV (cm/s)= 17.9 PGD (cm) = 2.42



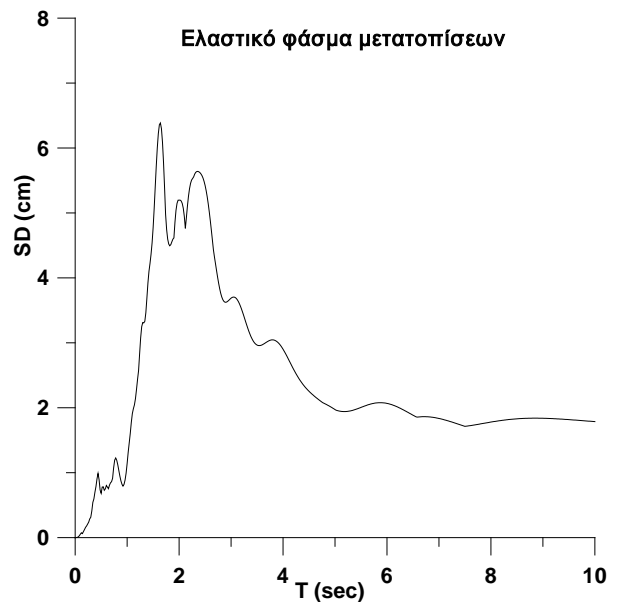
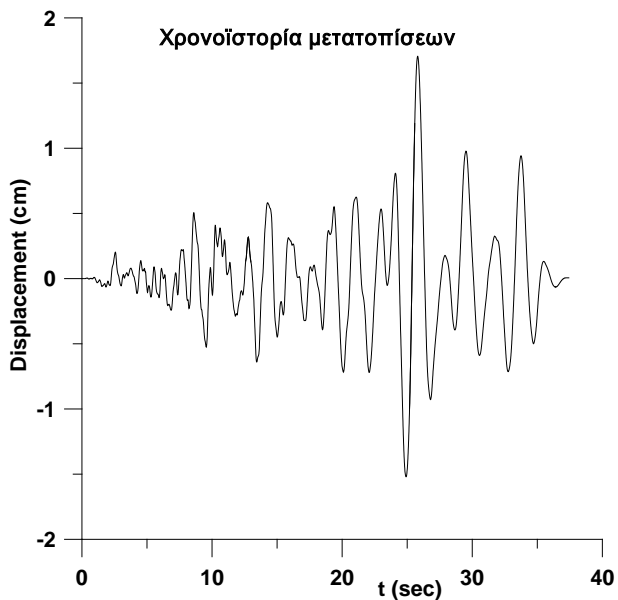
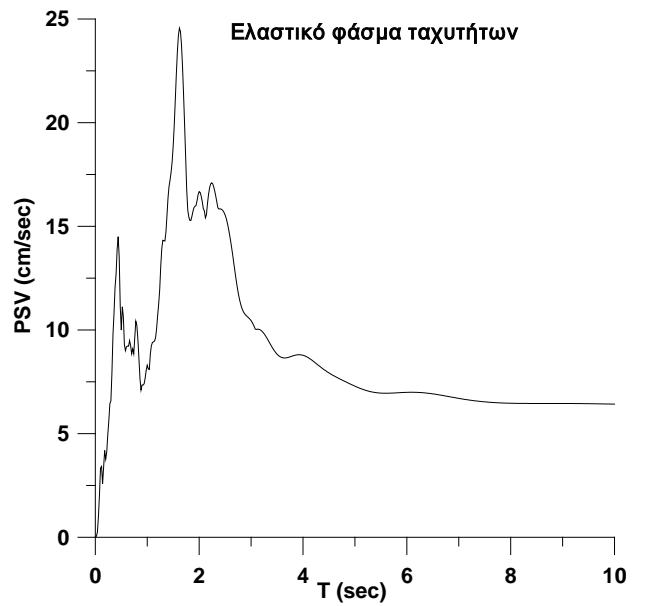
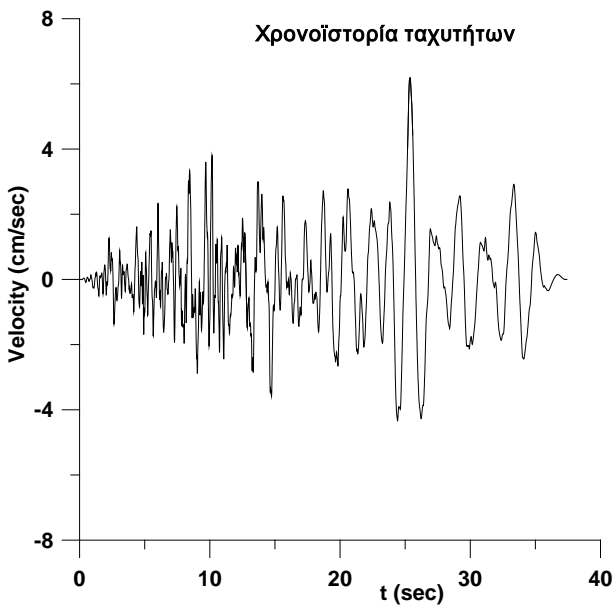
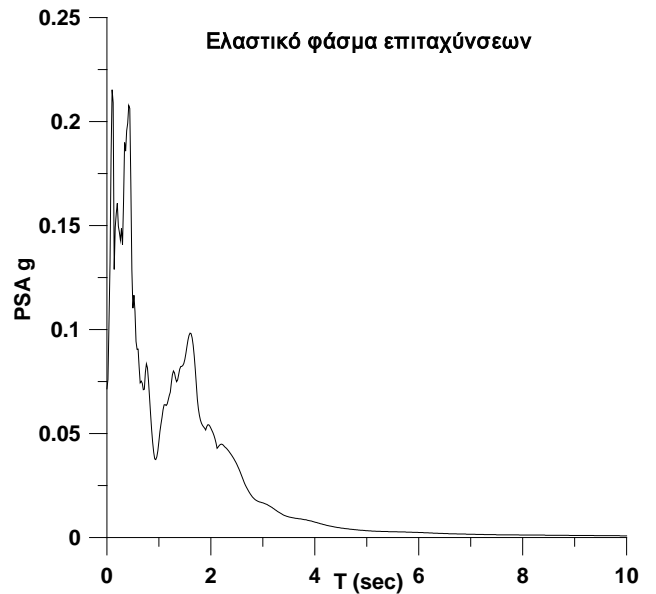
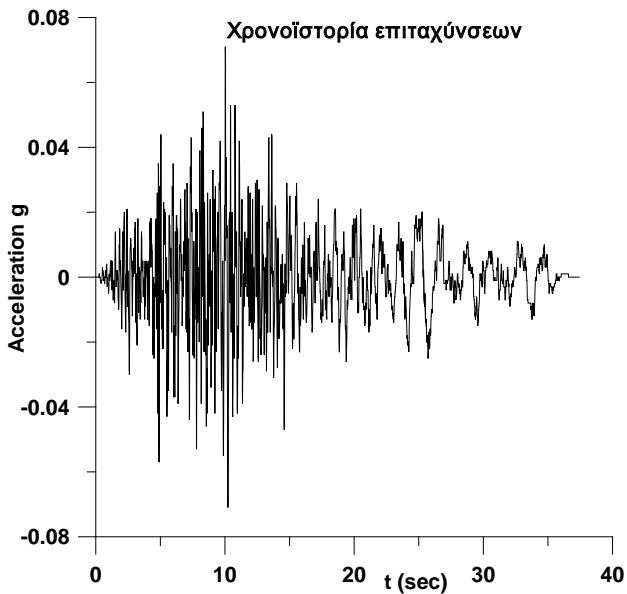
NORTHRIDGE 01/17/94, LA - S GRAND, deg.180, Lat. 34.005, Long.-118.279
PGA (g)= 0.264 PGV (cm/s)= 20.4 PGD (cm) = 1.88



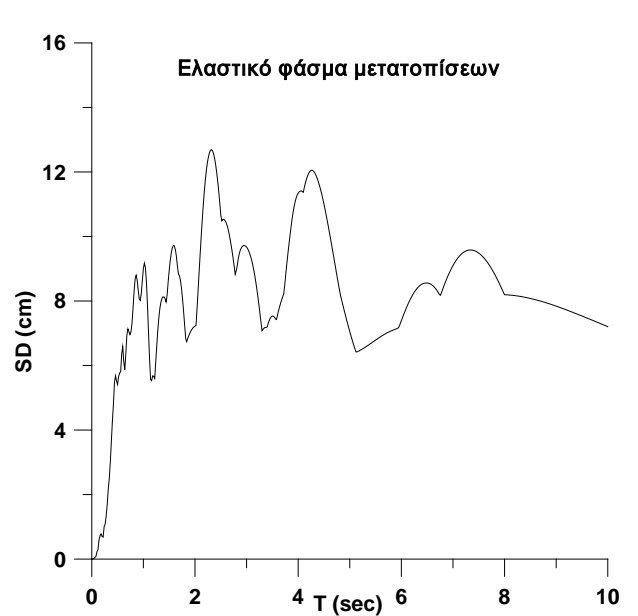
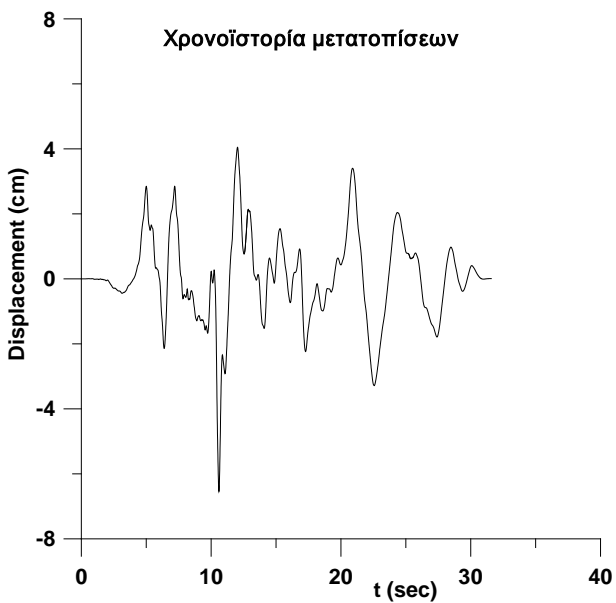
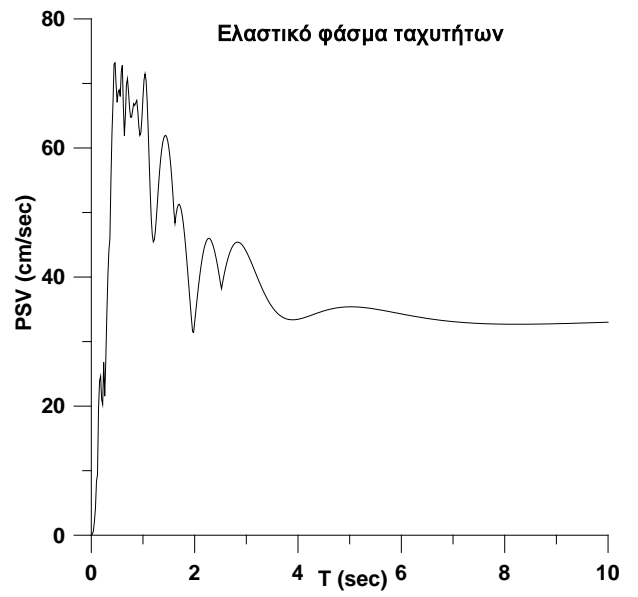
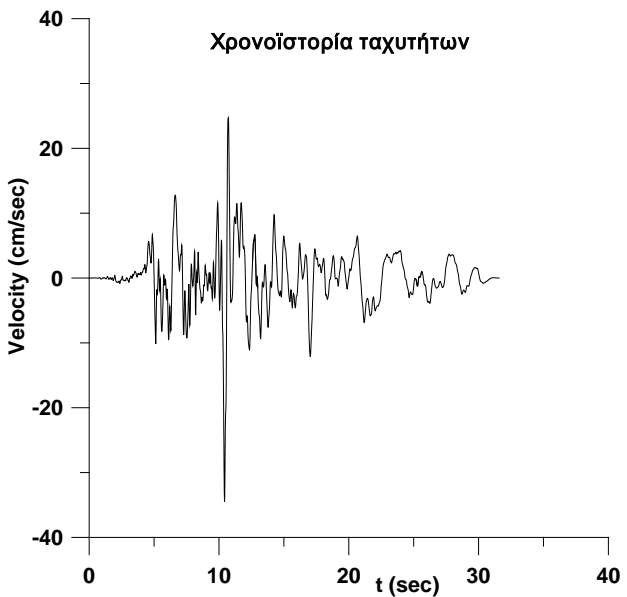
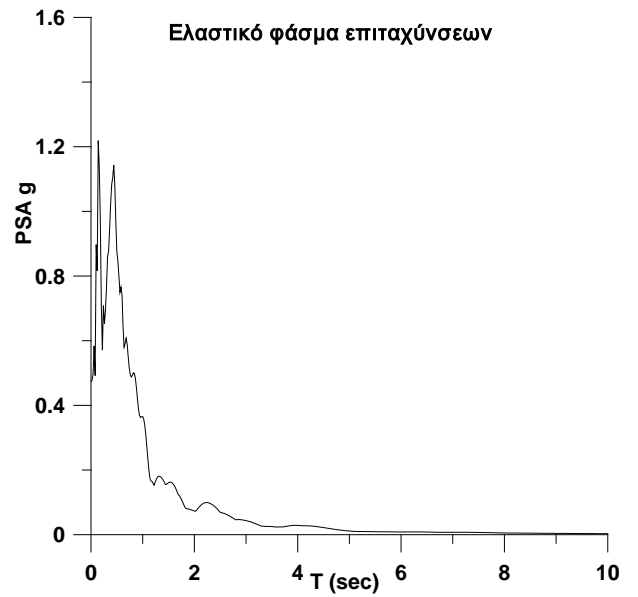
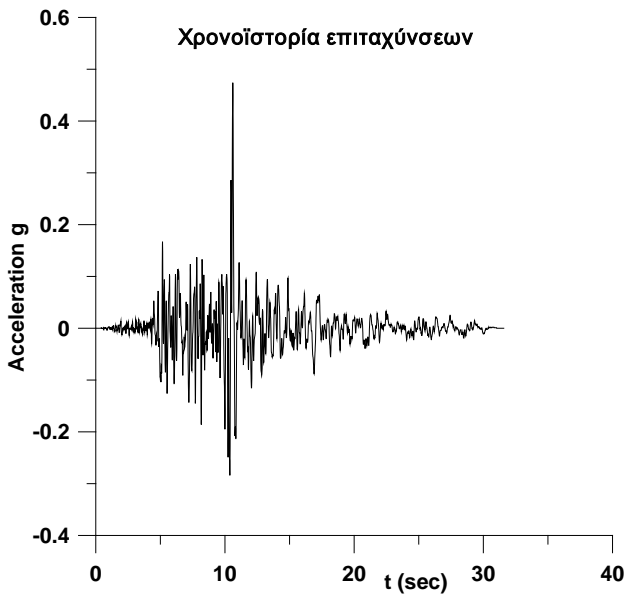
NORTHRIDGE 01/17/94, LA - S VERMONT, deg.000, Lat. 34.022, Long.-118.293
PGA (g)= 0.164 PGV (cm/s)= 10.7 PGD (cm) = 1.83



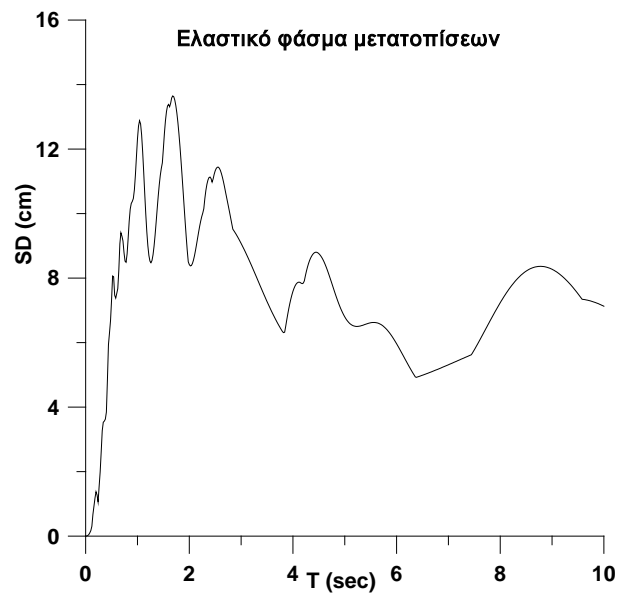
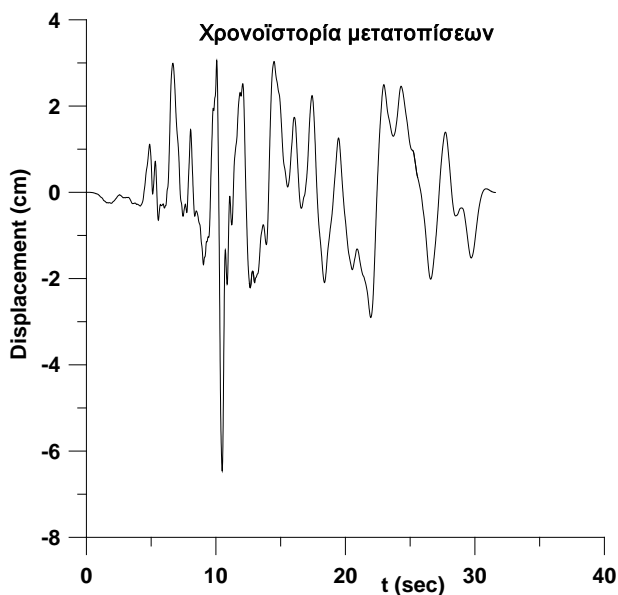
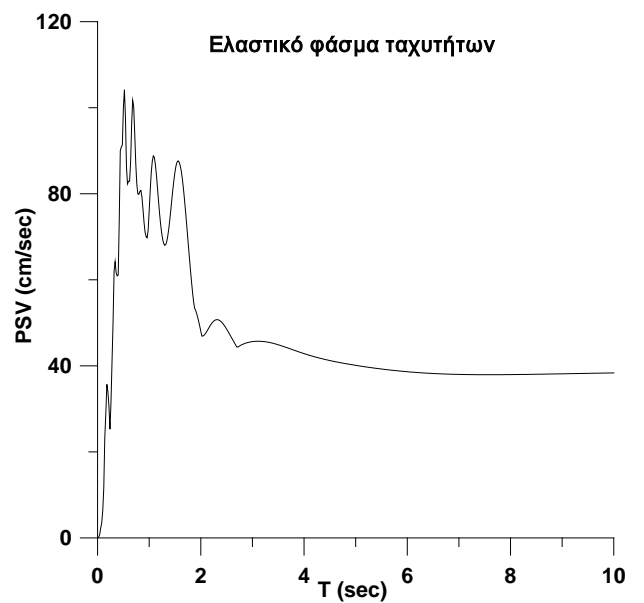
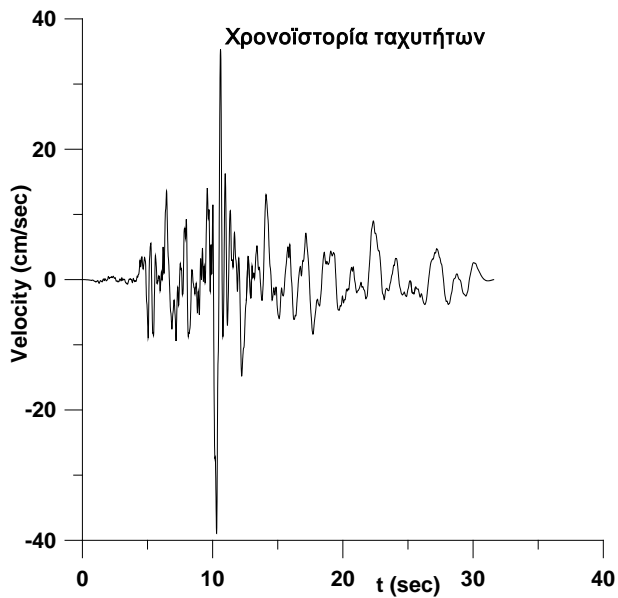
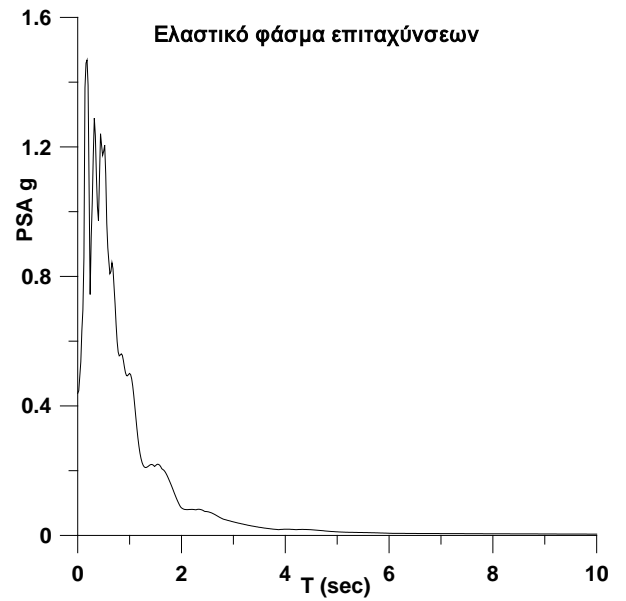
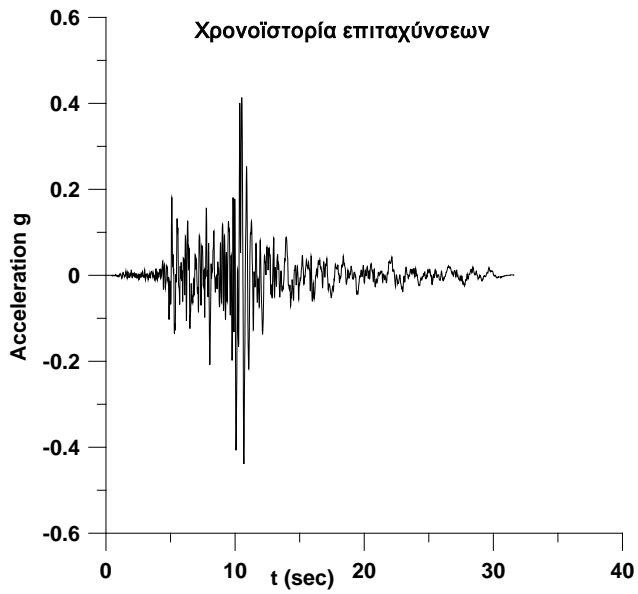
NORTHRIDGE 01/17/94, LA - S VERMONT, deg.090, Lat. 34.022, Long.-118.293
PGA (g)= 0.071 PGV (cm/s)= 6.2 PGD (cm) = 1.7



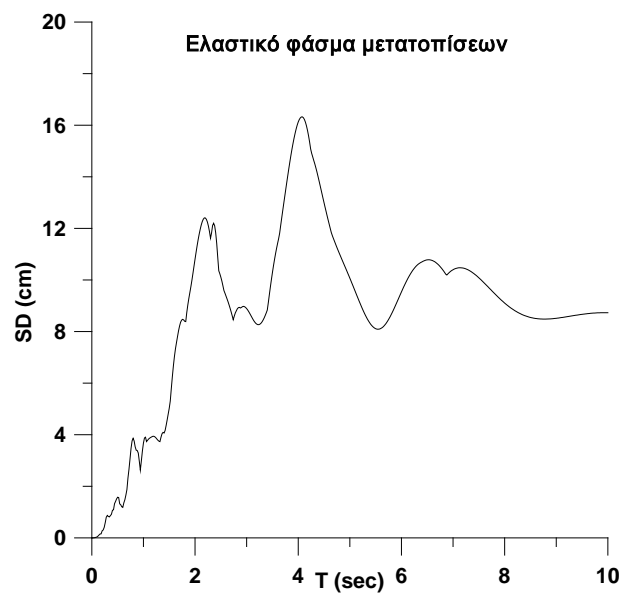
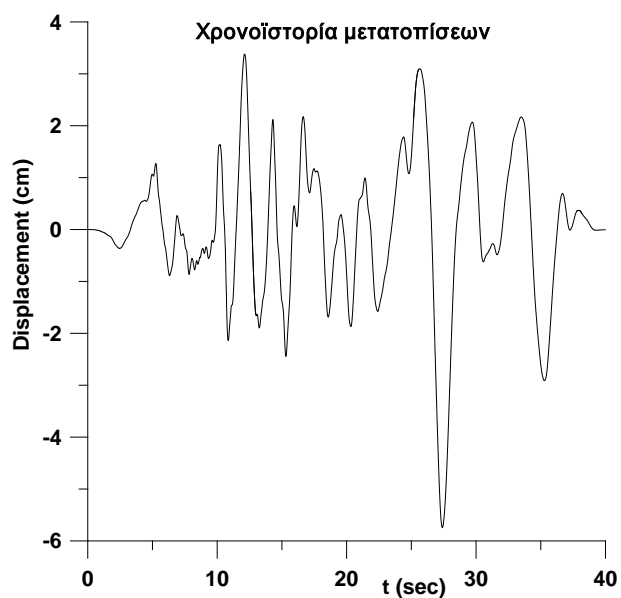
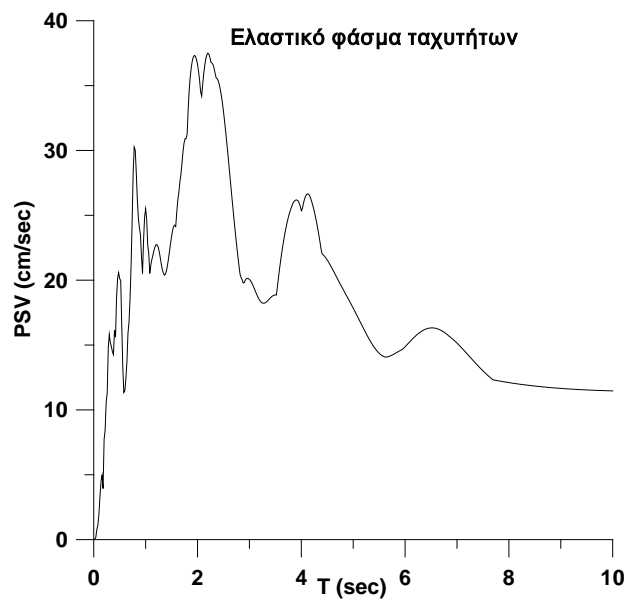
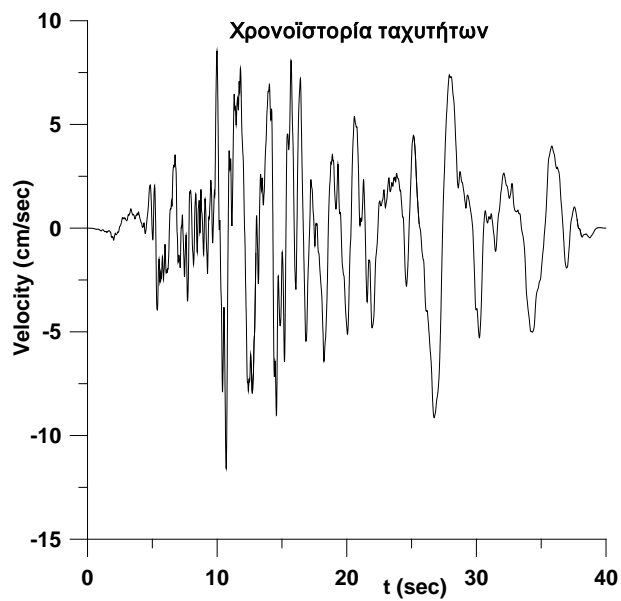
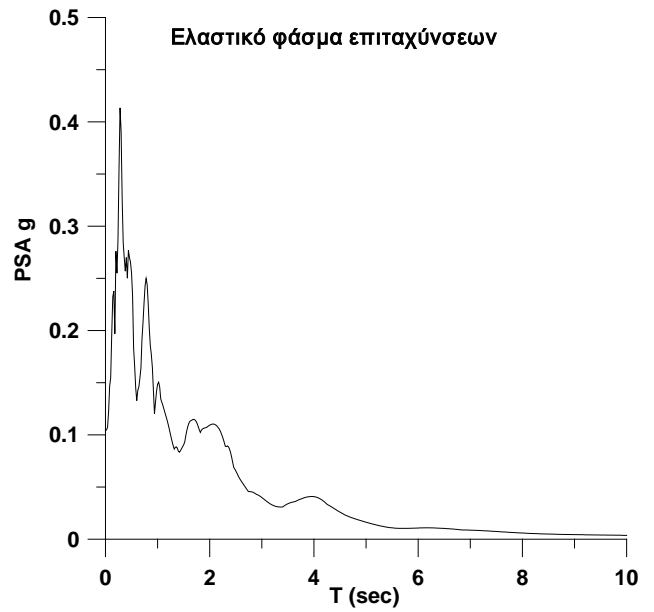
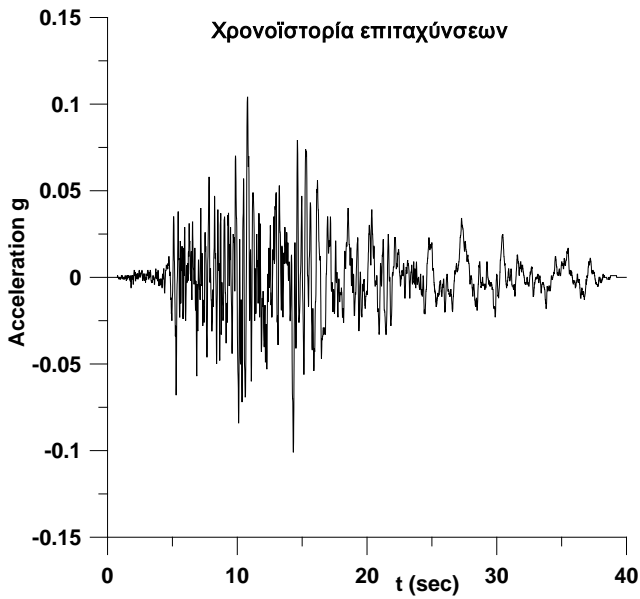
NORTHRIDGE 01/17/94, LA - SATURN, deg.020, Lat. 34.046, Long.-118.355
PGA (g)= 0.474 PGV (cm/s)= 34.6 PGD (cm) = 6.55



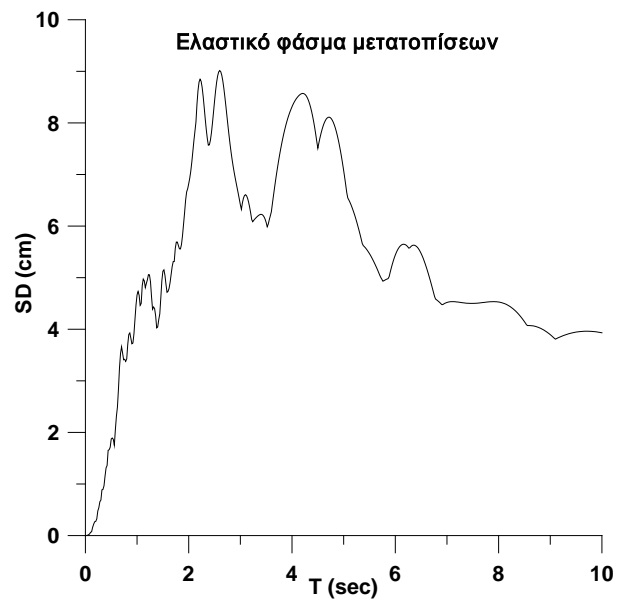
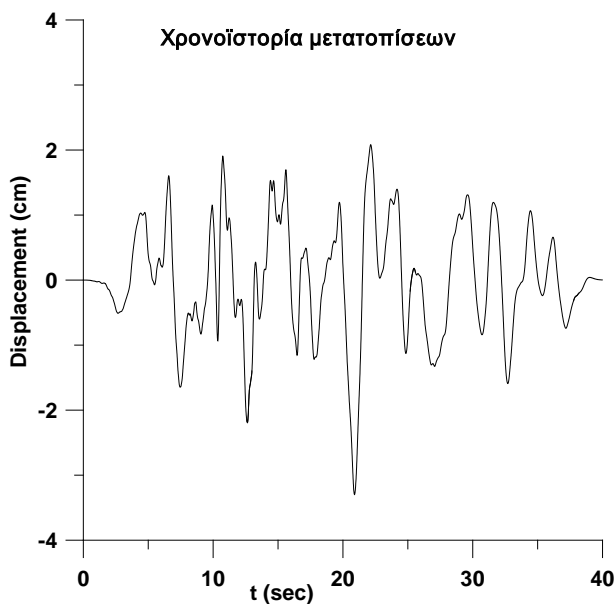
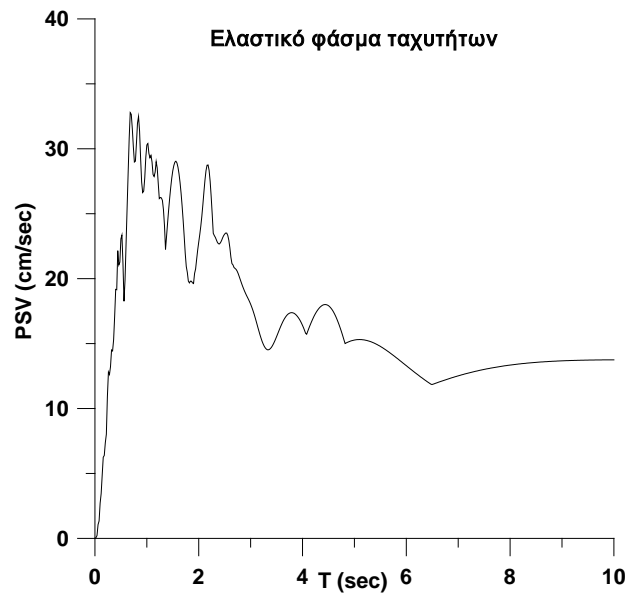
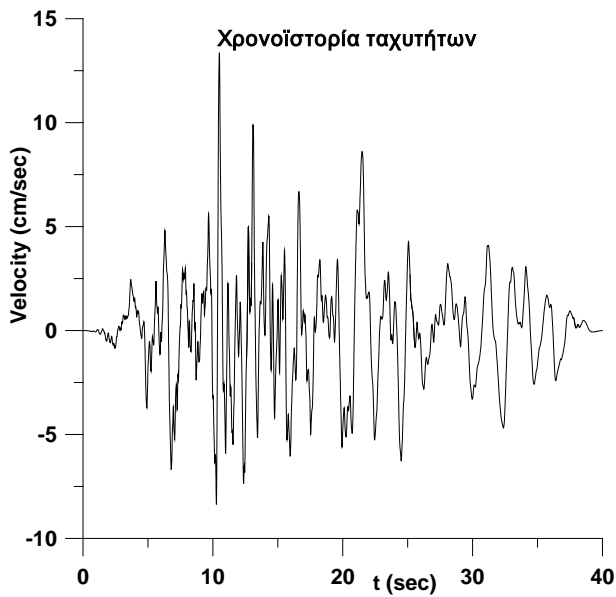
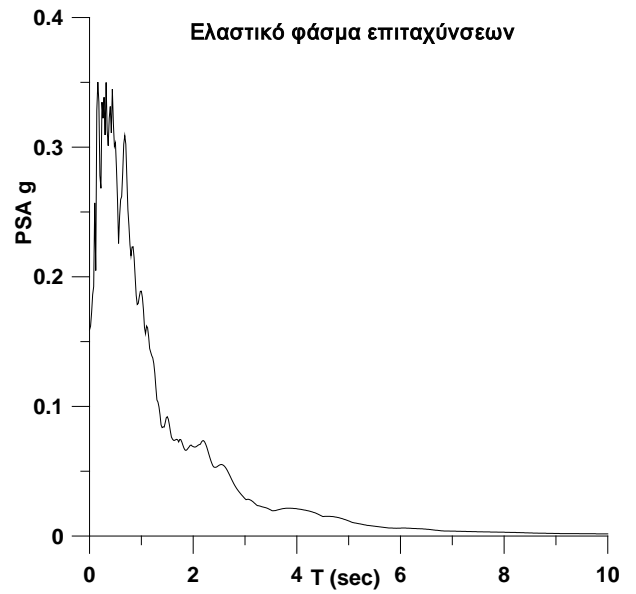
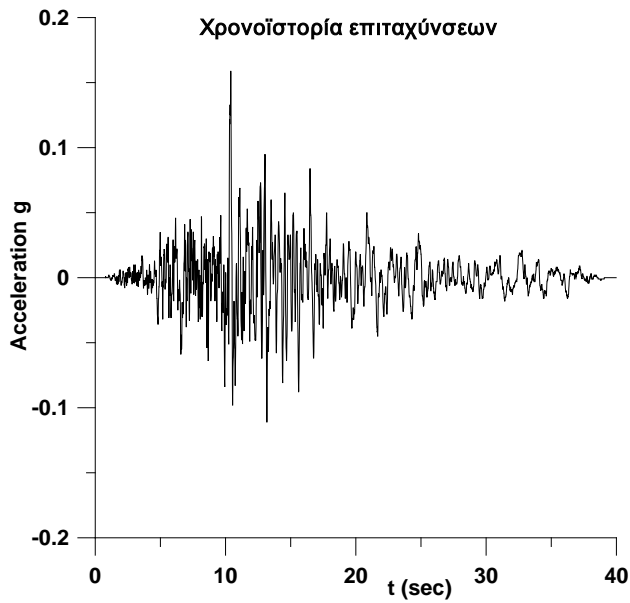
NORTHRIDGE 01/17/94, LA - SATURN, deg.110, Lat. 34.046, Long.-118.355
PGA (g)= 0.439 PGV (cm/s)= 39 PGD (cm) = 6.45



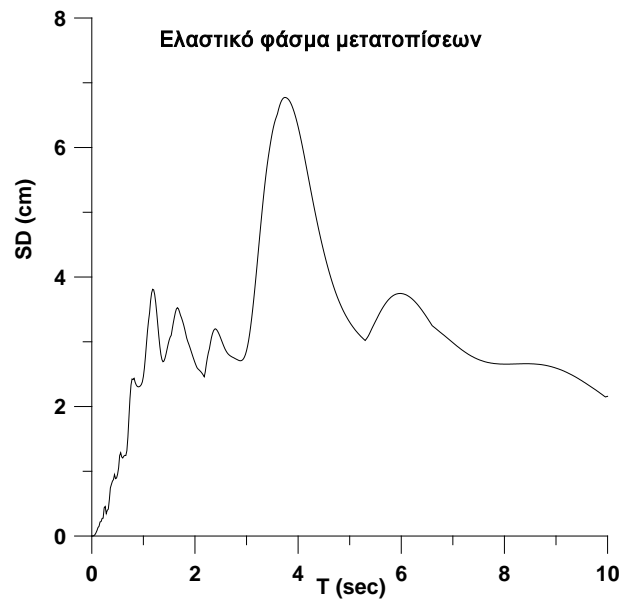
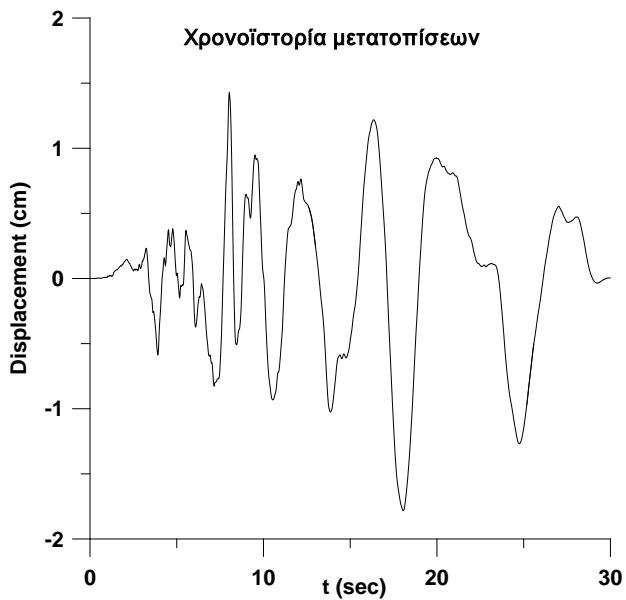
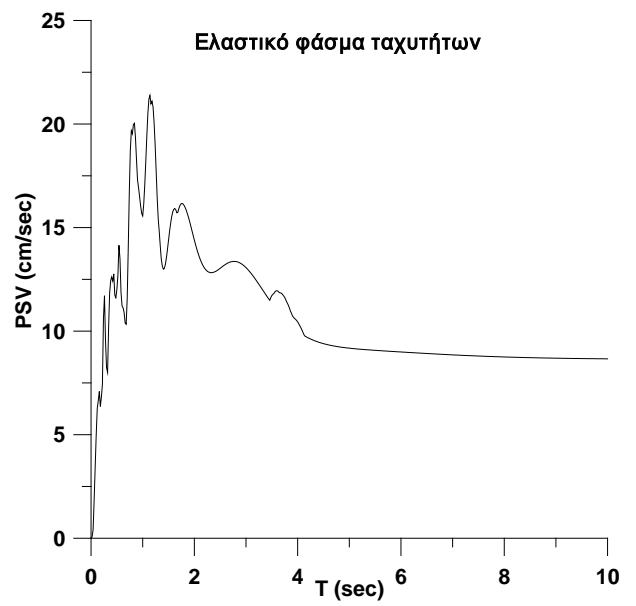
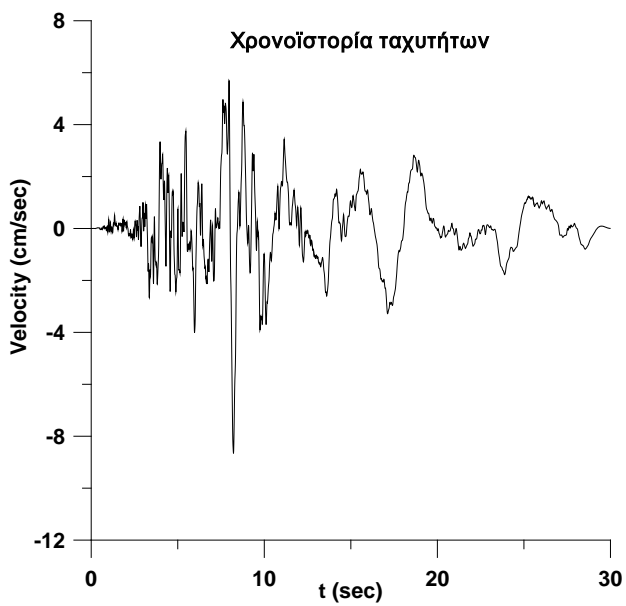
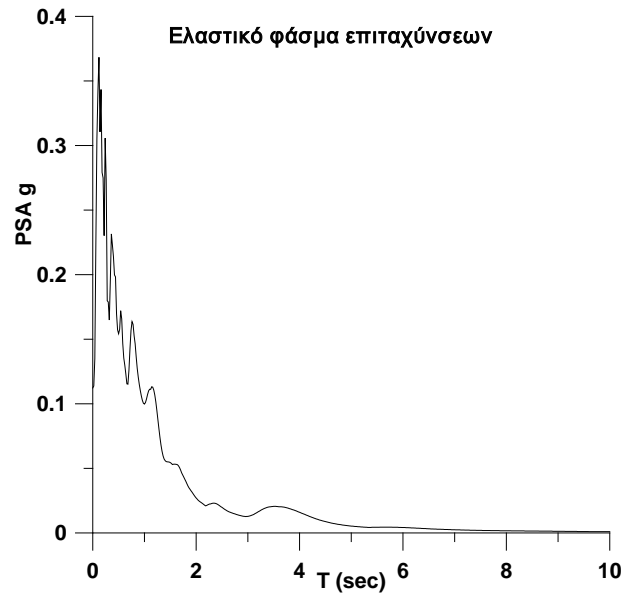
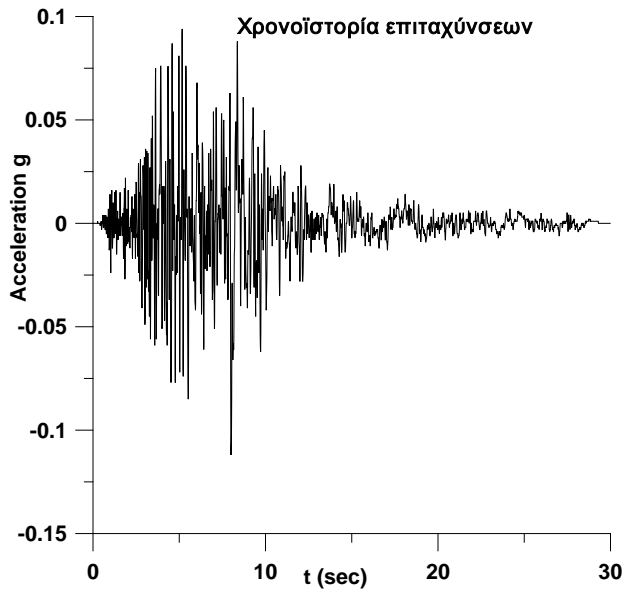
NORTHRIDGE 01/17/94, LA - W 15TH ST, deg.090, Lat. 34.045, Long.-118.298
PGA (g)= 0.104 PGV (cm/s)= 11.6 PGD (cm) = 5.73



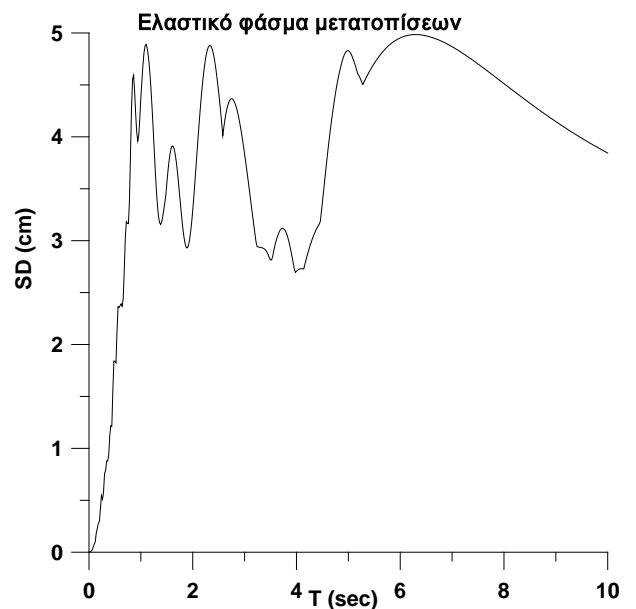
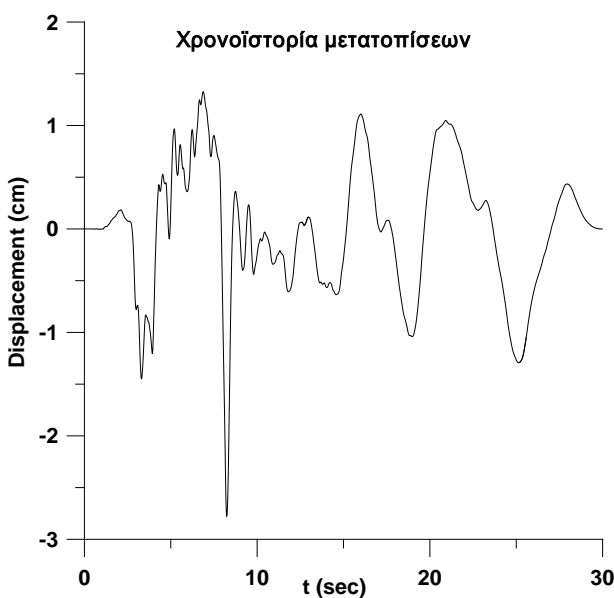
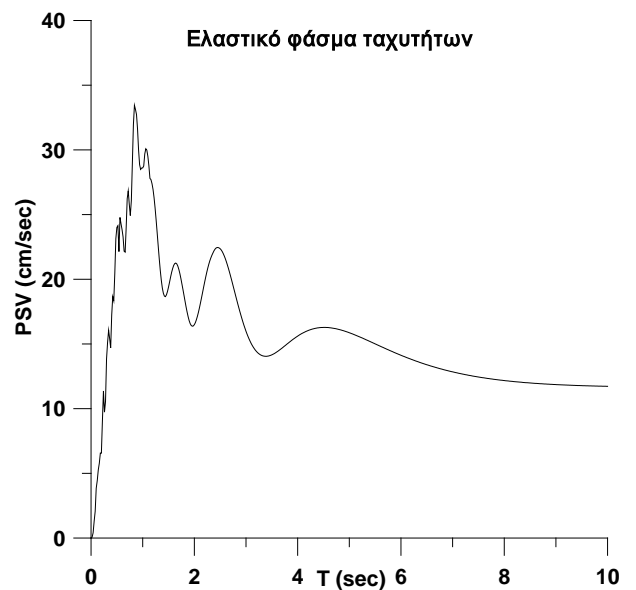
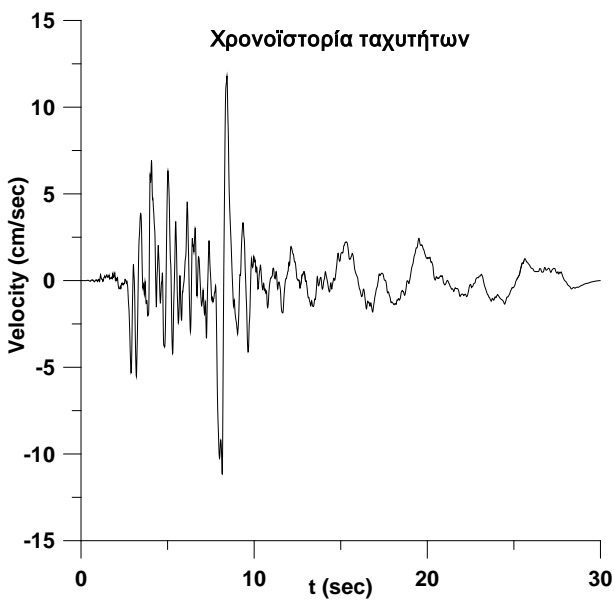
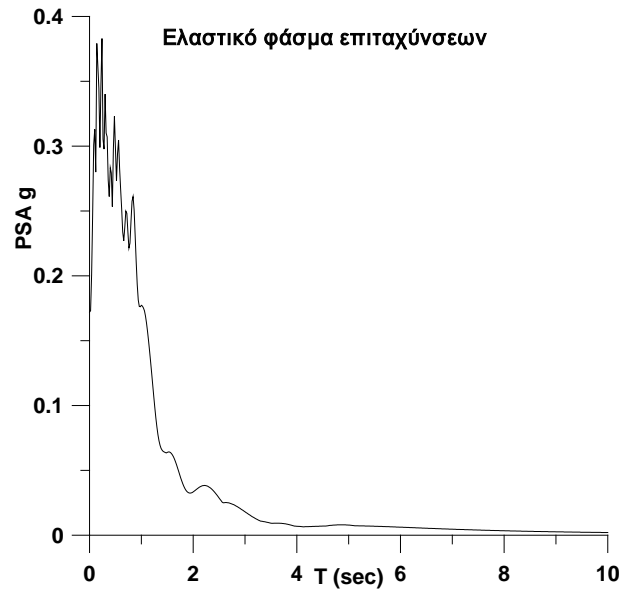
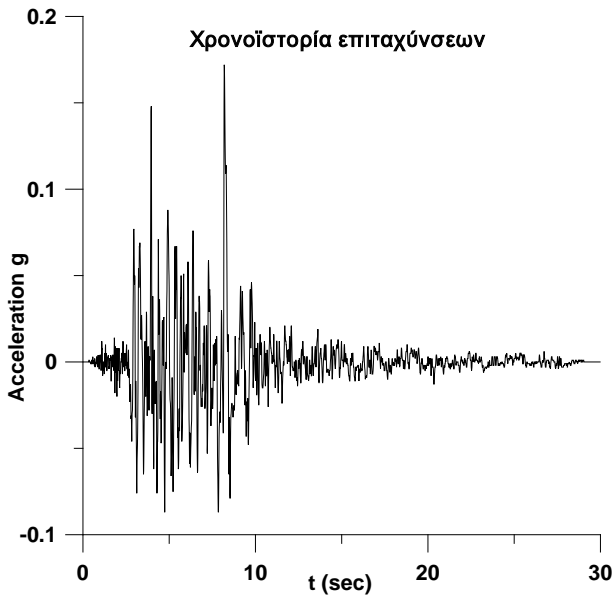
NORTHRIDGE 01/17/94, LA - W 15TH ST, deg.180, Lat. 34.045, Long.-118.298
PGA (g)= 0.159 PGV (cm/s)= 13.4 PGD (cm) = 3.3



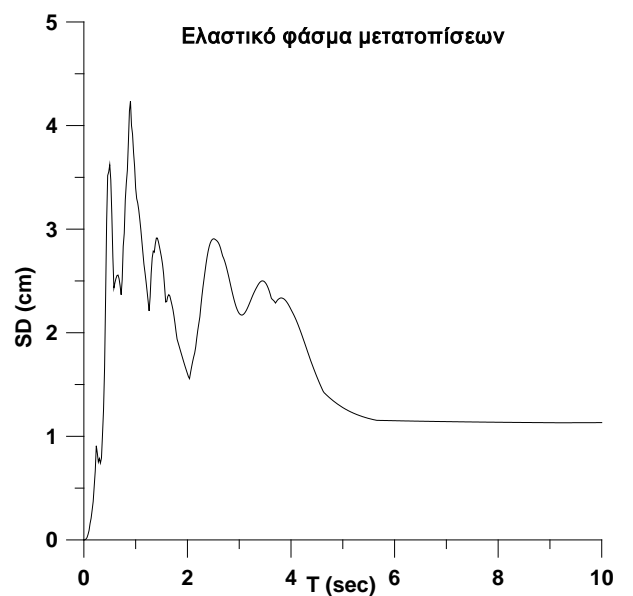
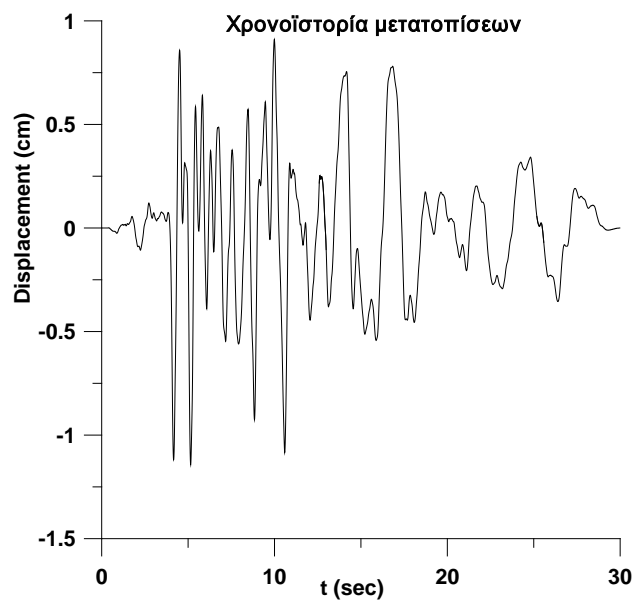
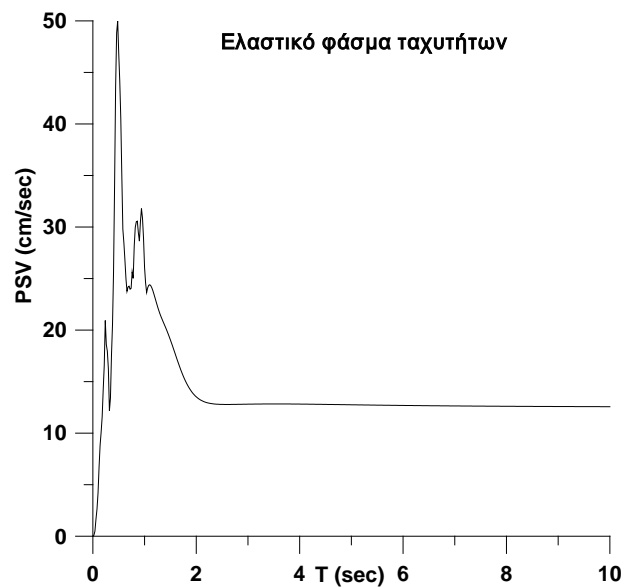
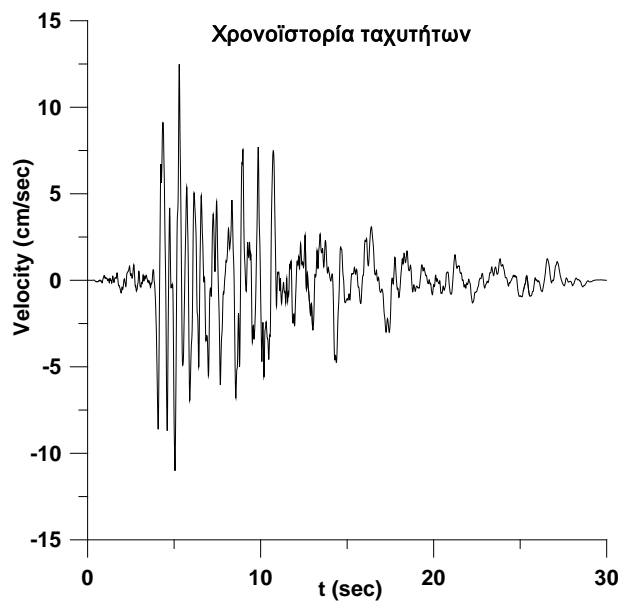
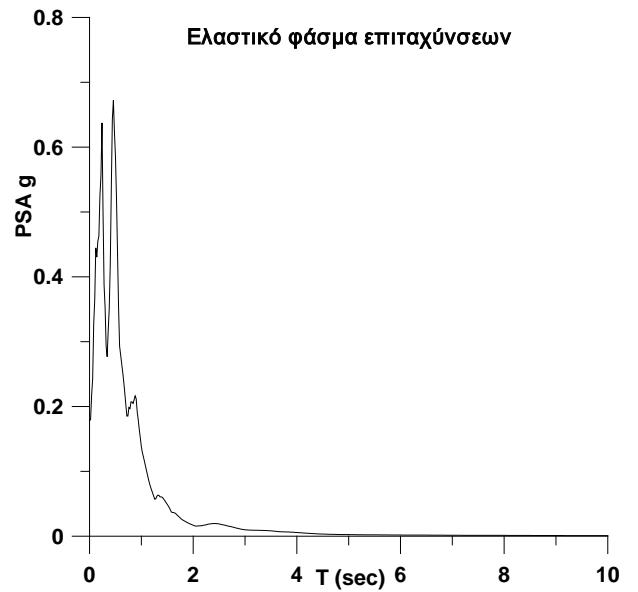
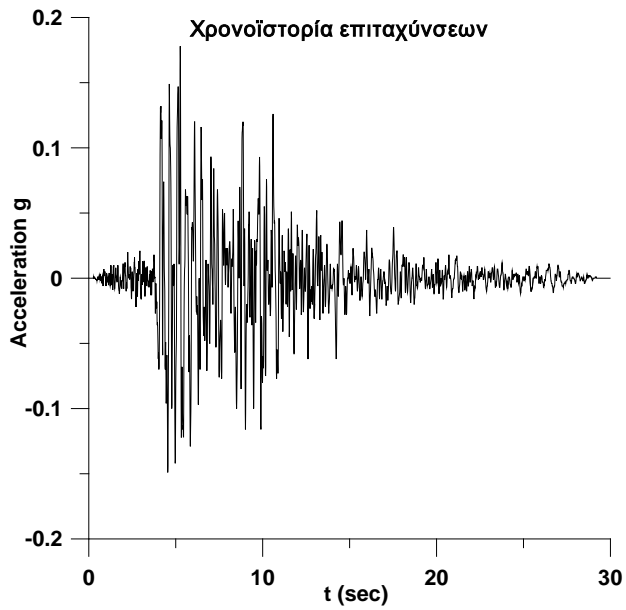
NORTHRIDGE 01/17/94, LA - WONDERLAND, deg.095, Lat. 34.114, Long.-118.380
PGA (g)= 0.112 PGV (cm/s)= 8.7 PGD (cm) = 1.79



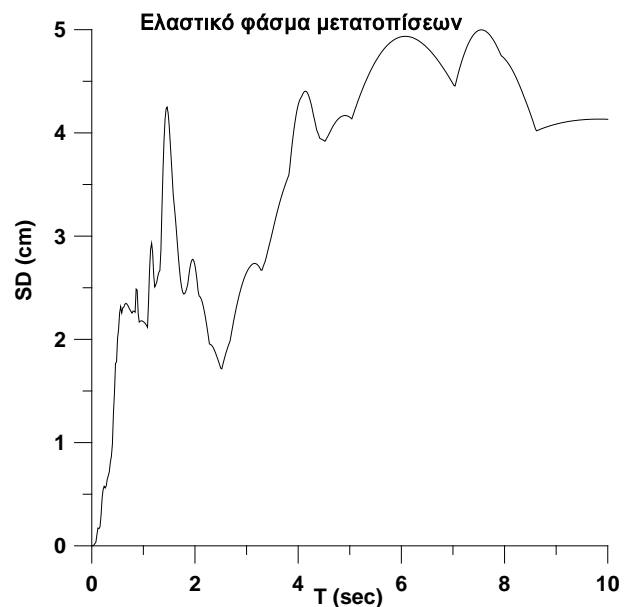
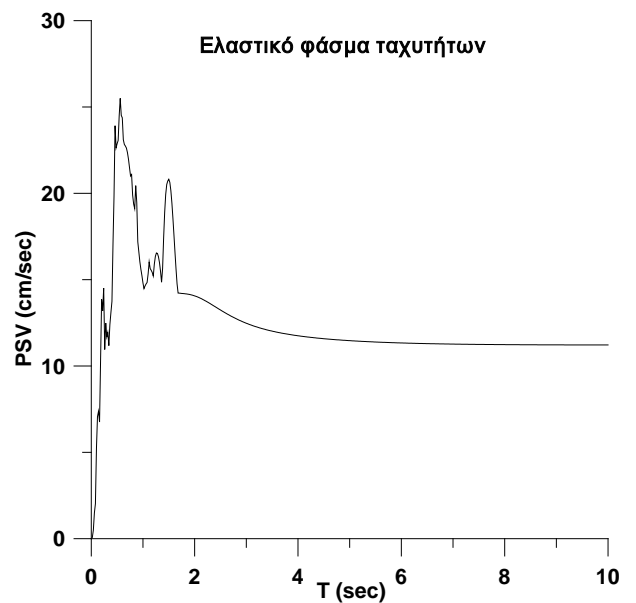
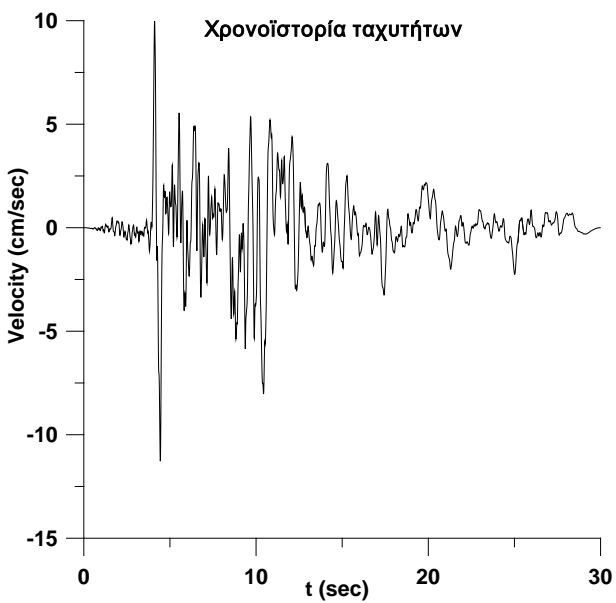
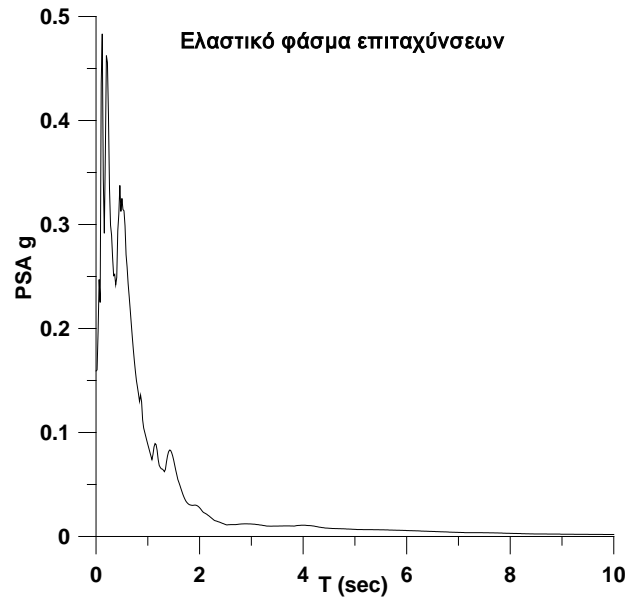
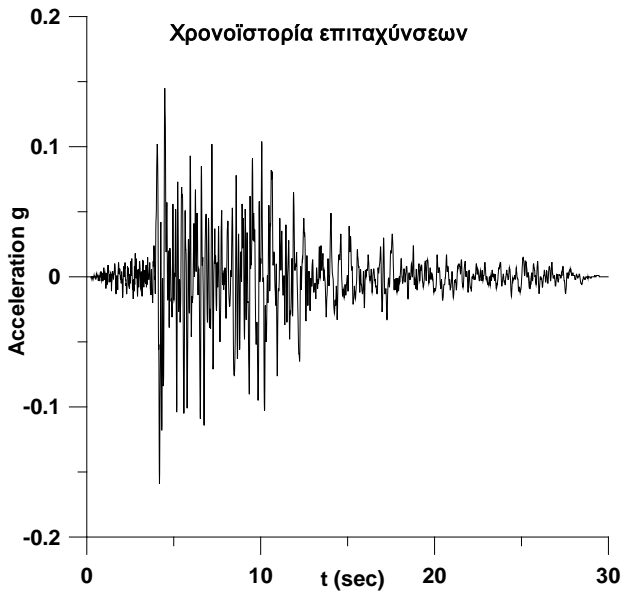
NORTHRIDGE 01/17/94, LA - WONDERLAND, deg.185, Lat. 34.114, Long.-118.380
PGA (g)= 0.172 PGV (cm/s)= 11.8 PGD (cm) = 2.77



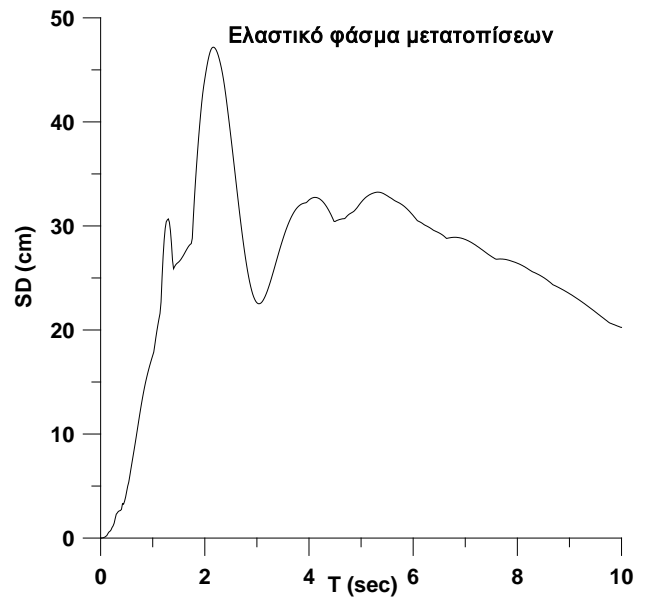
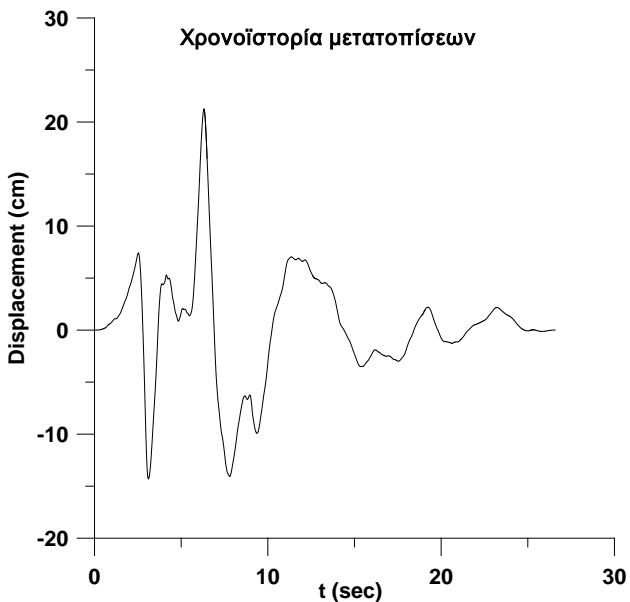
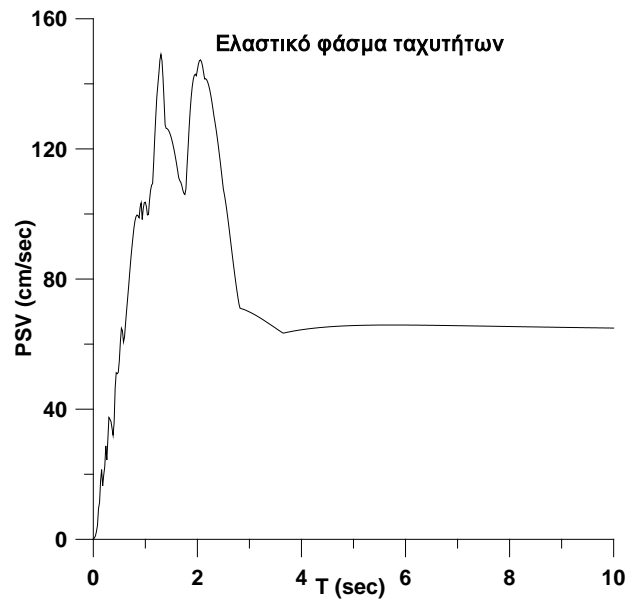
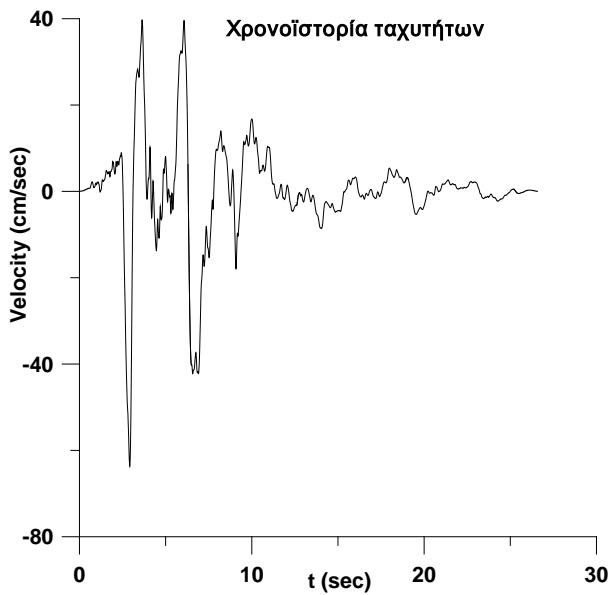
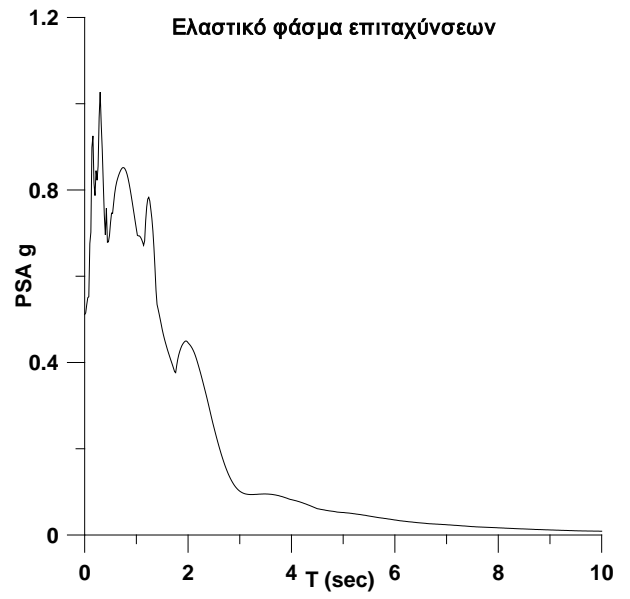
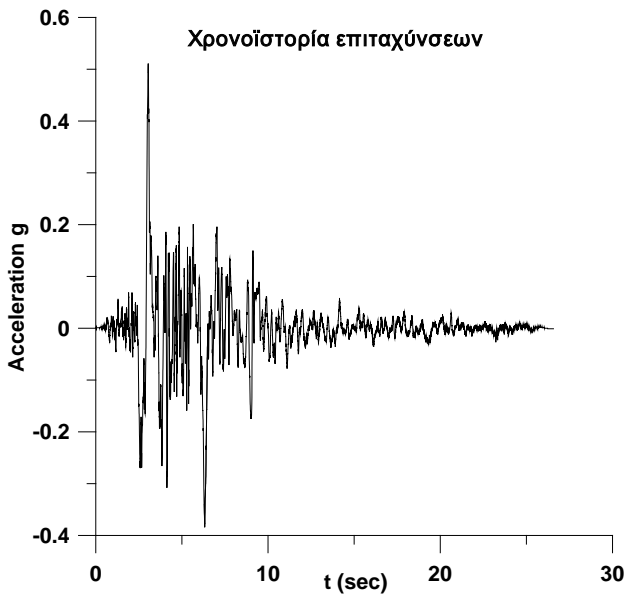
NORTHRIDGE 01/17/94, LA CRESCENTA - NEW YORK, deg.090, Lat. 34.238,
Long.-118.254 PGA (g)= 0.178 PGV (cm/s)= 12.5 PGD (cm) = 1.14



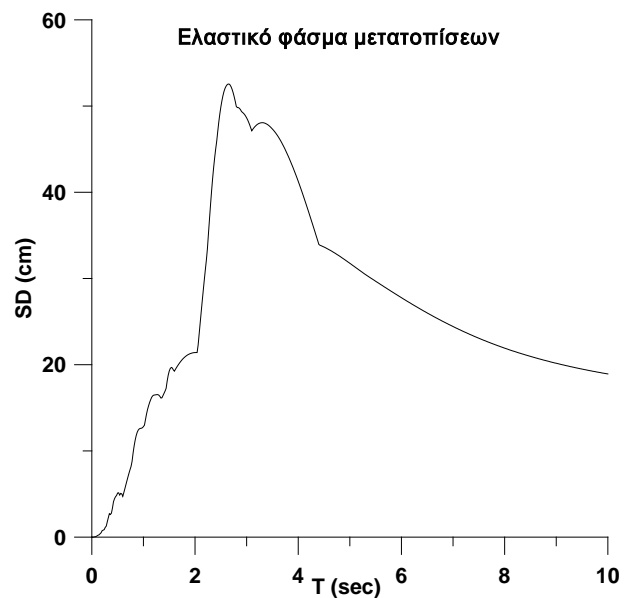
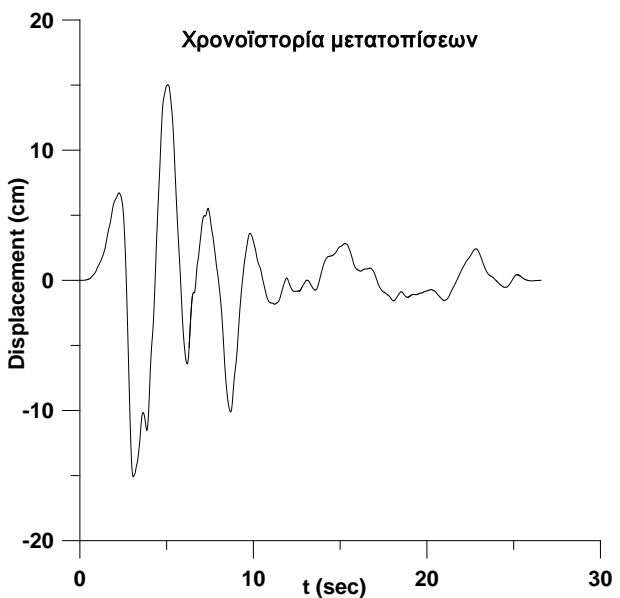
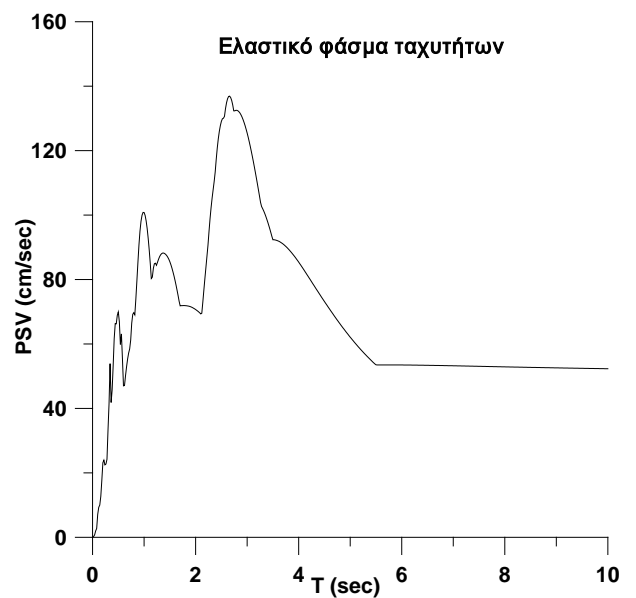
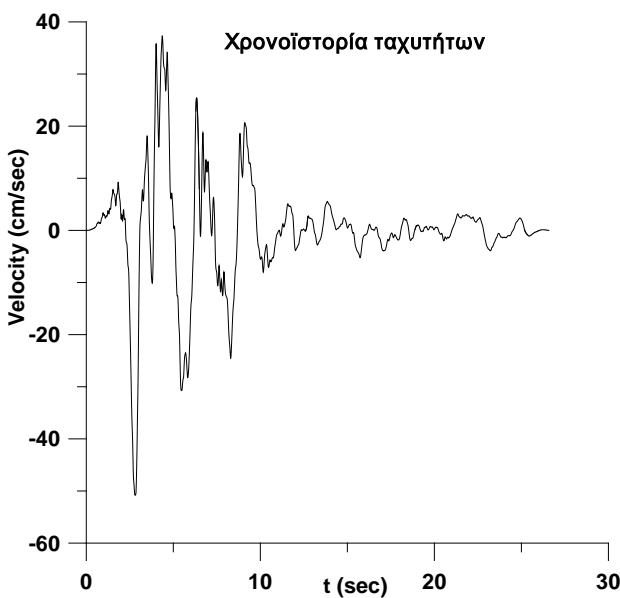
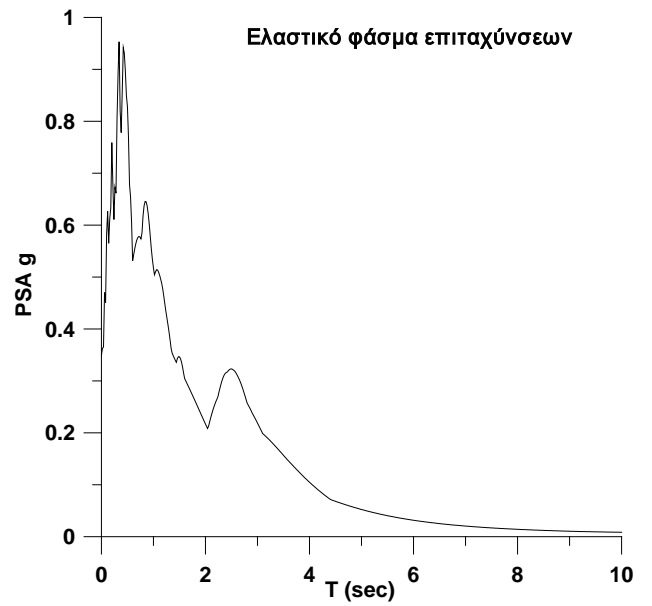
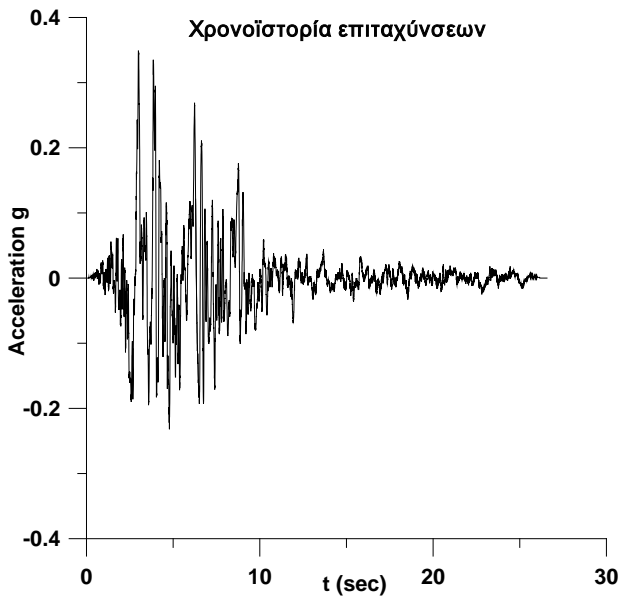
NORTHRIDGE 01/17/94, LA CRESCENTA - NEW YORK, deg.180, Lat. 34.238,
Long.-118.254 PGA (g)= 0.159 PGV (cm/s)= 11.3 PGD (cm) = 3.00



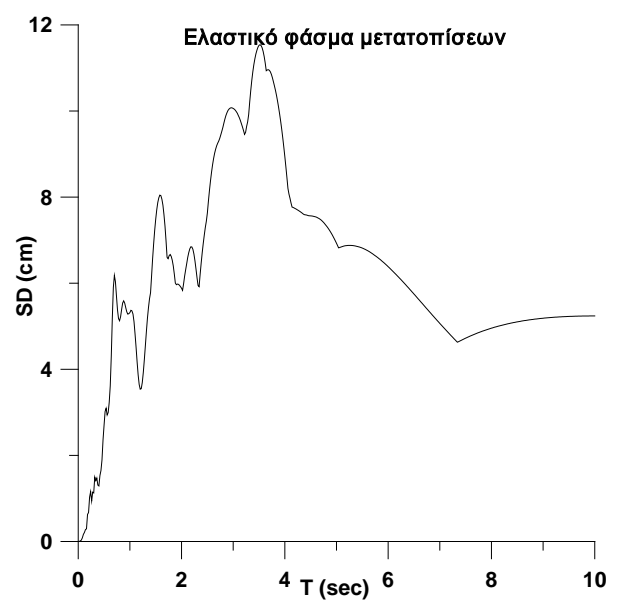
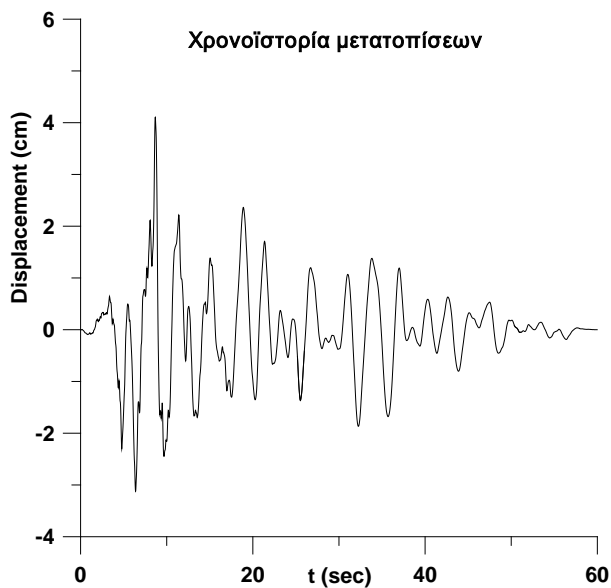
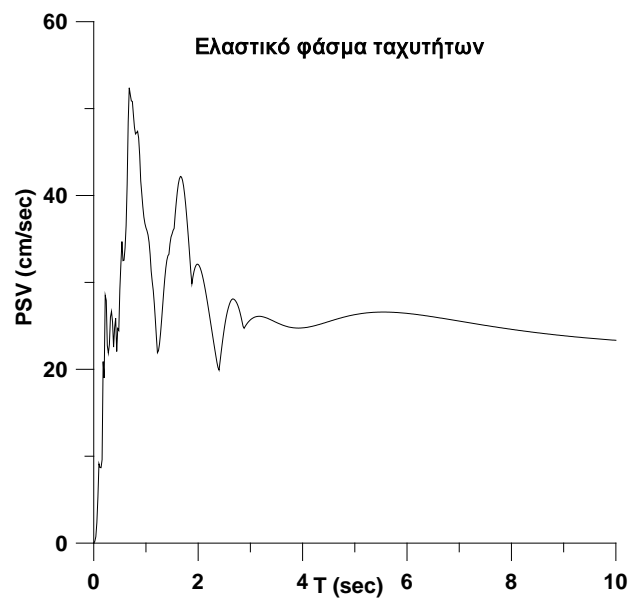
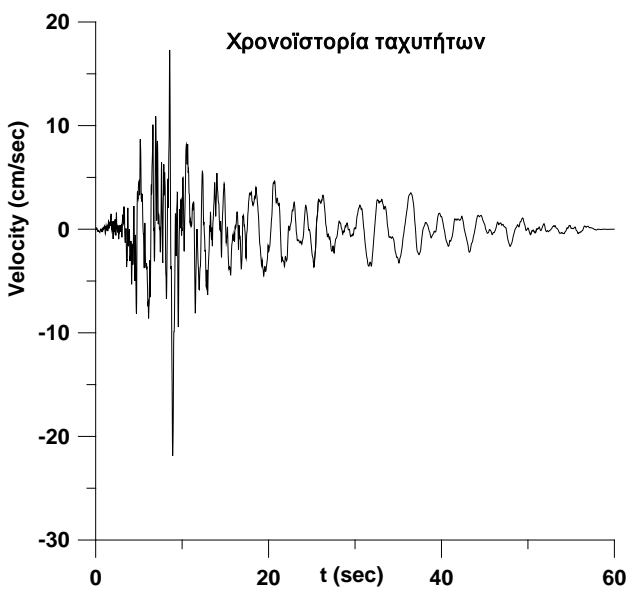
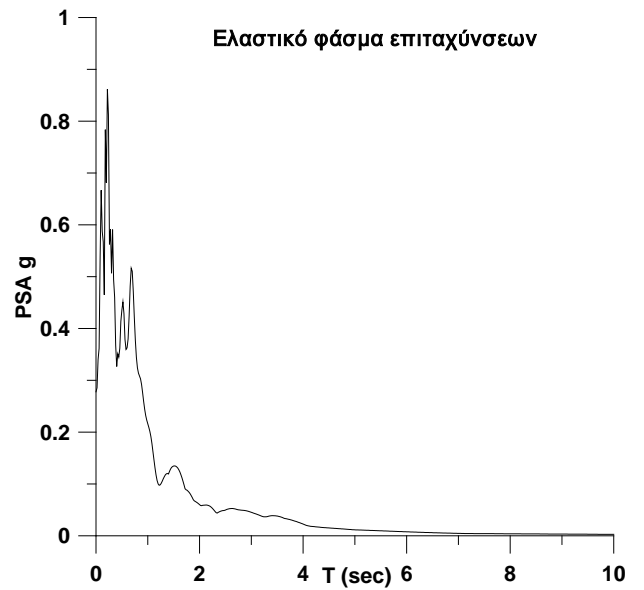
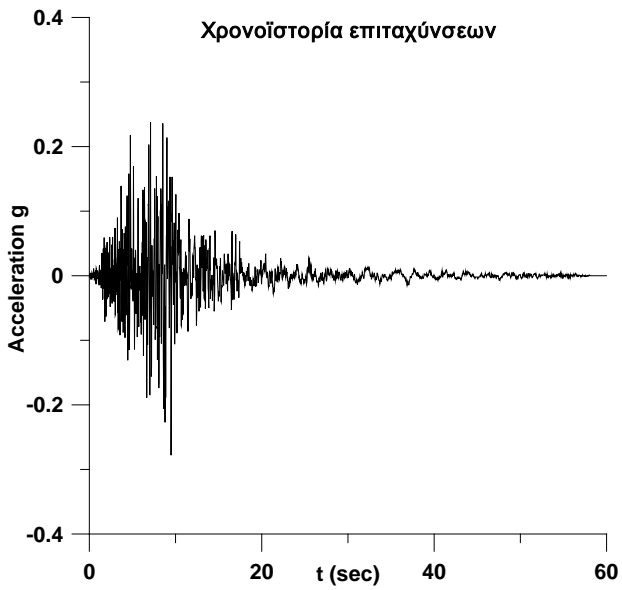
NORTHRIDGE 01/17/94, LA DAM, deg.064, Lat. 34.295, Long.-118.479
PGA (g)= 0.511 PGV (cm/s)= 63.7 PGD (cm) = 21.18



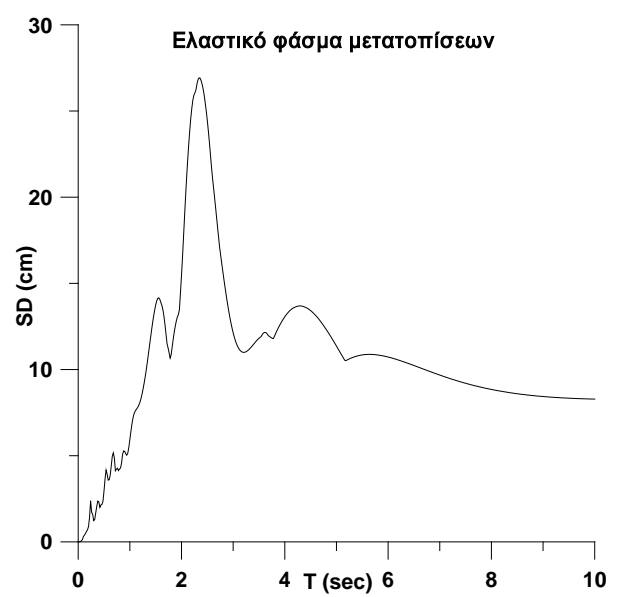
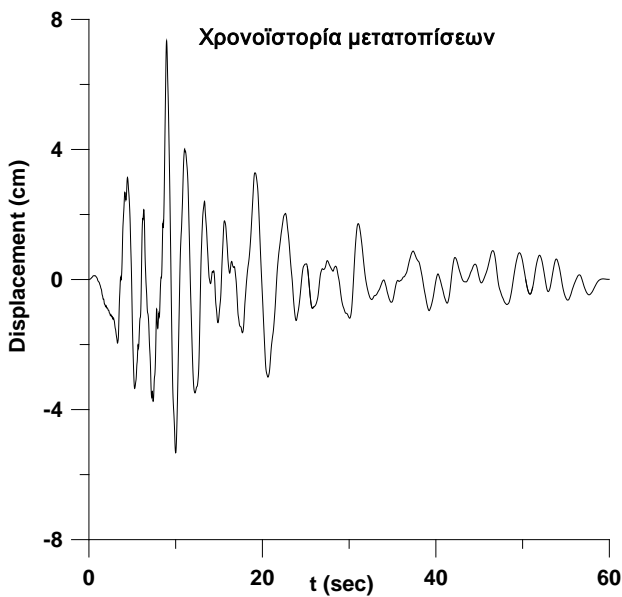
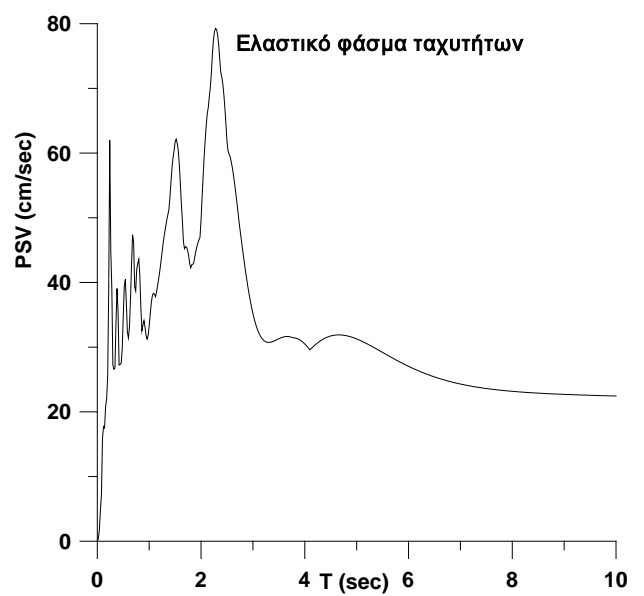
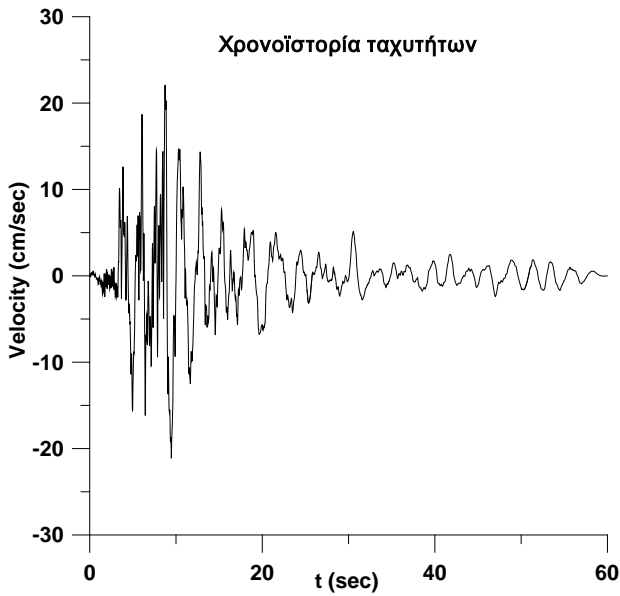
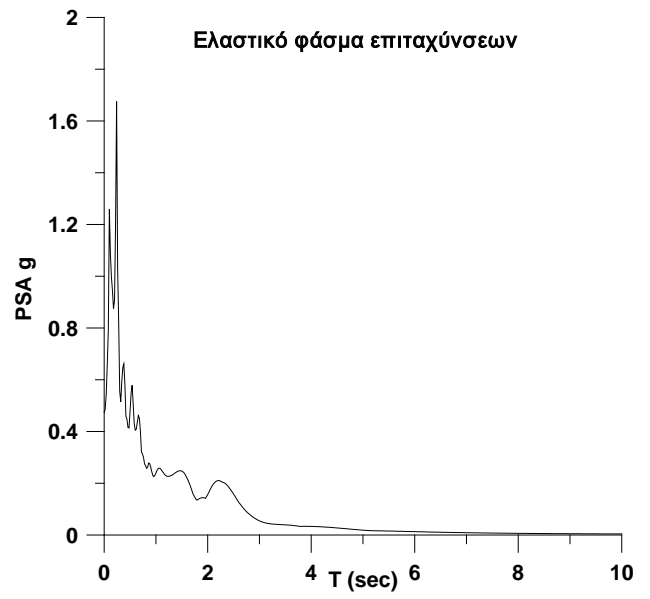
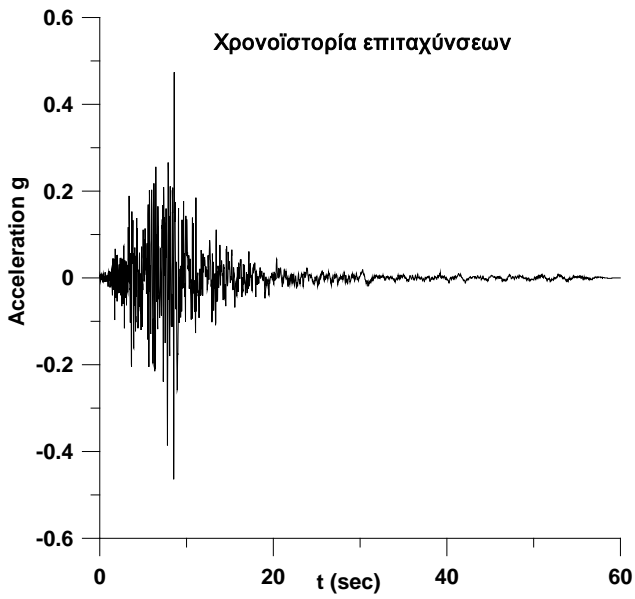
NORTHRIDGE 01/17/94, LA DAM, deg.334, Lat. 34.295, Long.-118.479
PGA (g)= 0.349 PGV (cm/s)= 50.8 PGD (cm) = 15.11



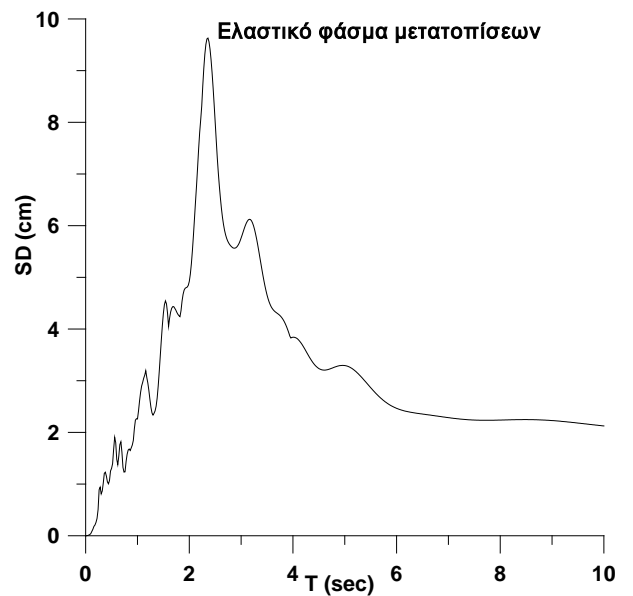
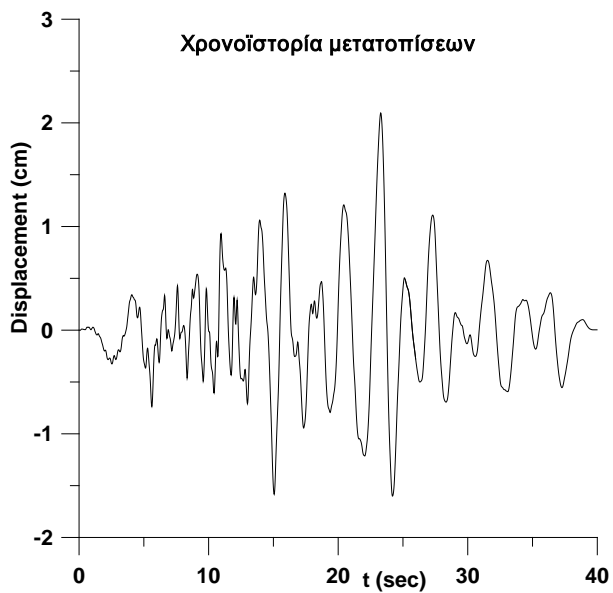
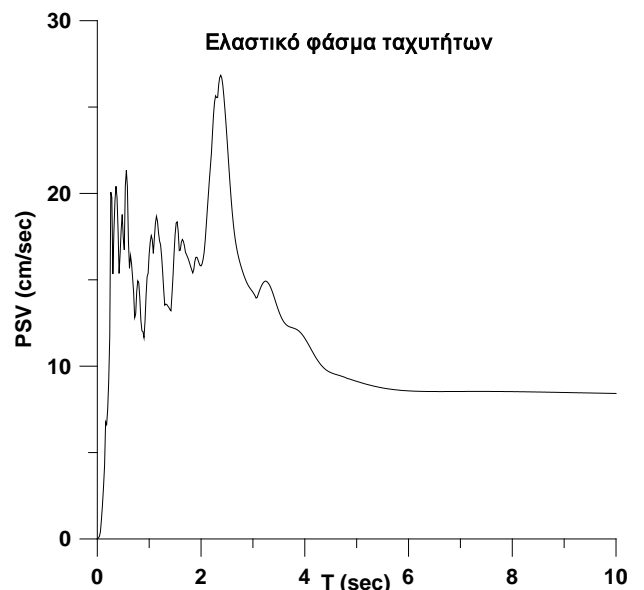
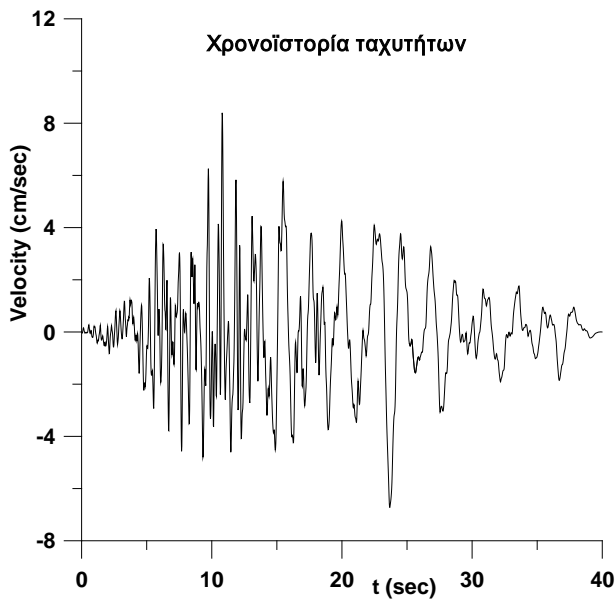
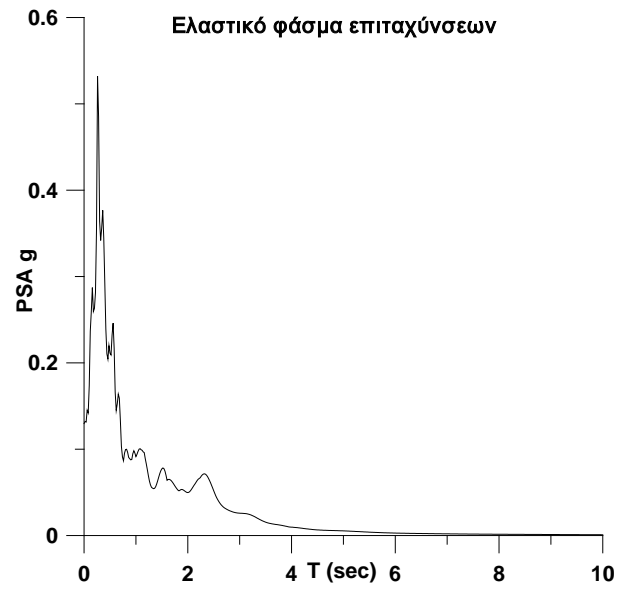
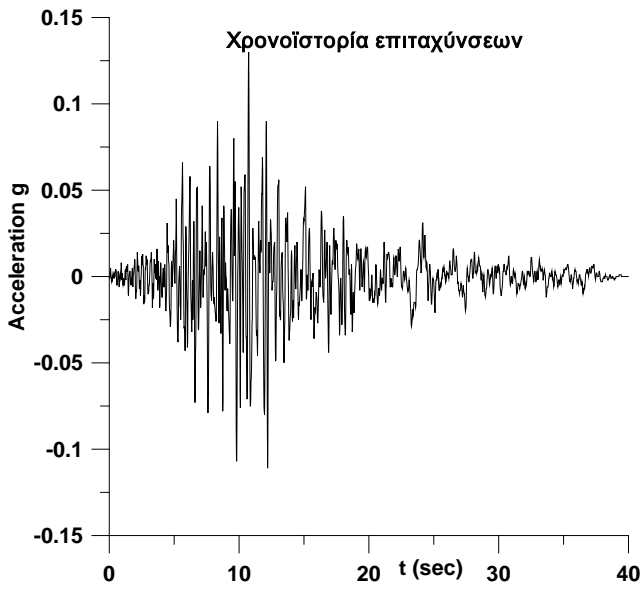
NORTHRIDGE 01/17/94, LOS ANGELES-UCLA GROUNDS, deg.090, Lat. 34.068,
Long.-118.439 PGA (g)= 0.278 PGV (cm/s)= 22 PGD (cm) = 4.32



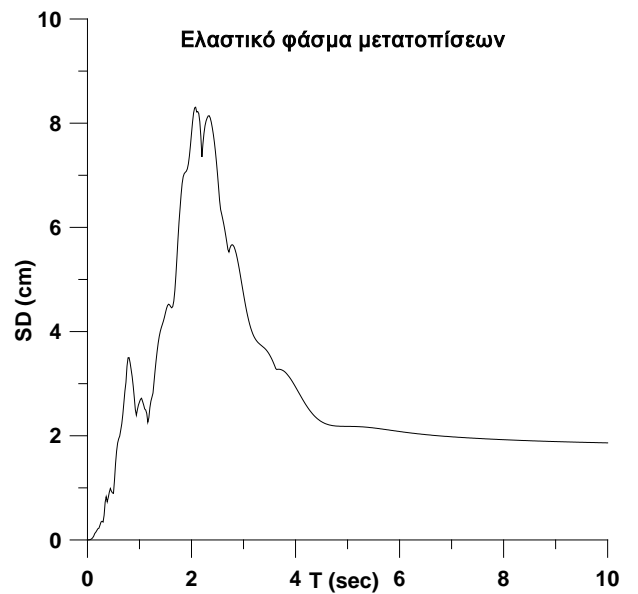
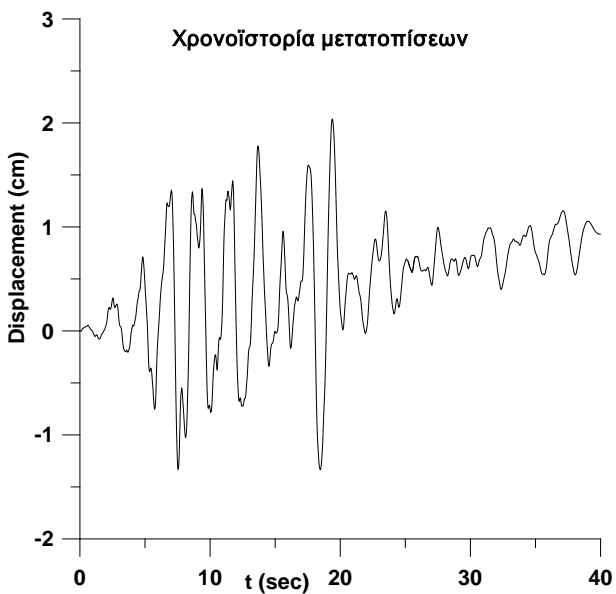
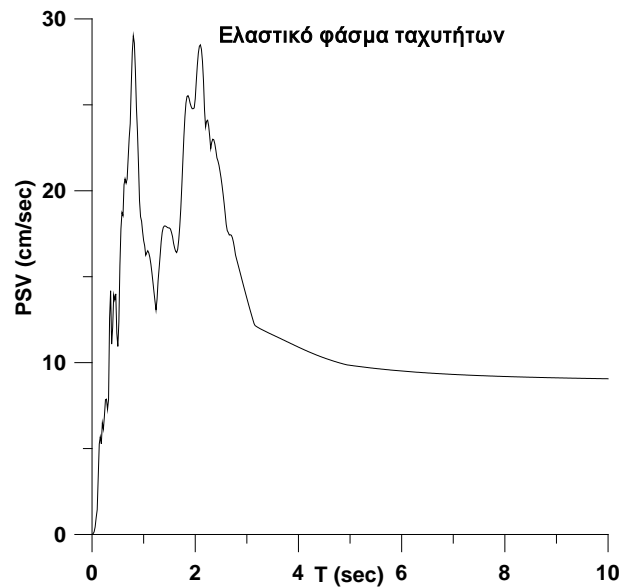
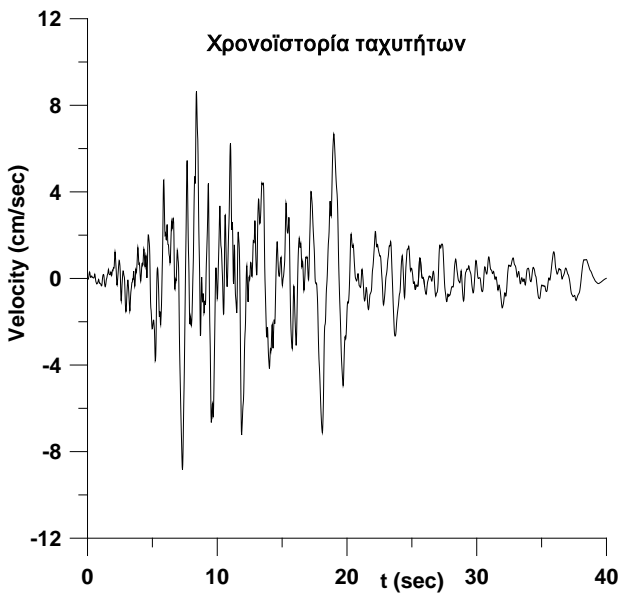
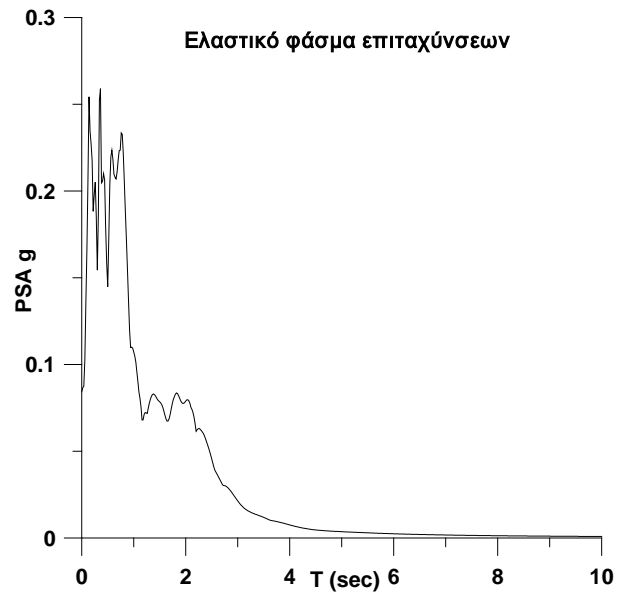
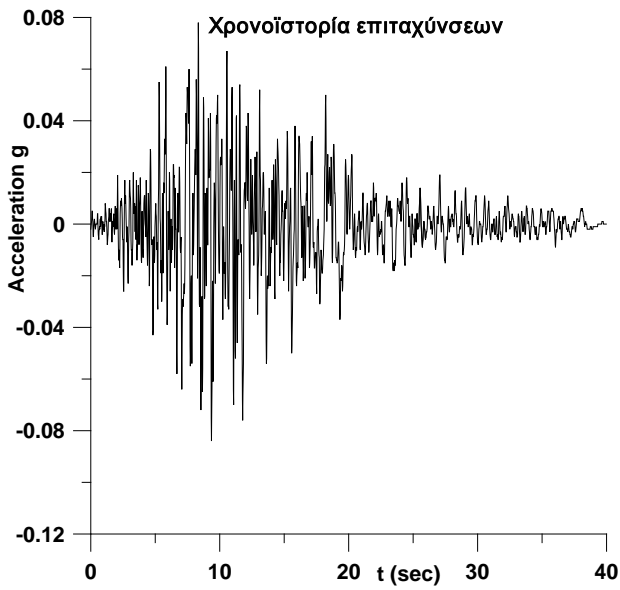
NORTHRIDGE 01/17/94, LOS ANGELES-UCLA GROUNDS, deg.360, Lat. 34.068,
Long.-118.439 PGA (g)= 0.474 PGV (cm/s)= 22.2 PGD (cm) = 7.38



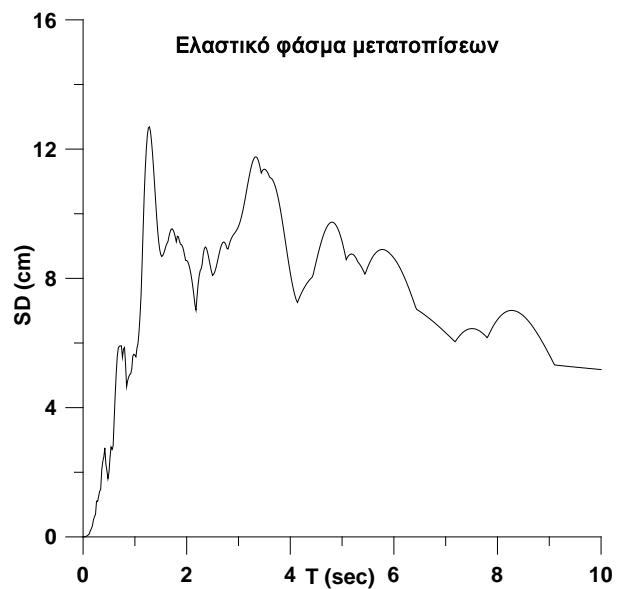
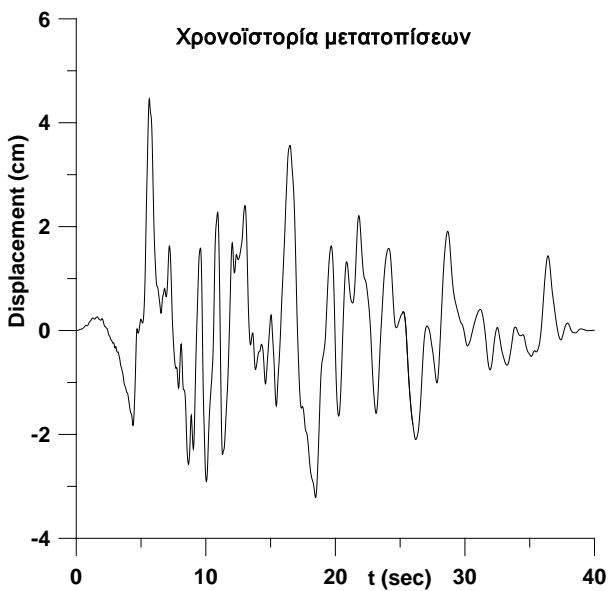
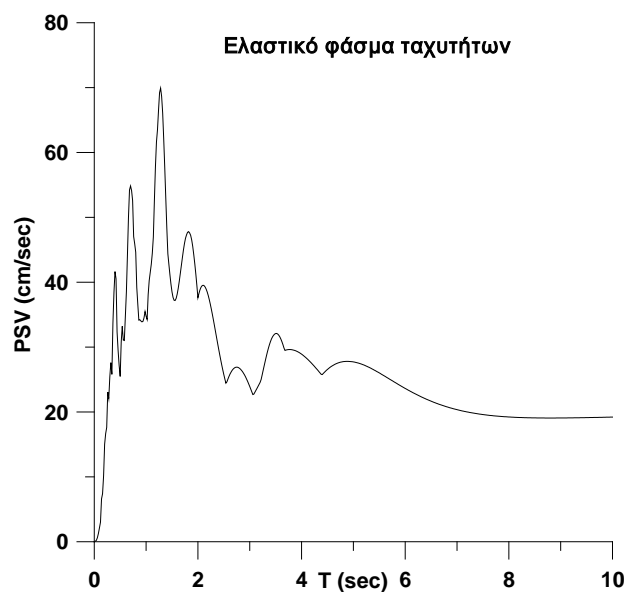
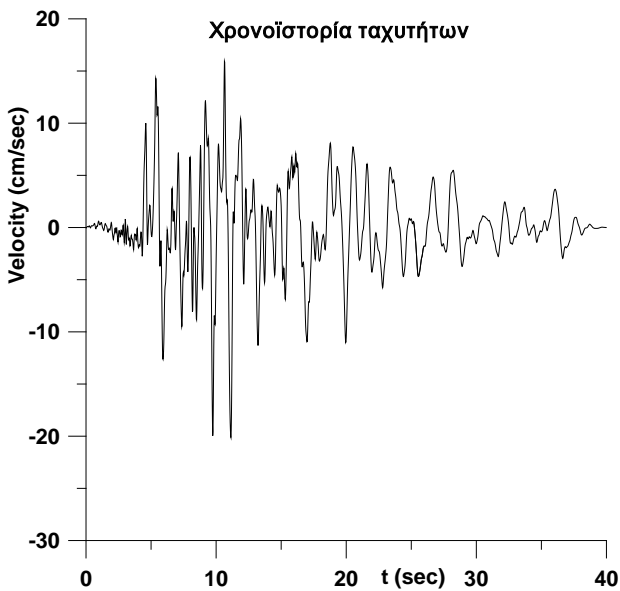
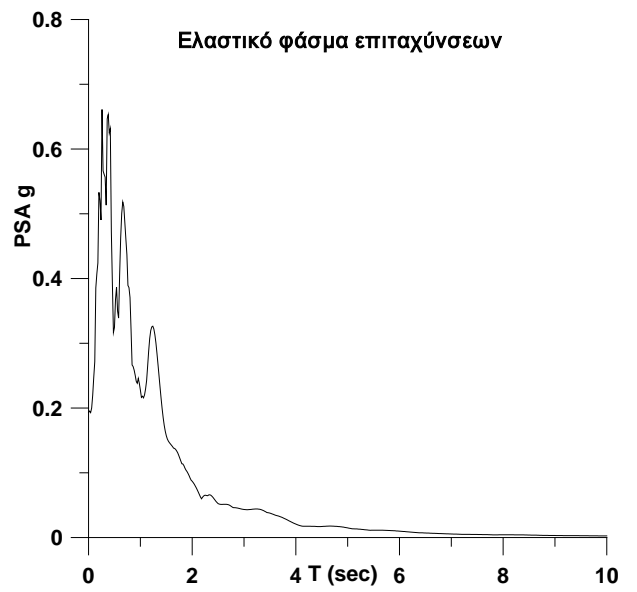
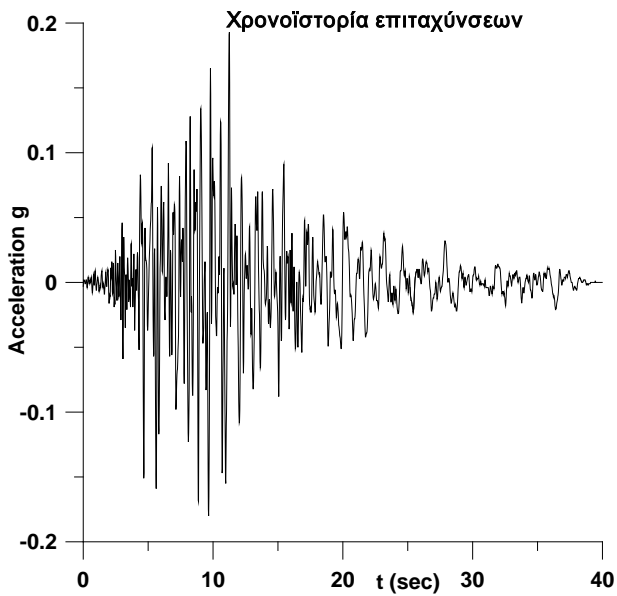
NORTHRIDGE 01/17/94, MALIBU PT DUME, deg.090, Lat. 34.013, Long.-118.800
PGA (g)= 0.13 PGV (cm/s)= 8.5 PGD (cm) = 2.11



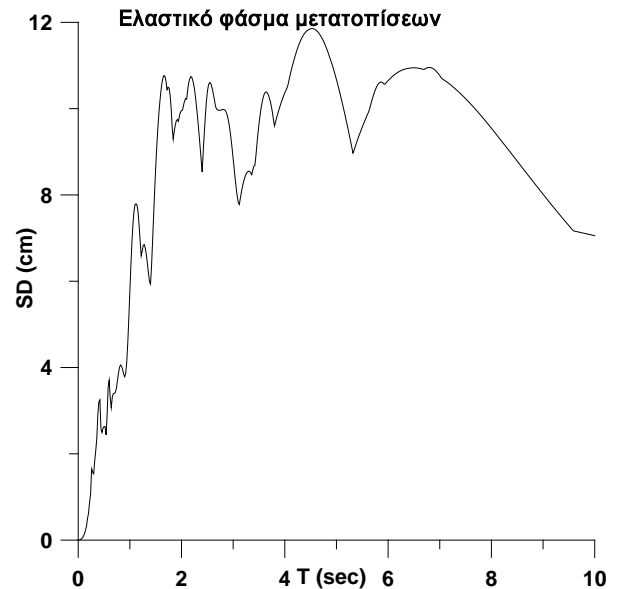
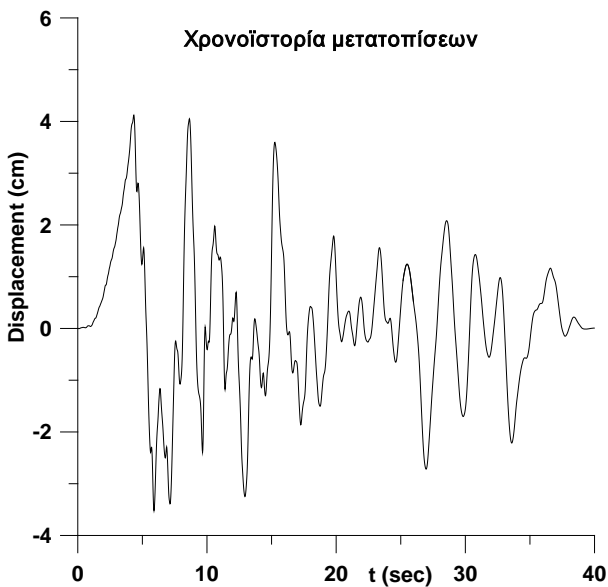
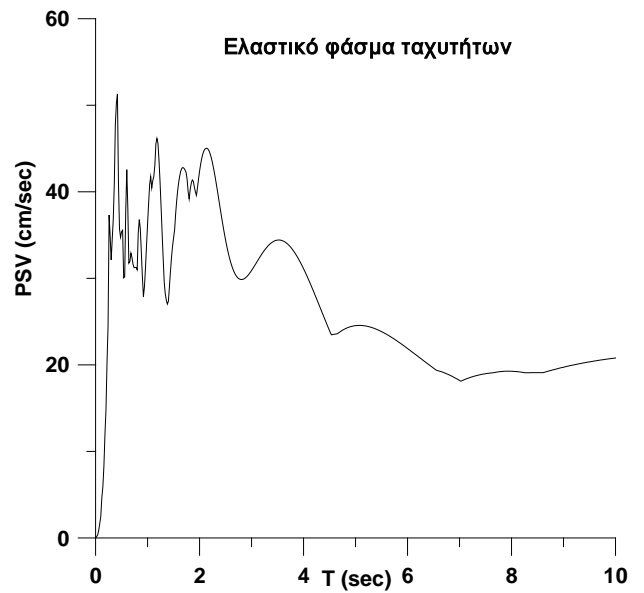
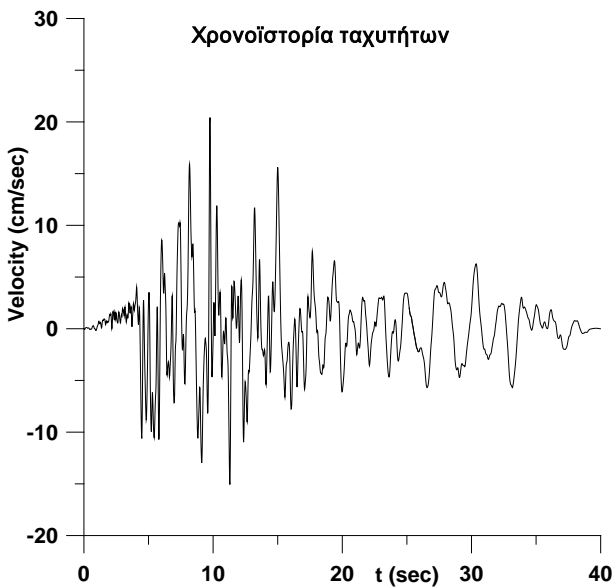
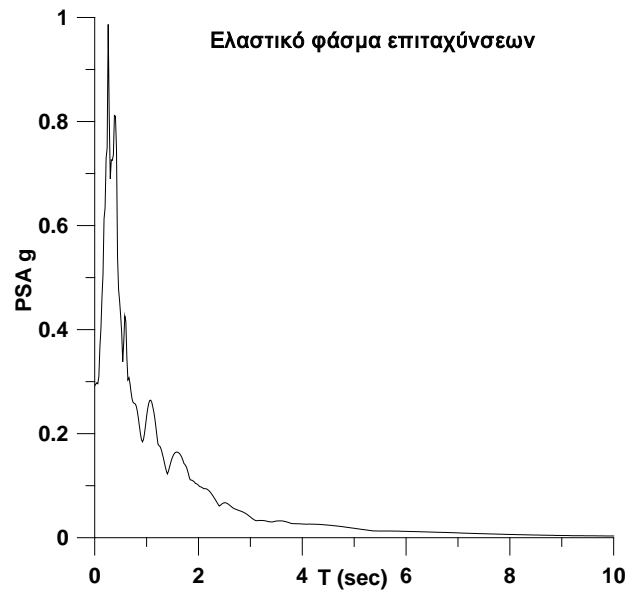
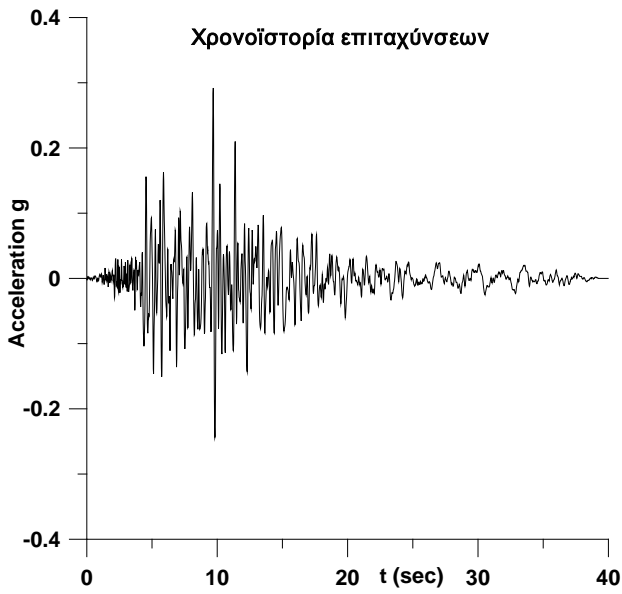
NORTHRIDGE 01/17/94, MALIBU PT DUME, deg.360, Lat. 34.013, Long.-118.800
PGA (g)= 0.084 PGV (cm/s)= 8.9 PGD (cm) = 1.79



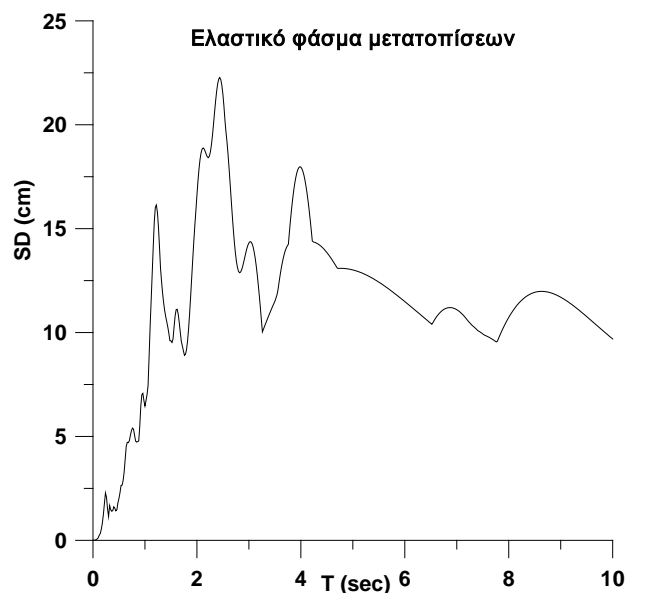
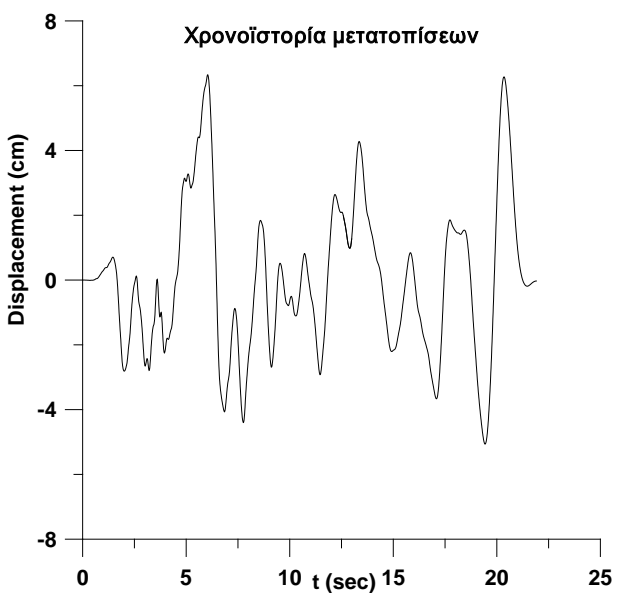
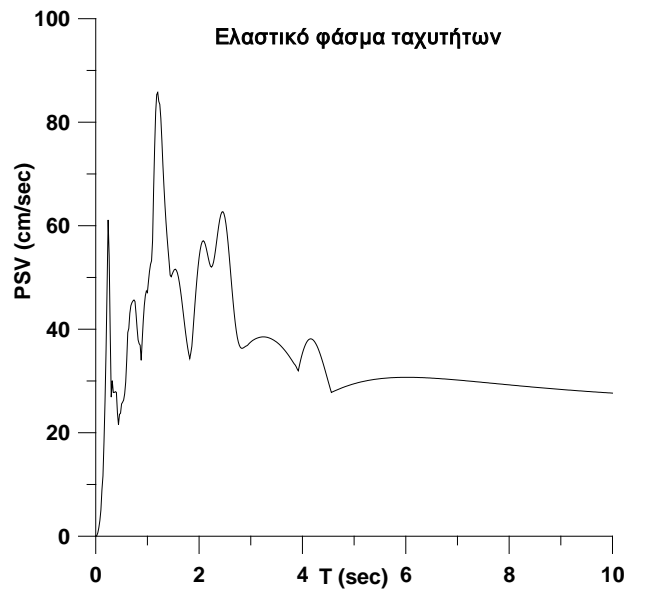
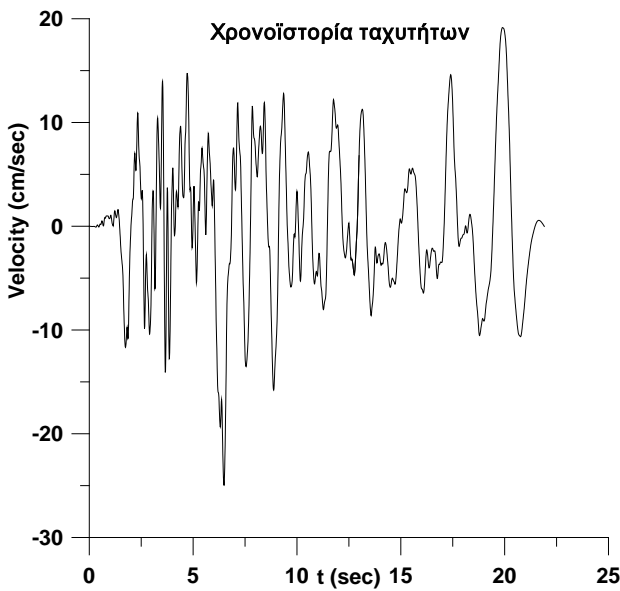
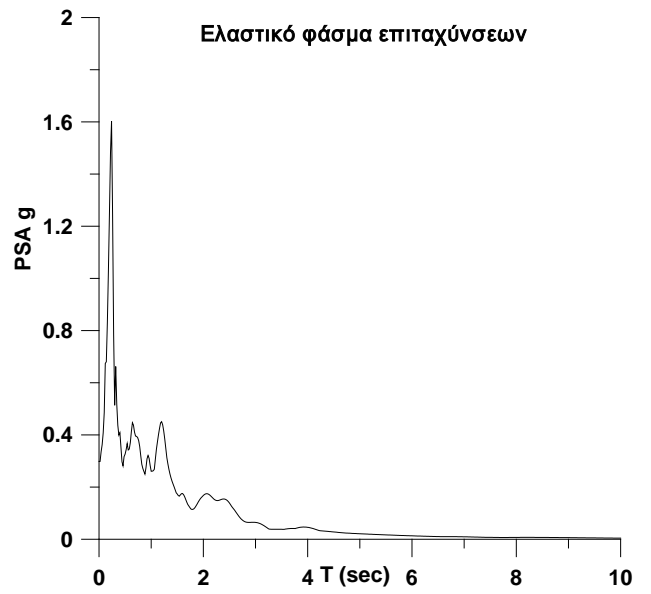
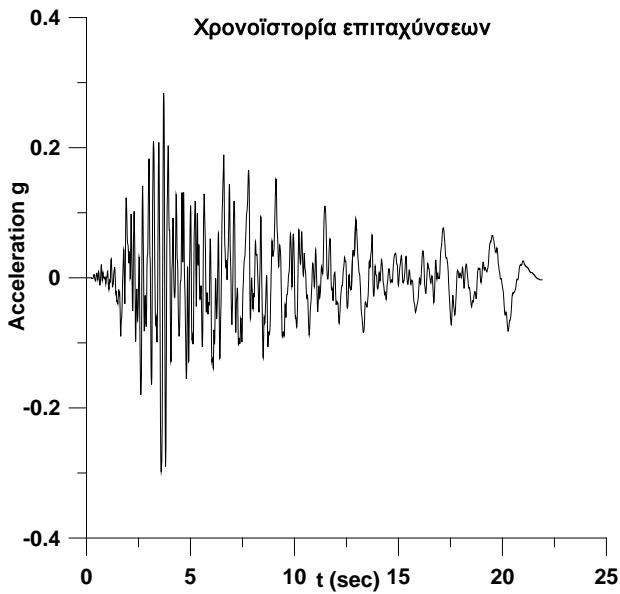
NORTHRIDGE 01/17/94, MOORPARK, deg.090, Lat. 34.288, Long.-118.881
PGA (g)= 0.193 PGV (cm/s)= 20.2 PGD (cm) = 4.79



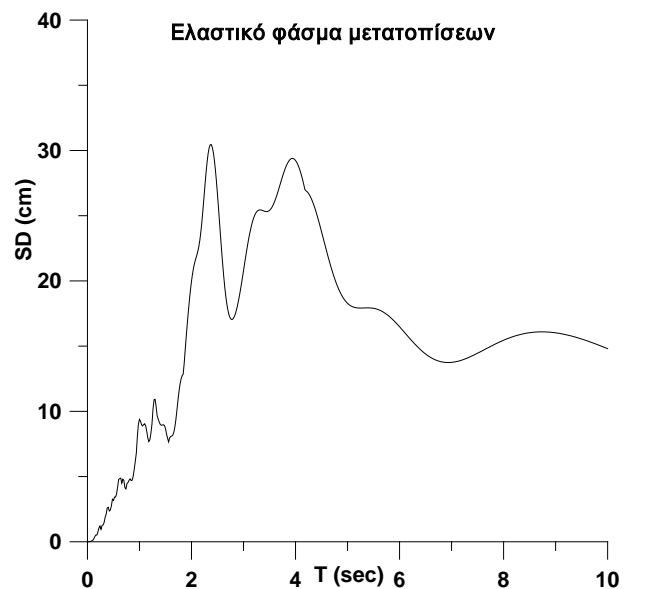
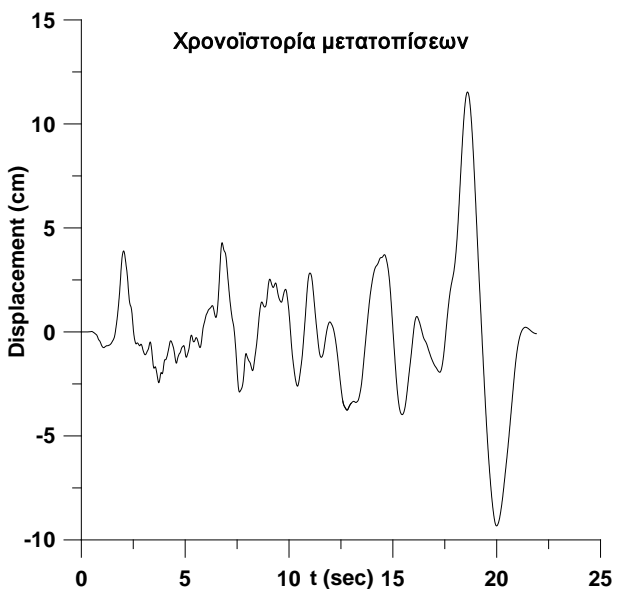
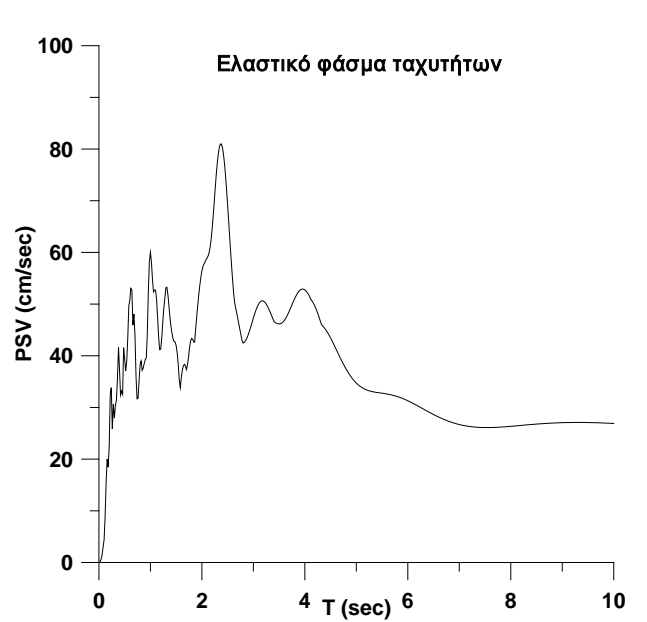
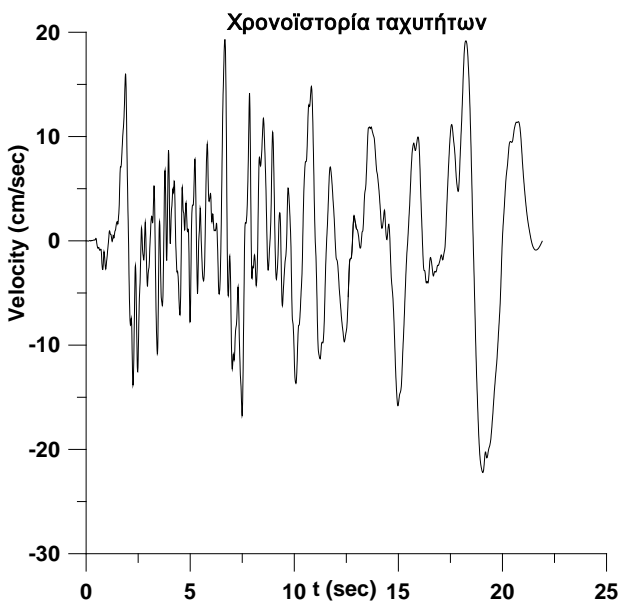
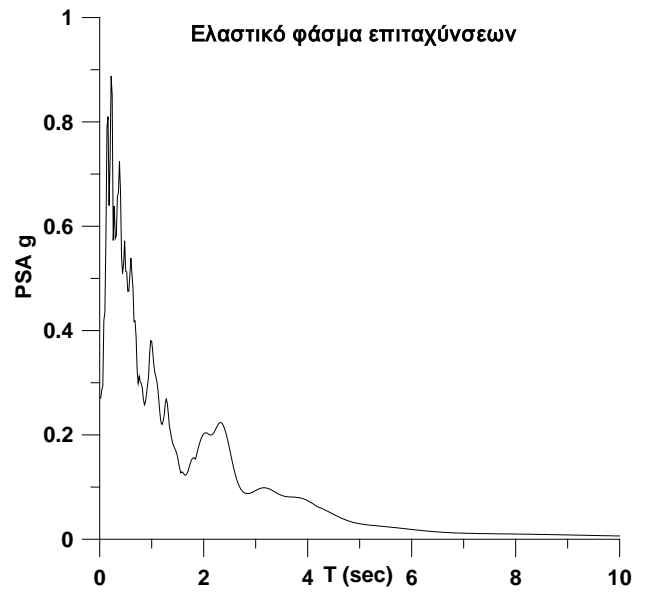
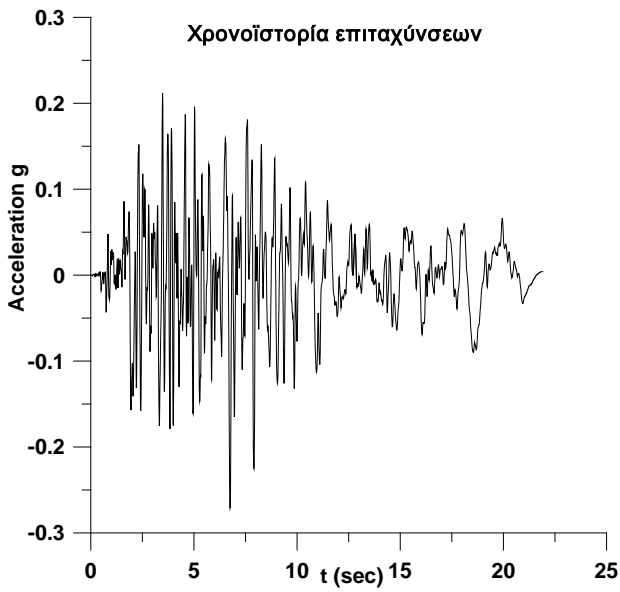
NORTHRIDGE 01/17/94, MOORPARK, deg.180, Lat. 34.288, Long.-118.881
PGA (g)= 0.292 PGV (cm/s)= 20.7 PGD (cm) = 4.24



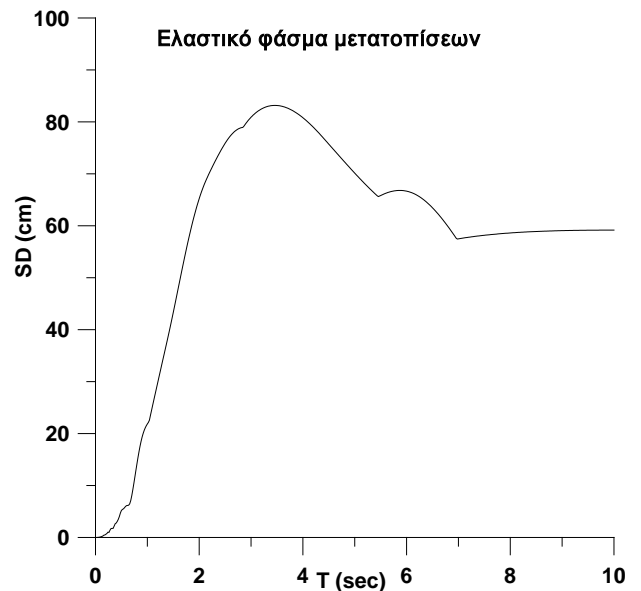
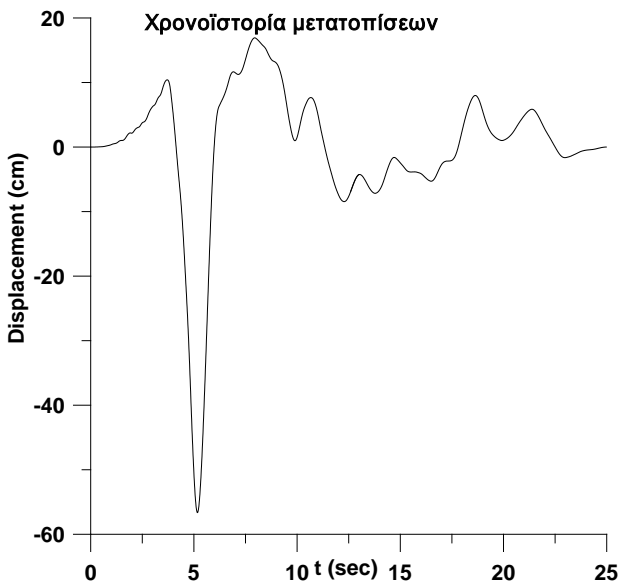
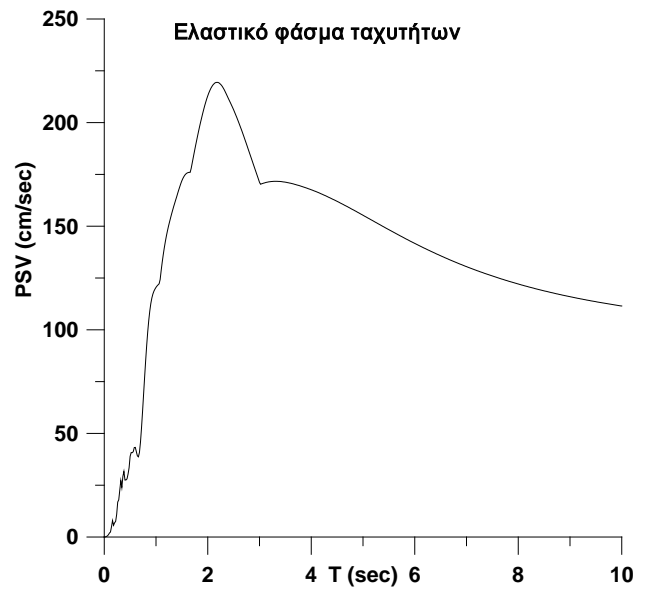
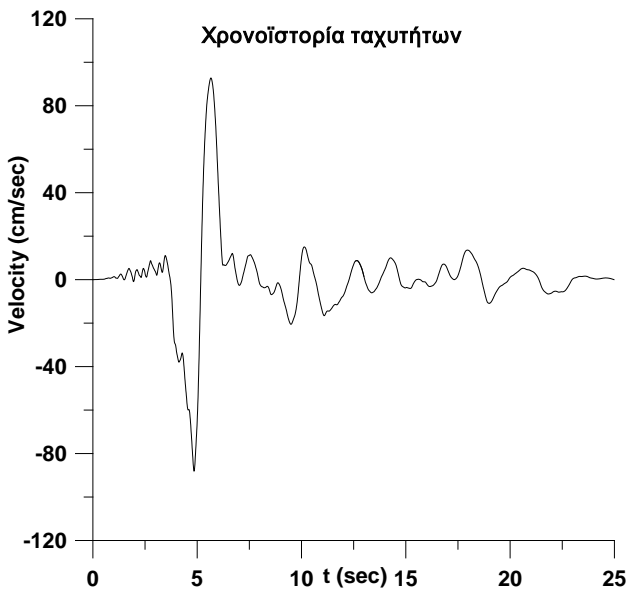
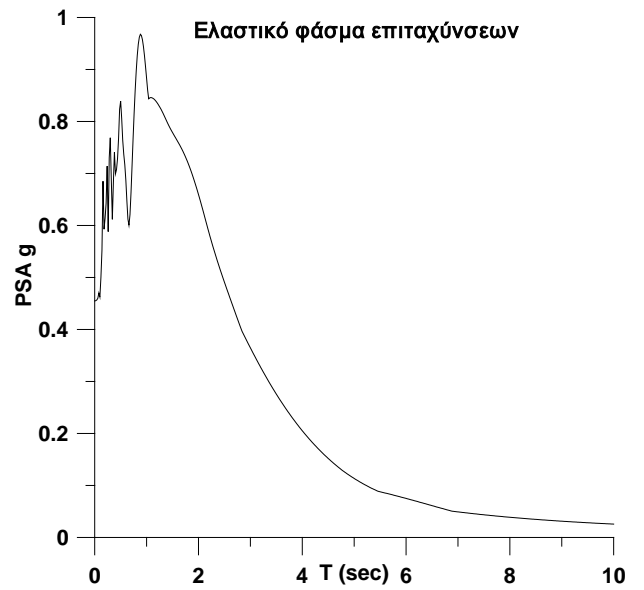
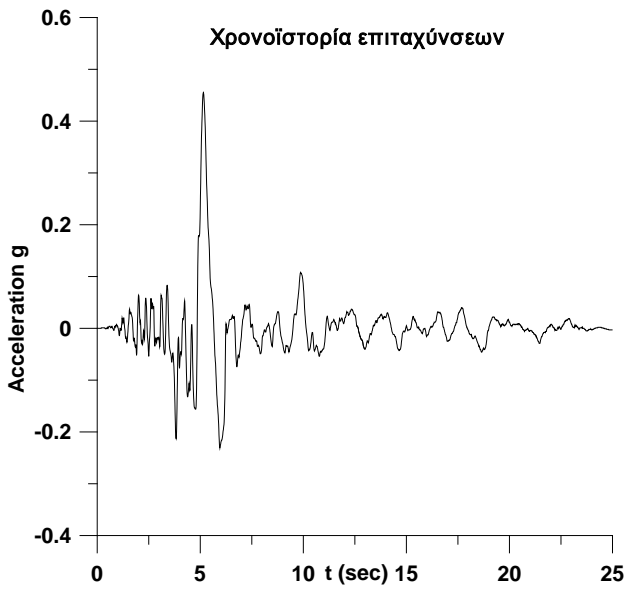
NORTHRIDGE 01/17/94, N HOLLYWOOD - COLDWATER CANYON, deg.180,
Lat. 34.194, Long.-118.412 PGA (g)= 0.298 PGV (cm/s)= 25 PGD (cm) = 6.46



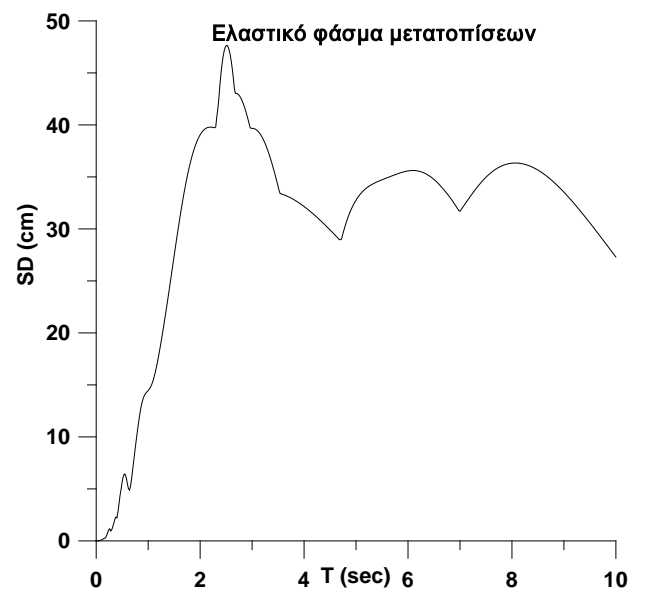
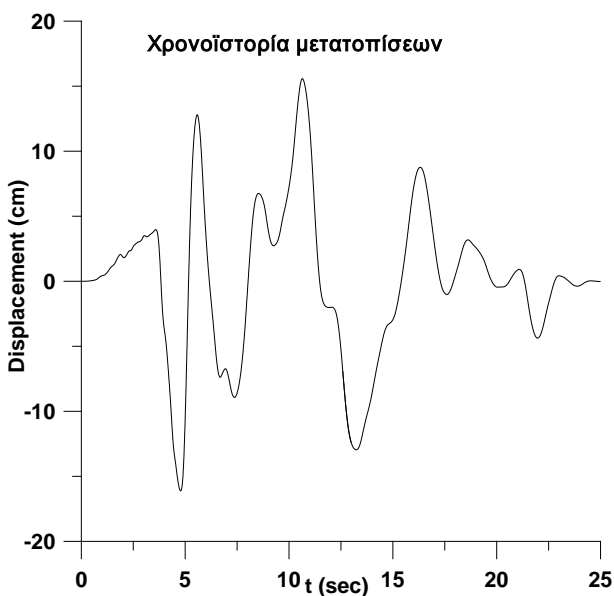
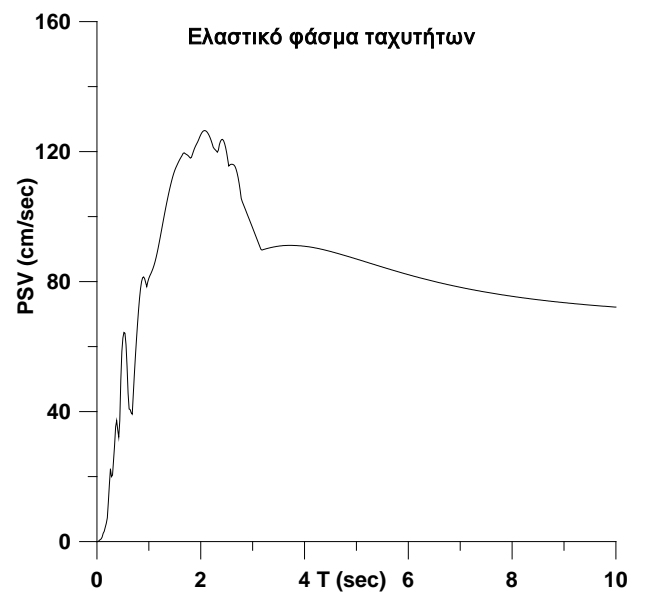
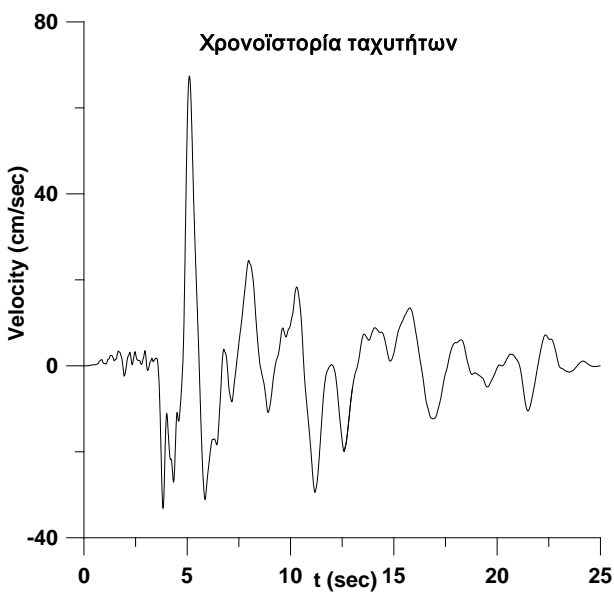
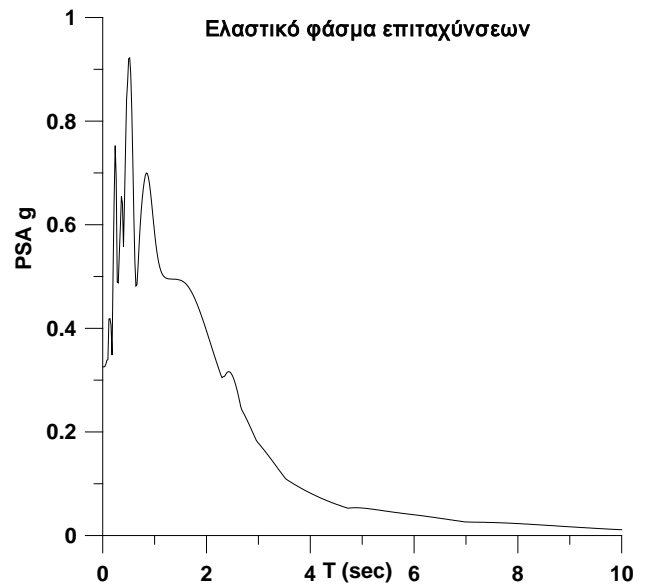
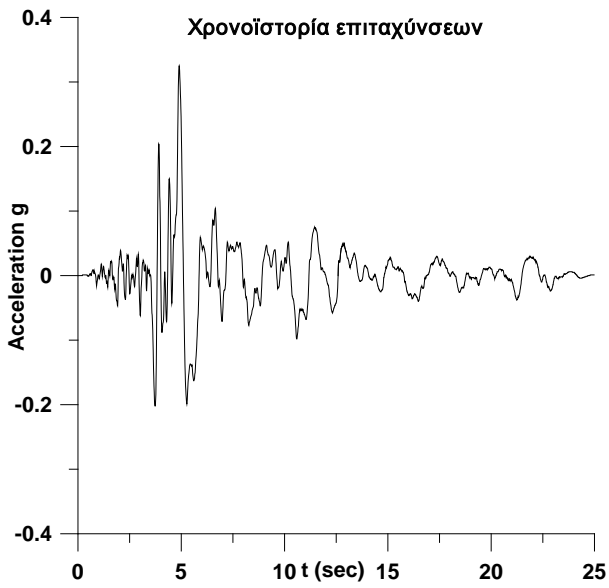
NORTHRIDGE 01/17/94, N HOLLYWOOD - COLDWATER CANYON, deg.270,
Lat. 34.194, Long.-118.412 PGA (g)= 0.271 PGV (cm/s)= 22.2 PGD (cm) = 11.69



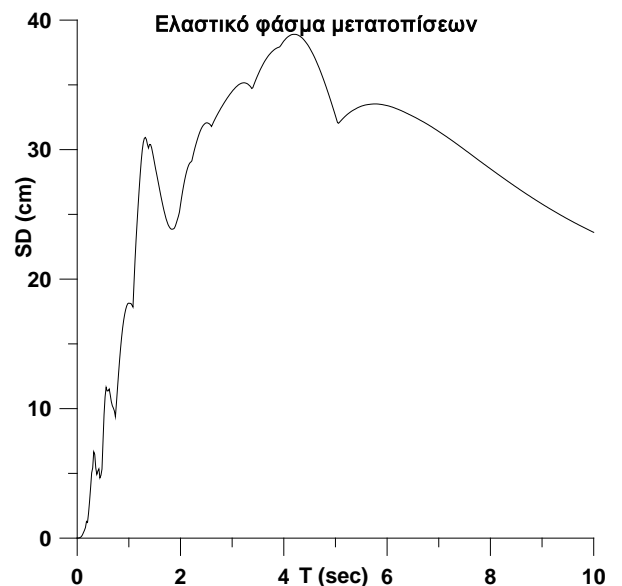
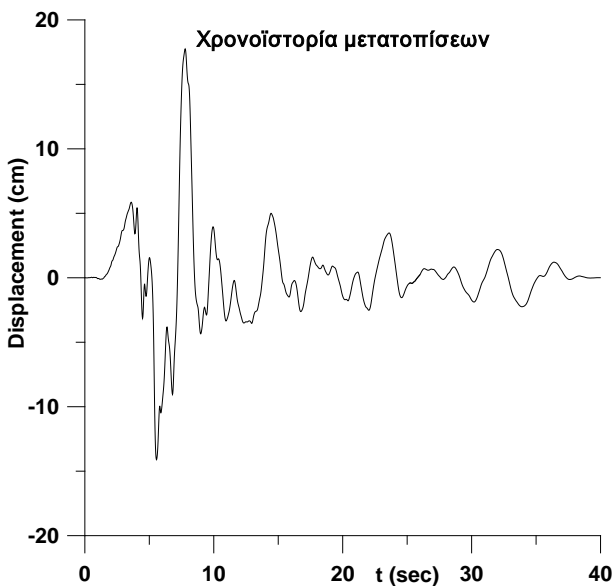
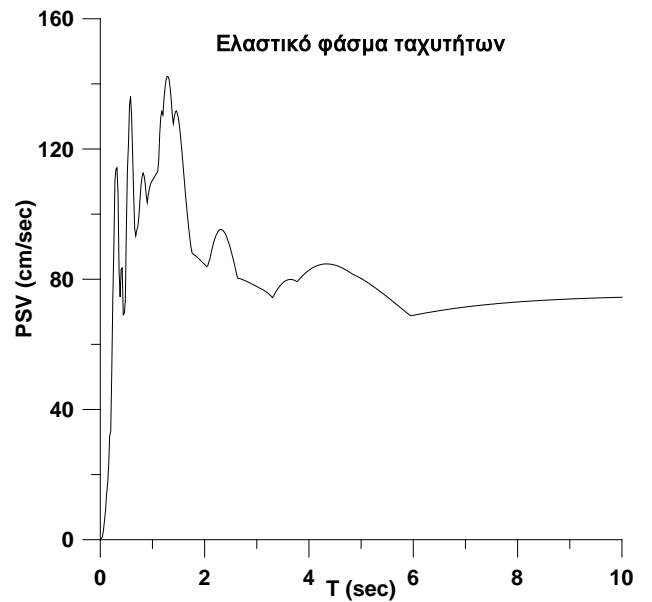
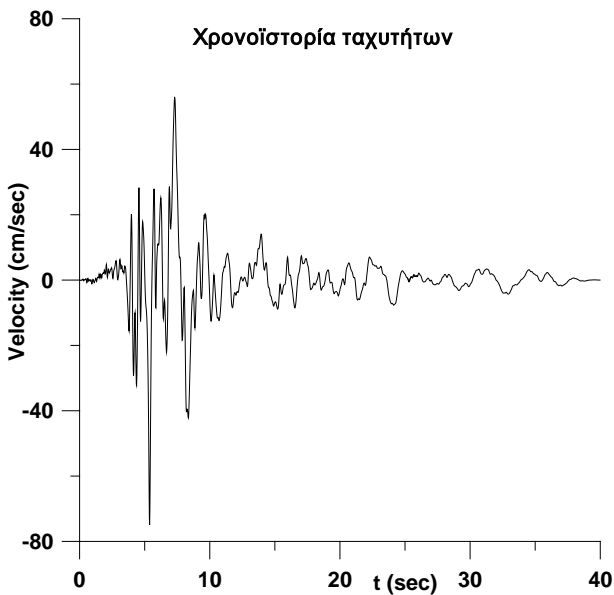
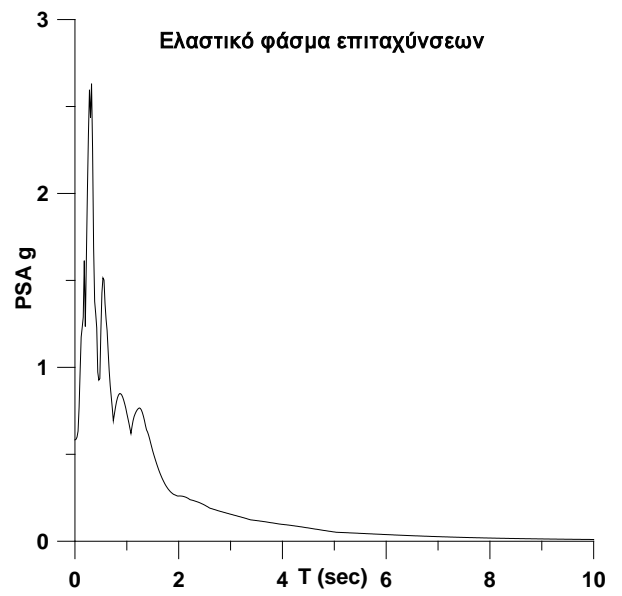
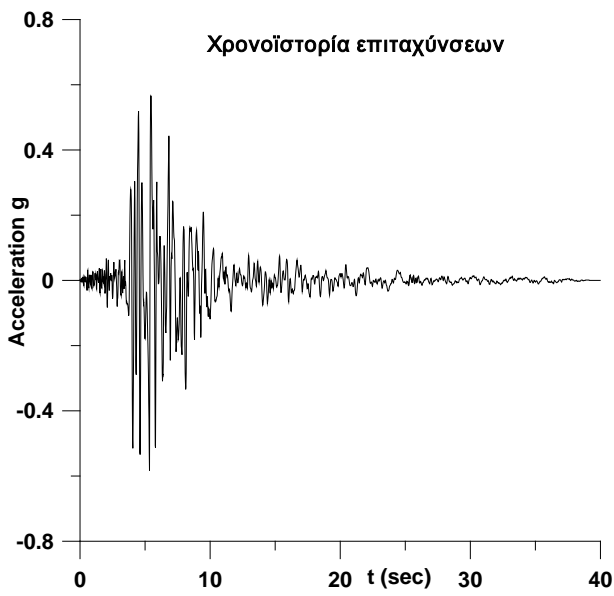
NORTHRIDGE 01/17/94, NEWHALL - W PICO CANYON, deg.046, Lat. 34.391,
Long.-118.622 PGA (g)= 0.455 PGV (cm/s)= 92.8 PGD (cm) = 56.64



NORTHRIDGE 01/17/94, NEWHALL - W PICO CANYON, deg.316, Lat. 34.391,
Long.-118.622 PGA (g)= 0.325 PGV (cm/s)= 67.4 PGD (cm) = 16.11

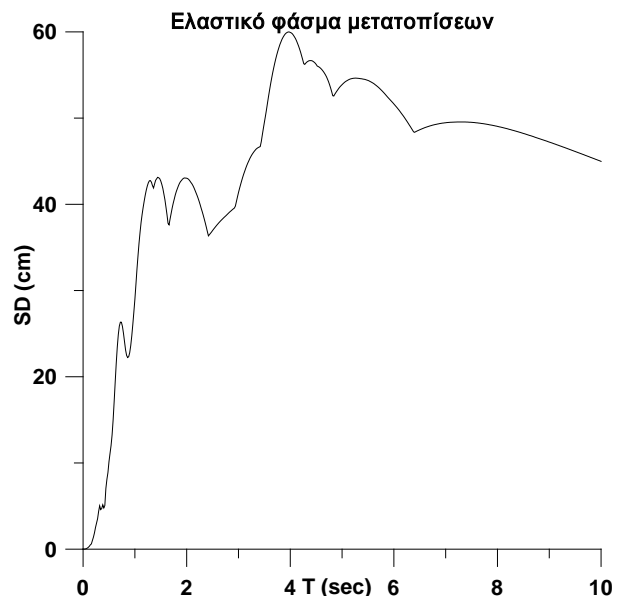
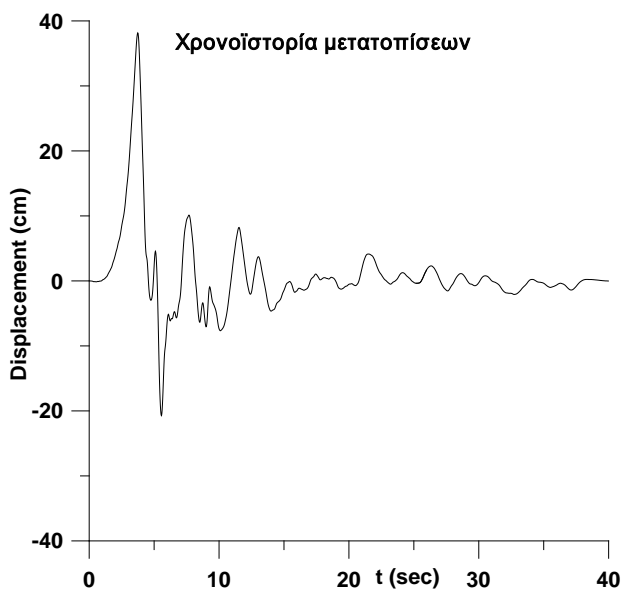
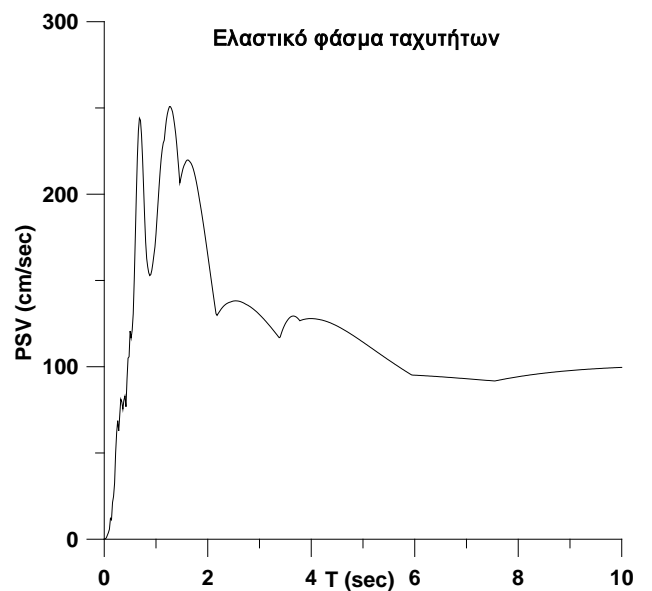
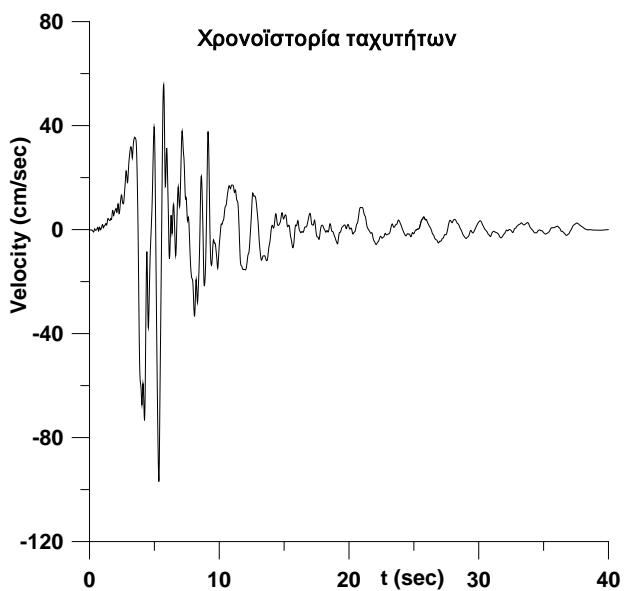
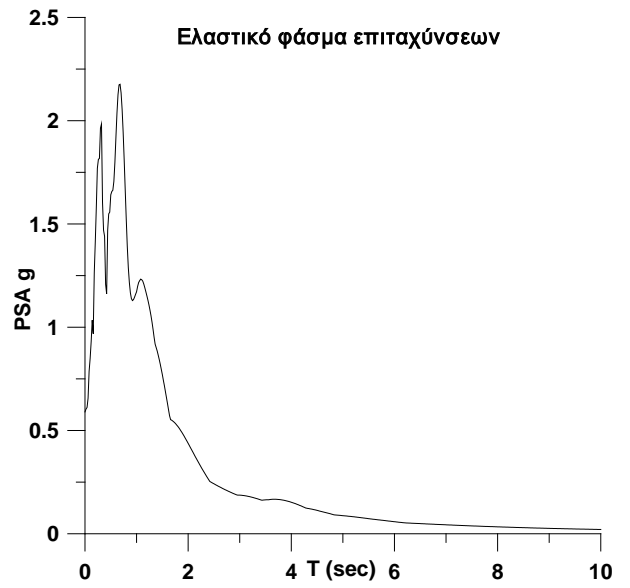
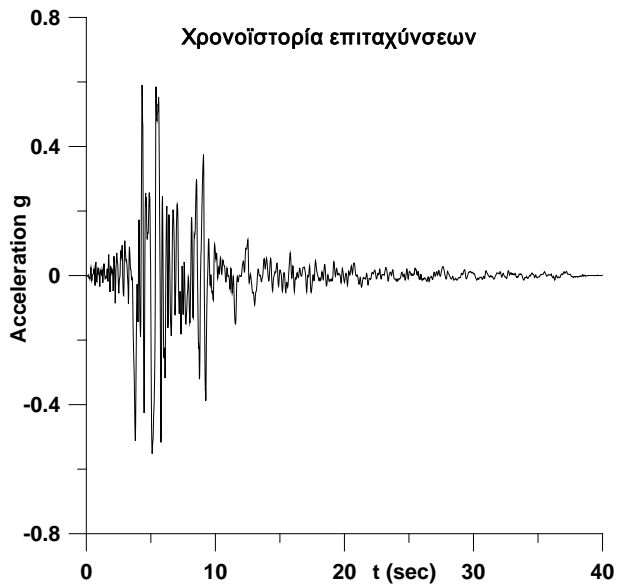


NORTHRIDGE 01/17/94, NEWHALL, deg.090, Lat. 34.387, Long.-118.530
PGA (g)= 0.583 PGV (cm/s)= 75.5 PGD (cm) = 17.57

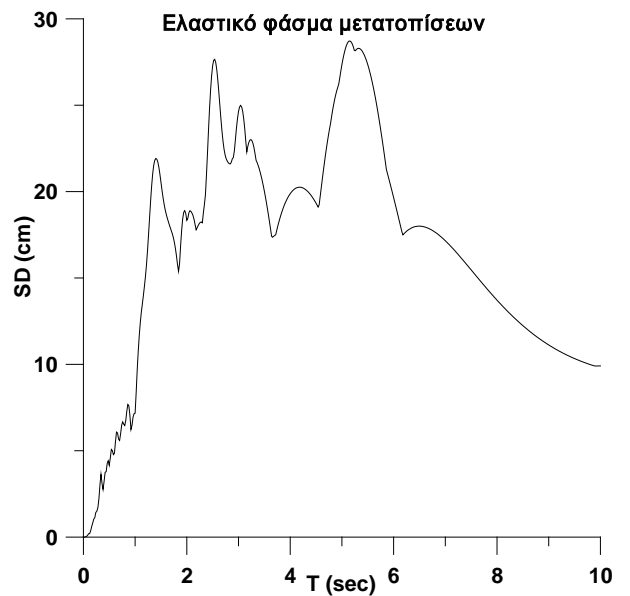
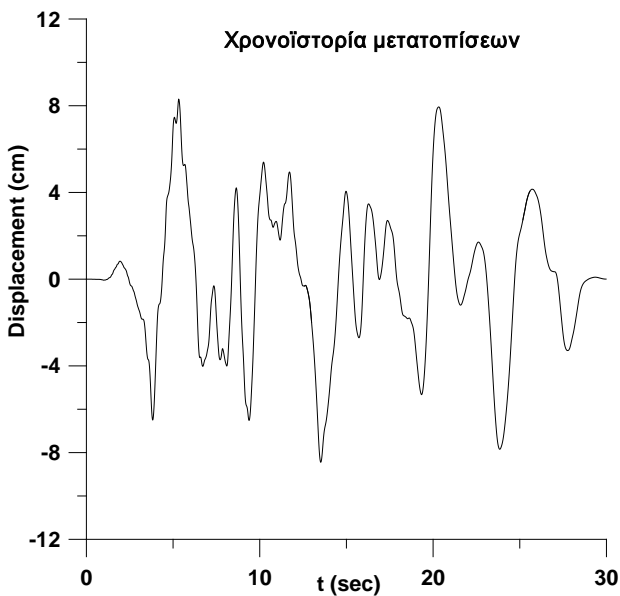
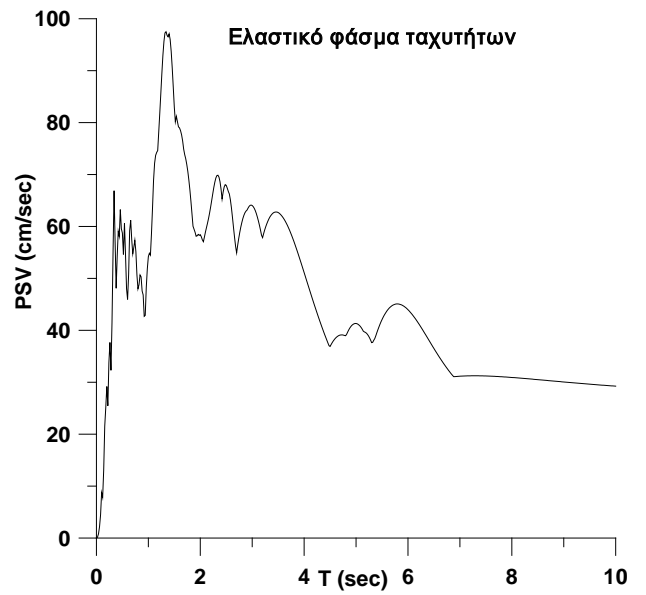
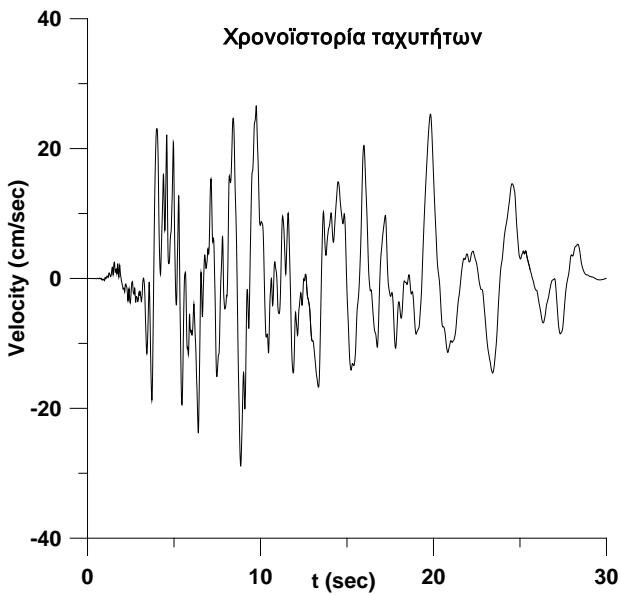
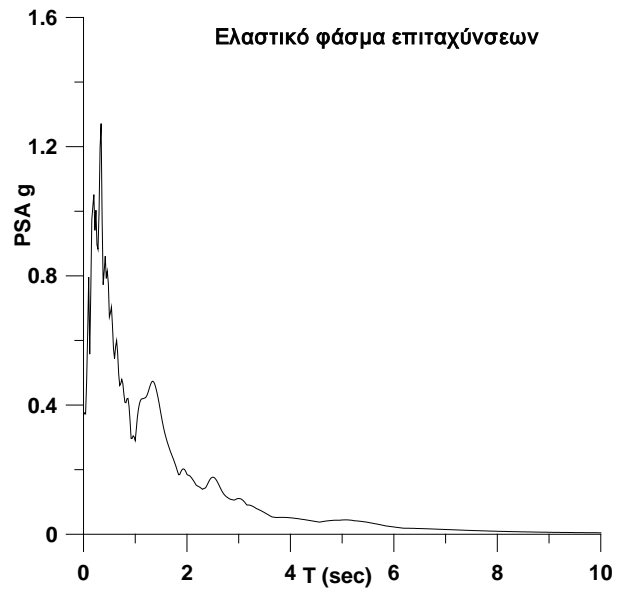


NORTHRIDGE 01/17/94, NEWHALL, deg.360, Lat. 34.387, Long.-118.530

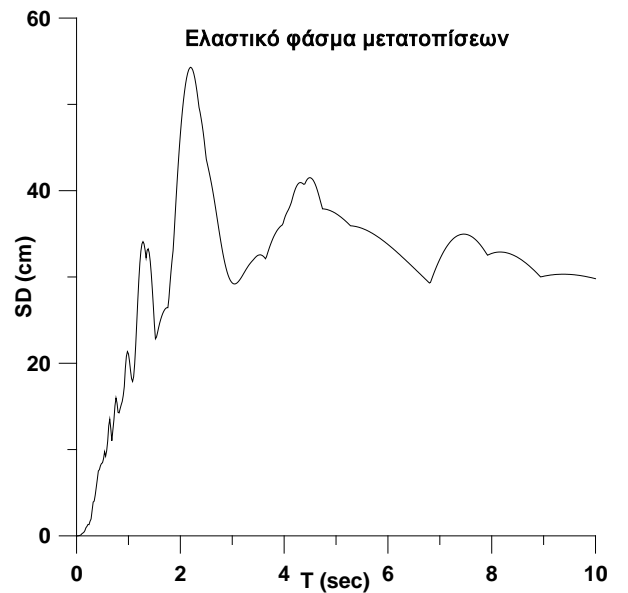
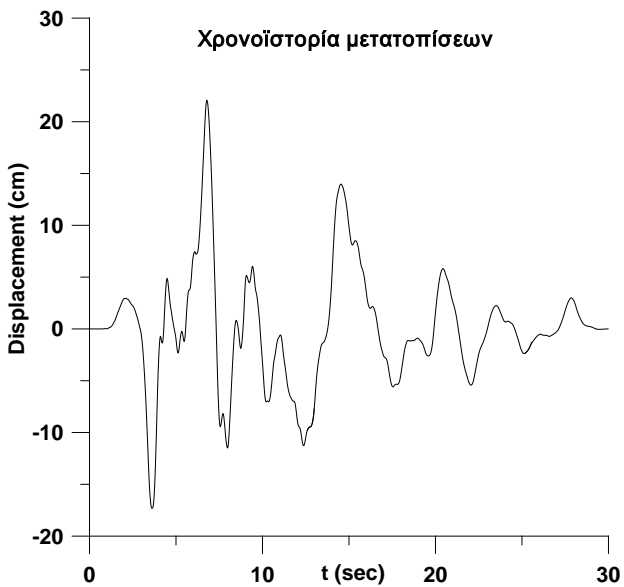
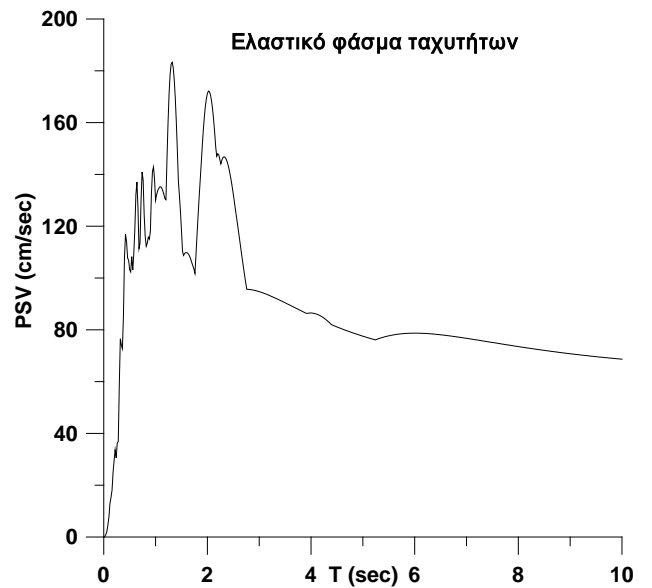
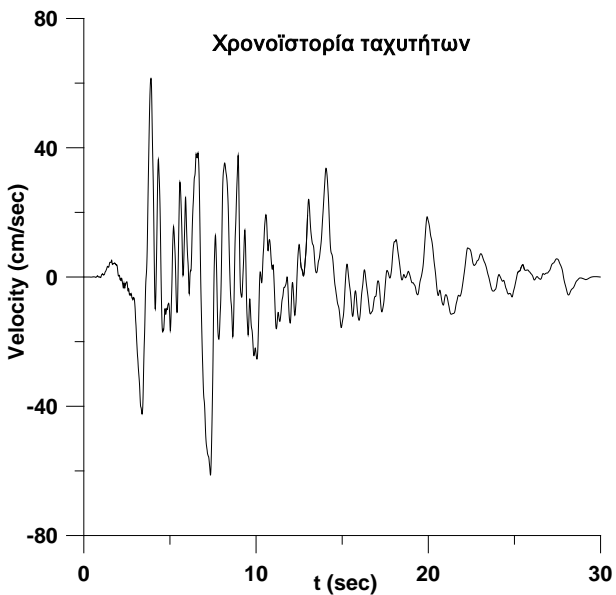
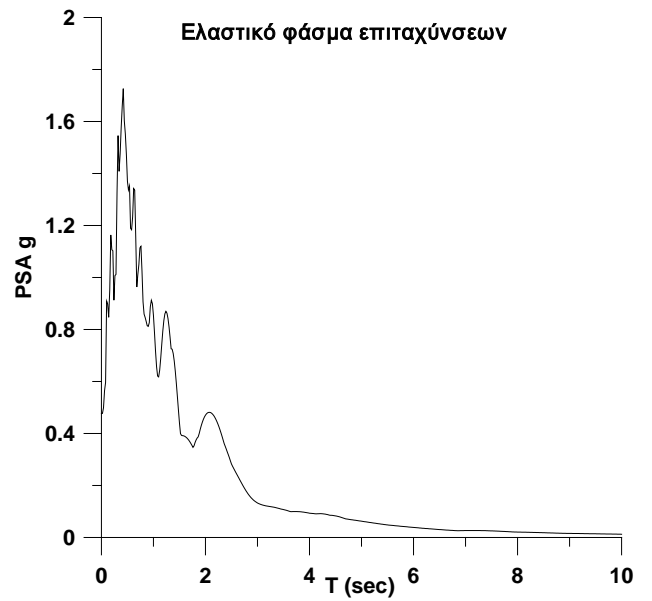
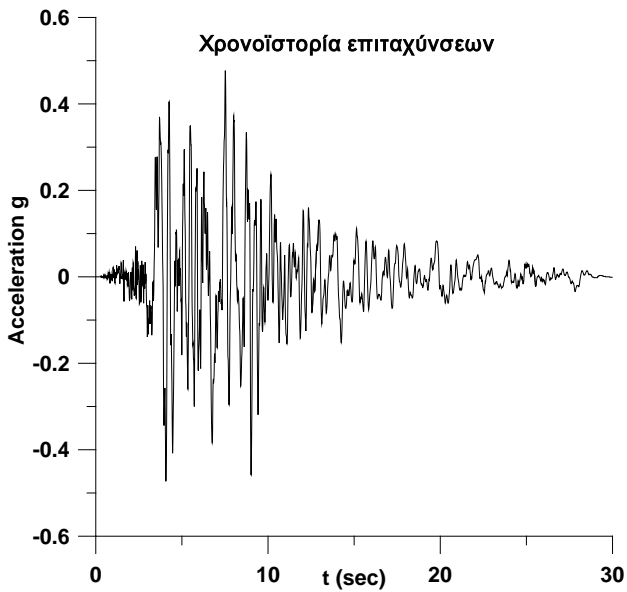
PGA (g)= 0.59 PGV (cm/s)= 97.2 PGD (cm) = 38.05



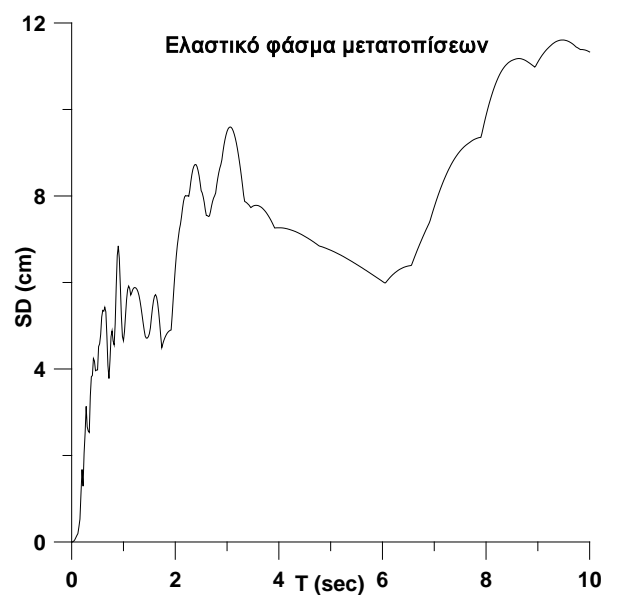
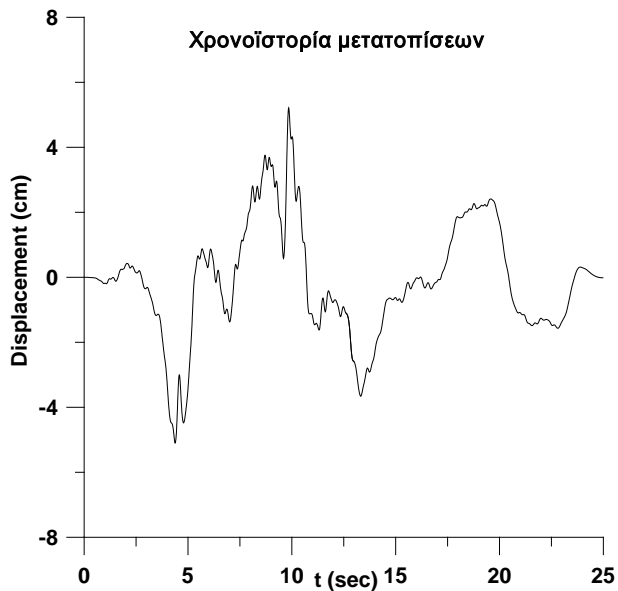
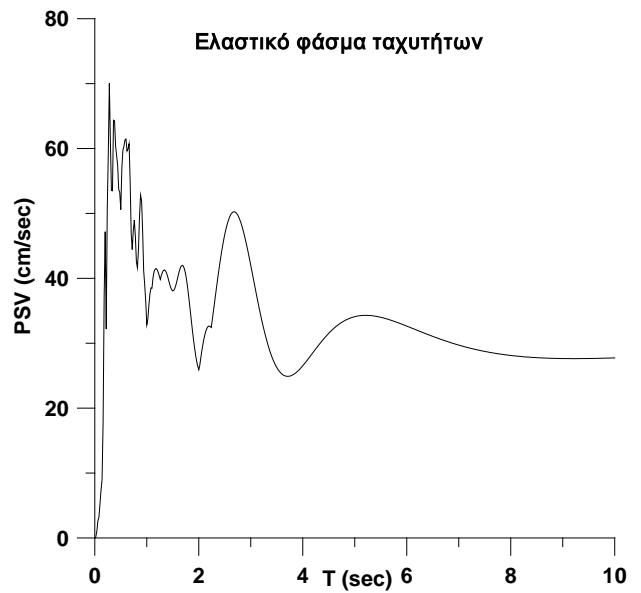
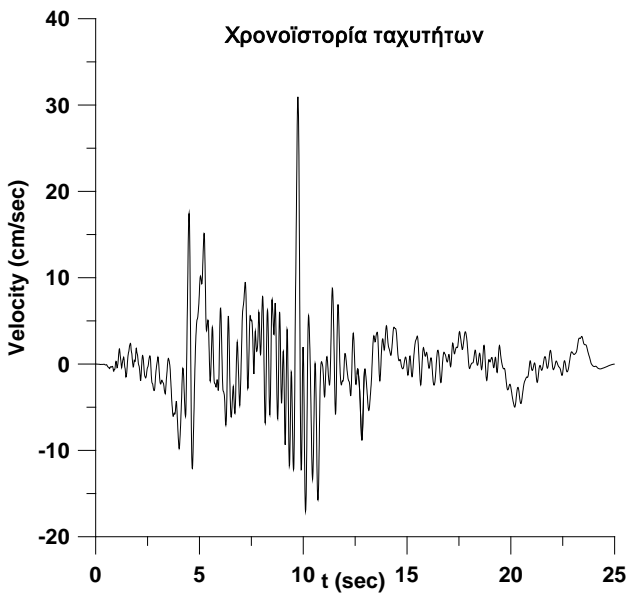
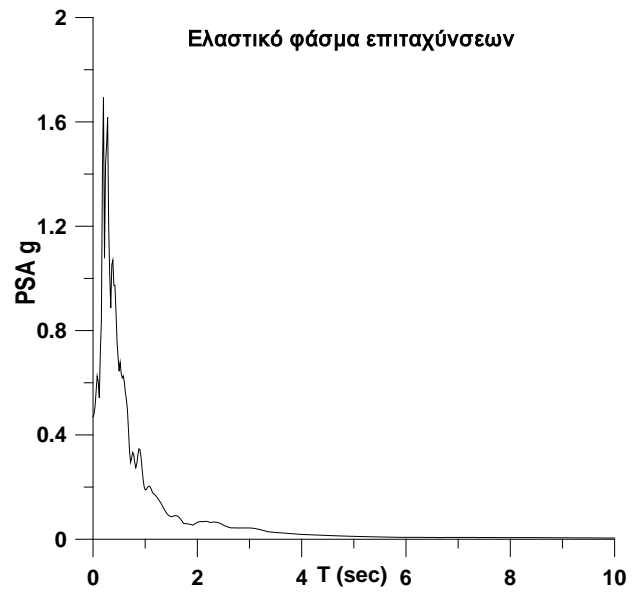
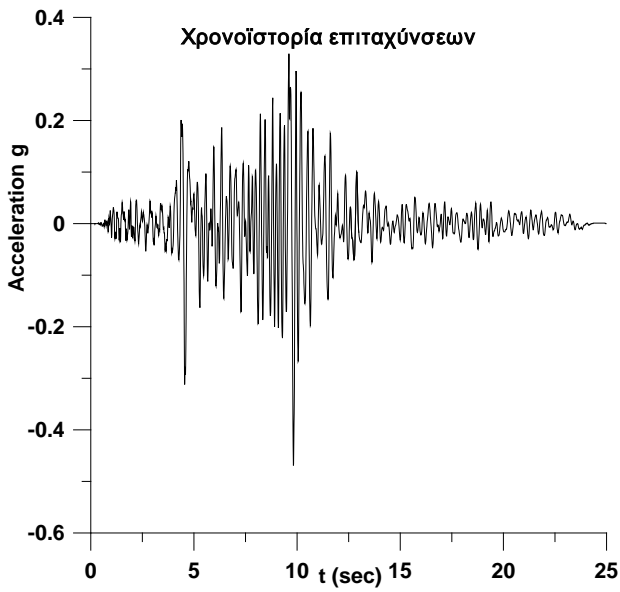
NORTHRIDGE 01/17/94, NORTHRIDGE - SATICOY, deg.090, Lat. 34.209,
Long.-118.517 PGA (g)= 0.368 PGV (cm/s)= 28.9 PGD (cm) = 8.44



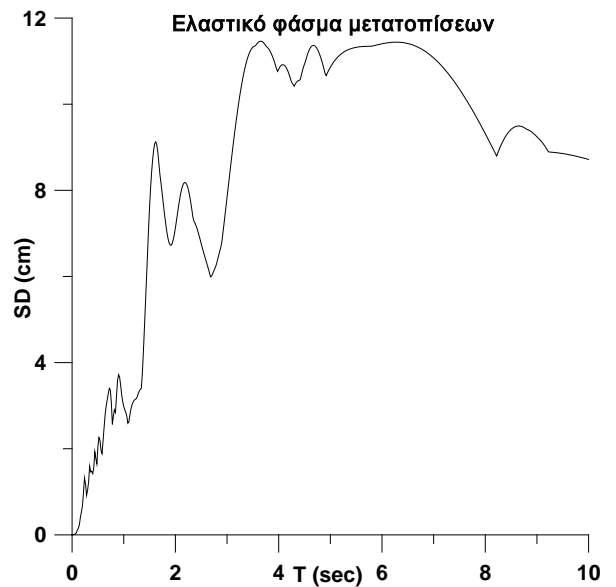
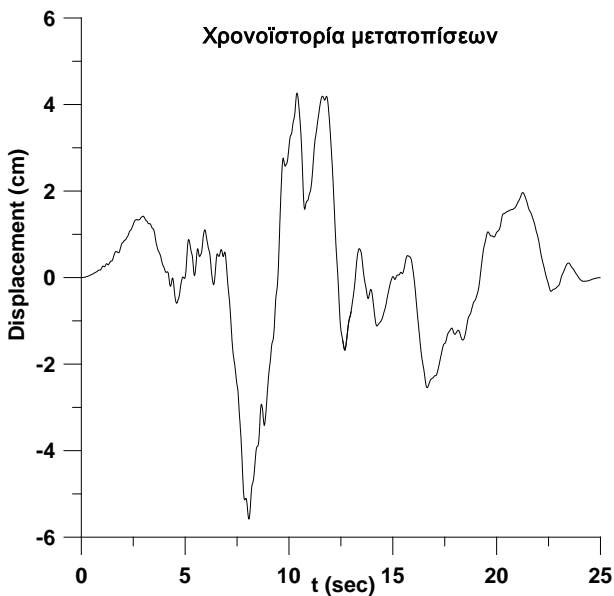
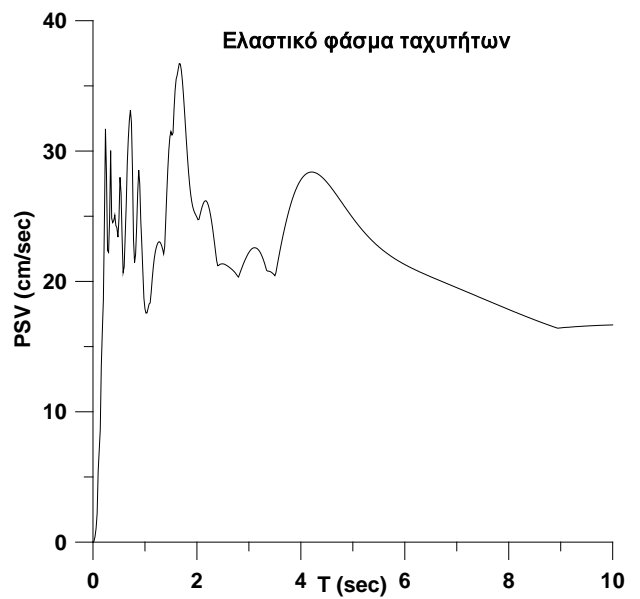
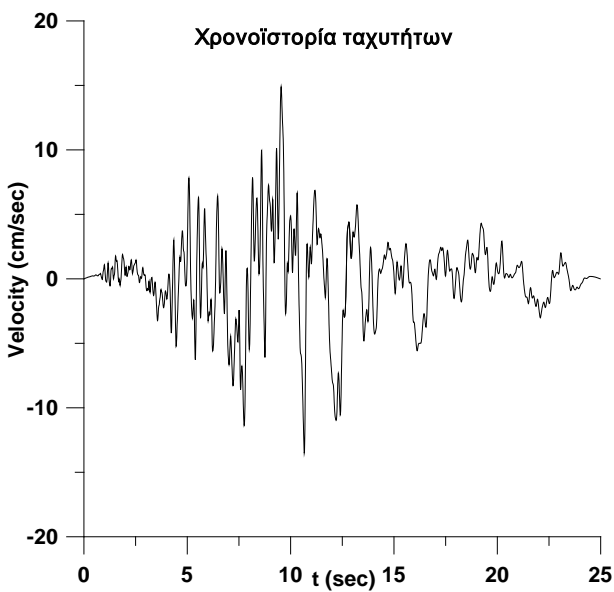
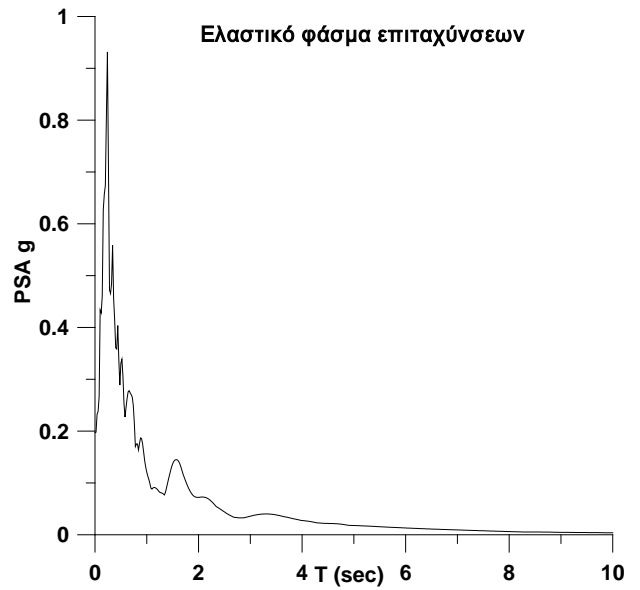
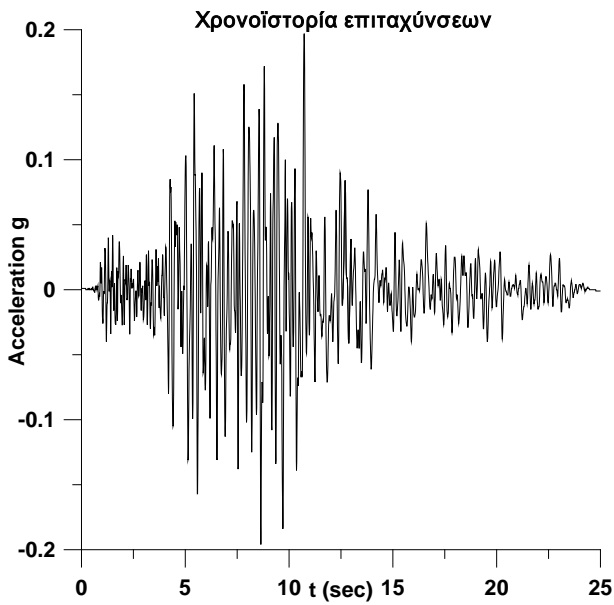
NORTHRIDGE 01/17/94, NORTHRIDGE - SATICOY, deg.180, Lat. 34.209,
Long.-118.517 PGA (g)= 0.477 PGV (cm/s)= 61.5 PGD (cm) = 22.06



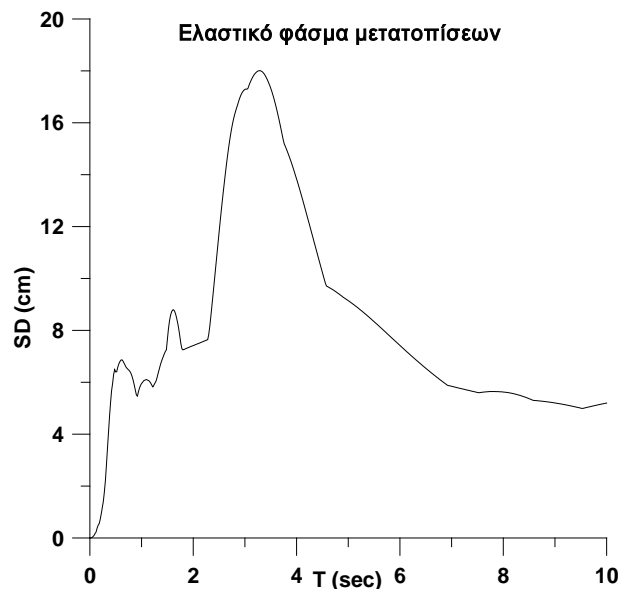
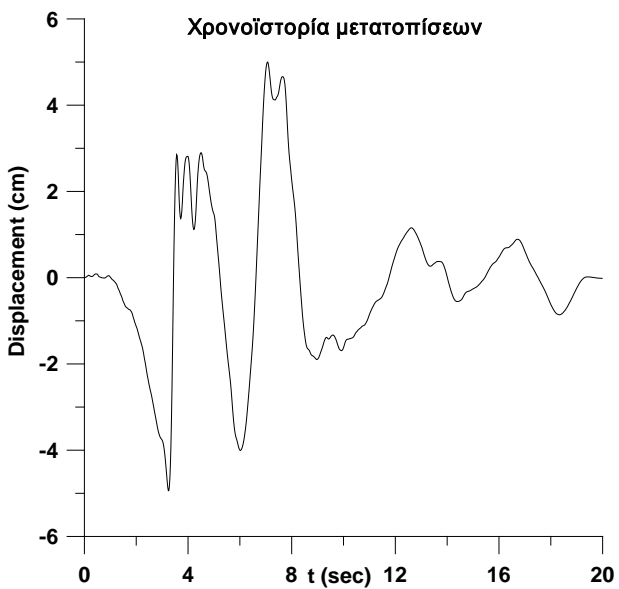
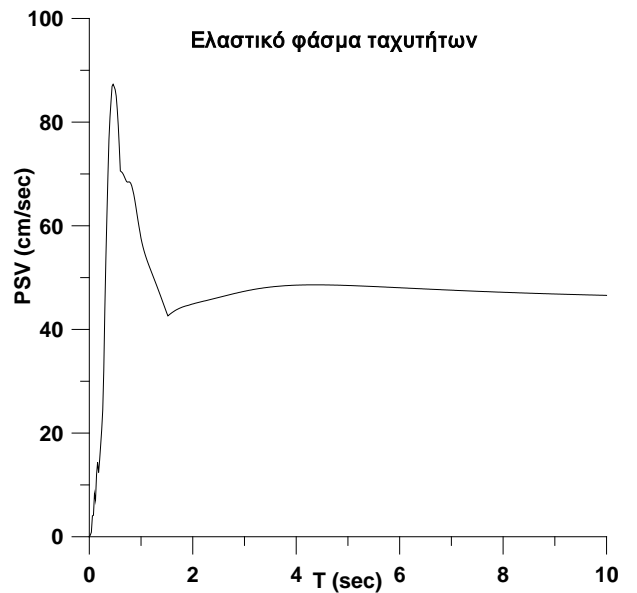
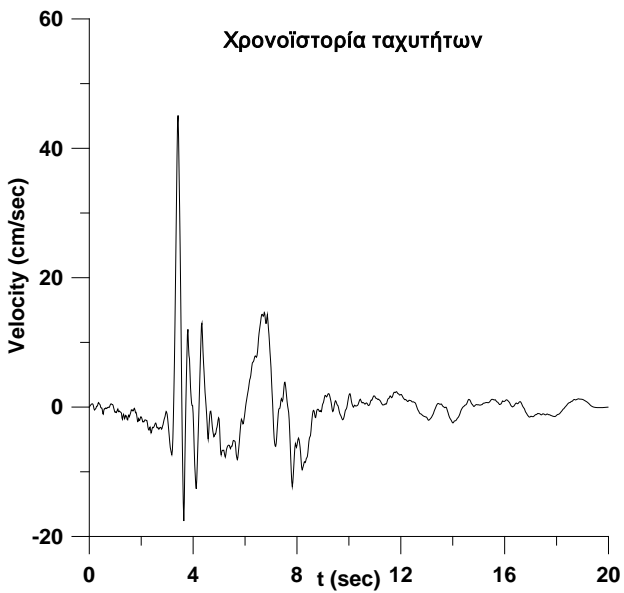
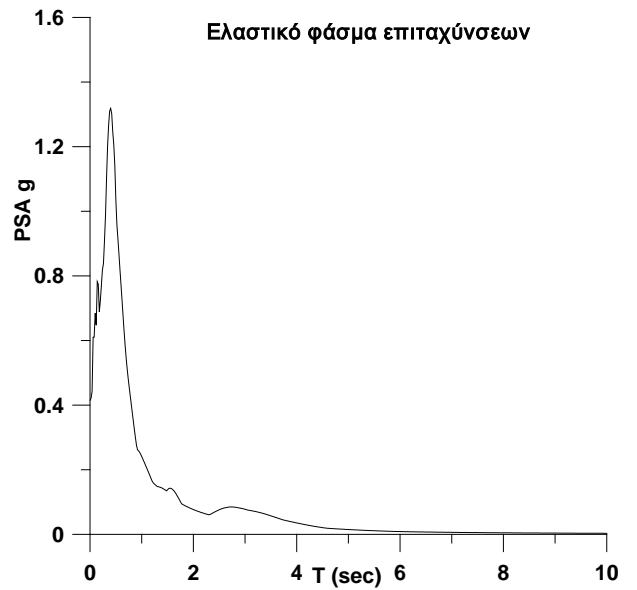
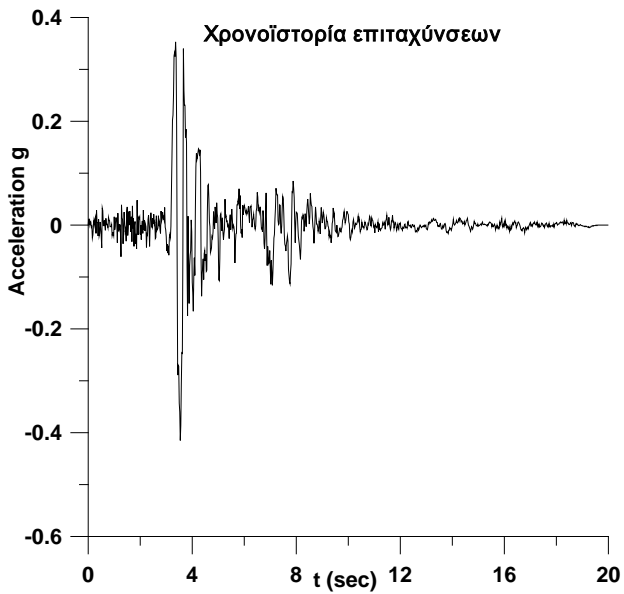
NORTHRIDGE 01/17/94, PACIFIC PALISADES - SUNSET, deg.190, Lat. 34.042,
Long.-118.554 PGA (g)= 0.469 PGV (cm/s)= 31 PGD (cm) = 5.26



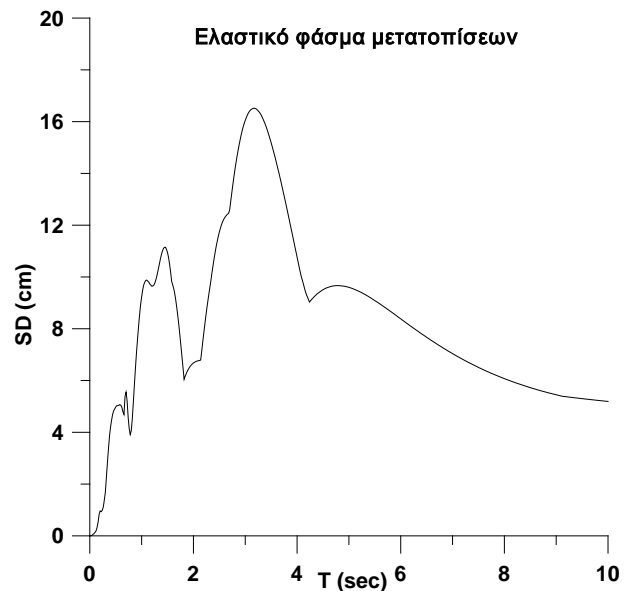
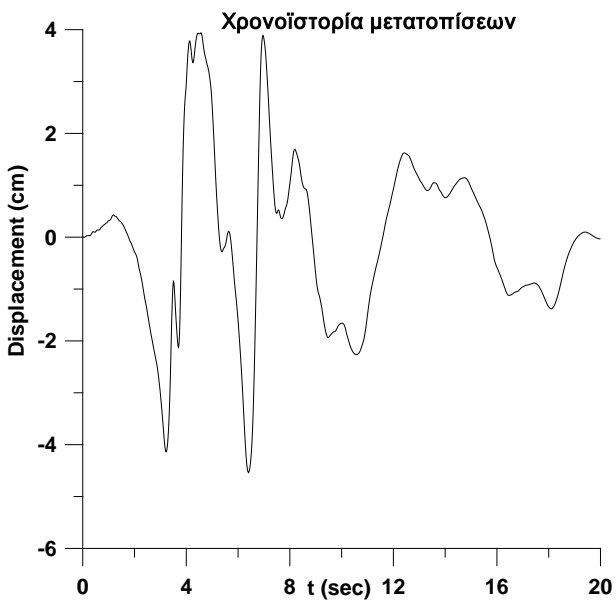
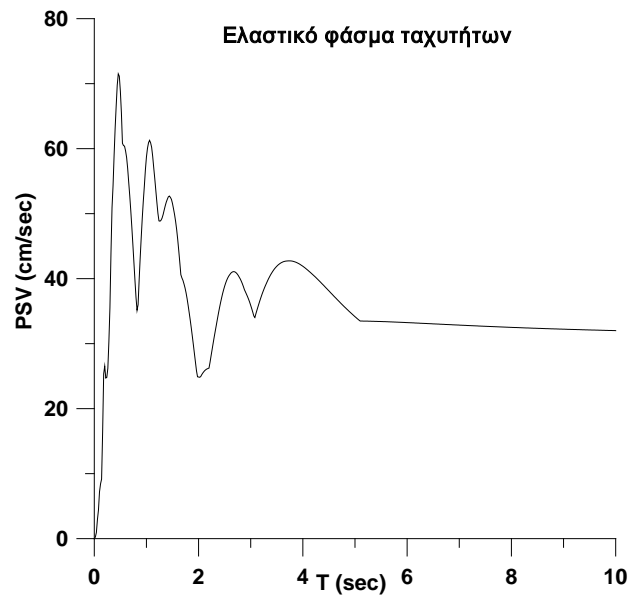
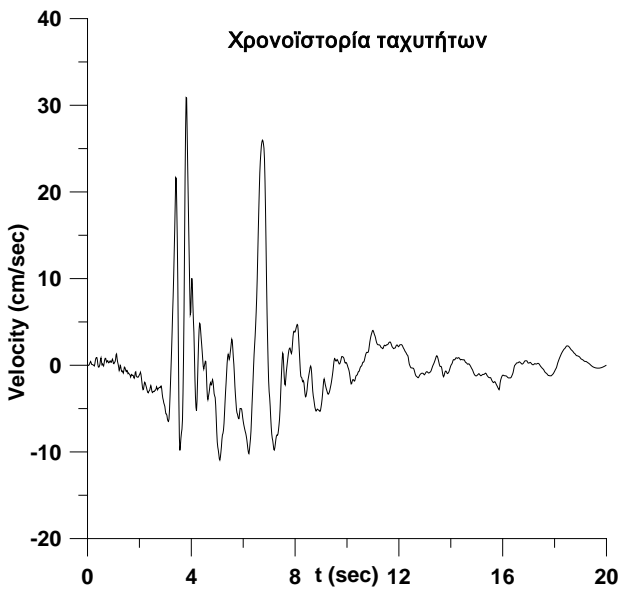
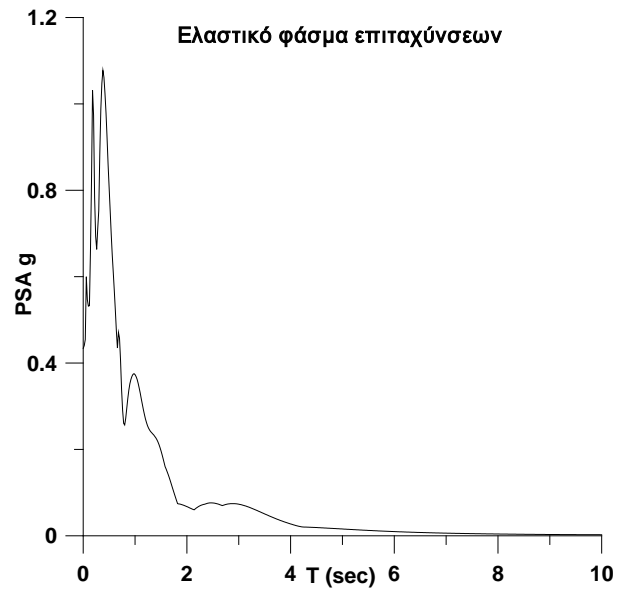
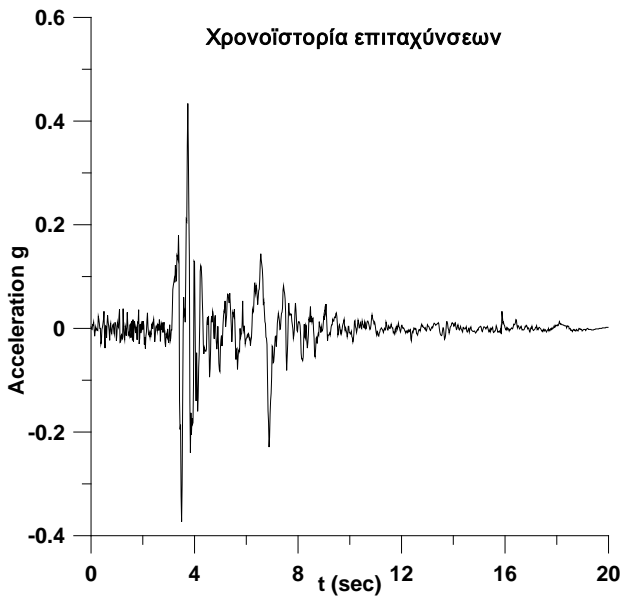
NORTHRIDGE 01/17/94, PACIFIC PALISADES - SUNSET, deg.280, Lat. 34.042,
Long.-118.554 PGA (g)= 0.197 PGV (cm/s)= 14.9 PGD (cm) = 5.62



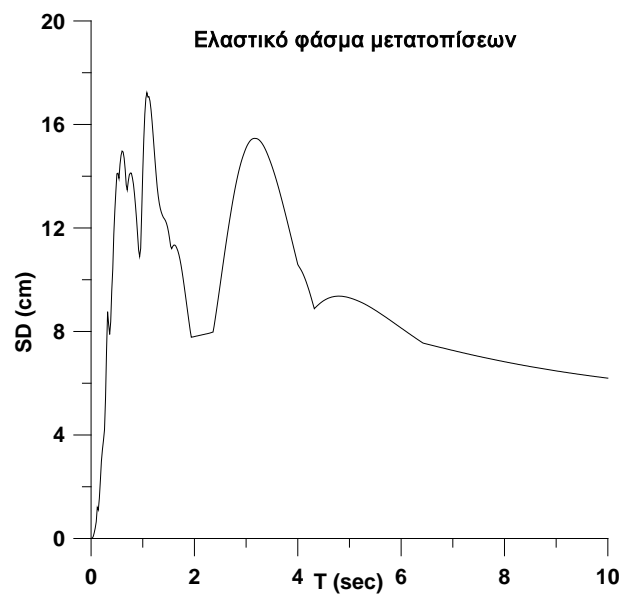
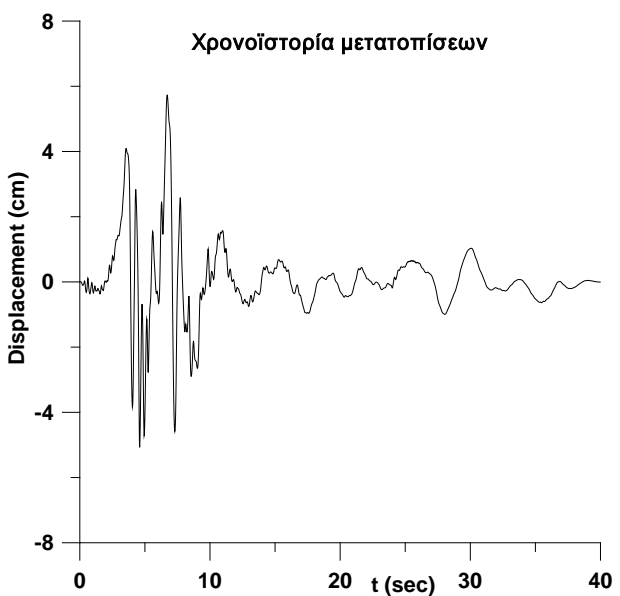
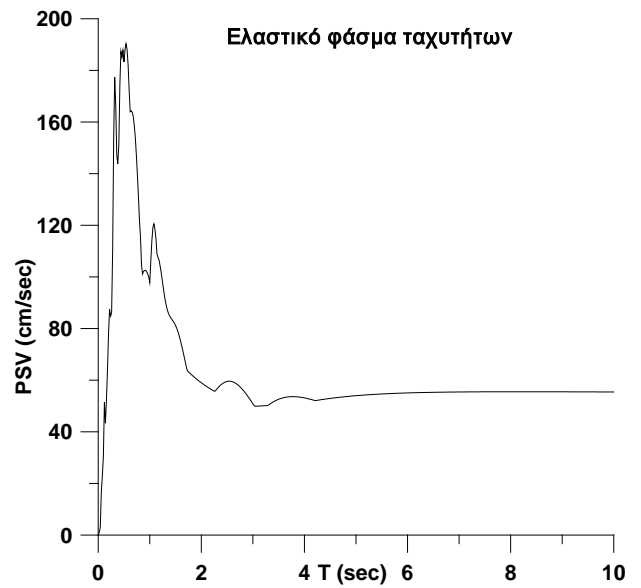
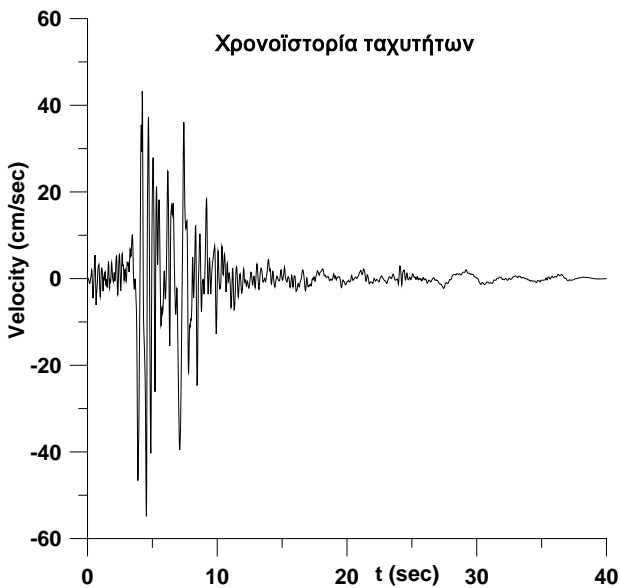
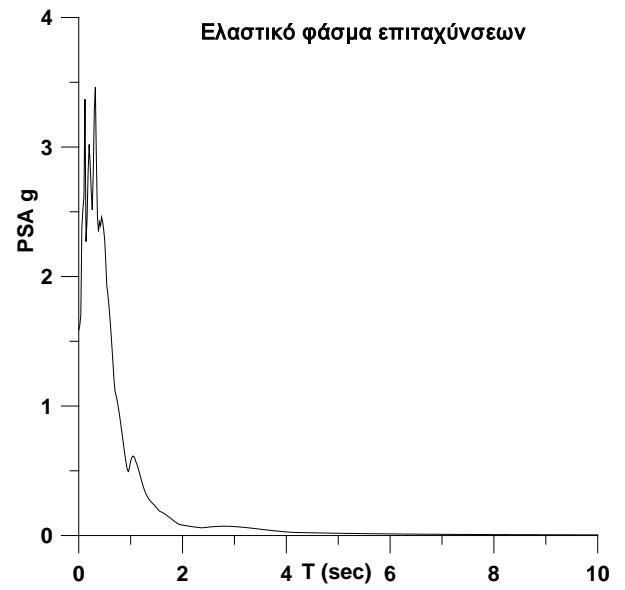
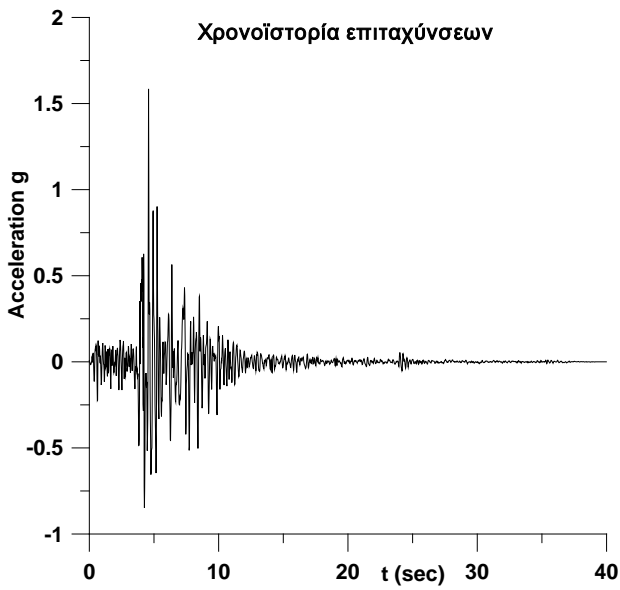
NORTHRIDGE 01/17/94, PACOIMA DAM, deg.175, Lat. 34.334, Long.-118.396
PGA (g)= 0.415 PGV (cm/s)= 45.6 PGD (cm) = 5.06



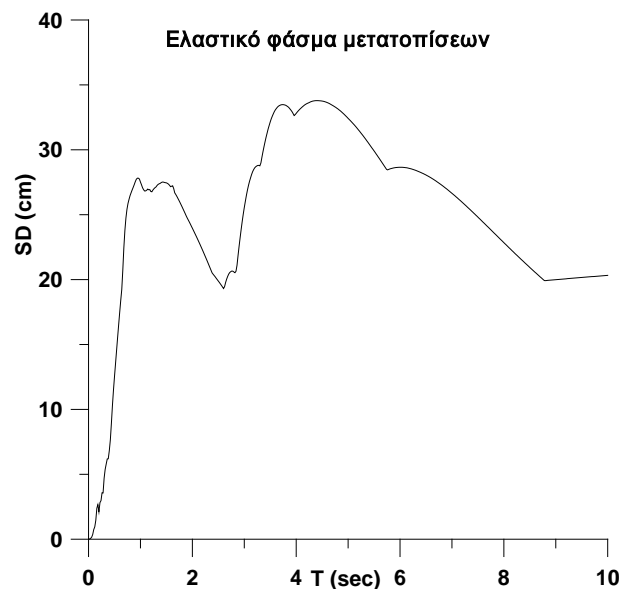
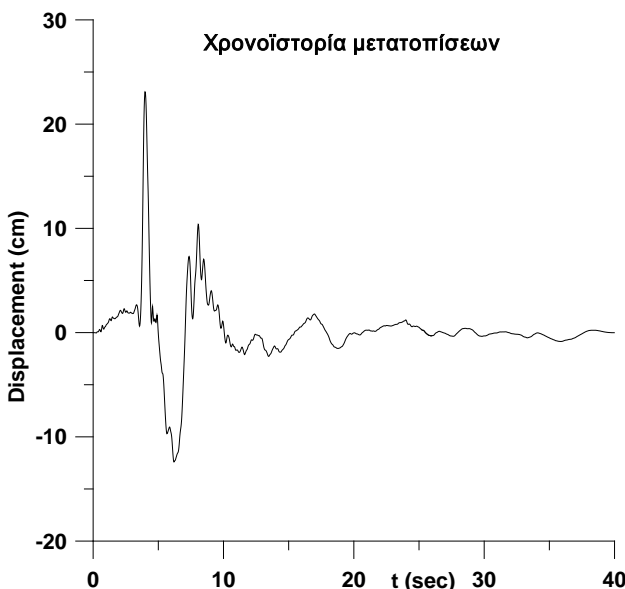
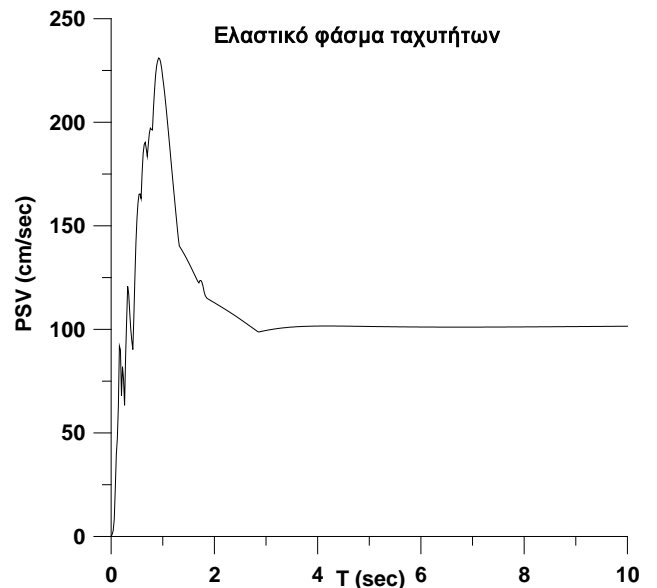
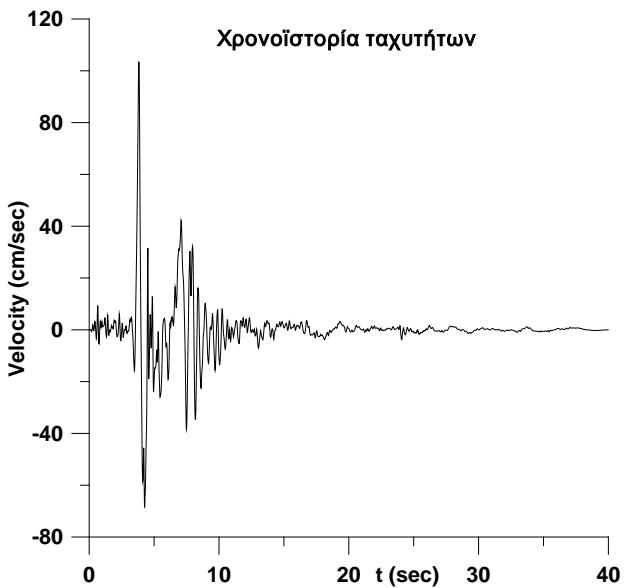
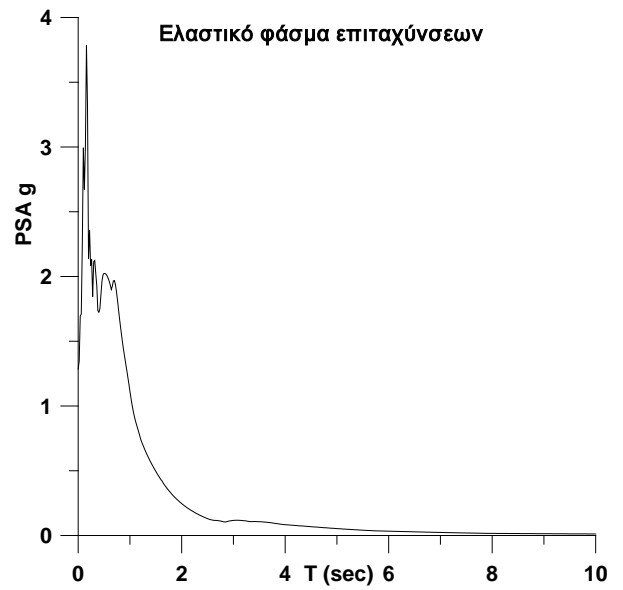
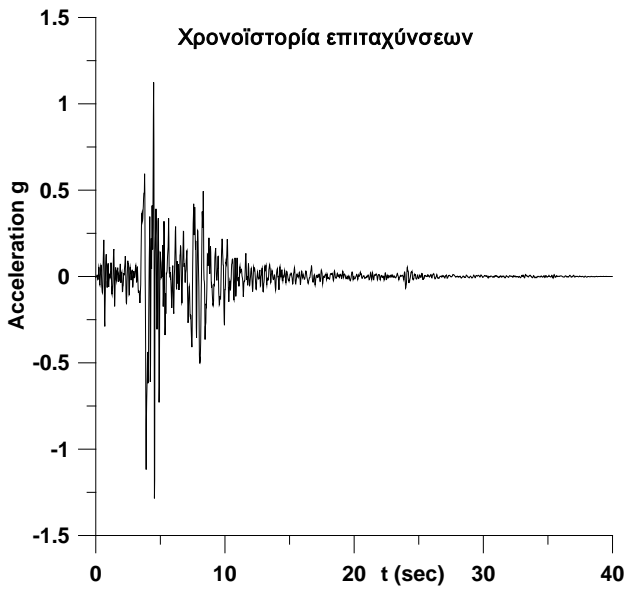
NORTHRIDGE 01/17/94, PACOIMA DAM, deg.265, Lat. 34.334, Long.-118.396
PGA (g)= 0.434 PGV (cm/s)= 31.3 PGD (cm) = 4.8



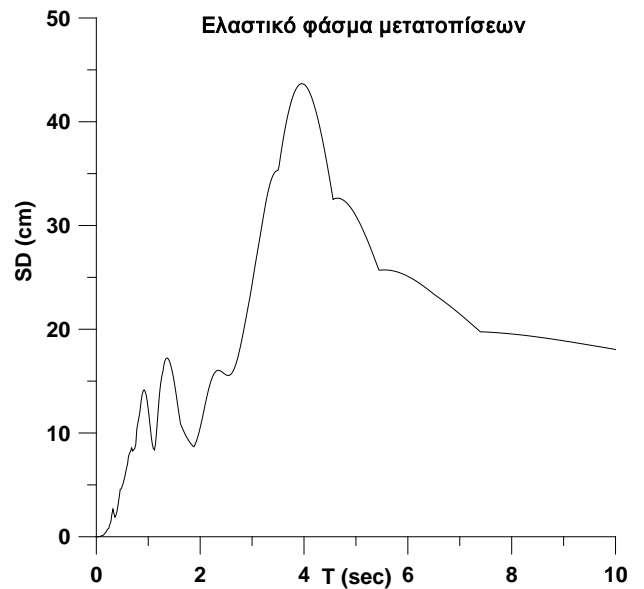
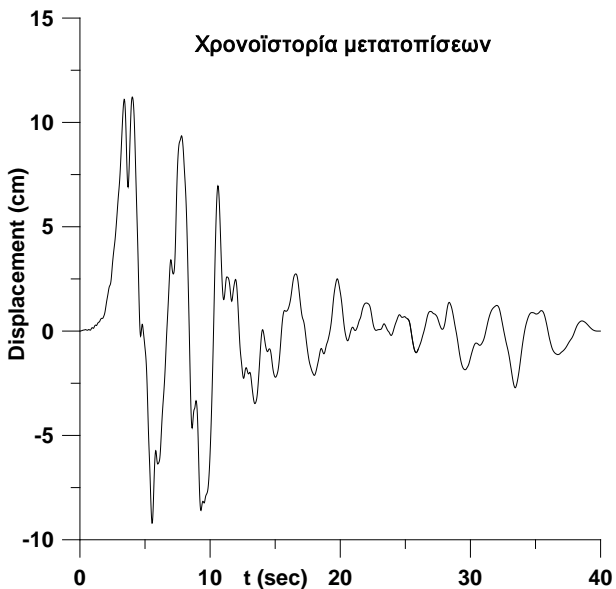
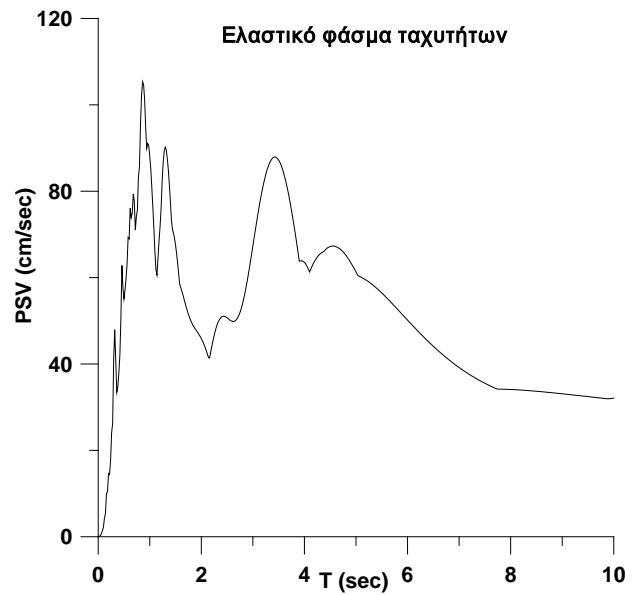
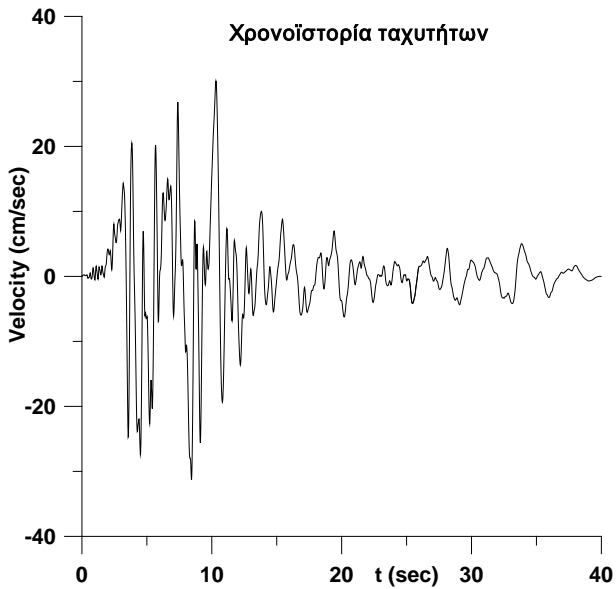
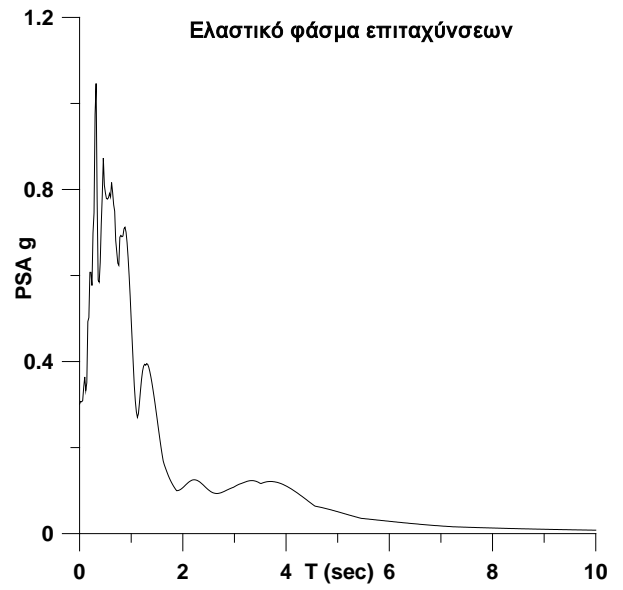
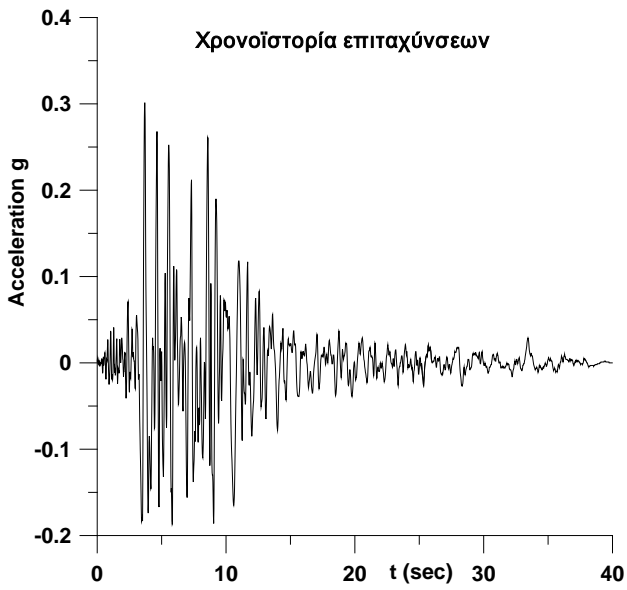
NORTHRIDGE 01/17/94, PACOIMA DAM, UPPER LEFT ABUT, deg.104, Lat. 34.334, Long.-118.396 **PGA (g)= 1.585** **PGV (cm/s)= 55.7** **PGD (cm) = 6.06**



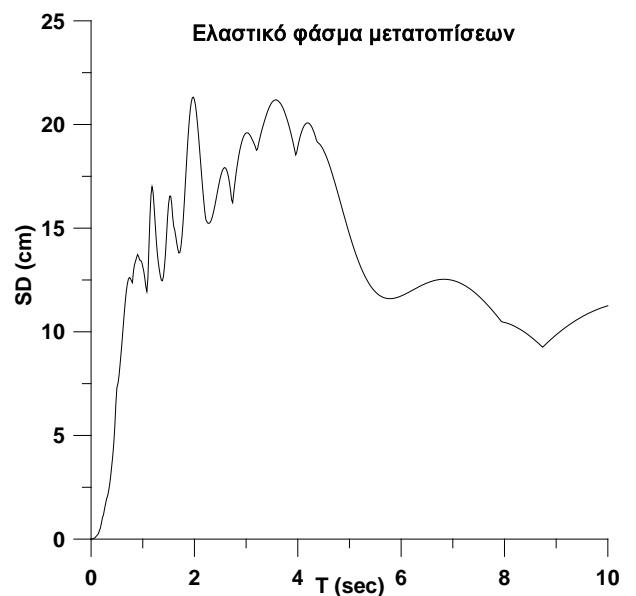
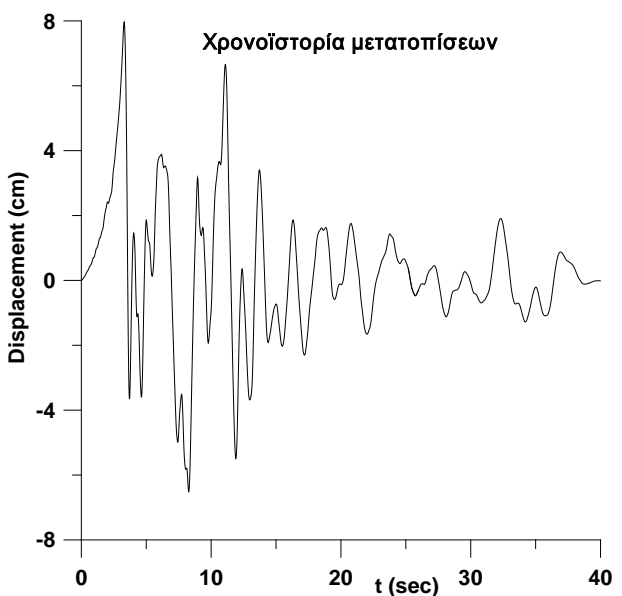
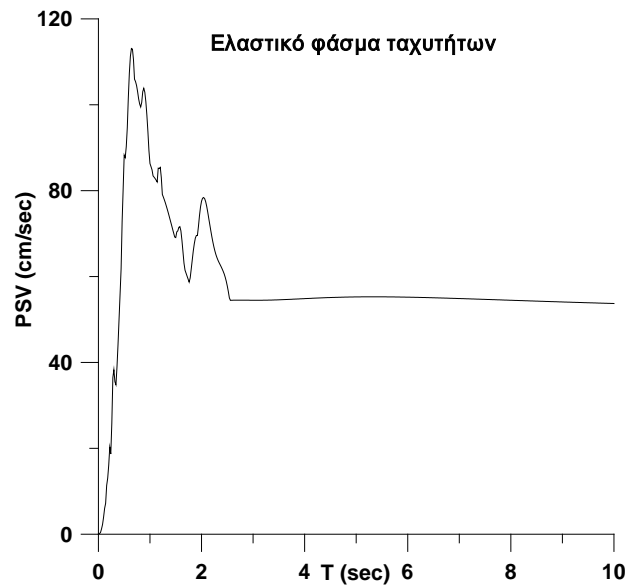
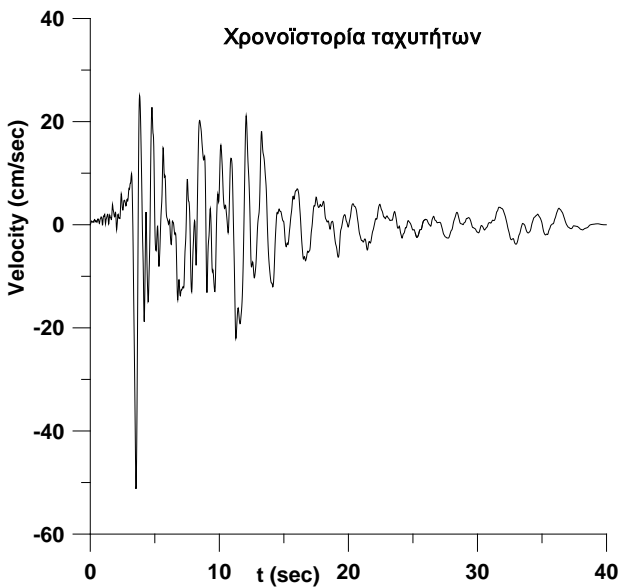
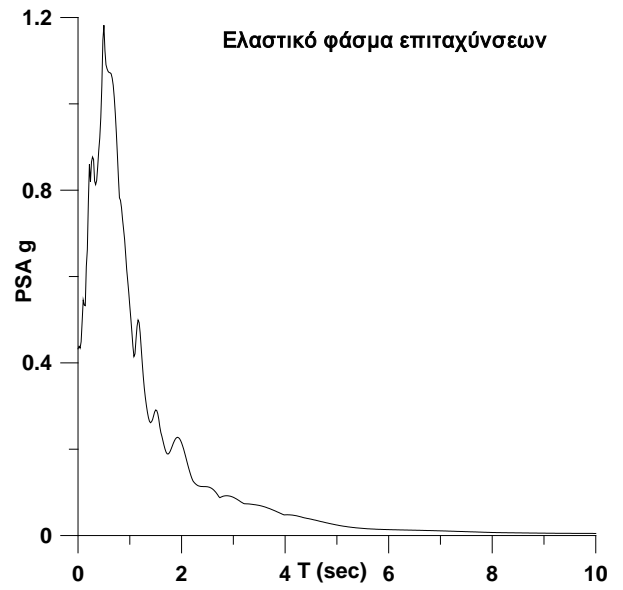
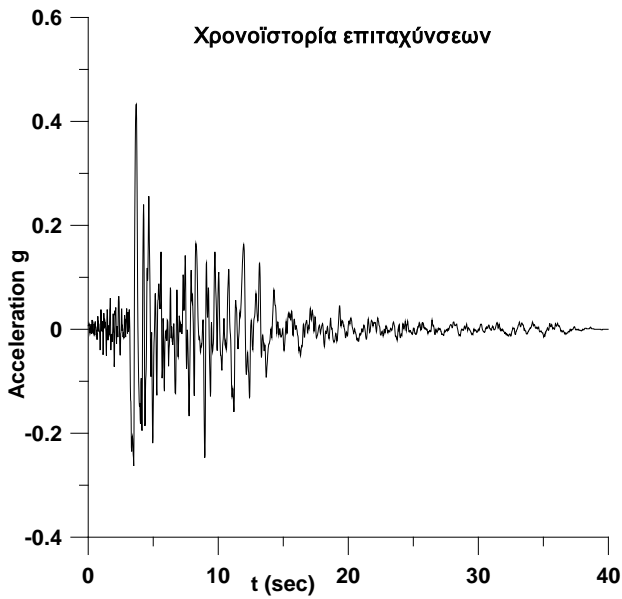
NORTHRIDGE 01/17/94, PACOIMA DAM, UPPER LEFT ABUT, deg.194, Lat. 34.334,
Long.-118.396 PGA (g)= 1.285 PGV (cm/s)= 103.9 PGD (cm) = 23.8



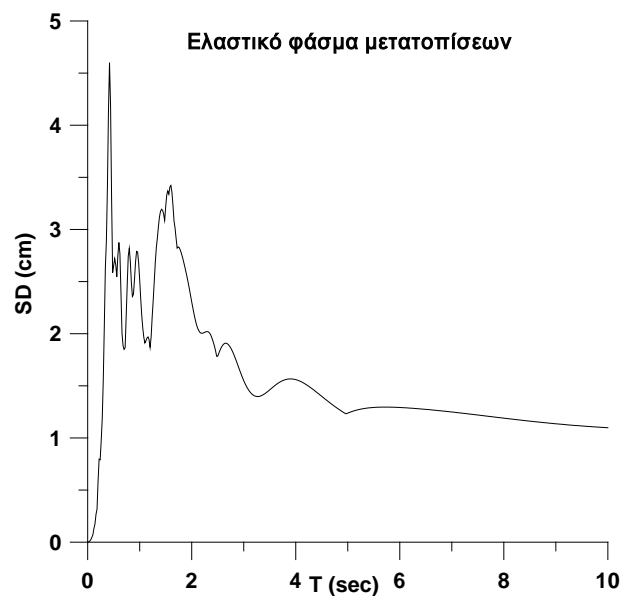
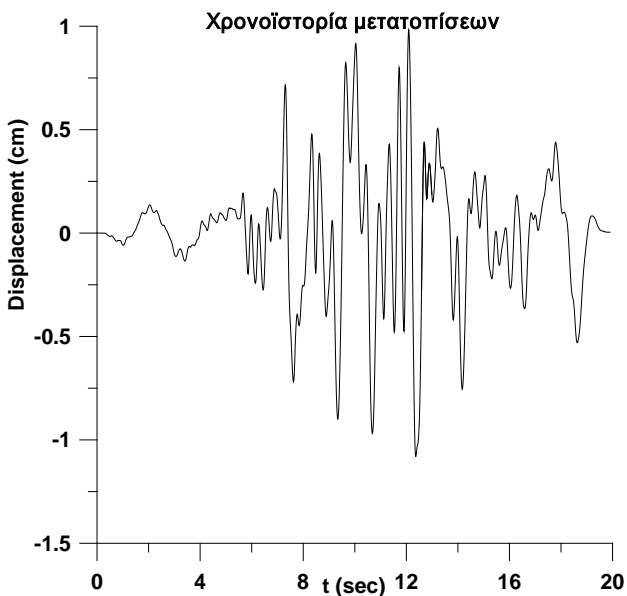
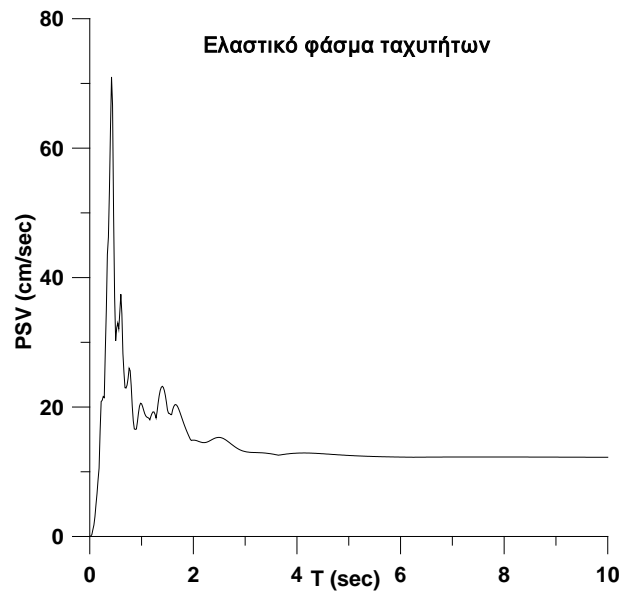
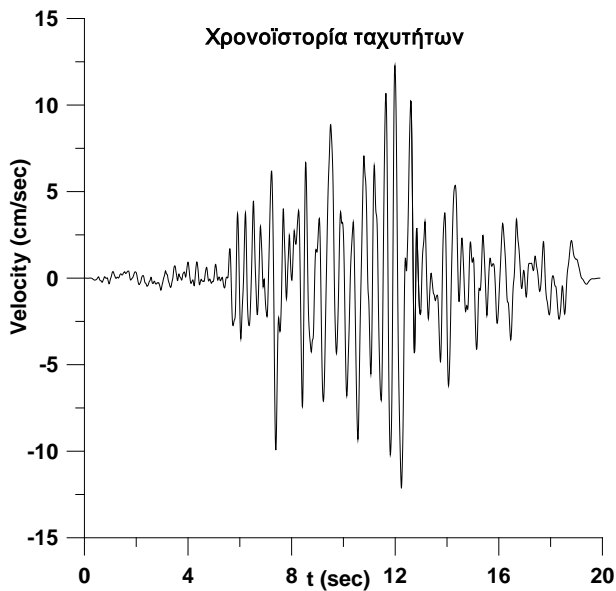
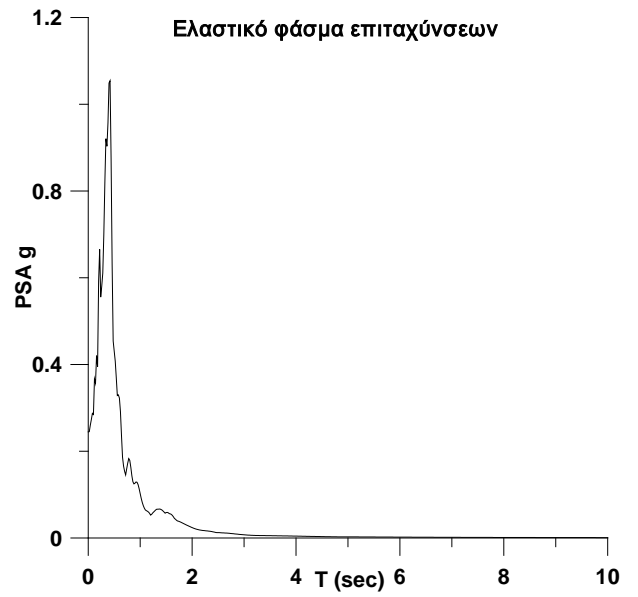
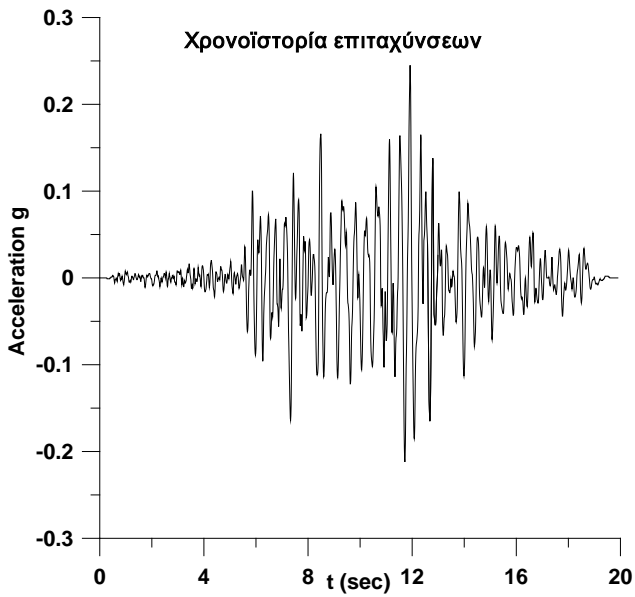
NORTHRIDGE 01/17/94, PACOIMA KAGEL CANYON, deg.090, Lat. 34.288,
Long.-118.375 PGA (g)= 0.301 PGV (cm/s)= 31.4 PGD (cm) = 10.87



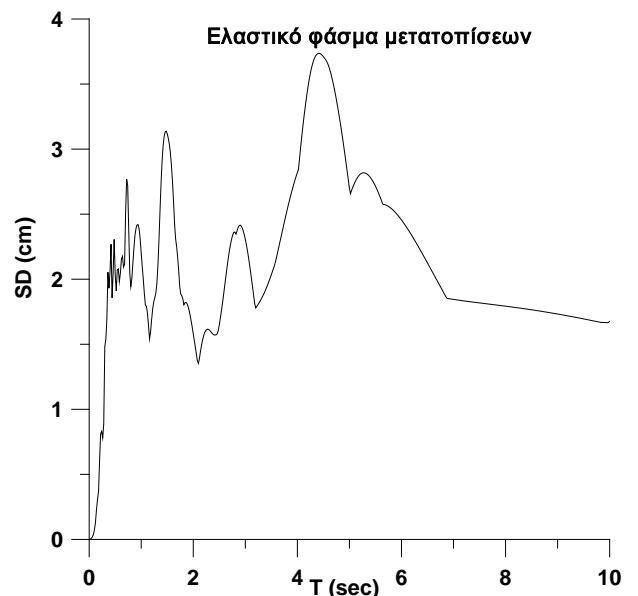
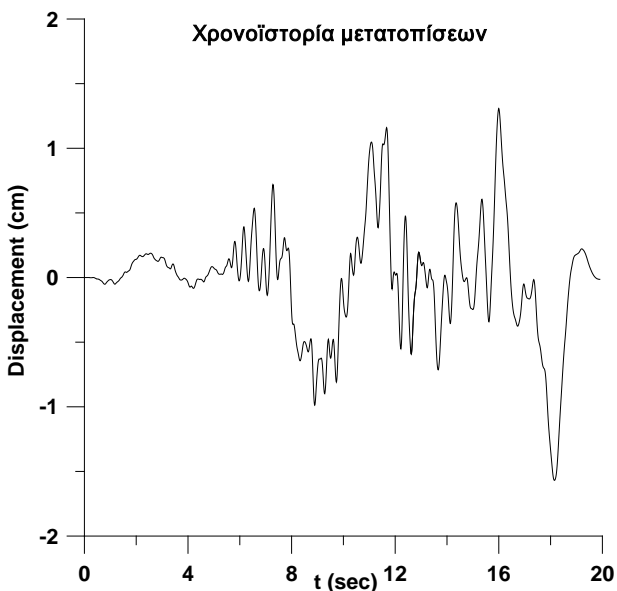
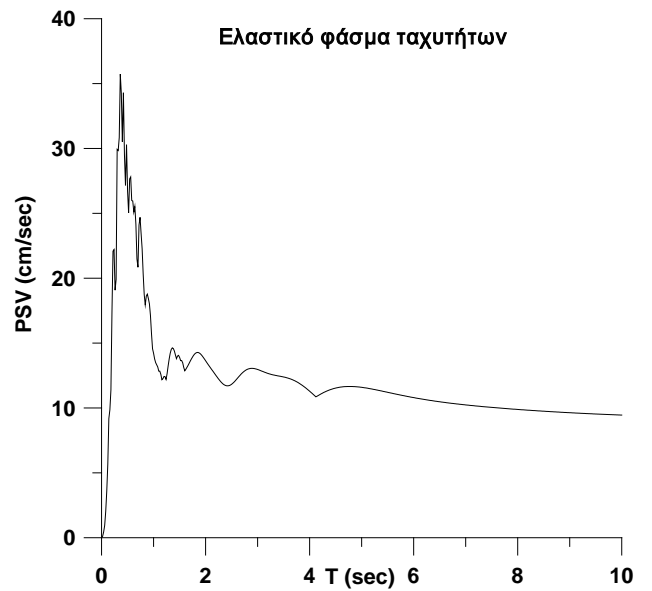
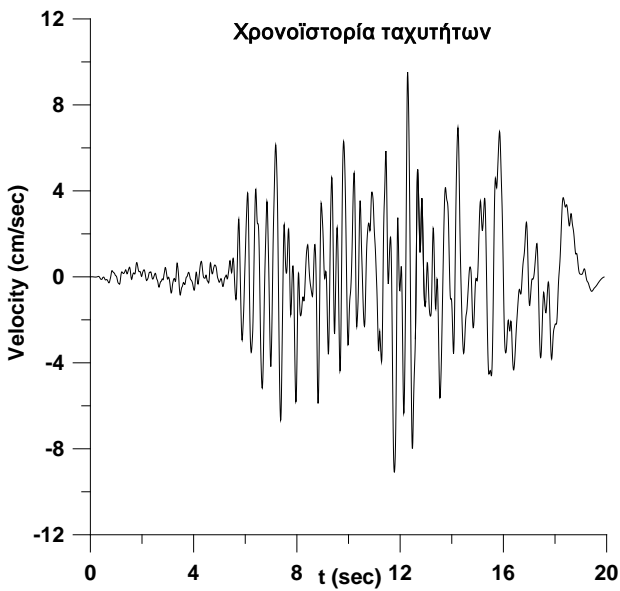
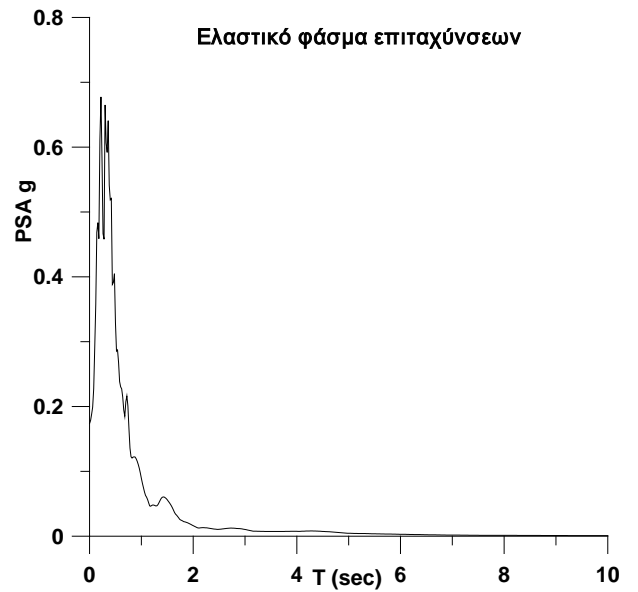
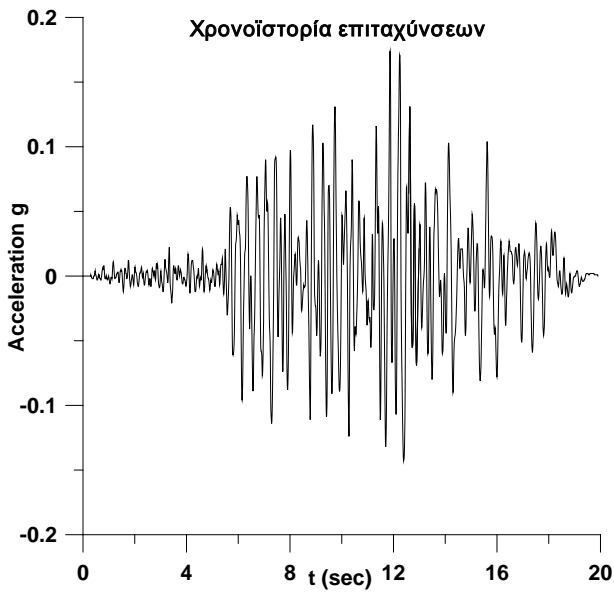
NORTHRIDGE 01/17/94, PACOIMA KAGEL CANYON, deg.360, Lat. 34.288,
Long.-118.375 PGA (g)= 0.433 PGV (cm/s)= 51.5 PGD (cm) = 7.21



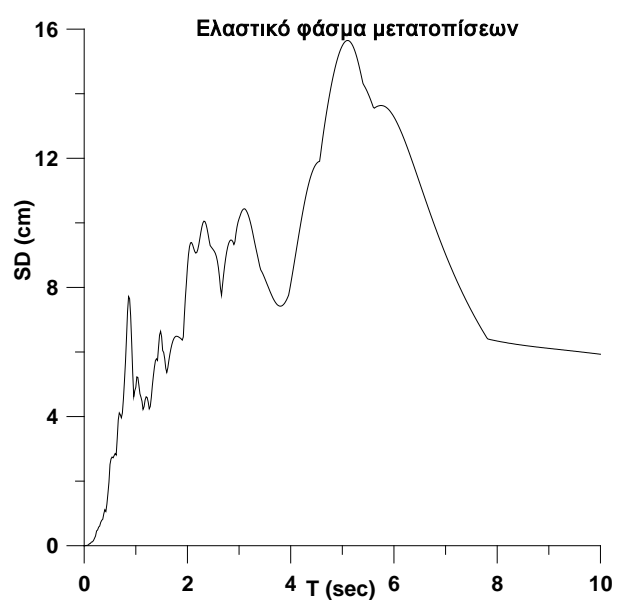
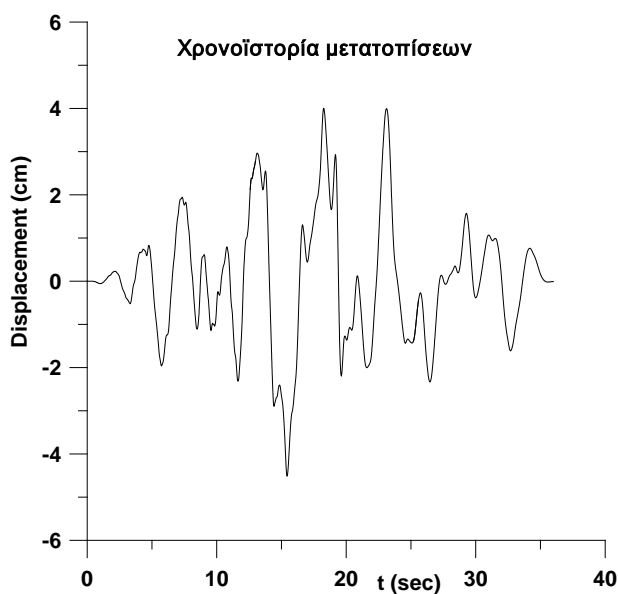
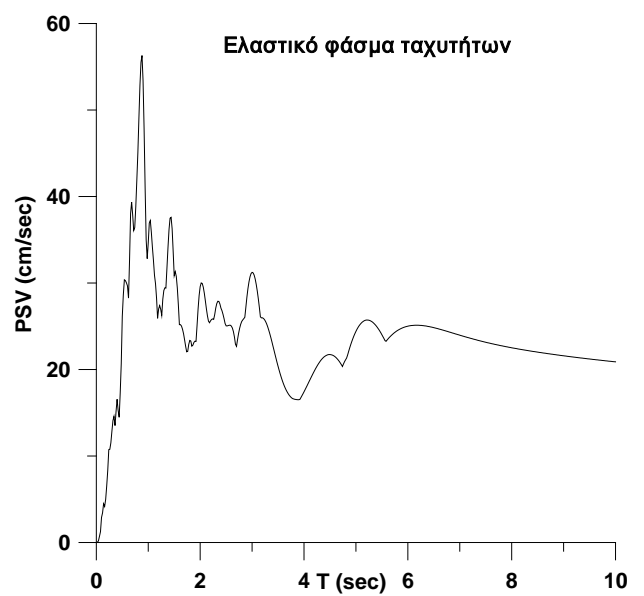
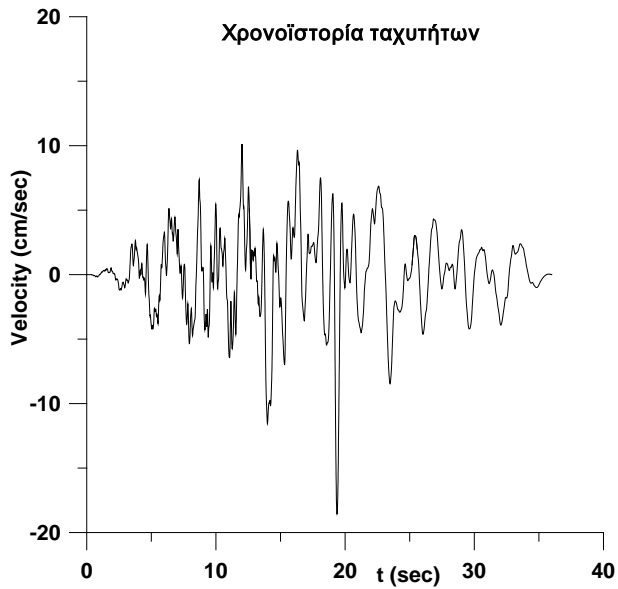
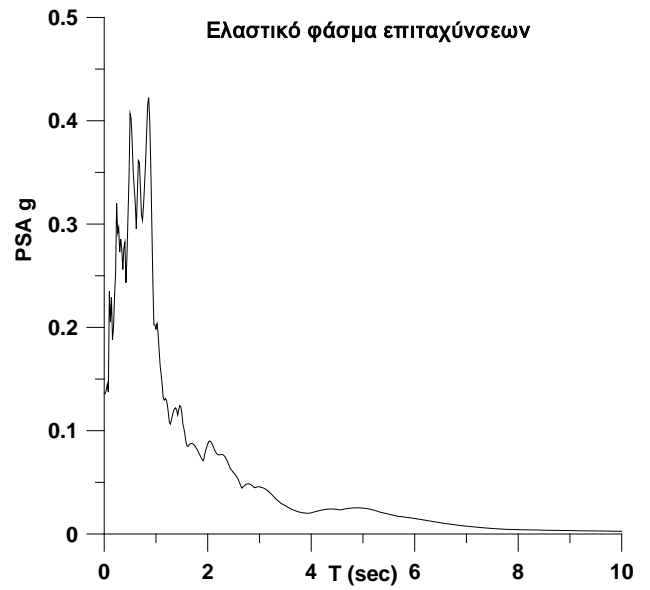
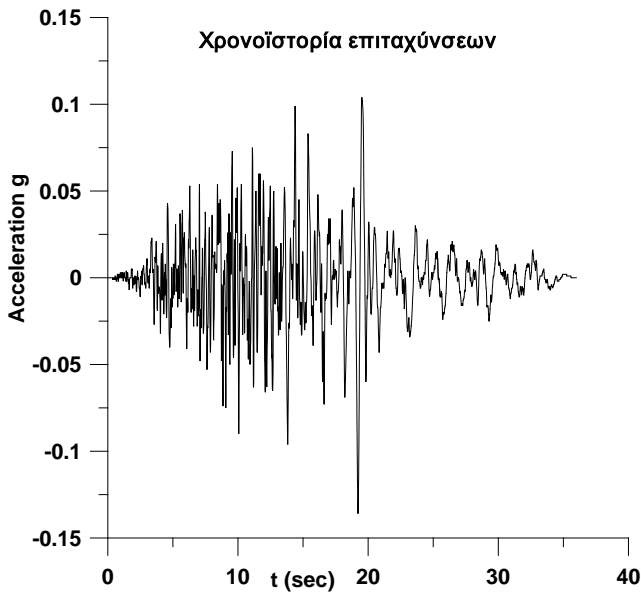
NORTHRIDGE 01/17/94, PASADENA - N SIERRA MADRE VILLA, deg.180, Lat. 34.169,
Long.-118.078 PGA (g)= 0.245 PGV (cm/s)= 12.3 PGD (cm) = 1.09



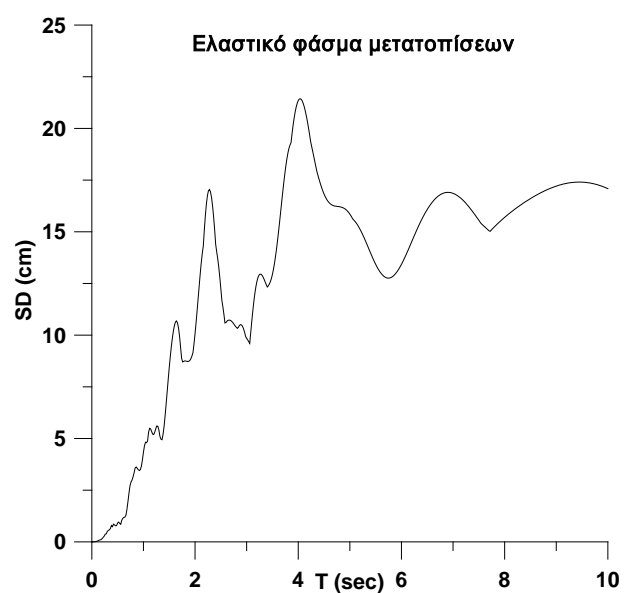
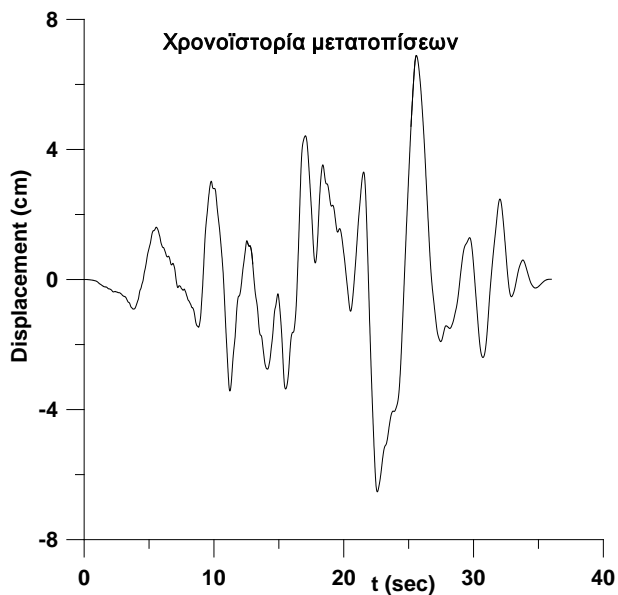
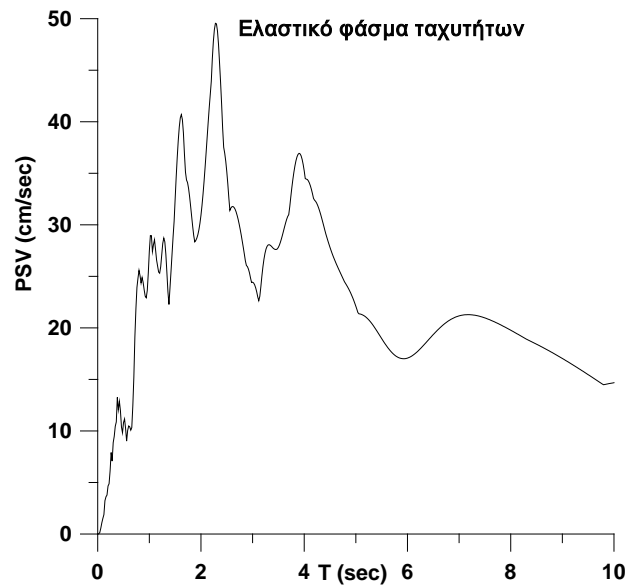
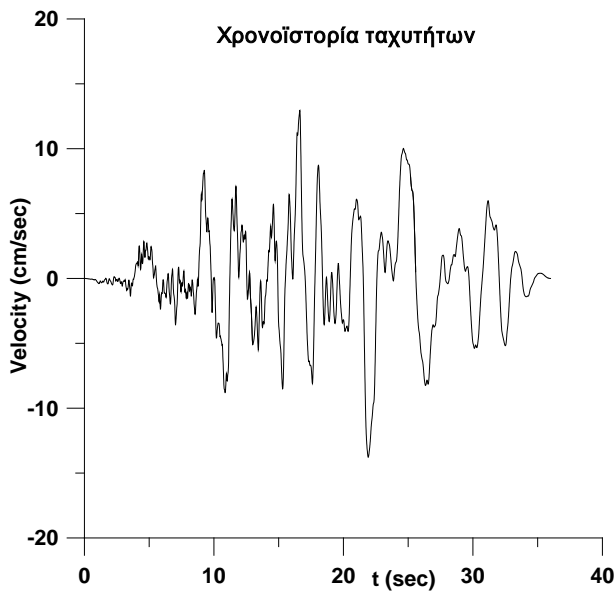
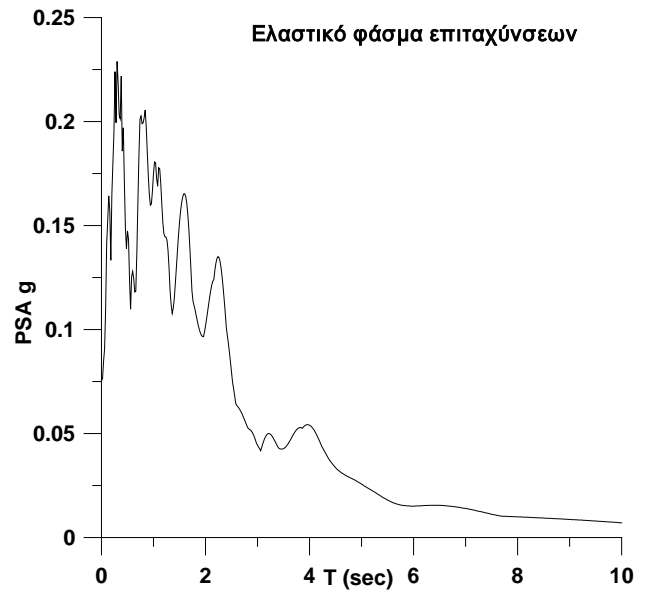
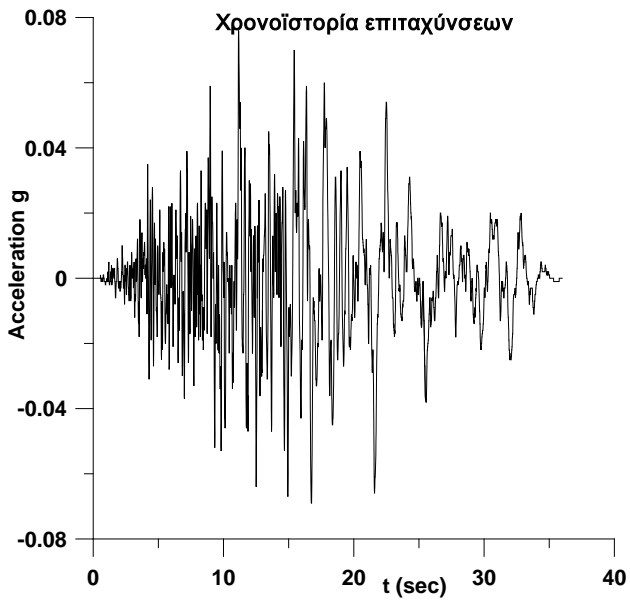
NORTHRIDGE 01/17/94, PASADENA - N SIERRA MADRE VILLA, deg.270, Lat. 34.169,
Long.-118.078 PGA (g)= 0.174 PGV (cm/s)= 9.6 PGD (cm) = 1.53



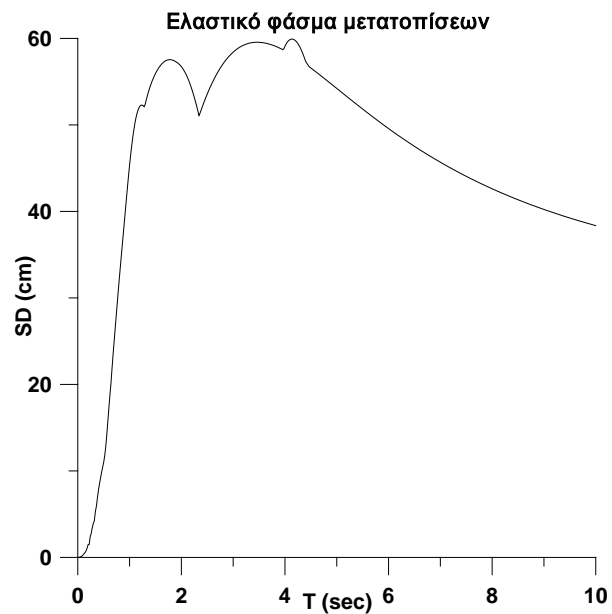
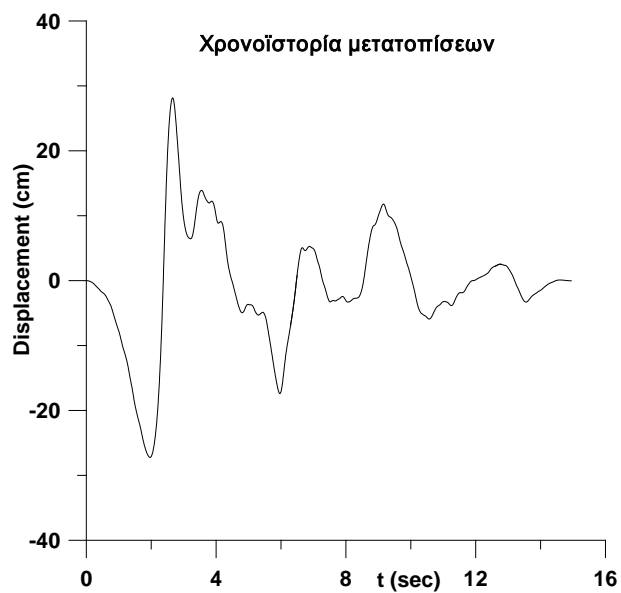
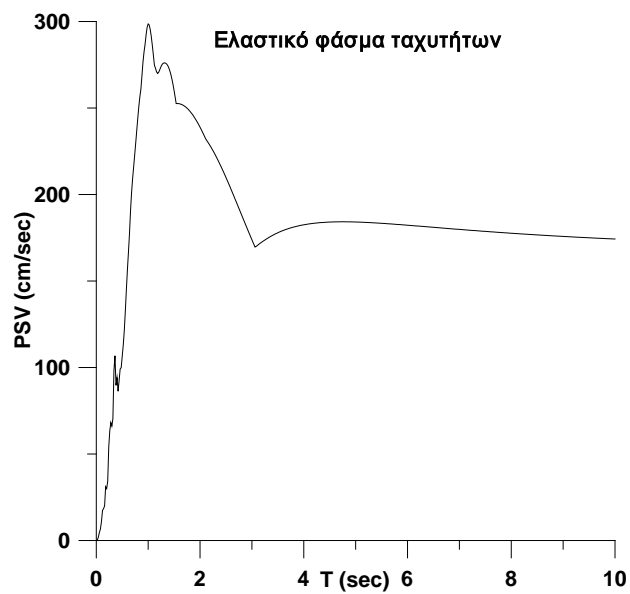
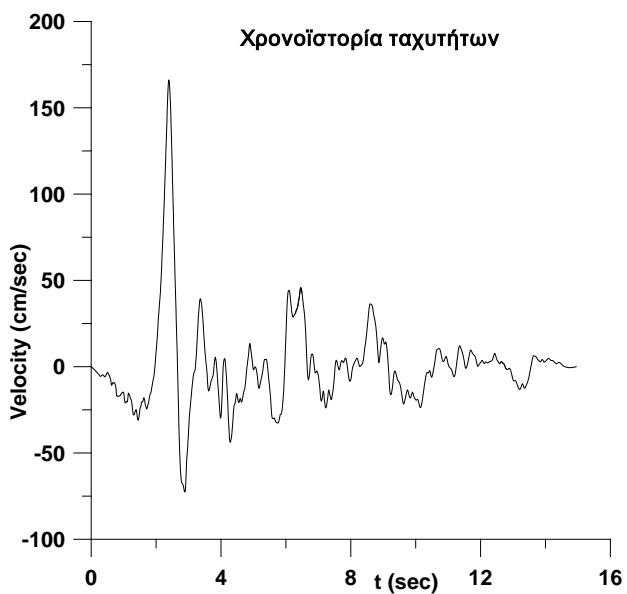
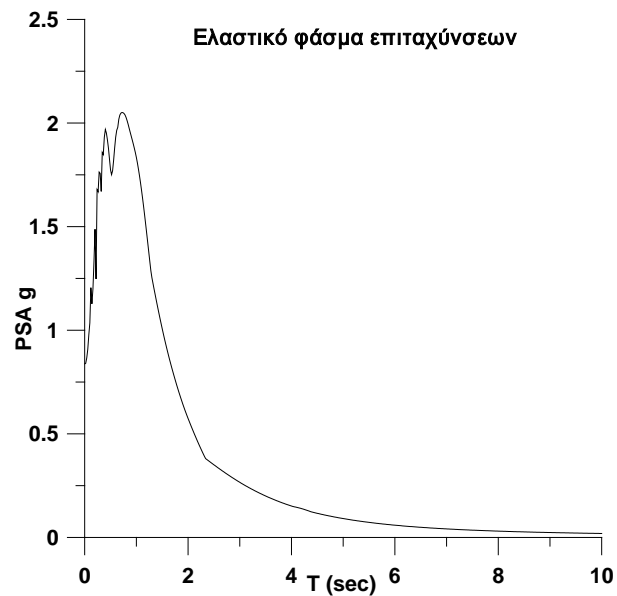
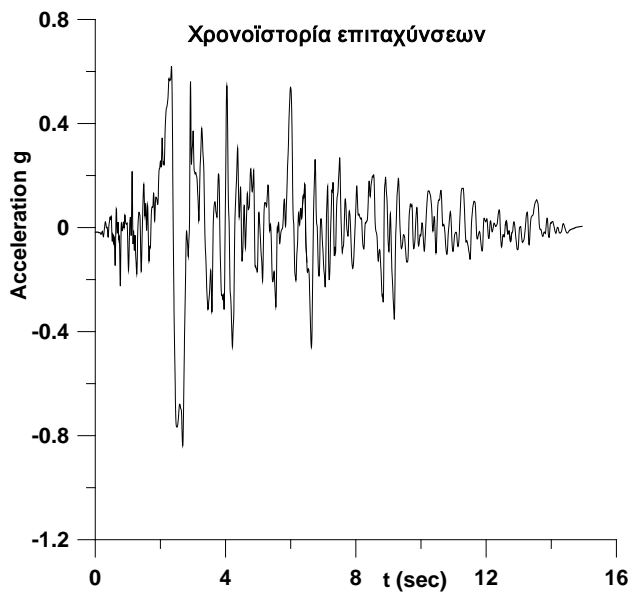
NORTHRIDGE 01/17/94, PLAYA DEL REY - SARAN, deg.000, Lat. 33.960,
Long.-118.432 PGA (g)= 0.136 PGV (cm/s)= 18.6 PGD (cm) = 4.51



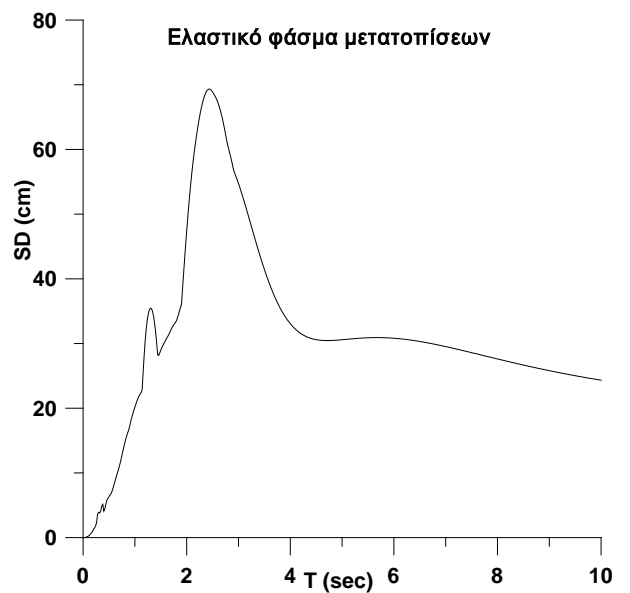
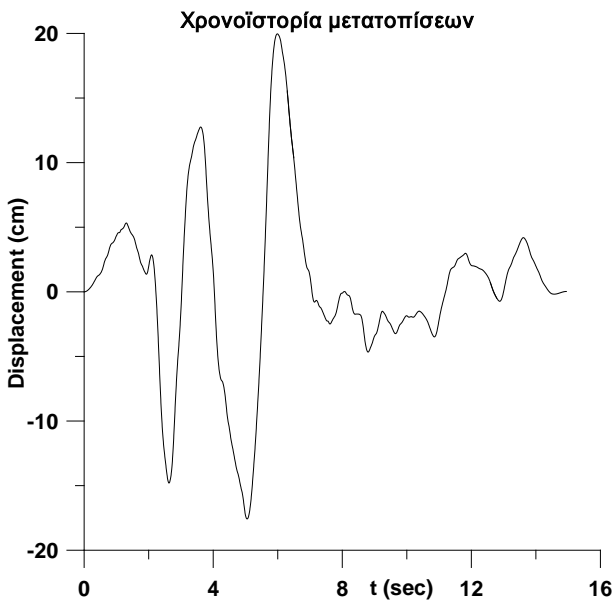
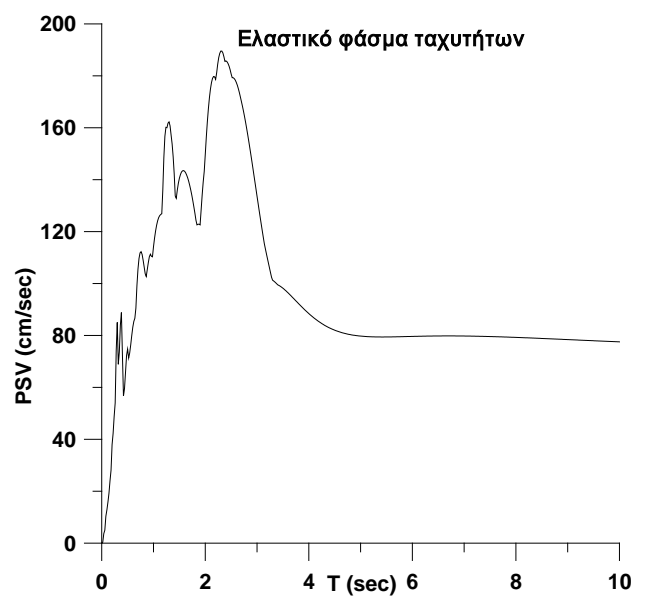
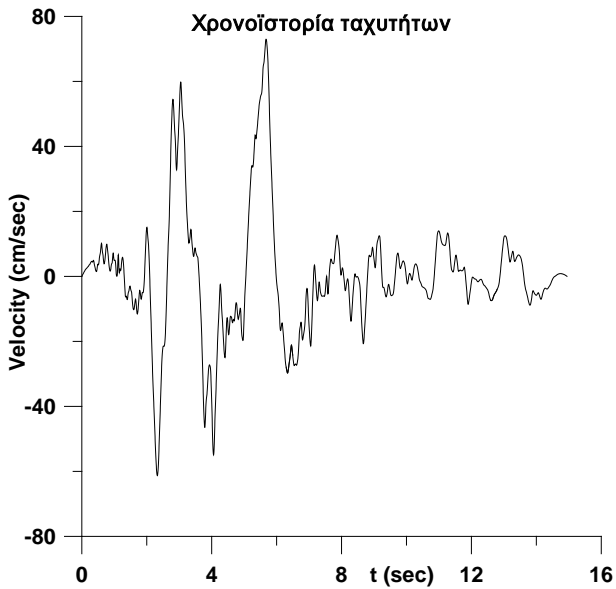
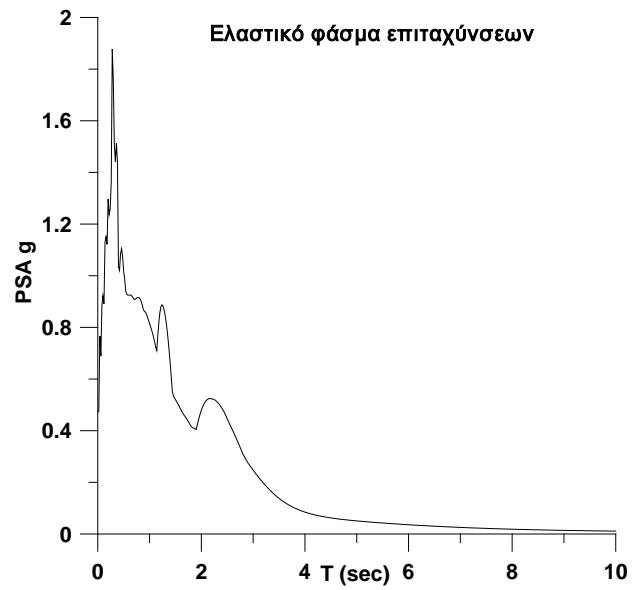
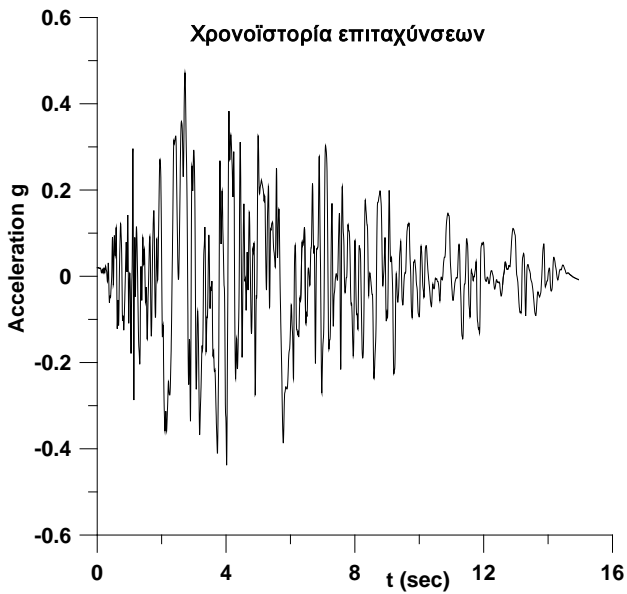
NORTHRIDGE 01/17/94, PLAYA DEL REY - SARAN, deg.270, Lat. 33.960,
Long.-118.432 PGA (g)= 0.076 PGV (cm/s)= 13.8 PGD (cm) = 6.88



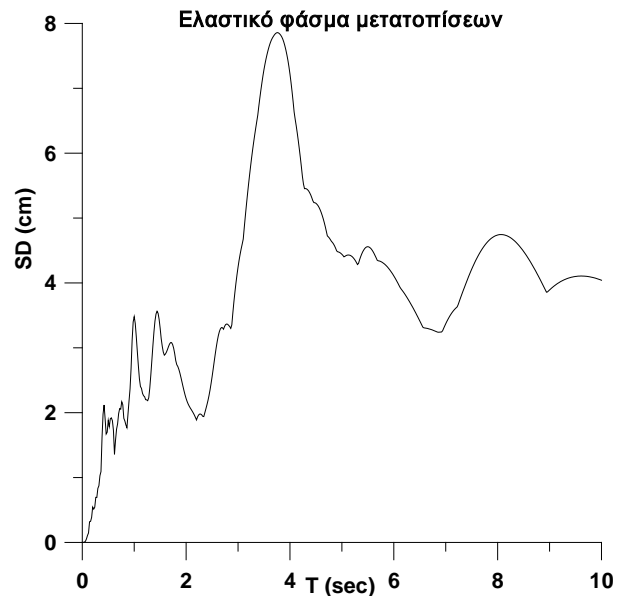
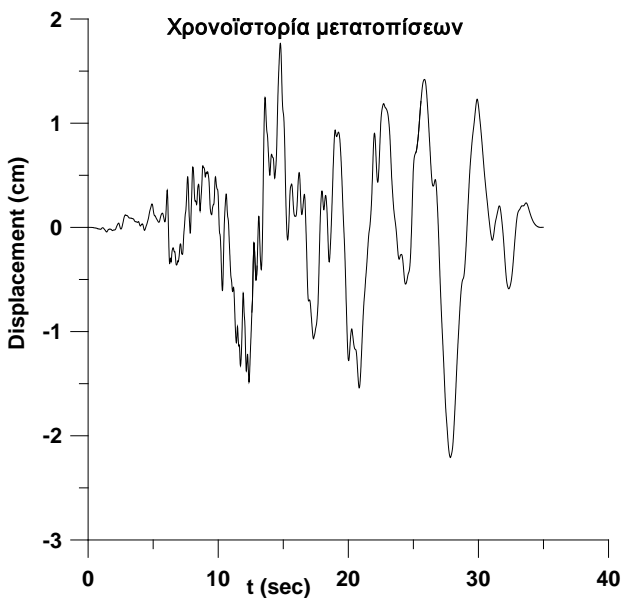
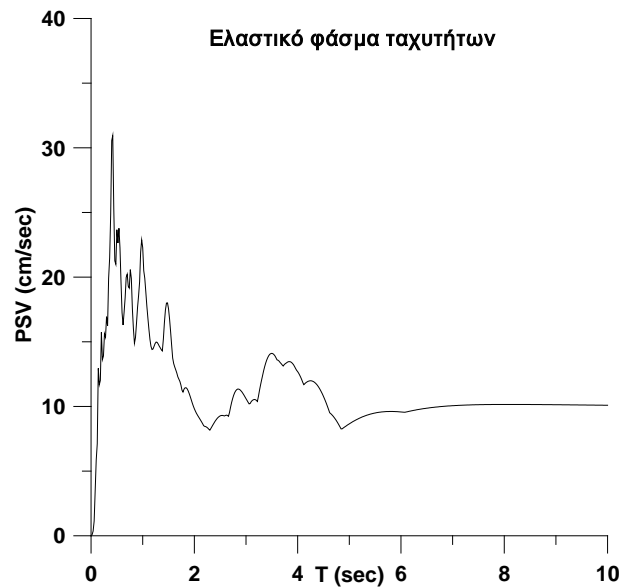
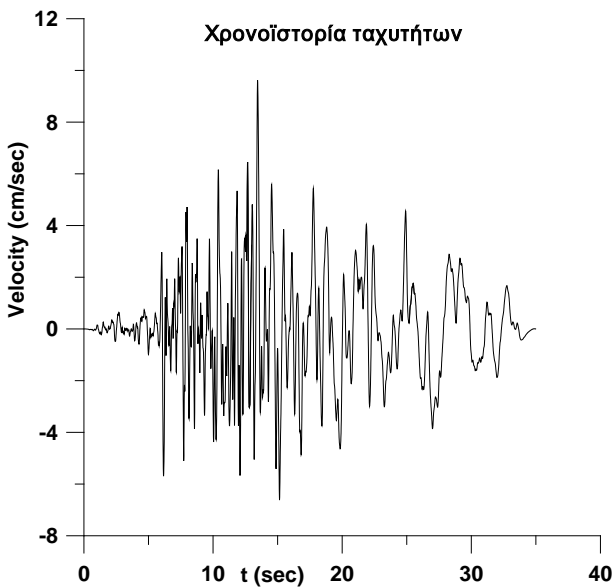
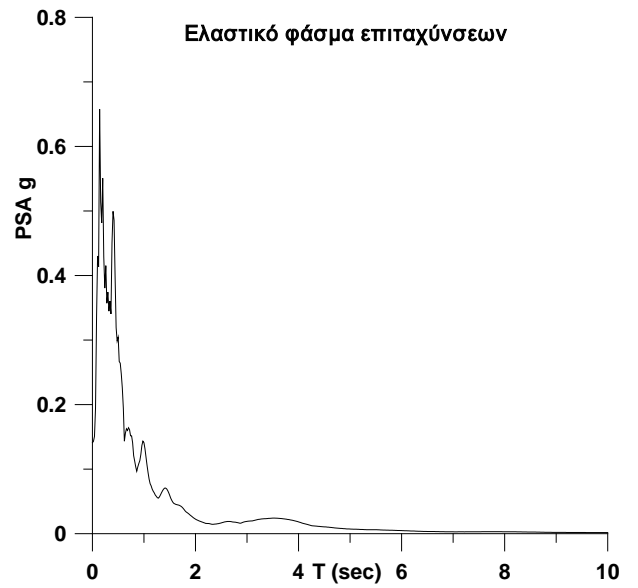
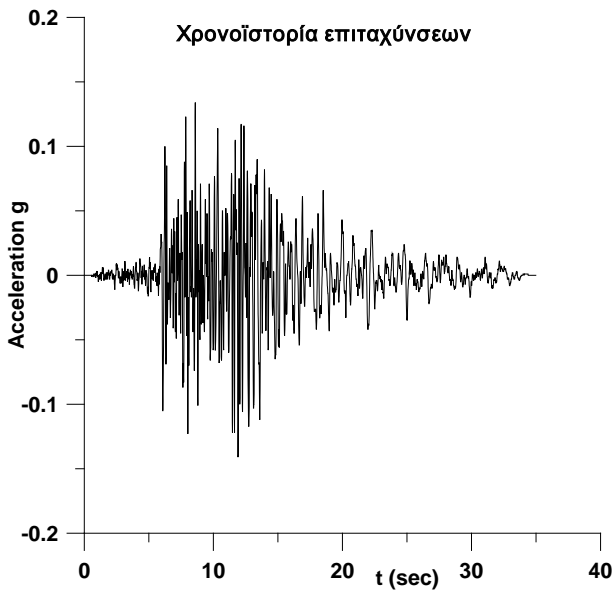
NORTHRIDGE 01/17/94, RINALDI RECEIVING STA, deg.228, Lat. 34.281,
Long.-118.479 PGA (g)= 0.838 PGV (cm/s)= 166.1 PGD (cm) = 28.78



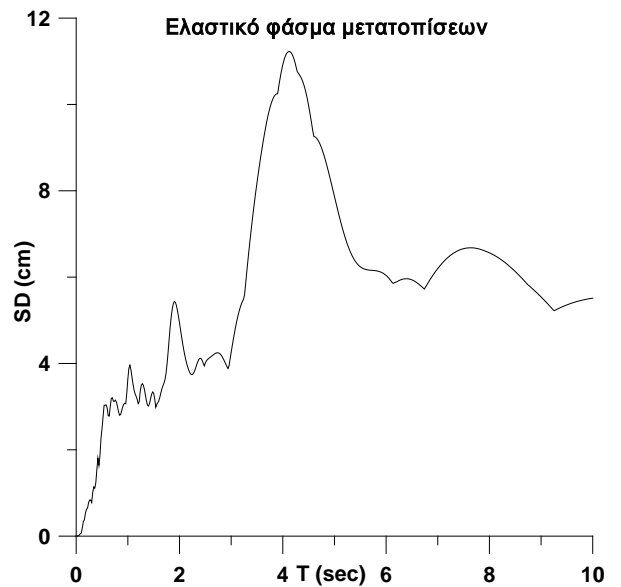
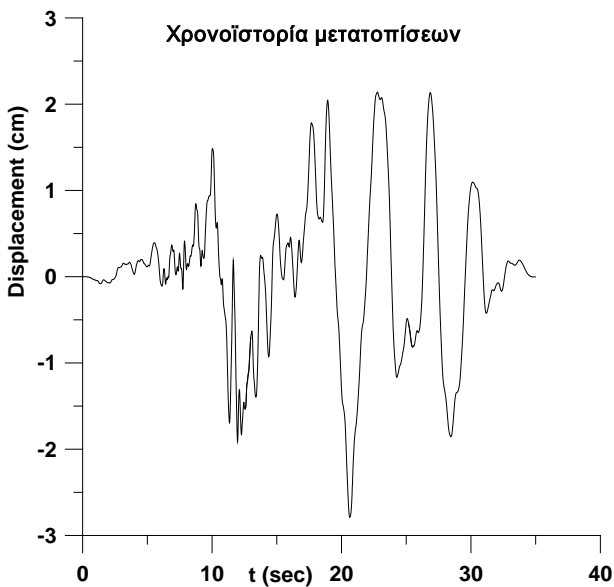
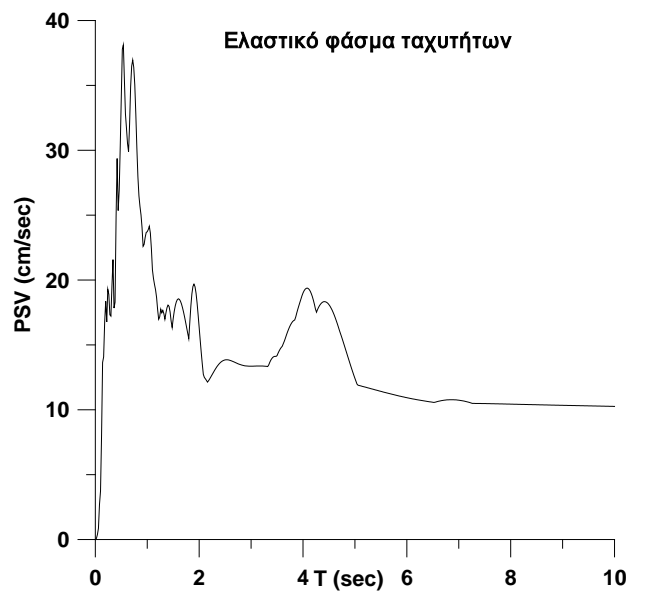
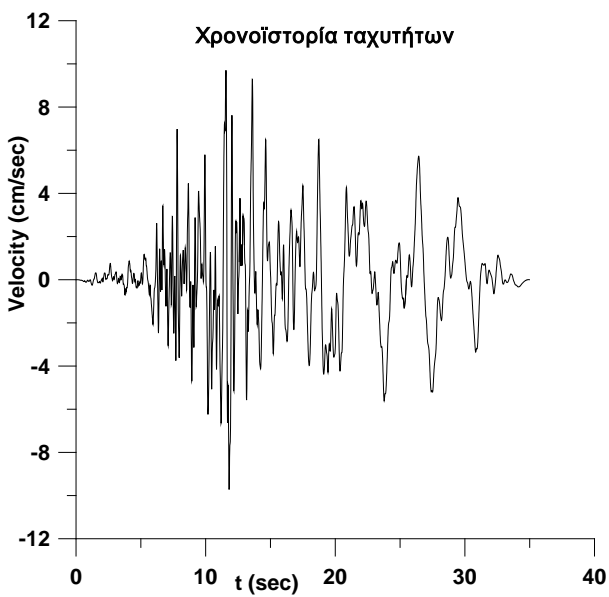
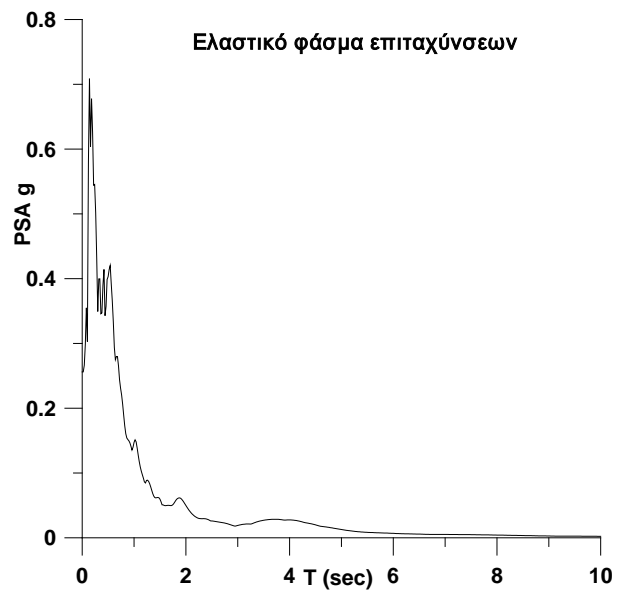
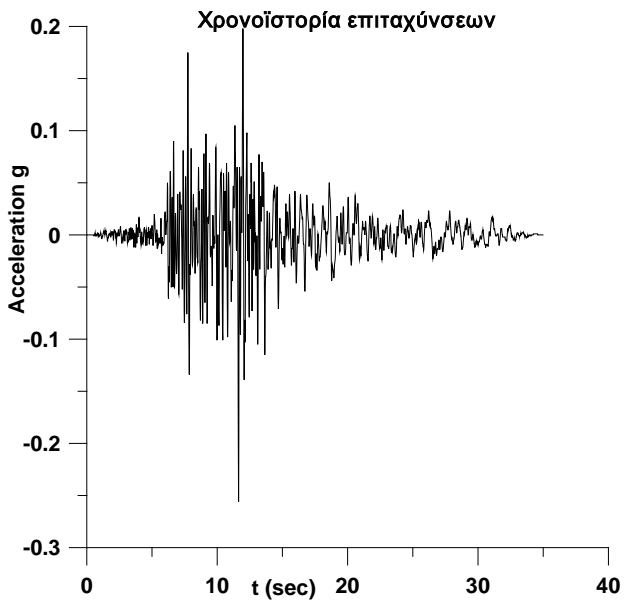
NORTHRIDGE 01/17/94, RINALDI RECEIVING STA, deg.318, Lat. 34.281,
Long.-118.479 PGA (g)= 0.472 PGV (cm/s)= 73 PGD (cm) = 19.76



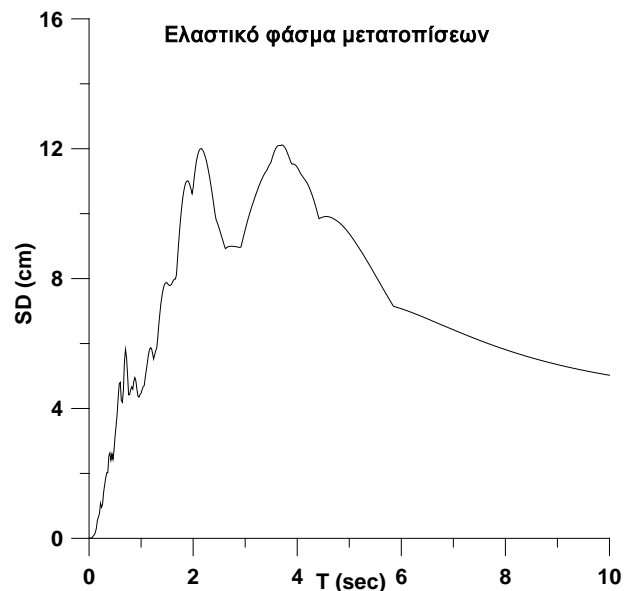
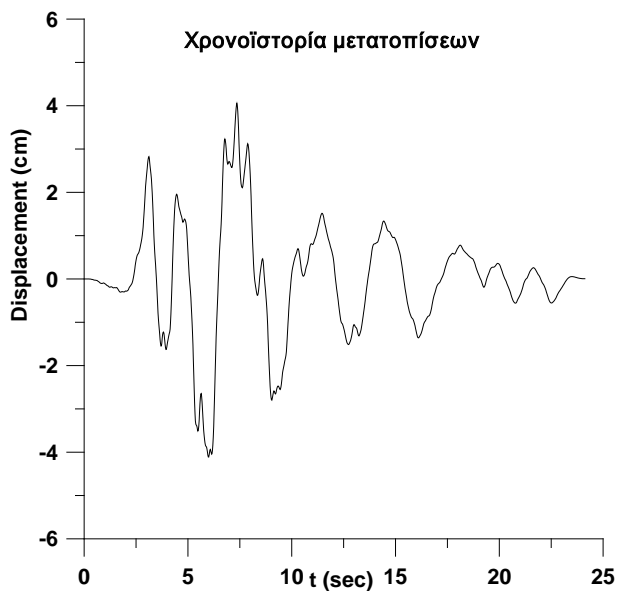
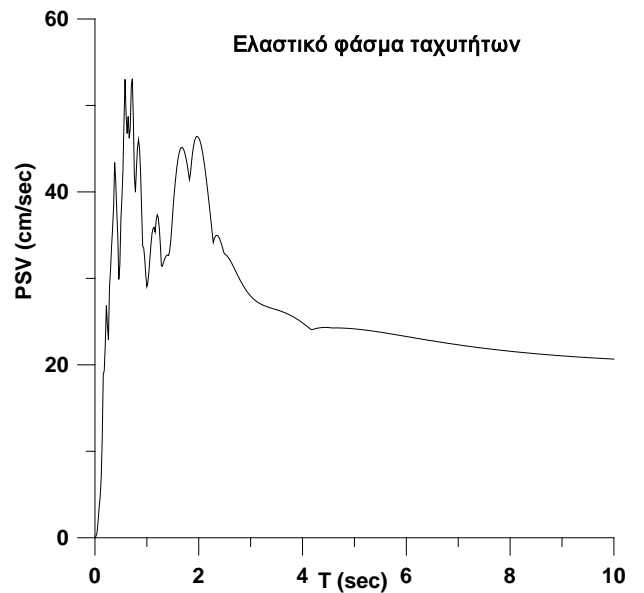
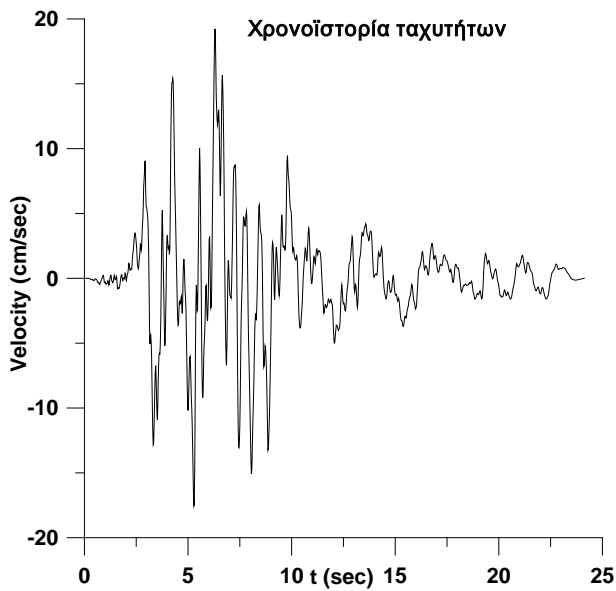
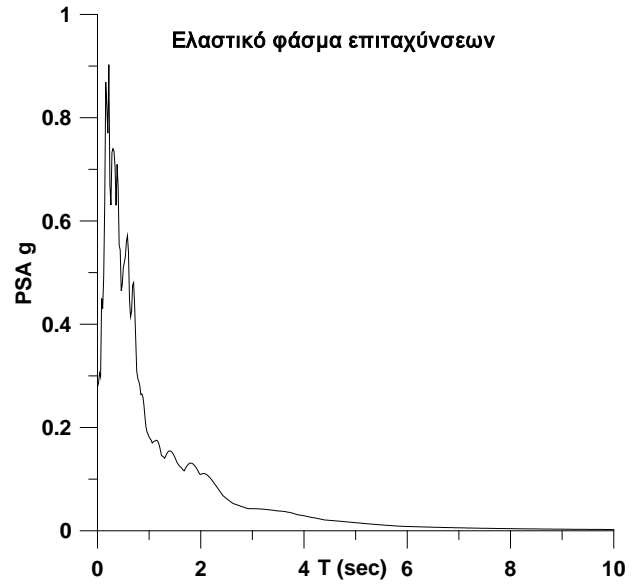
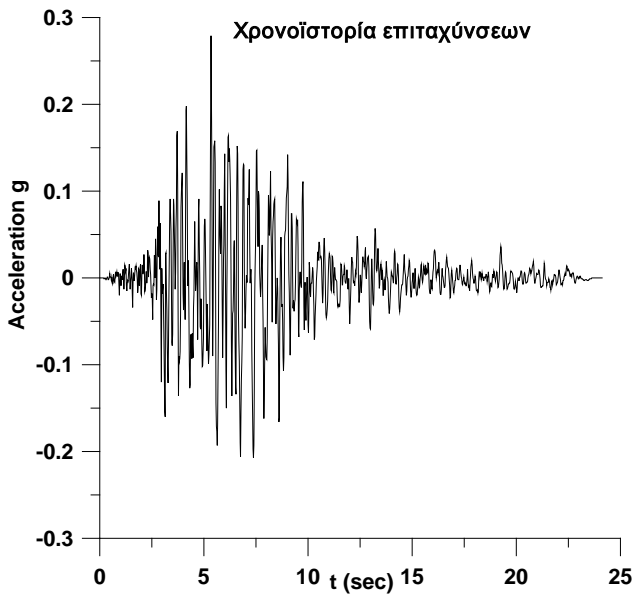
NORTHRIDGE 01/17/94, SAN GABRIEL - E GRAND, deg.180, Lat. 34.091,
Long.-118.093 PGA (g)= 0.141 PGV (cm/s)= 9.6 PGD (cm) = 2.21



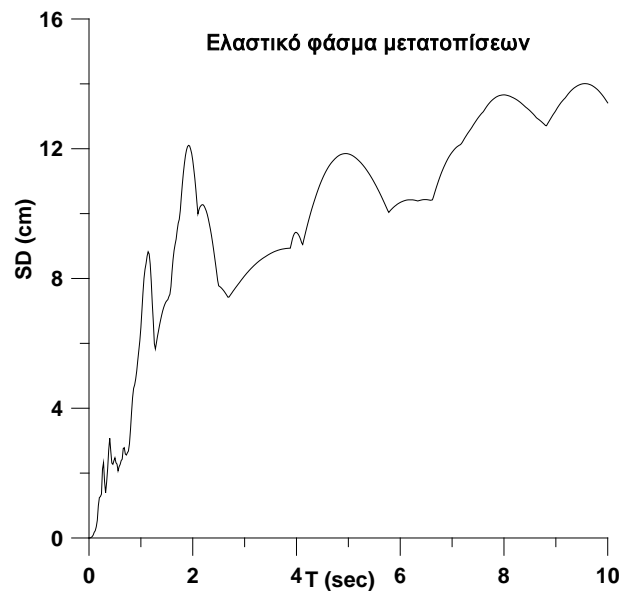
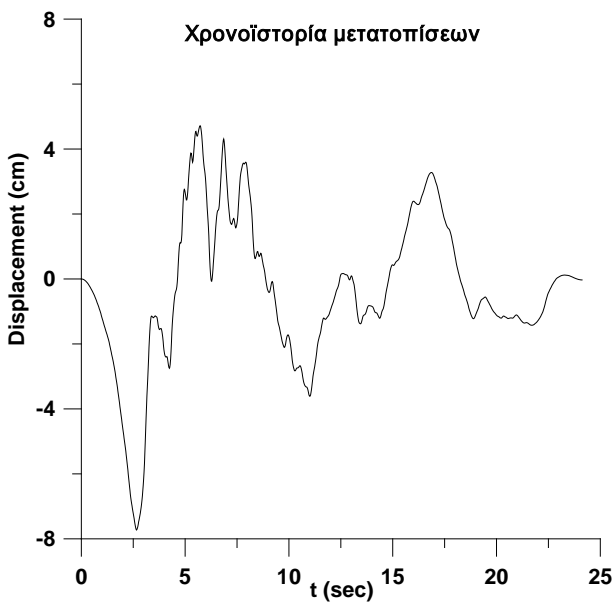
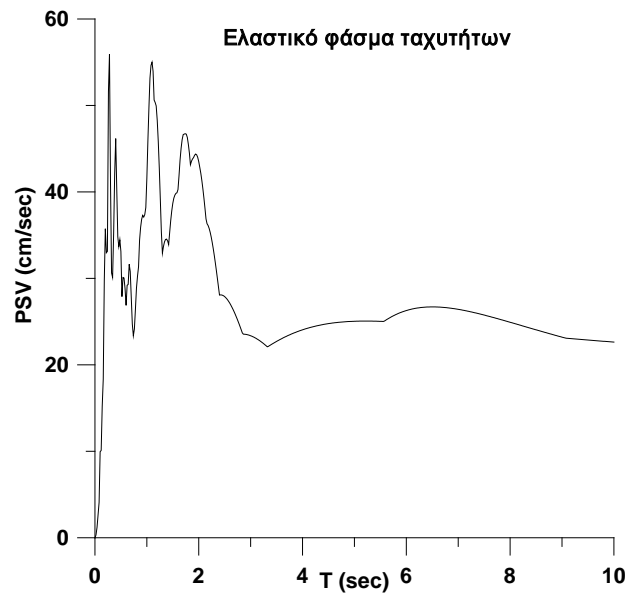
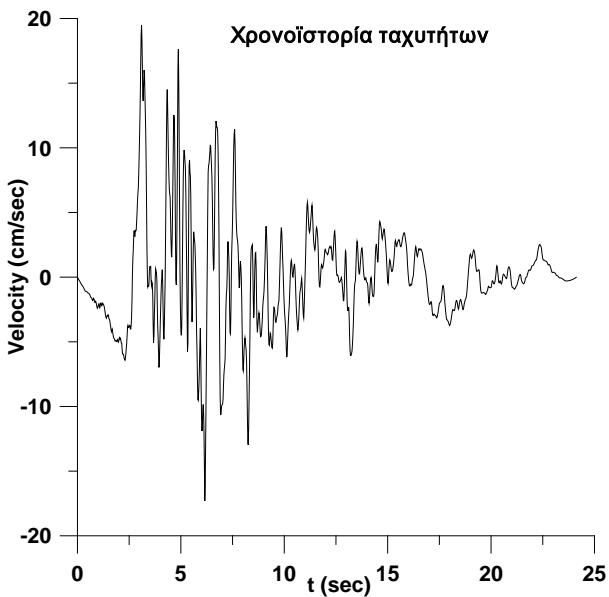
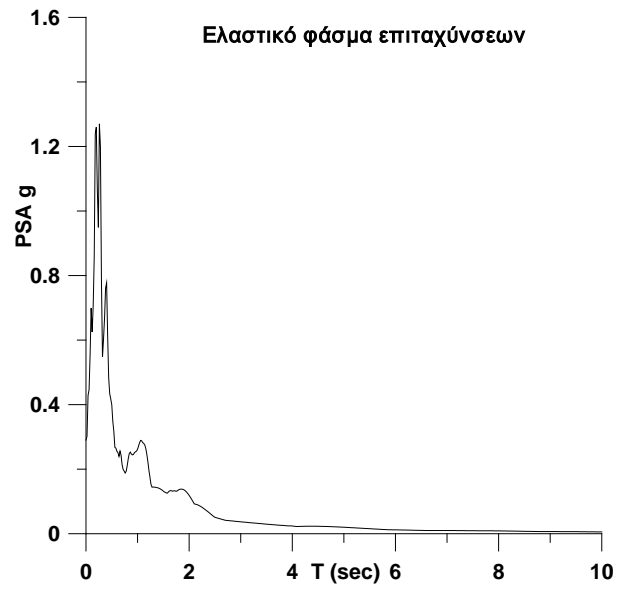
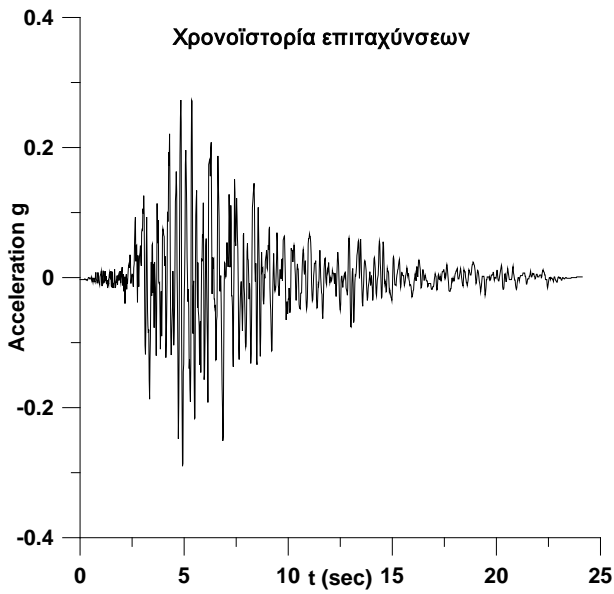
NORTHRIDGE 01/17/94, SAN GABRIEL - E GRAND, deg.270, Lat. 34.091,
Long.-118.093 PGA (g)= 0.256 PGV (cm/s)= 9.8 PGD (cm) = 2.79



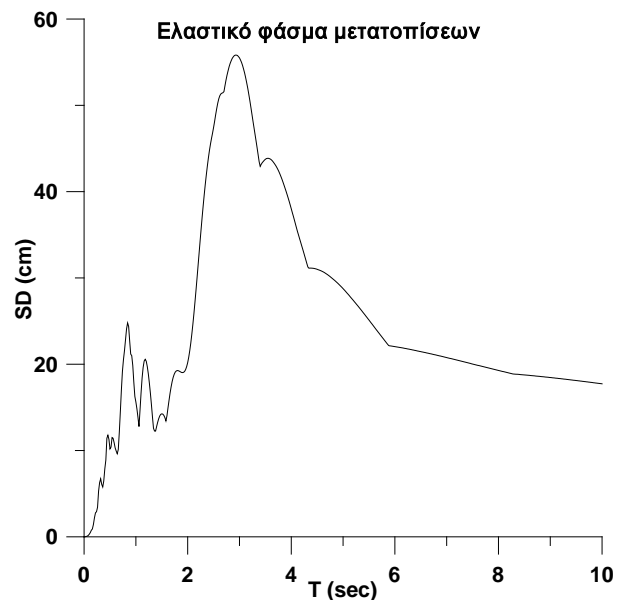
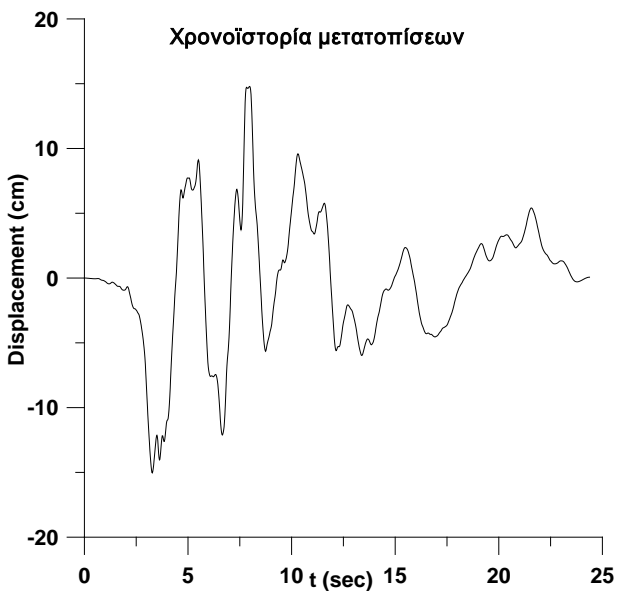
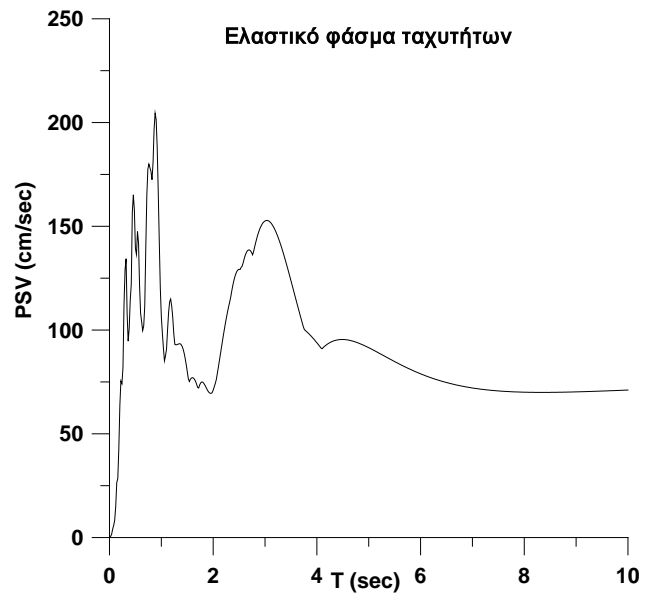
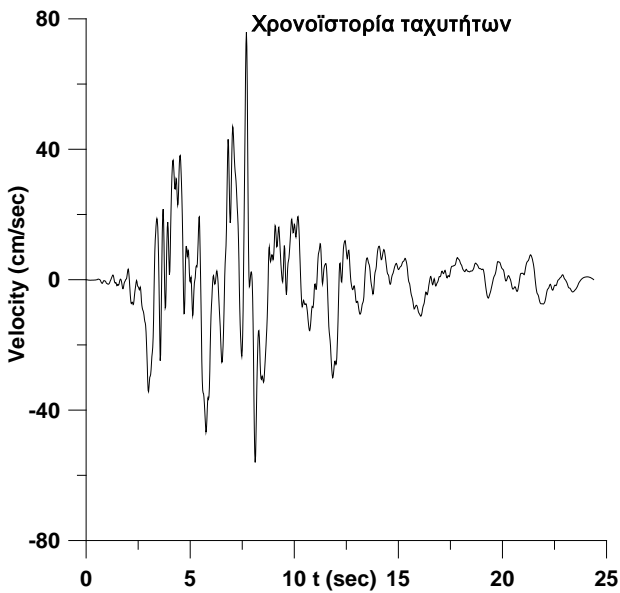
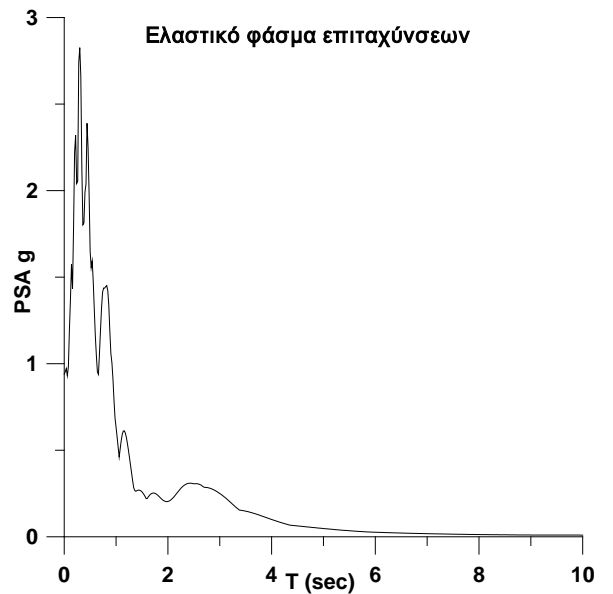
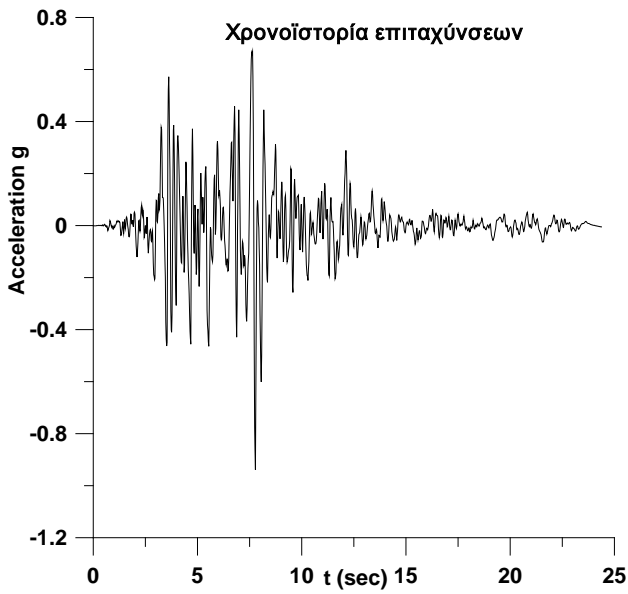
NORTHRIDGE 01/17/94, SANTA SUSANA GROUND, deg.000, Lat. 34.230,
Long.-118.712 PGA (g)= 0.279 PGV (cm/s)= 19.4 PGD (cm) = 4.11



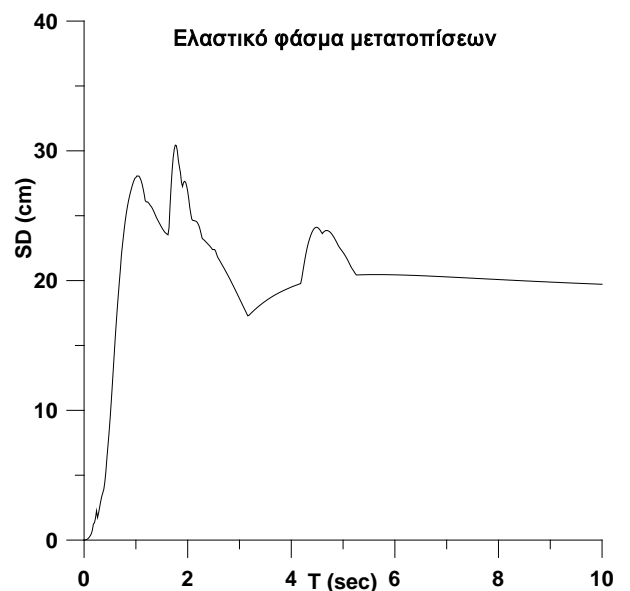
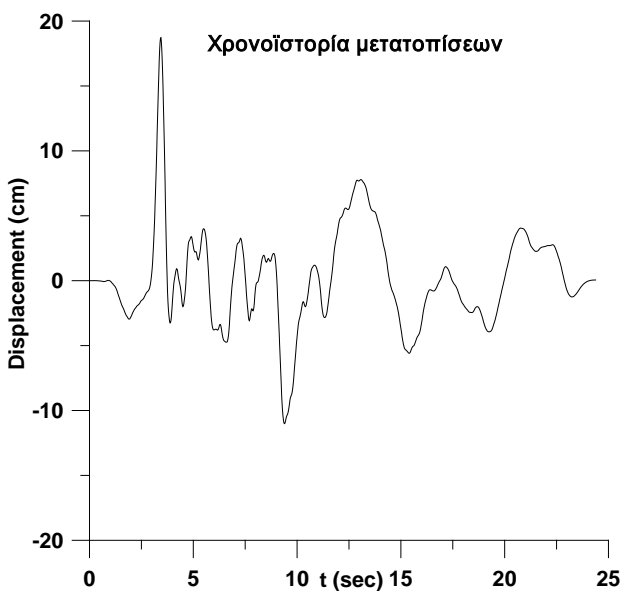
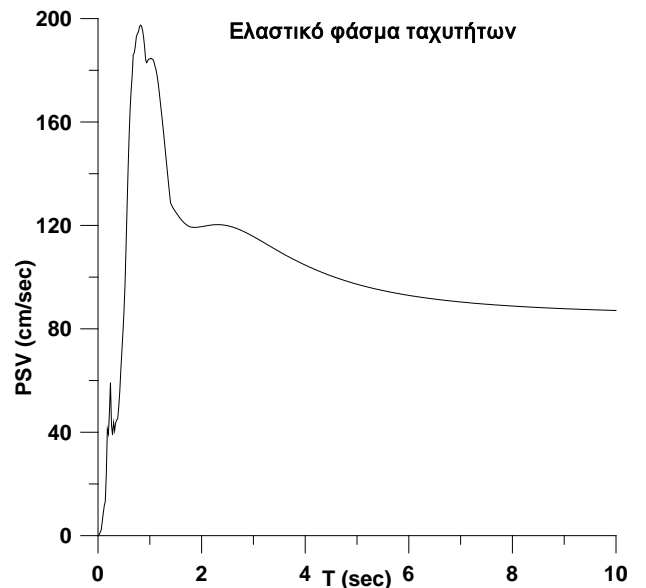
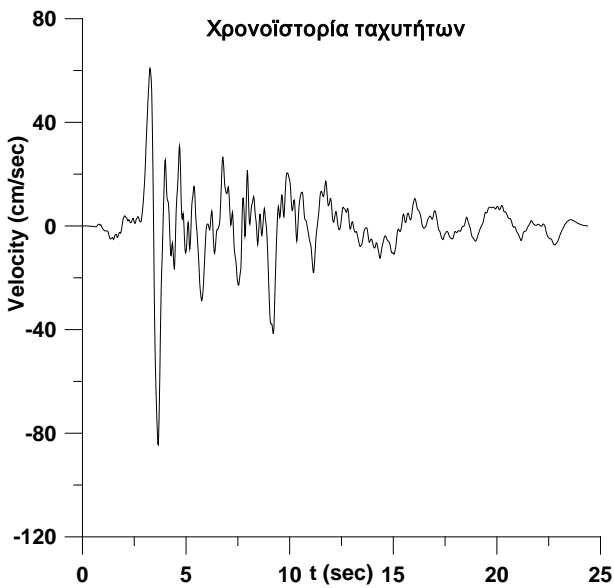
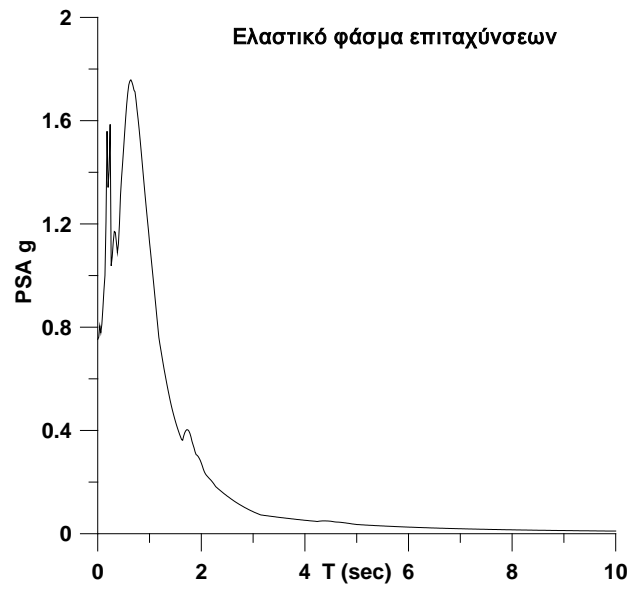
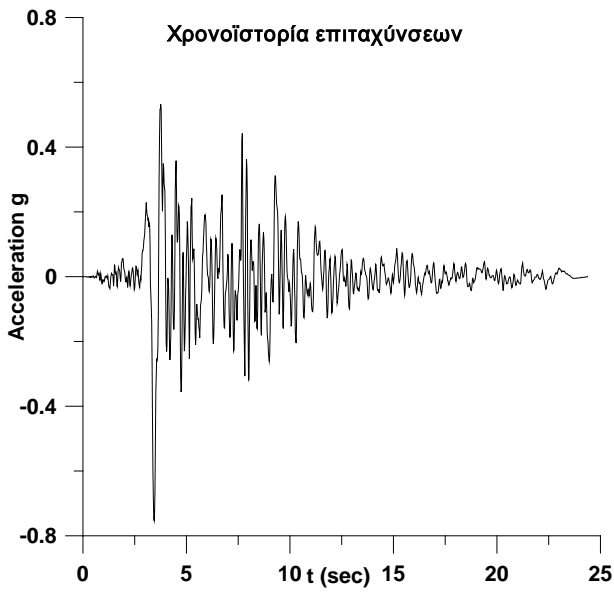
NORTHRIDGE 01/17/94, SANTA SUSANA GROUND, deg.090, Lat. 34.230,
Long.-118.712 PGA (g)= 0.29 PGV (cm/s)= 19.7 PGD (cm) = 7.45



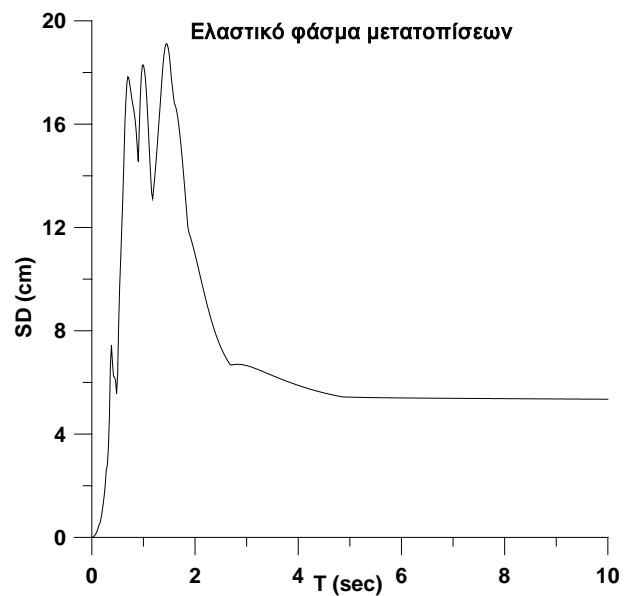
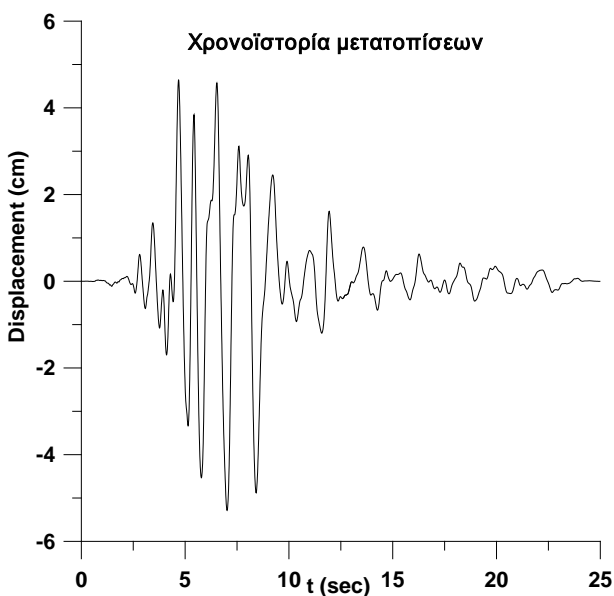
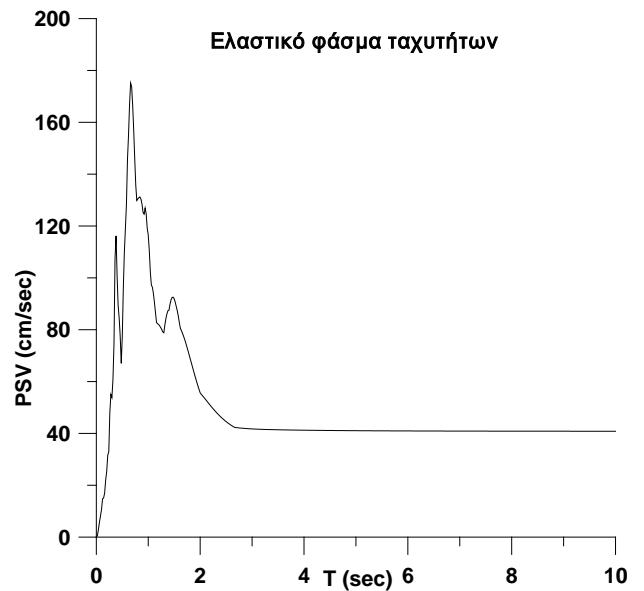
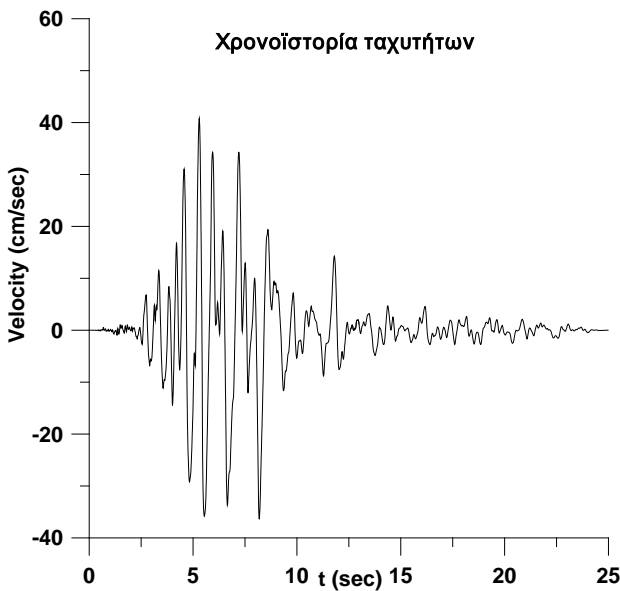
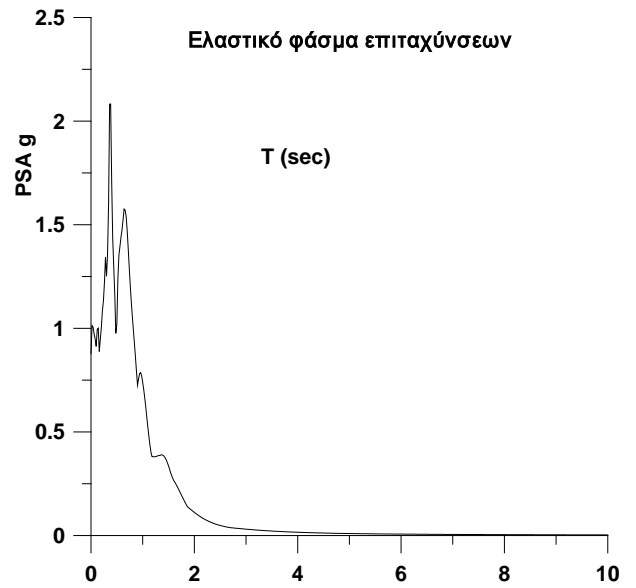
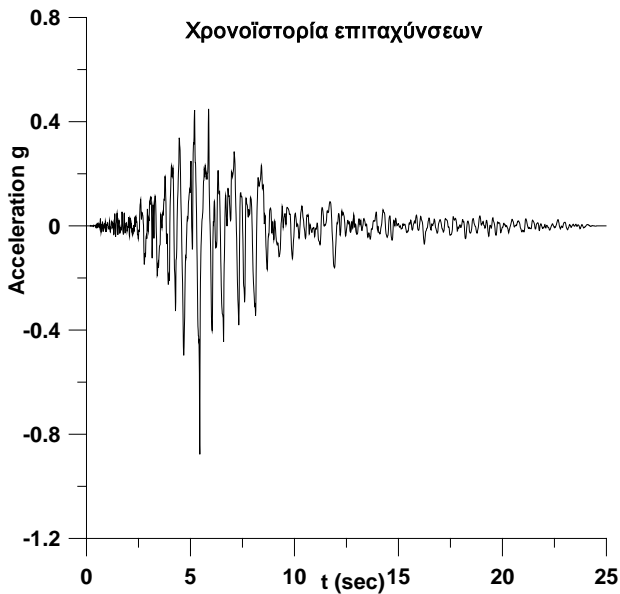
NORTHRIDGE 01/17/94, SEPULVEDA VA, deg.000, Lat. 34.249, Long.-118.475
PGA (g)= 0.939 PGV (cm/s)= 76.6 PGD (cm) = 14.95



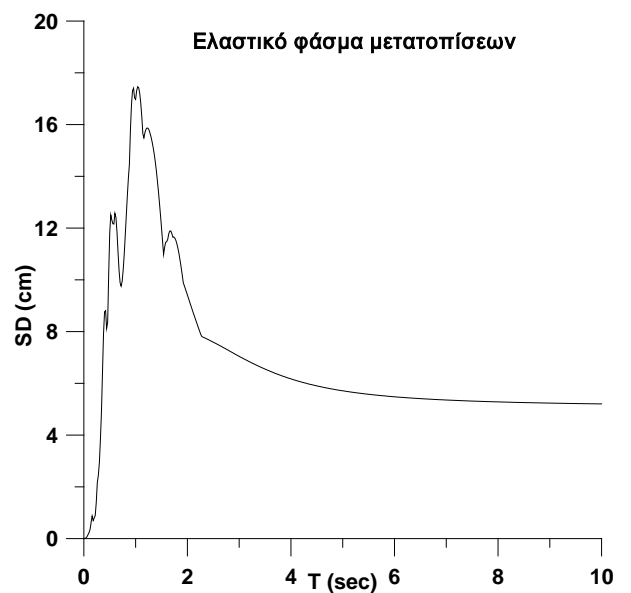
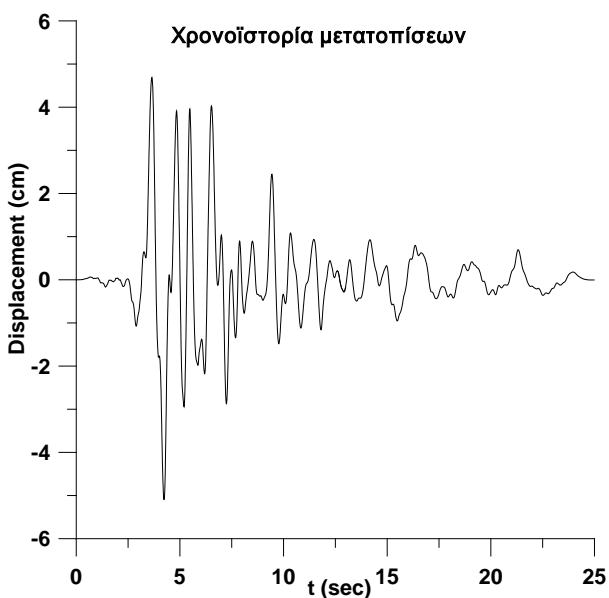
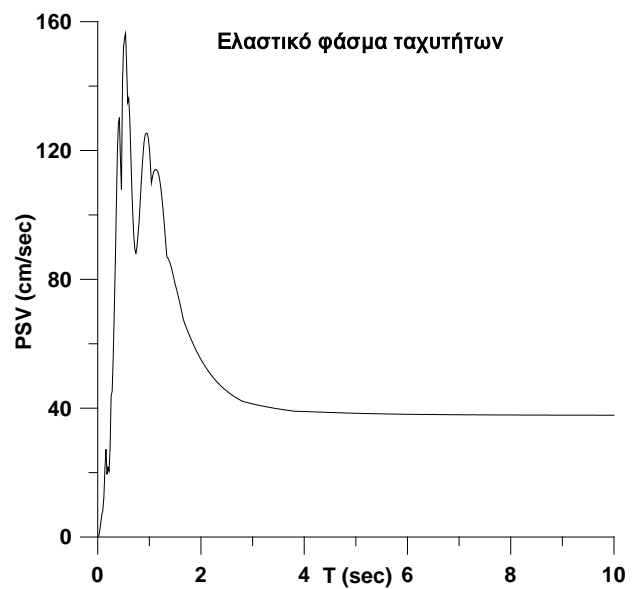
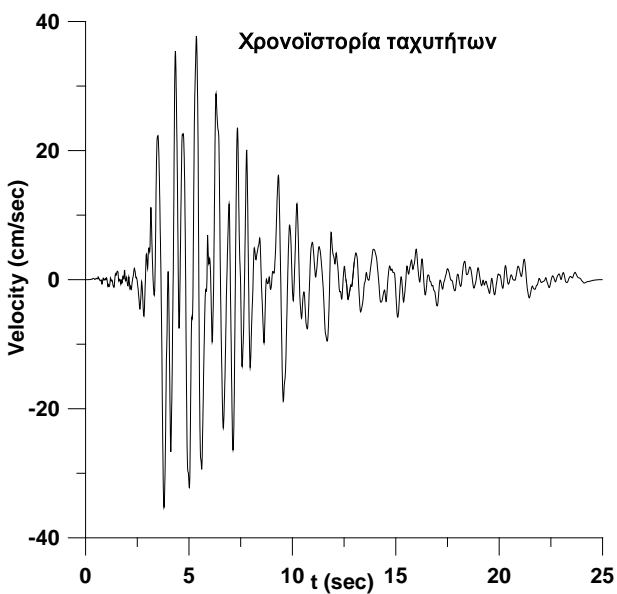
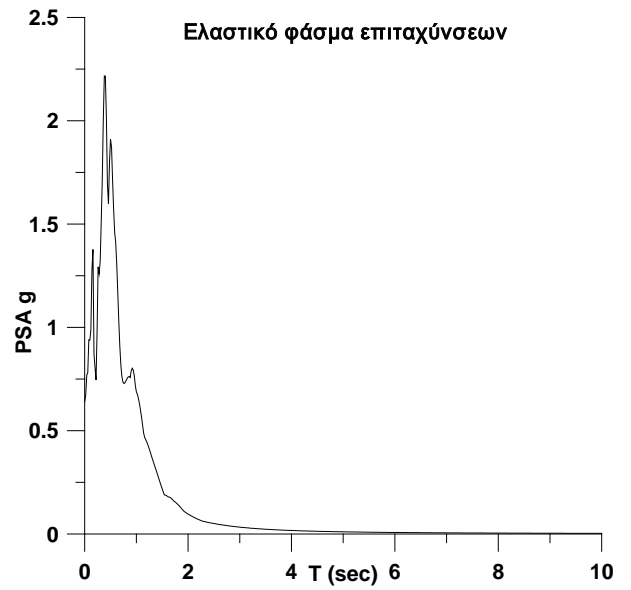
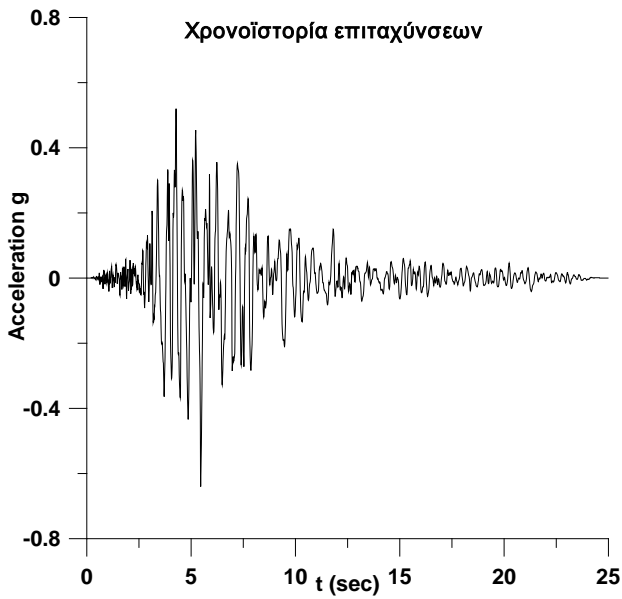
NORTHRIDGE 01/17/94, SEPULVEDA VA, deg.270, Lat. 34.249, Long.-118.475
PGA (g)= 0.753 PGV (cm/s)= 84.8 PGD (cm) = 18.68



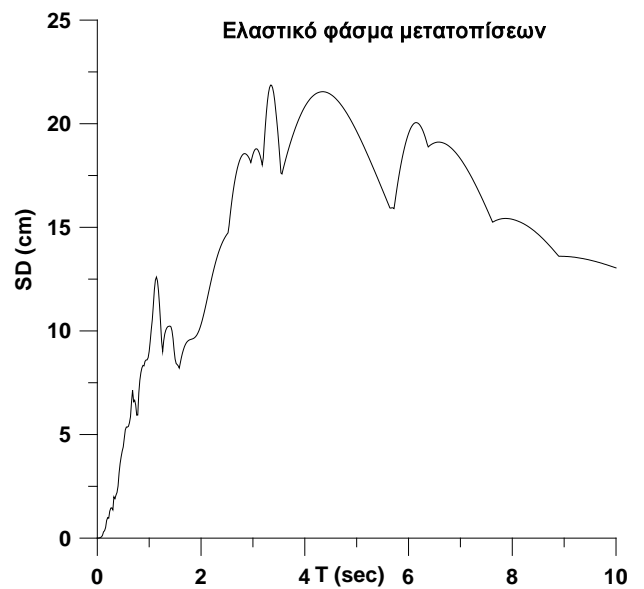
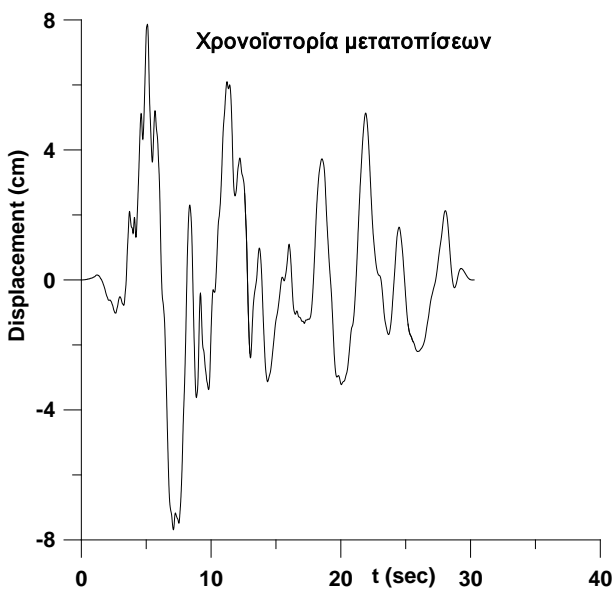
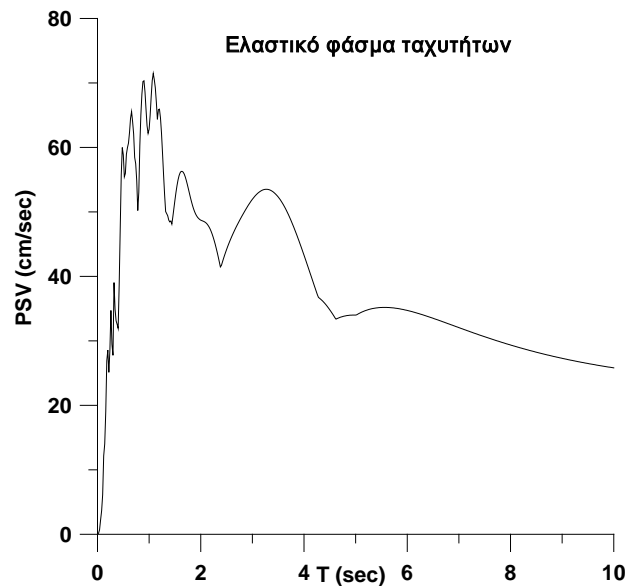
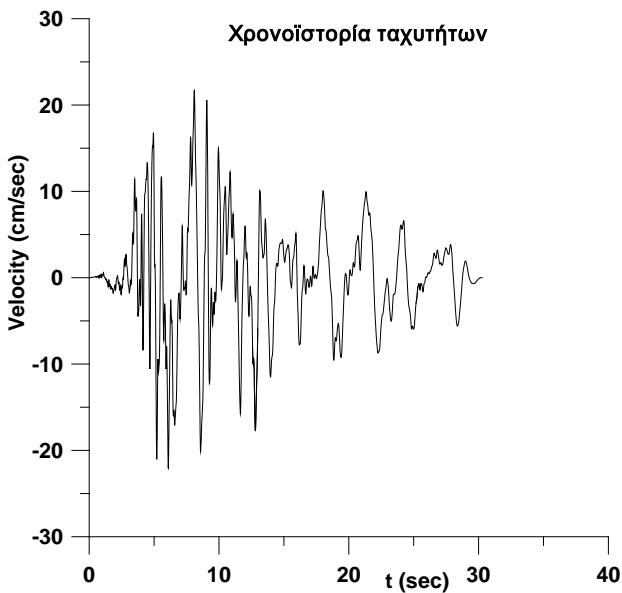
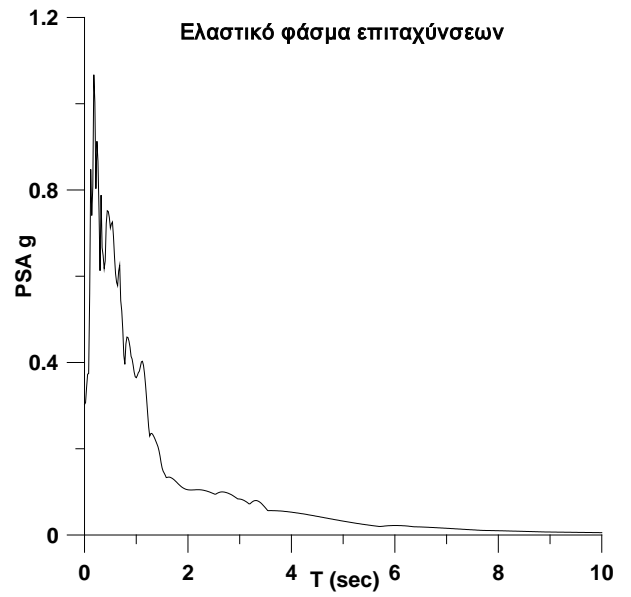
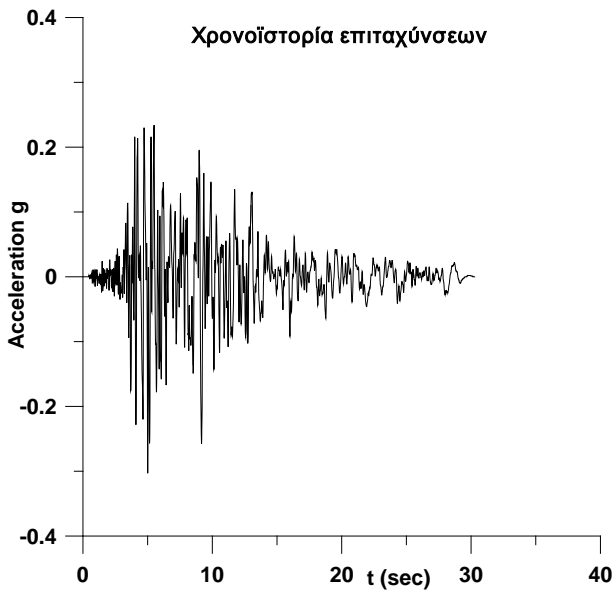
NORTHRIDGE 01/17/94, SIMI VALLEY - KATHERINE, deg.000 Lat. 34.264,
Long.-118.666 PGA (g)= 0.877 PGV (cm/s)= 40.9 PGD (cm) = 5.29



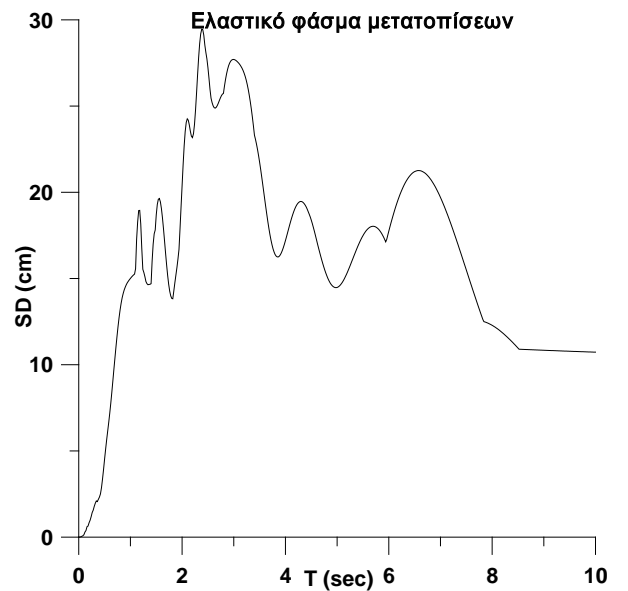
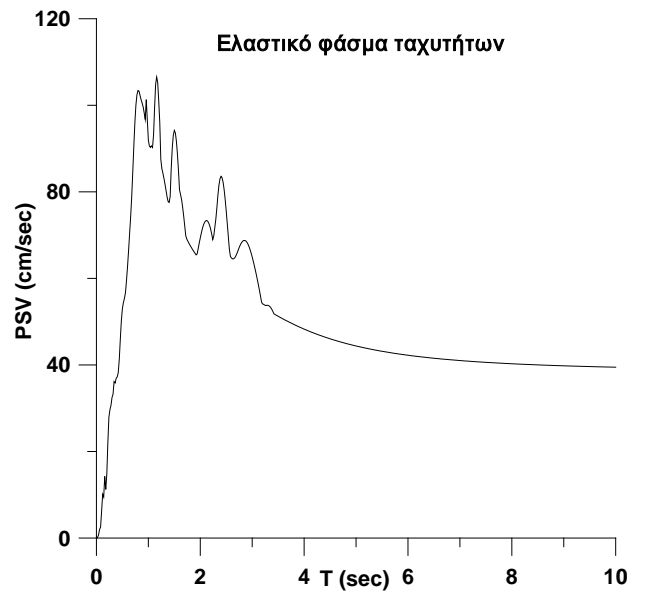
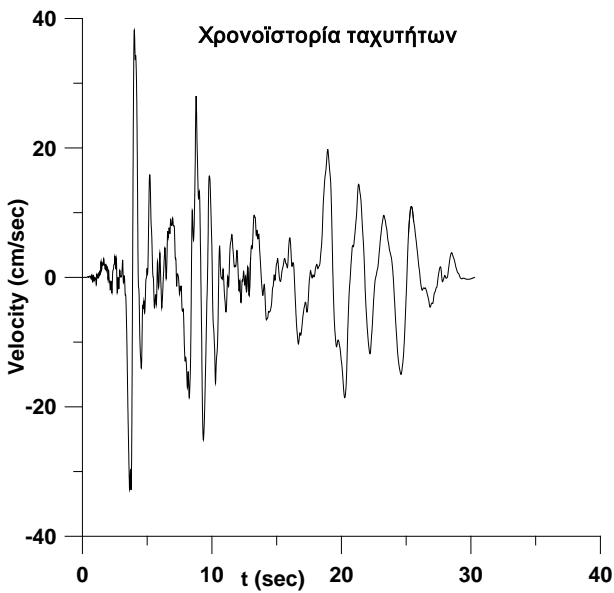
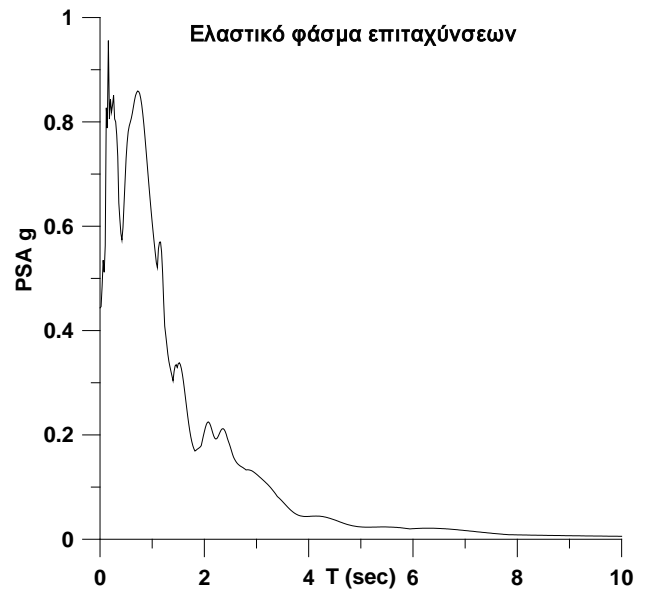
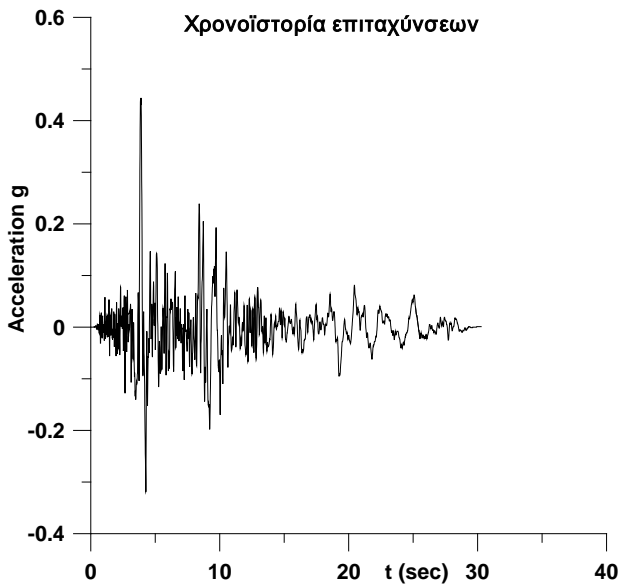
NORTHRIDGE 01/17/94, SIMI VALLEY - KATHERINE, deg.090 Lat. 34.264,
Long.-118.666 PGA (g)= 0.64 PGV (cm/s)= 37.8 PGD (cm) = 5.09



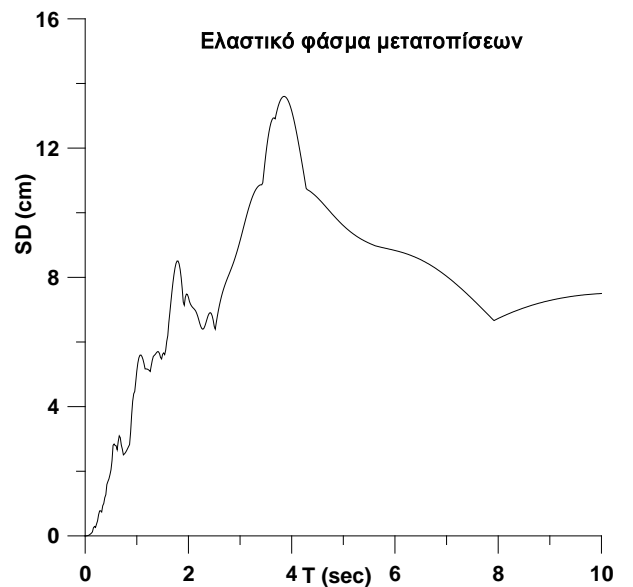
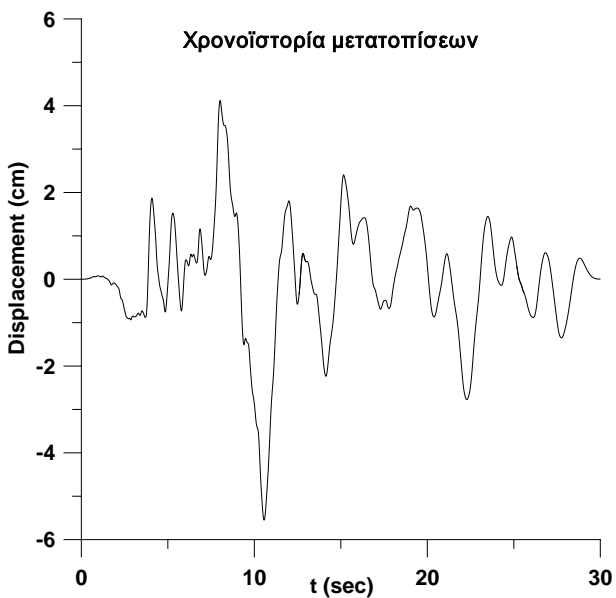
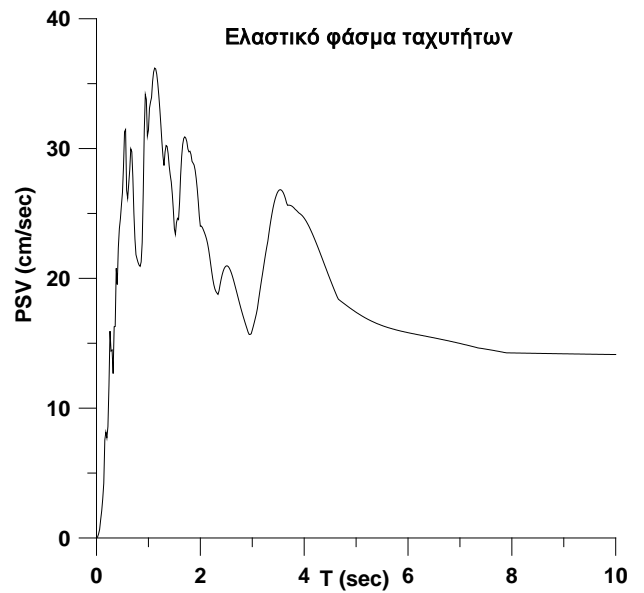
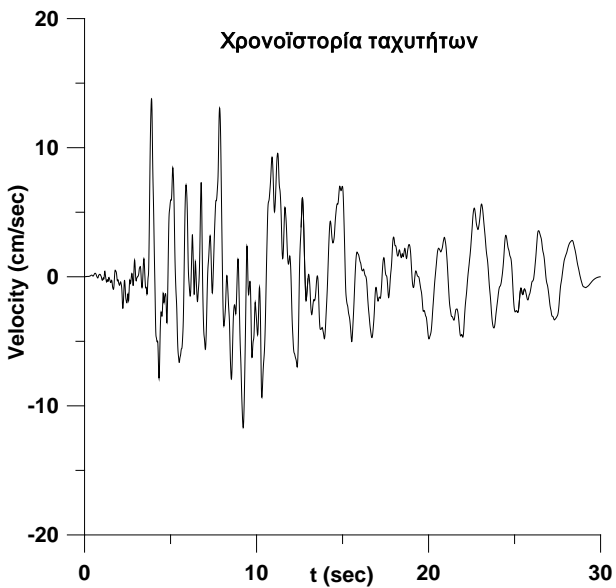
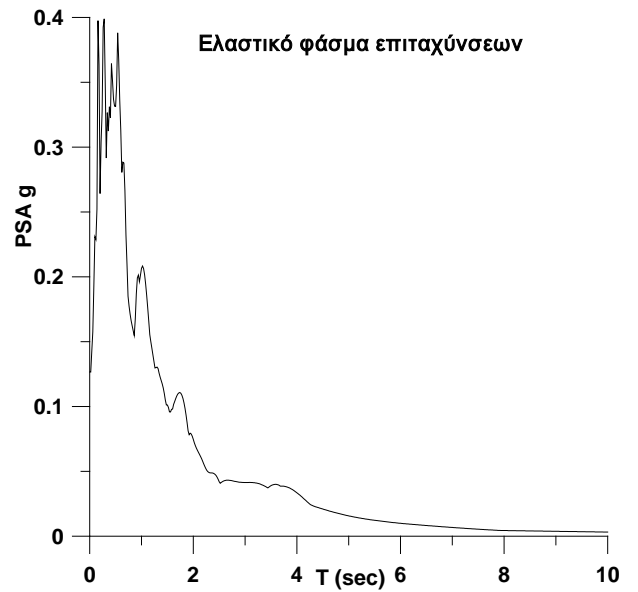
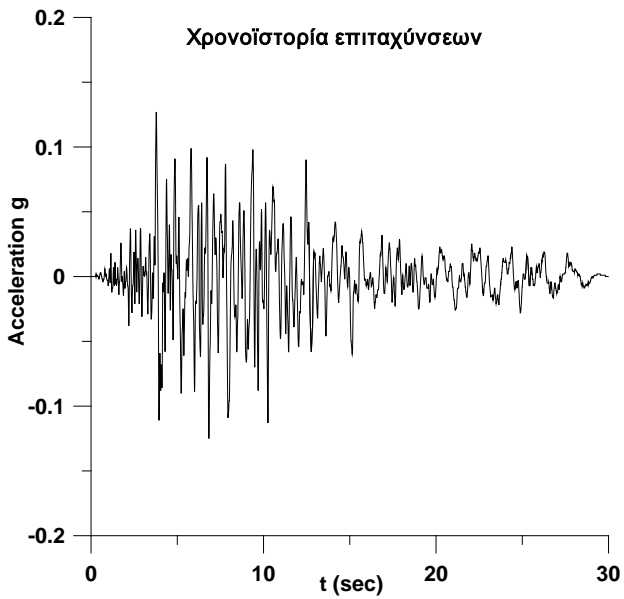
NORTHRIDGE 01/17/94, SUN VALLEY - ROSCOE, deg.000 Lat. 34.221,
Long.-118.421 PGA (g)= 0.303 PGV (cm/s)= 22.1 PGD (cm) = 7.84



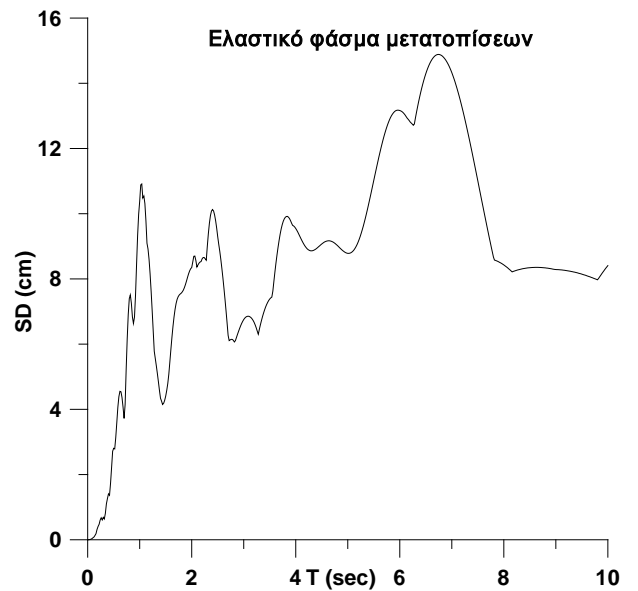
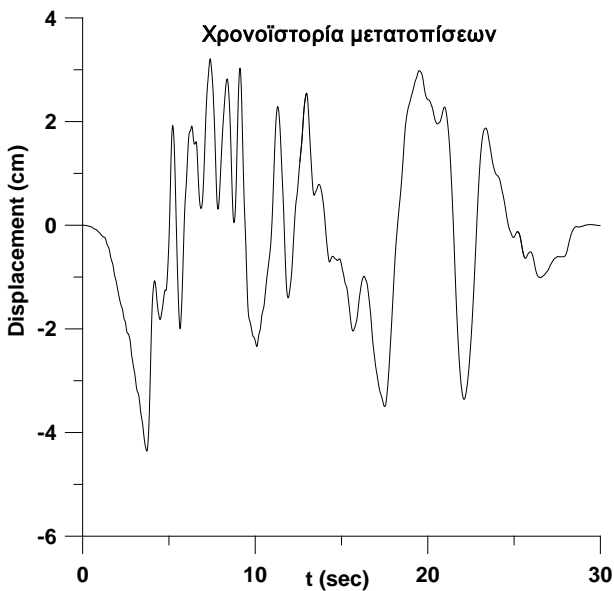
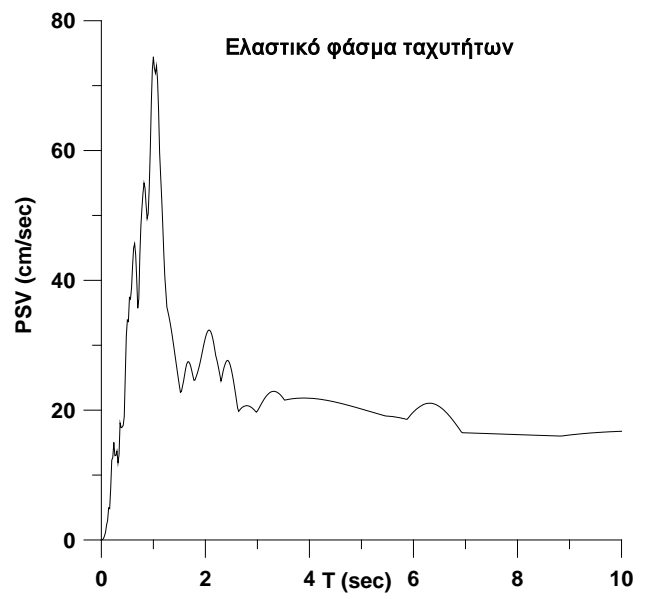
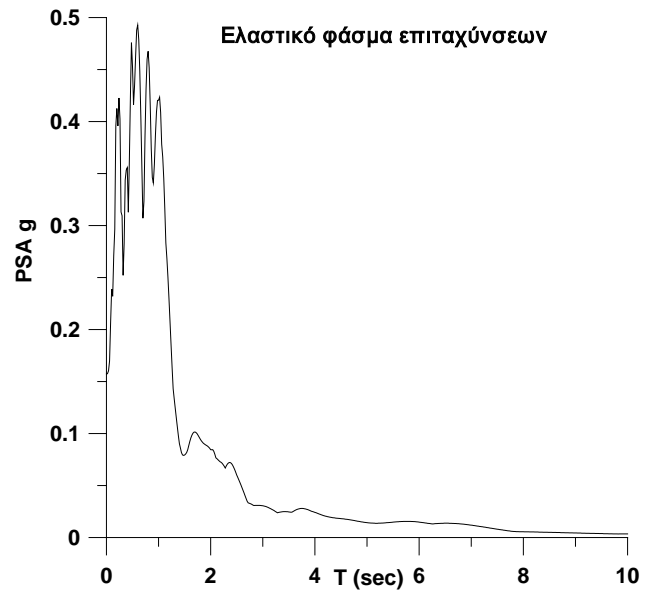
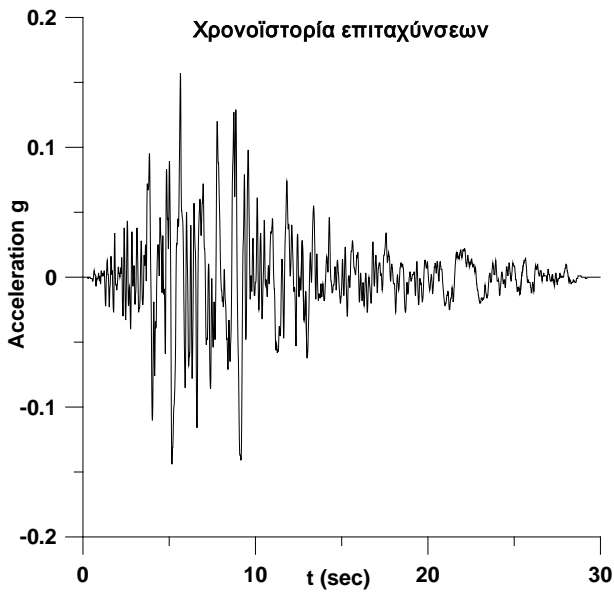
NORTHRIDGE 01/17/94, SUN VALLEY - ROSCOE, deg.090 Lat. 34.221,
Long.-118.421 PGA (g)= 0.443 PGV (cm/s)= 38.2 PGD (cm) = 10.04



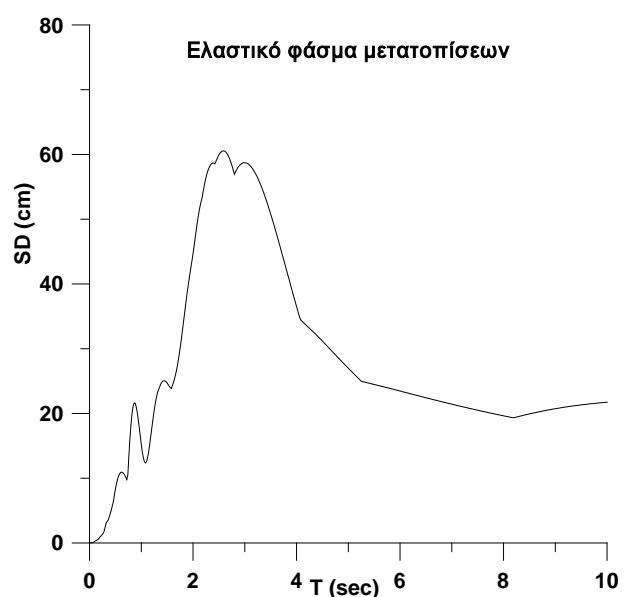
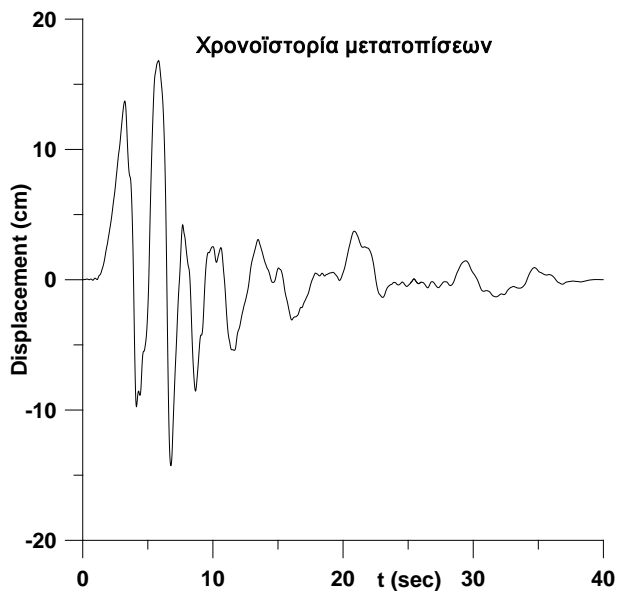
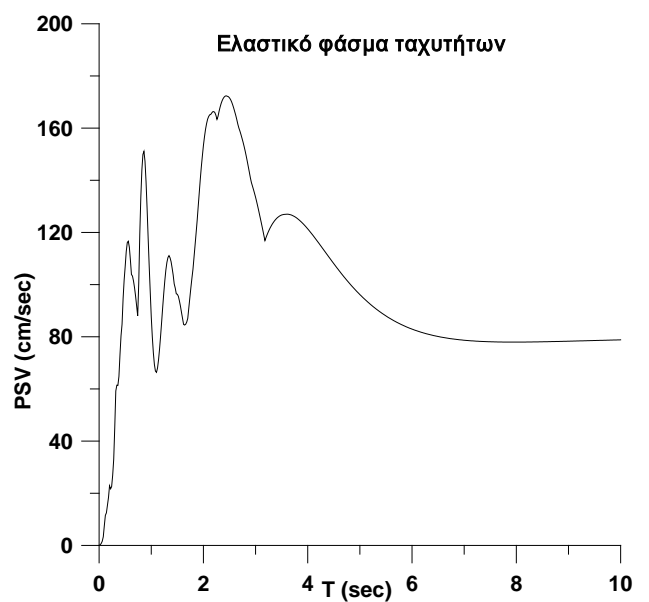
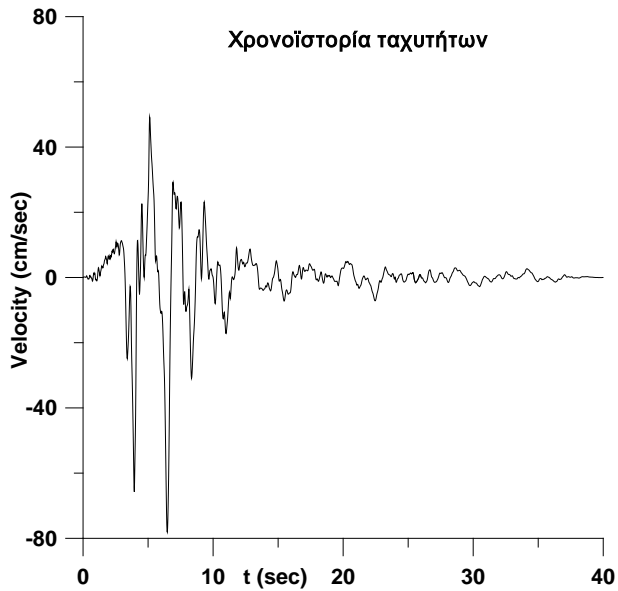
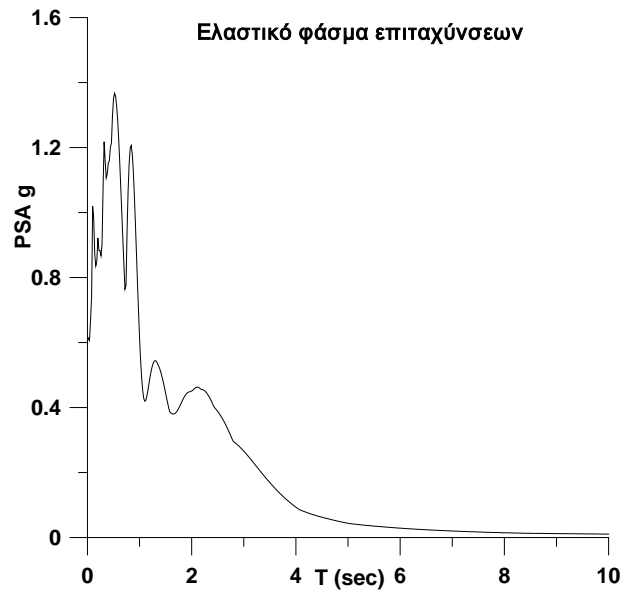
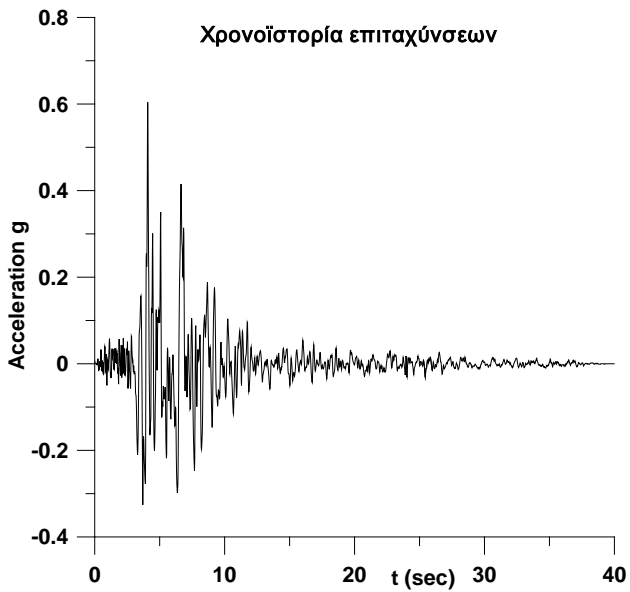
NORTHRIDGE 01/17/94, SUNLAND - MT GLEASON, deg.170 Lat. 34.269,
Long.-118.303 PGA (g)= 0.127 PGV (cm/s)= 13.8 PGD (cm) = 5.54



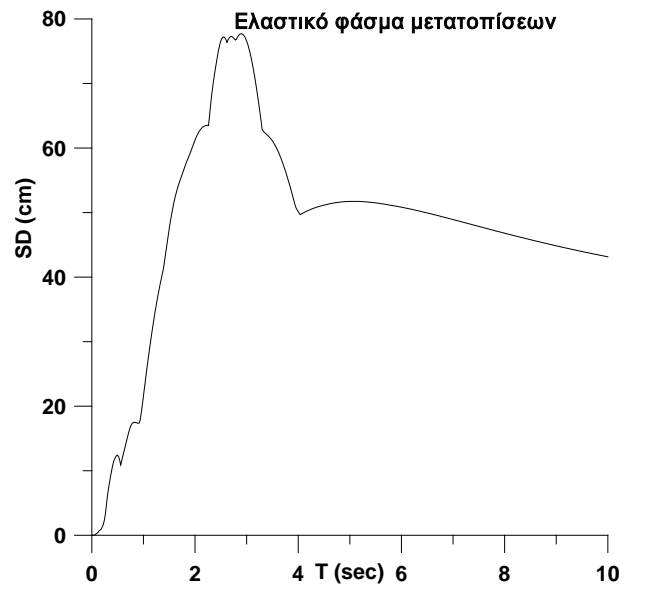
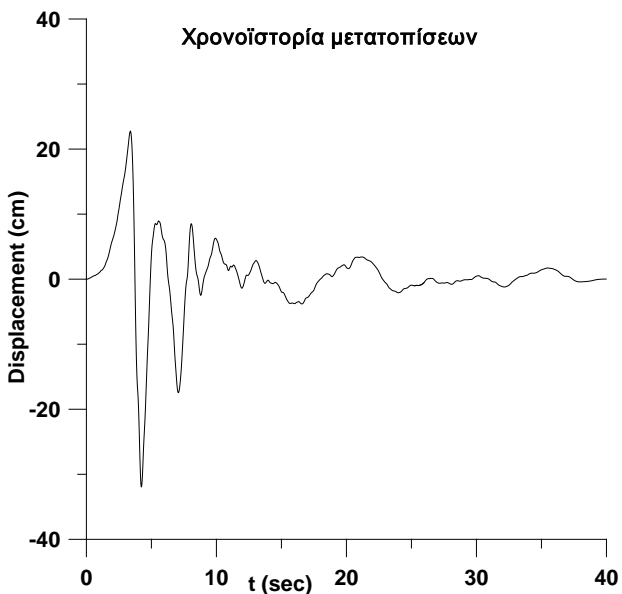
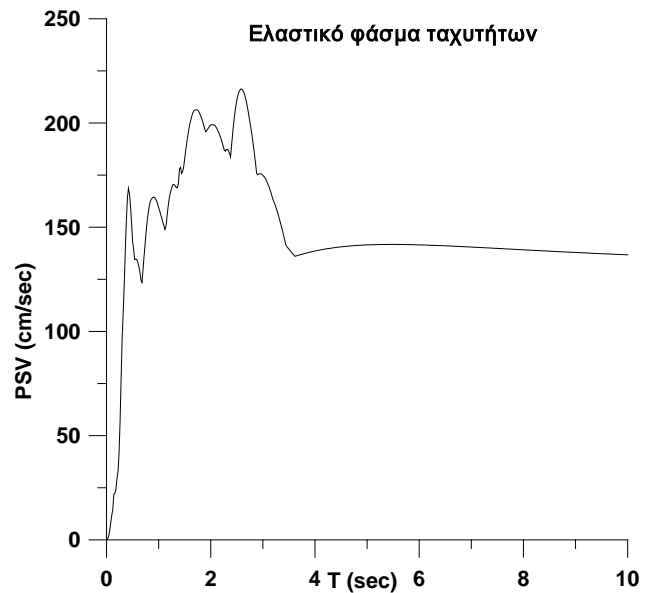
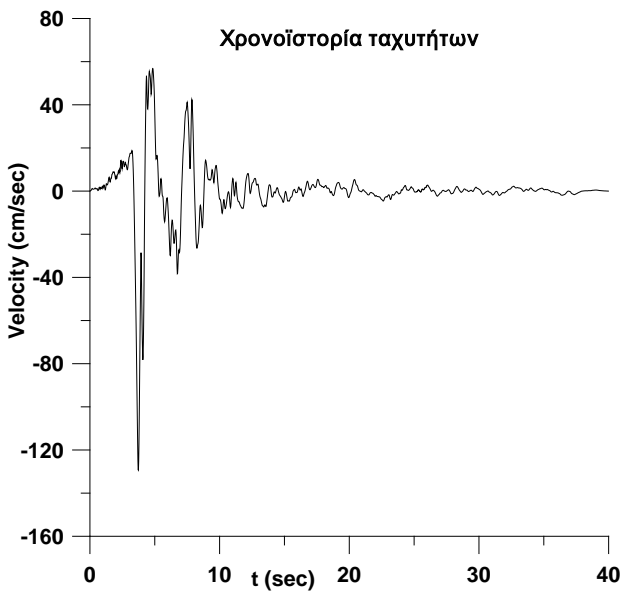
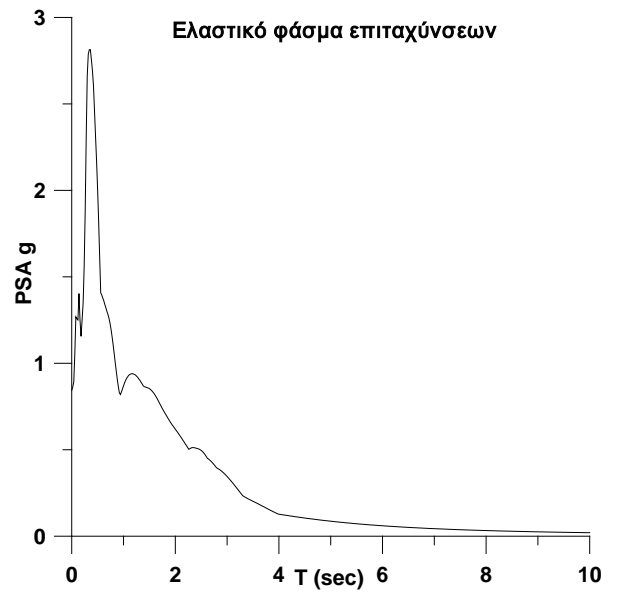
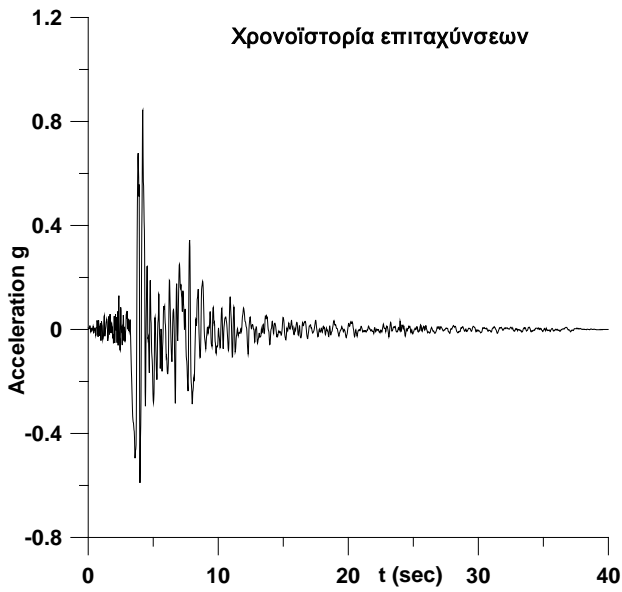
NORTHRIDGE 01/17/94, SUNLAND - MT GLEASON, deg.260 Lat. 34.269,
Long.-118.303 PGA (g)= 0.157 PGV (cm/s)= 14.5 PGD (cm) = 4.29



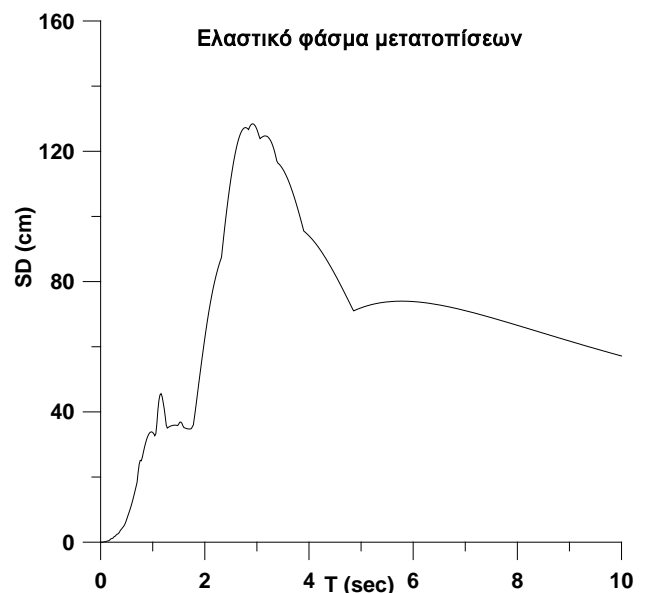
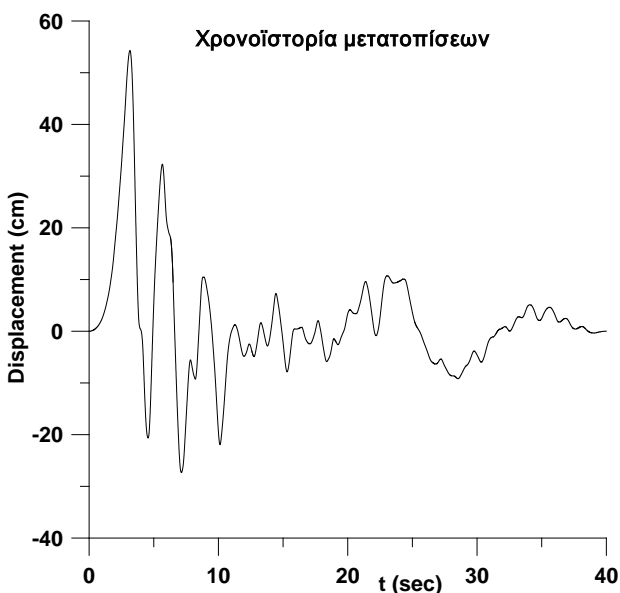
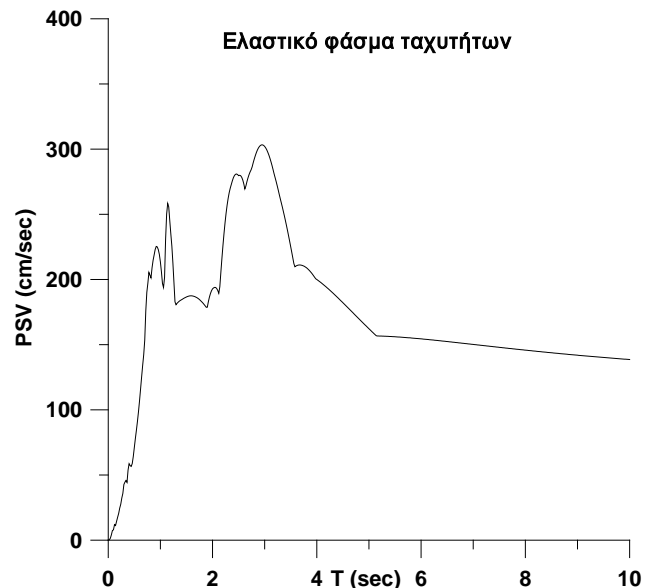
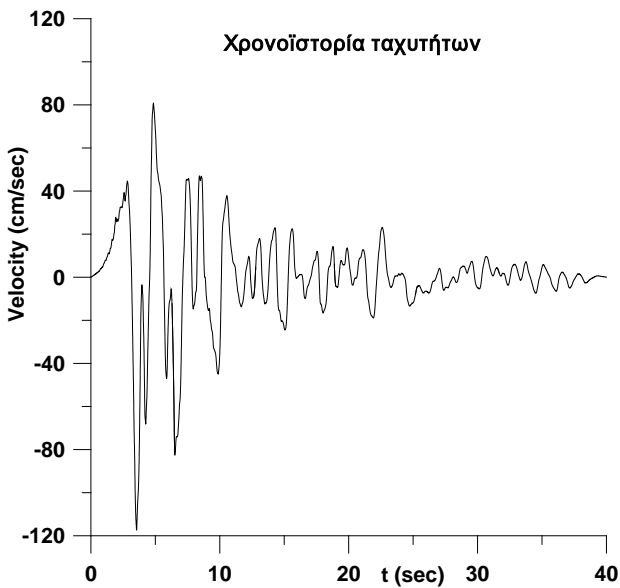
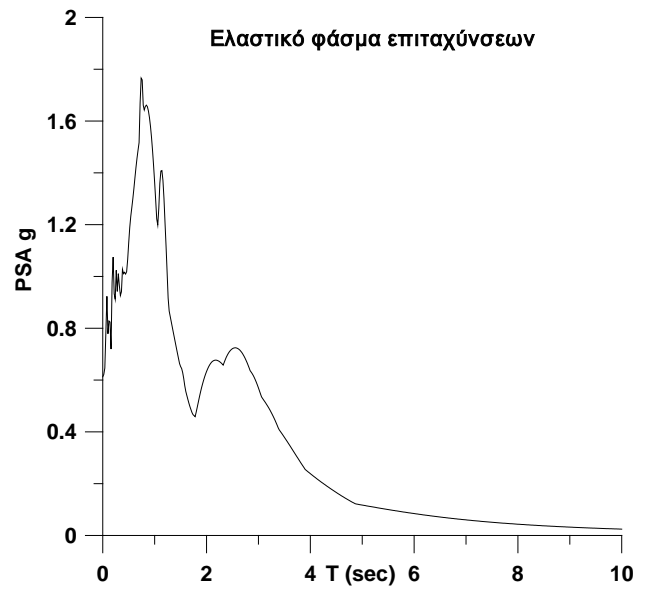
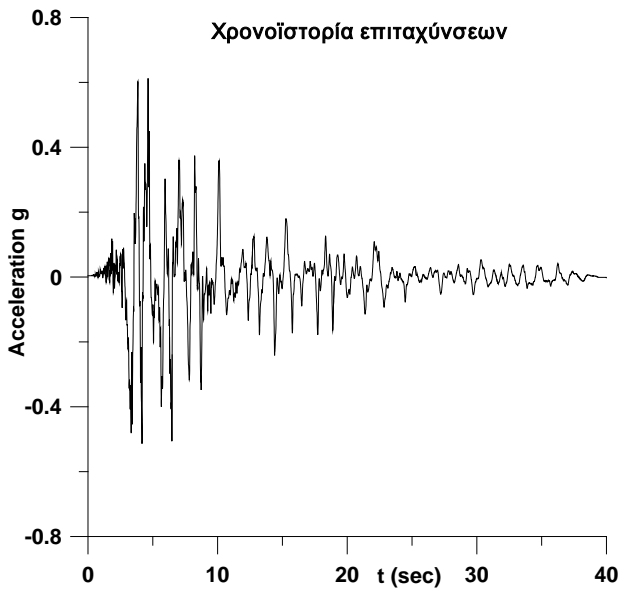
NORTHRIDGE 01/17/94, SYLMAR - HOSPITAL, deg.090 Lat. 34.326, Long.-118.444
PGA (g)= 0.604 PGV (cm/s)= 78.2 PGD (cm) = 16.05



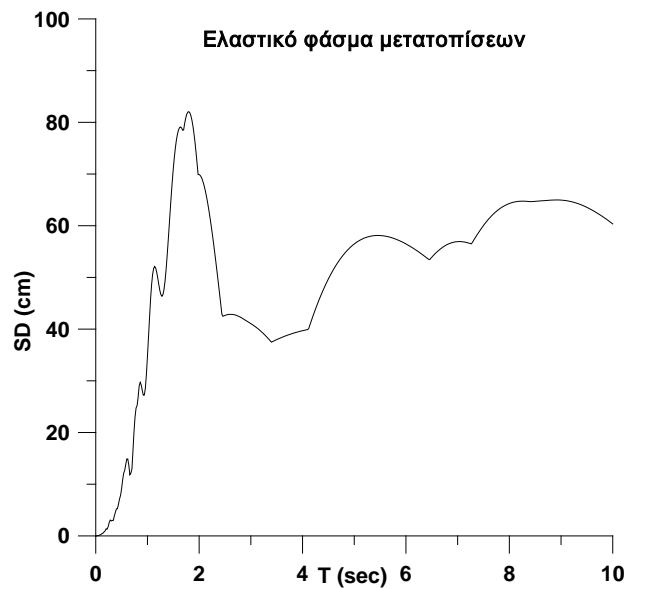
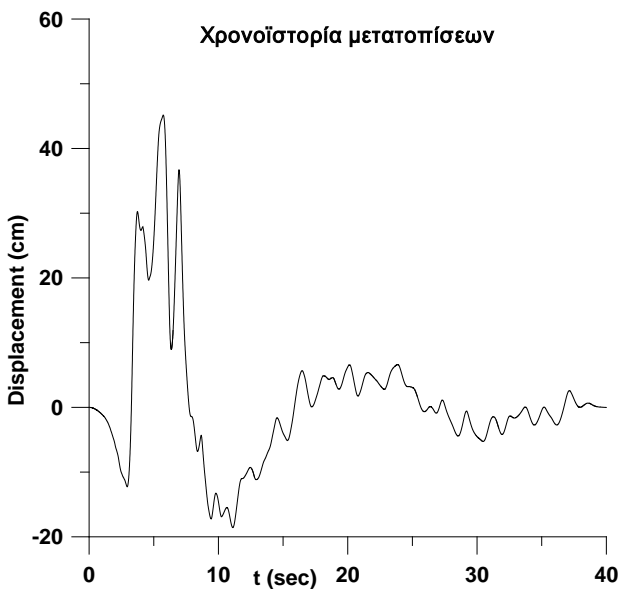
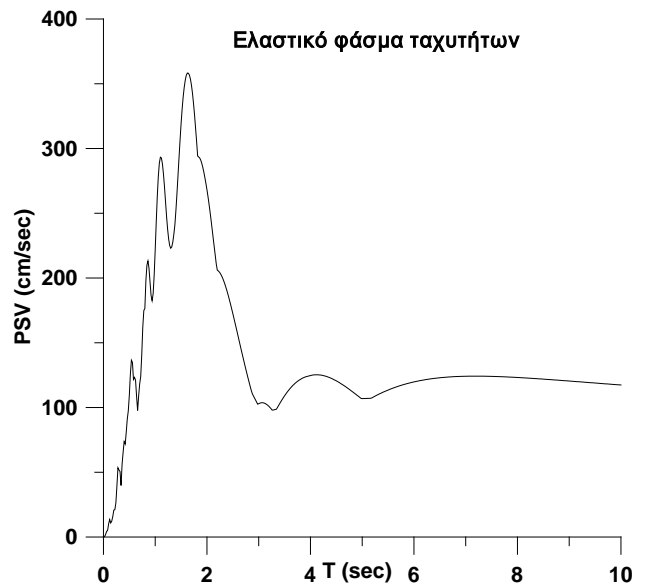
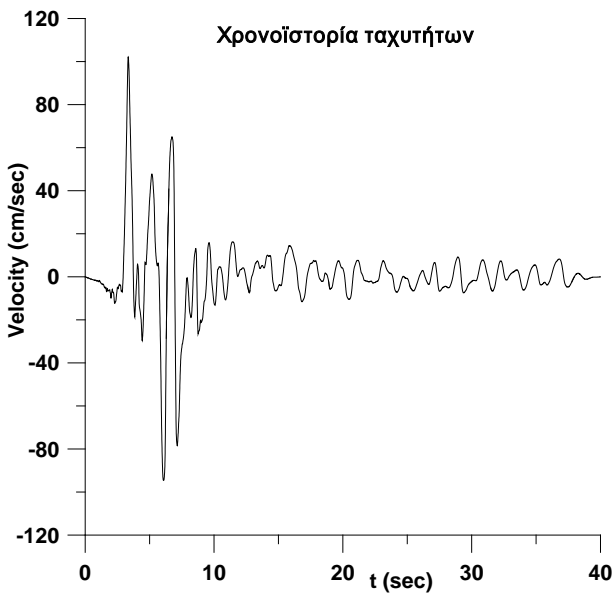
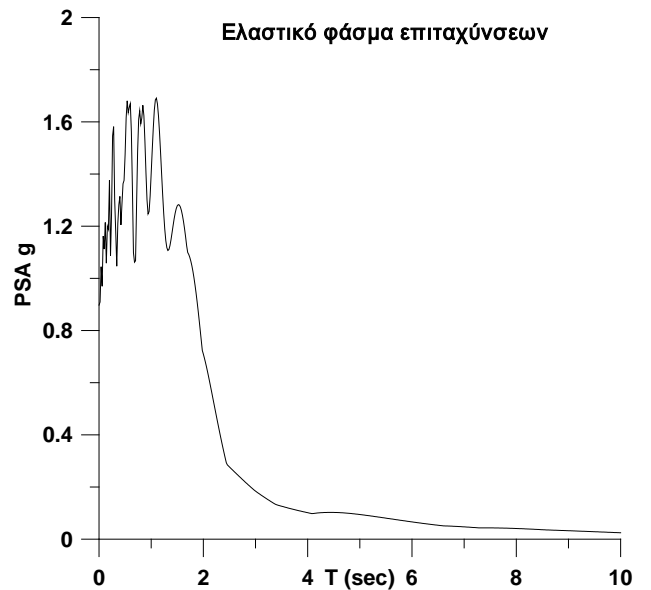
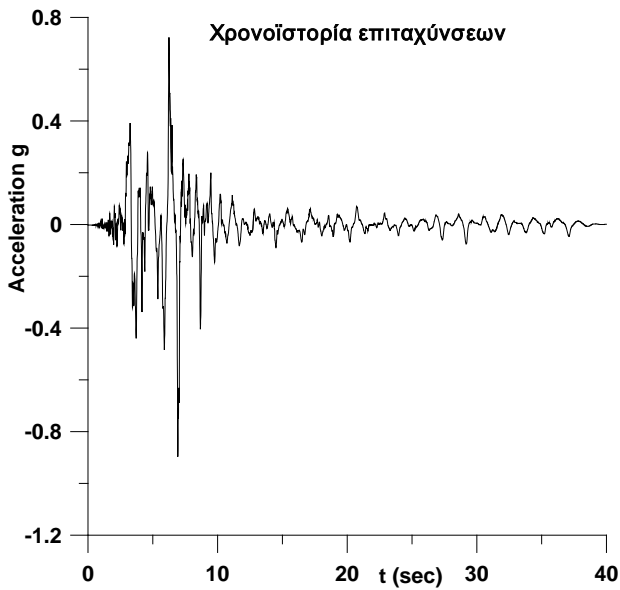
NORTHRIDGE 01/17/94, SYLMAR - HOSPITAL, deg.360 Lat. 34.326, Long.-118.444
PGA (g)= 0.843 PGV (cm/s)= 129.6 PGD (cm) = 32.68



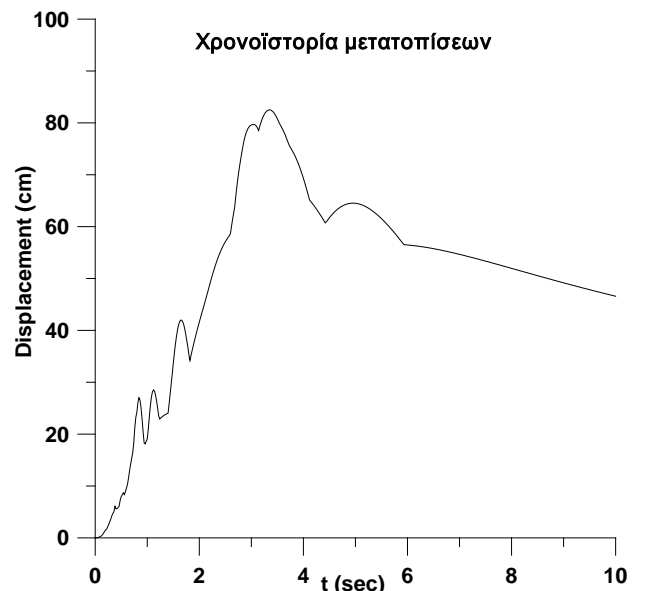
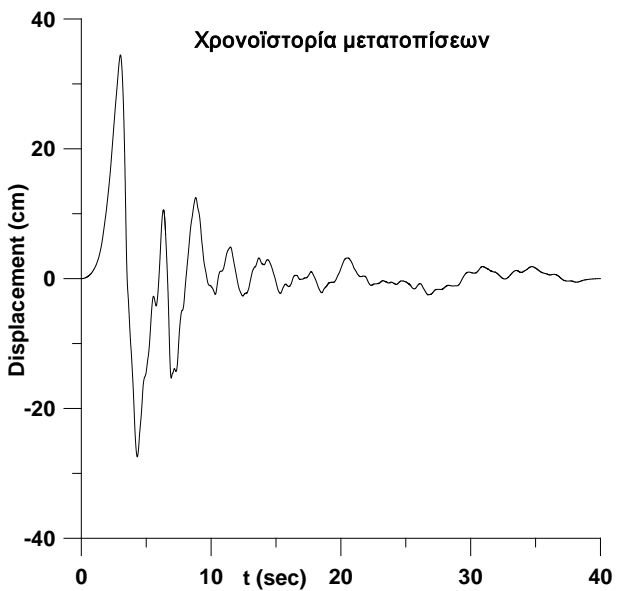
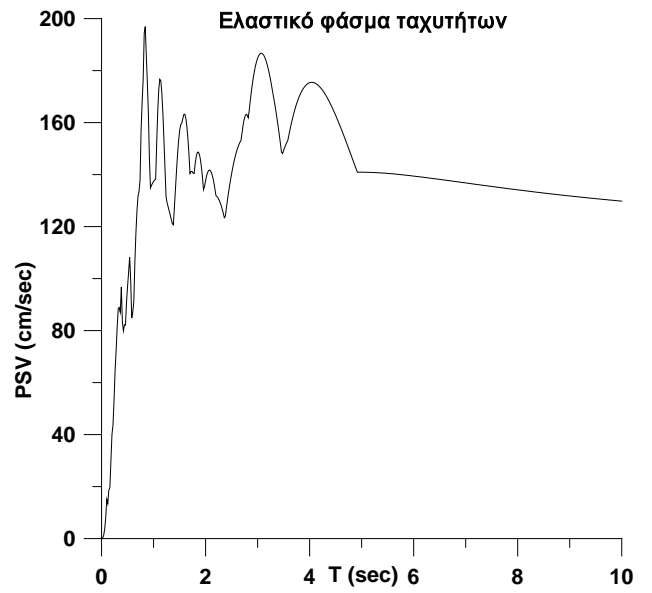
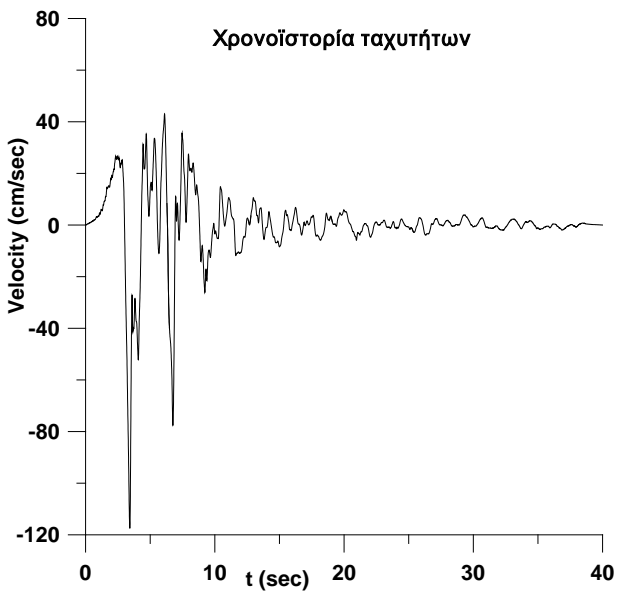
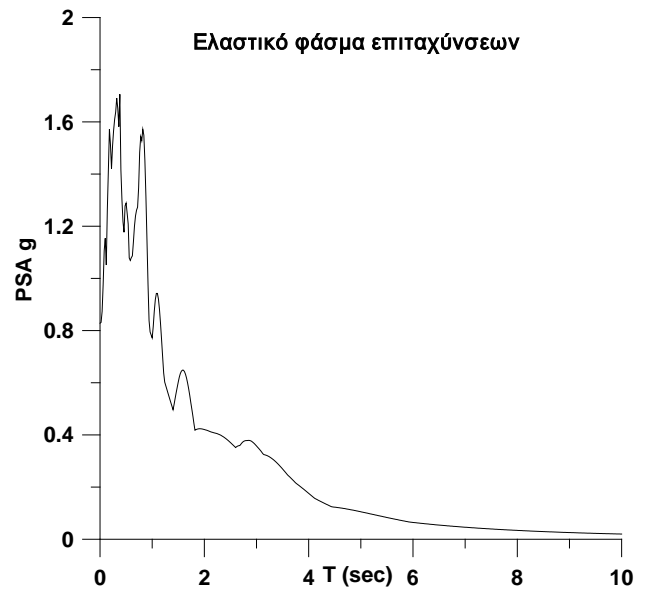
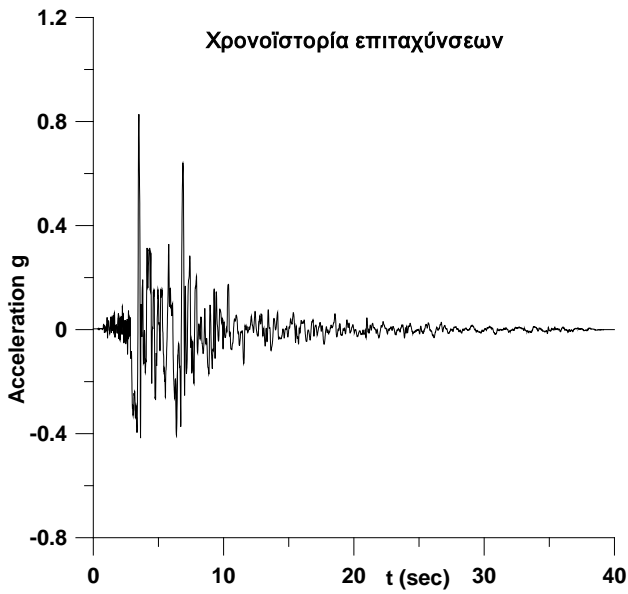
NORTHRIDGE 01/17/94, SYLMAR-CONVERTER STA, deg.052, Lat. 34.311,
Long.-118.490 PGA (g)= 0.612 PGV (cm/s)= 117.4 PGD (cm) = 53.47



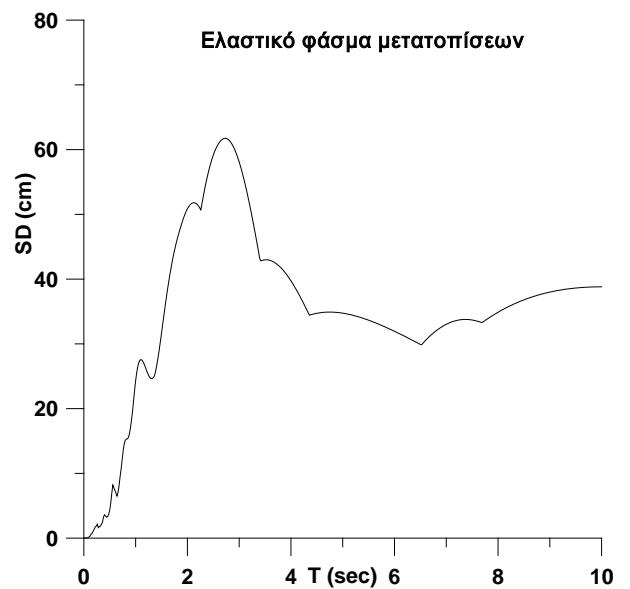
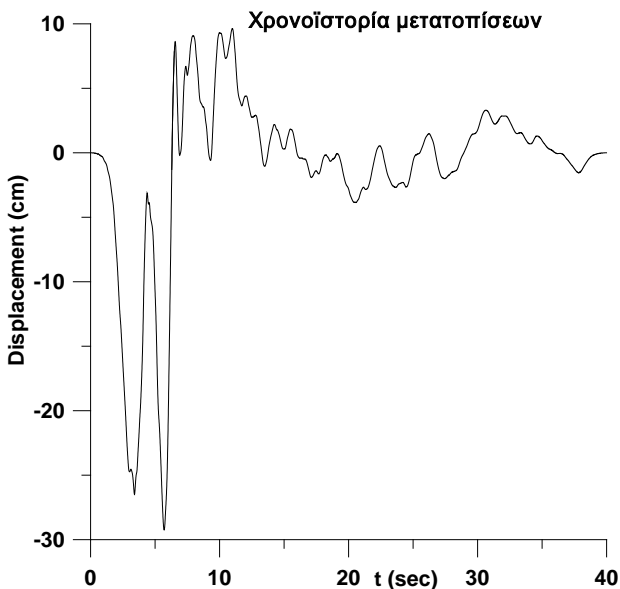
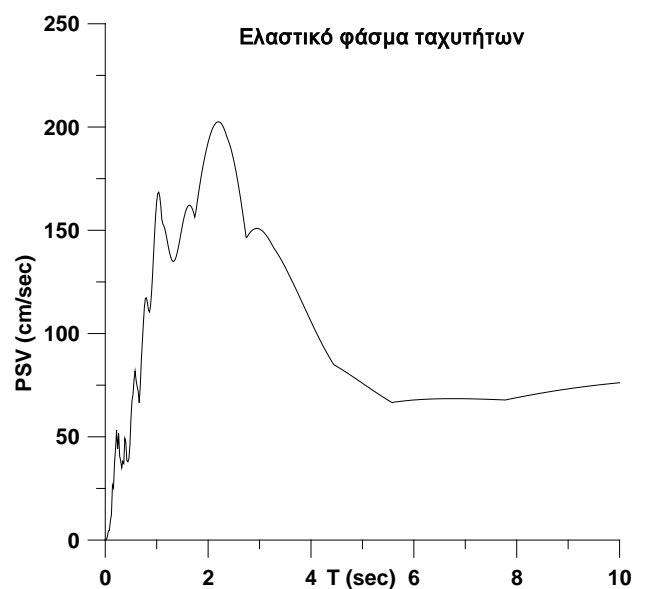
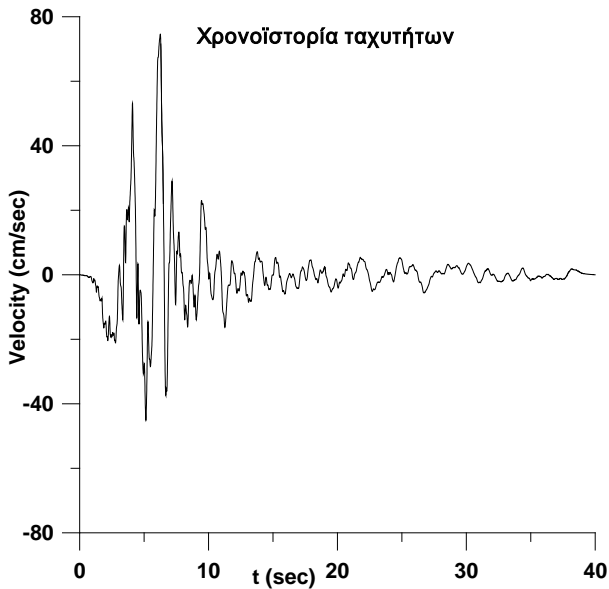
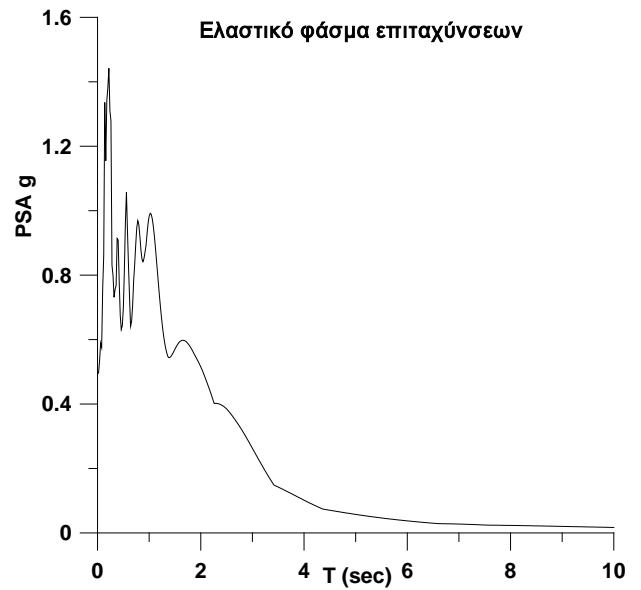
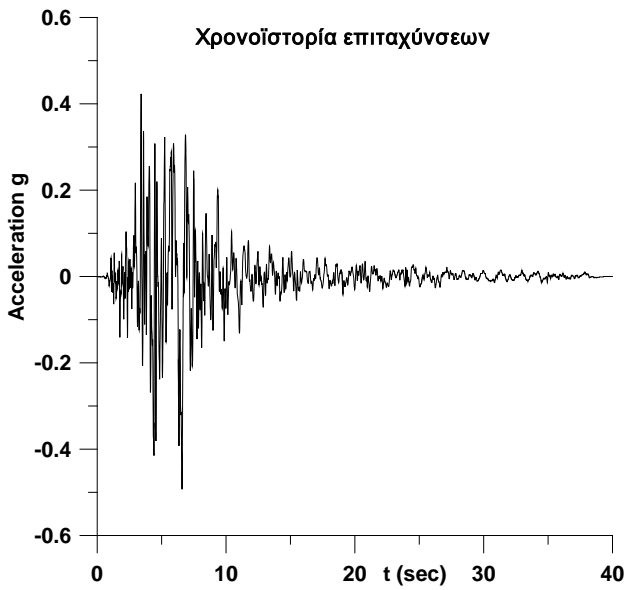
NORTHRIDGE 01/17/94, SYLMAR-CONVERTER STA, deg.142, Lat. 34.311,
Long.-118.490 PGA (g)= 0.897 PGV (cm/s)= 102.8 PGD (cm) = 46.99



NORTHRIDGE 01/17/94, SYLMAR-CONVERTER STA-EAST, deg.018, Lat. 34.312,
Long.-118.481 PGA (g)= 0.828 PGV (cm/s)= 117.5 PGD (cm) = 34.22



NORTHRIDGE 01/17/94, SYLMAR-CONVERTER STA-EAST, deg.288, Lat. 34.312,
Long.-118.481 PGA (g)= 0.493 PGV (cm/s)= 74.6 PGD (cm) = 28.69



Κεφάλαιο 4 – Ποσοτικός προσδιορισμός φασμάτων απόκρισης μετατοπίσεων που έχουν επηρεαστεί από την κατευθυντικότητα της εδαφικής κίνησης

4.1 Εισαγωγή

Ο σχεδιασμός με βάση τη συμπεριφορά της κατασκευής εστιάζει στον άμεσο έλεγχο των βλαβών, αντικαθιστώντας την χρήση των επιταχύνσεων και των δυνάμεων αδράνειας με μετατοπίσεις και παραμορφώσεις των δομικών μελών. Κατά συνέπεια, το φάσμα απόκρισης μετακινήσεων αποκτά νέα σημασία ως η κρίσιμη παράμετρος που επηρεάζει την απαιτούμενη απόκριση των κατασκευών, ιδιαίτερα στην περιοχή μεσαίων και μεγάλων περιόδων λόγω της μετακίνησης σε αυτήν την περιοχή της ενεργής ή δρώσας ιδιοπεριόδου των κατασκευών. Η εργασία αυτή παρουσιάζει μια μέθοδο για την ποσοτικοποίηση των φασμάτων απόκρισης μετακίνησης που σχετίζονται με την επίδραση της κατευθυντικότητας της διάρρηξης του ρήγματος στην περιοχή του κοντινού ή εγγύς πεδίου. Η προτεινόμενη μέθοδος συνδυάζει το μοντέλο πηγής Haskell με το πλάτος των φασμάτων απόκρισης μετατόπισης σε διάφορες θέσεις γύρω από τη διάρρηξη του ρήγματος, λαμβάνοντας υπόψη τις διάφορες πτυχές της κατευθυντικότητας.

Παρατηρείται ότι τα εύρη των φασμάτων μετακίνησης, καθώς και το σχήμα τους, επηρεάζονται άμεσα από τον προσανατολισμό της θέσης καταγραφής σχετικά με το ίχνος του ρήγματος και το επίκεντρο του σεισμικού γεγονότος και κλιμακώνονται με τη σεισμική ροπή. Ο χρόνος ανάδυσης και η διάρκεια της διάρρηξης του ρήγματος φαίνεται ότι είναι κρίσιμες παράμετροι που επηρεάζουν το εύρος και το σχήμα του φάσματος απόκρισης μετακίνησης, όπως αποδεικνύεται για τις χαρακτηριστικές περιπτώσεις των φαινομένων της πρόσω και όπισθεν κατευθυντικότητας. Επιπροσθέτως, πρόσφατα προτεινόμενες παράμετροι που αφορούν στη διάρκεια και την ένταση της μεγάλης περιόδου συνιστώσας της κίνησης του εδάφους και που συνδέονται με το χρονικό ολοκλήρωμα της απόλυτης εδαφικής ταχύτητας, έχει αποδειχθεί ότι συνδέονται άμεσα με το εύρος των φασμάτων

απόκρισης μετακίνησης και ότι σχετίζονται με παραμέτρους του μηχανισμού διάρρηξης όπως ο χρόνος ανάδυσης και η διάρκεια της διάρρηξης του ρήγματος.

Η προτεινόμενη μεθοδολογία επιτρέπει την αξιόπιστη εκτίμηση του εύρους και του σχήματος του φάσματος απόκρισης μετακίνησης για τις περιοχές μεσαίας και μεγάλης περιόδου. Η αξιολόγηση αυτή δίνεται για διάφορες τοποθεσίες γύρω από την διάρρηξη του ρήγματος, και κυμαίνεται από την περιοχή που επηρεάστηκε από ισχυρή πρόσω κατευθυντικότητα σε περιοχές που παρουσιάζουν το φαινόμενο της όπισθεν κατευθυντικότητας.

Οι τρέχουσες πρακτικές σχεδιασμού, που βασίζονται στην απαιτούμενη δύναμη και φασματική επιτάχυνση σχεδιασμού, τείνουν να συμπληρωθούν με νέες εκτιμήσεις που βασίζονται σε έννοιες σχεδιασμού με βάση την συμπεριφορά της κατασκευής. Αυτές οι μέθοδοι βασίζονται στην εκτίμηση της απαιτούμενης παραμόρφωσης που πρέπει να ικανοποιείται κατά τη διάρκεια της διέγερσης ενός σεισμού και η οποία απευθύνεται συνήθως στην παροχή επαρκούς πλαστιμότητας. Η ικανότητα παραμόρφωσης είναι βασισμένη στη σχετική μετατόπιση της κατασκευής που προκαλείται από τις επιβληθείσες εδαφικές κινήσεις που προσδιορίζονται μέσω των φασμάτων απόκρισης μετακίνησης. Οι φασματικές τιμές μετακίνησης είναι συνεπώς αυτές που πρωτίστως περιγράφουν τη σεισμική απαίτηση. Η εκτίμηση του φυσικά πιθανού φάσματος μετακίνησης, στην περιοχή των μεσαίων και μεγάλων περιόδων, είναι ιδιαίτερης σημασίας δεδομένου ότι οι πρόσφατα προτεινόμενες μέθοδοι σχεδιασμού περιλαμβάνουν την ανελαστική απόκριση της κατασκευής, η οποία παρουσιάζει μια ενεργή περίοδο μεγαλύτερη από την αρχική ελαστική. Συνεπώς, το φάσμα μετατόπισης πρέπει να καλύψει ένα εύρος περιόδων μέχρι 10sec, απαιτώντας μια ακριβή εκτίμηση των αντίστοιχων φασματικών τιμών των φασμάτων ταχύτητας και μετακίνησης. Αυτή η μελέτη εξετάζει τις διαφορετικές παραμέτρους που επηρεάζουν το φασματικό περιεχόμενο, το εύρος και τη μορφή των φασμάτων μετακίνησης στην περιοχή των μεσαίων και μεγάλων περιόδων, λαμβάνοντας συγκεκριμένα υπόψη τις επιδράσεις της κατευθυντικότητας στην κοντινή περιοχή του ρήγματος.

Όπως έχει συχνά παρατηρηθεί από διαφορετικούς ερευνητές (Sommerville et al), οι κινήσεις του εδάφους κοντά στη διάρρηξη του ρήγματος είναι σημαντικά διαφορετικές από εκείνες που λαμβάνουν χώρα μακρύτερα. Αυτές οι κινήσεις του εδάφους επηρεάζονται από το μηχανισμό διάρρηξης, την κατεύθυνση της διάδοσης διάρρηξης σε σχέση με τη θέση και το αζιμουθίο της θέσης καταγραφής. Αυτά τα αποκαλούμενα φαινόμενα κατευθυντικότητας έχουν σημαντικές επιπτώσεις στις μεσαίες και μεγάλες περιόδους του

σχετικού φάσματος απόκρισης μετακίνησης που είναι στενά συνδεδεμένο με τα χαρακτηριστικά της εδαφικής ταχύτητας. Ενδεικτικά, στην περίπτωση της πρόσω κατευθυντικότητας που παρουσιάζει παλμούς ταχύτητας μεγάλου πλάτους και μικρής διάρκειας, οι φασματικές τιμές στην αναφερόμενη περιοχή μπορούν να ενισχυθούν σημαντικά σε σύγκριση με καταγραφές που δεν επηρεάζονται από τέτοια φαινόμενα. Η παροχή αξιόπιστων φασμάτων μετακίνησης λαμβάνοντας υπόψη τις επιδράσεις κοντινού πεδίου εξαρτάται από την καθιέρωση χαρακτηριστικών τιμών για παραμέτρους που επηρεάζουν τη συχνότητα, το πλάτος και τη φασματική μορφή.

Μια χαρακτηριστική φασματική τιμή, κυρίαρχη τόσο στην περιοχή σταθερής φασματικής ταχύτητας και σταθερής φασματικής μετακίνησης είναι αυτή της περιόδου T_{d-p} που χωρίζει τις δύο περιοχές και συνδέεται συνήθως με την δεσπόζουσα περίοδο του φάσματος μετακίνησης της εδαφικής κίνησης (Faccioli, Mavroeidis et al). Αυτή η μελέτη αρχικά δηλώνει ότι η δεσπόζουσα περίοδος του φάσματος μετακίνησης συνδέεται στενά με την δεσπόζουσα περίοδο του φάσματος Fourier της εδαφικής ταχύτητας, που είναι μια συνάρτηση του μεγέθους σεισμικής ροπής του σεισμικού γεγονότος και συνδέεται άμεσα με τα φαινόμενα κατευθυντικότητας που είναι υπό εξέταση. Συνεπώς, σχέσεις που επιτρέπουν την εκτίμηση της δεσπόζουσας περιόδου του φάσματος μετακίνησης παρουσιάζονται, βασισμένες στις υπάρχουσες μαθηματικές εκφράσεις που χρησιμοποιούνται για την εκτίμηση των δεσπόζουσων περιόδων της εδαφικής ταχύτητας.

Εκτός από την δεσπόζουσα περίοδο του φάσματος μετακίνησης, το φασματικό εύρος και η φασματική μορφή φαίνεται να εξαρτώνται από την σεισμική ροπή του σεισμικού γεγονότος, την κατεύθυνση της διάδοσης διάρρηξης και τον προσανατολισμό της θέσης καταγραφής σε σχέση με τη διάρρηξη του ρήγματος. Εκφράσεις που επιτρέπουν την εκτίμηση των αναφερόμενων χαρακτηριστικών αξιολογούνται με τη χρήση του μοντέλου Haskell σχετικά με τη διάδοση των σεισμικών κυμάτων και βαθμονομούνται με τη χρήση ενός σημαντικού δείγματος καταγραφών, που σχετίζονται με γεγονότα διαφορετικού μεγέθους, σε διαφορετικές εδαφικές συνθήκες και αποστάσεις από το ρήγμα. Οι αναφερόμενες εκφράσεις επιτρέπουν τη μελέτη των πρόσω και όπισθεν φαινομένων κατευθυντικότητας στην εκτίμηση των κατάλληλων φασμάτων απόκρισης μετακίνησης.

Τέλος, ένας νέος καθορισμός της διάρκειας της ισχυρής εδαφικής κίνησης, που συνδέεται με το φασματικό περιεχόμενο μεσαίων και μεγάλων περιόδων, φαίνεται να συσχετίζεται άμεσα με τα χαρακτηριστικά της διάρκειας διάρρηξης του ρήγματος και των συσχετιζόμενων φαινομένων κατευθυντικότητας. Δεδομένου ότι η εδαφική ταχύτητα συνδέεται με τα φαινόμενα κατευθυντικότητας που παρατηρούνται στο σημείο

καταγραφής, προτείνεται ότι η σημαντική διάρκεια της εδαφικής κίνησης θα έπρεπε να σχετίζεται με την απότομη κλίση του χρονικού ολοκληρώματος της απόλυτης ταχύτητας, αντί του ολοκληρώματος A_{gias} . Για αυτό το λόγο, εισάγεται το χρονικό ολοκλήρωμα της απόλυτης εδαφικής ταχύτητας. Ο νέος δείκτης ορίζεται ως η αθροιστική απόλυτη μετακίνηση (**Cumulative Absolute Displacement**), **CAD**. Η εισαγωγή του CAD, επιτρέπει επίσης έναν συνδυασμό των ορισμών της σημαντικής και της οριοθετημένης διάρκειας.

Επιπλέον, αποδεικνύεται ότι η τιμή του προτεινόμενου ολοκληρώματος CAD συσχετίζεται πολύ με τη μέγιστη φασματική τιμή μετακίνησης της σχετικής καταγραφής. Αυτή η παρατήρηση επιτρέπει την αντιμετώπιση του ολοκληρώματος CAD ως ενός αξιόπιστου εκτιμητή της έντασης εδαφικών κινήσεων στην περιοχή των μεσαίων και μεγάλων περιόδων.

4.2 Εκτίμηση της δεσπόζουσας περιόδου

Όπως είναι γνωστό, υπάρχει μια στενή σχέση μεταξύ του φάσματος απόκρισης ταχύτητας για μηδενική απόσβεση και του φάσματος Fourier της εδαφικής επιτάχυνσης, με τις φασματικές τιμές Fourier να είναι ίσες με την φασματική τιμή της ταχύτητας στο τέλος της διάρκειας της εδαφικής κίνησης και συνεπώς, μικρότερες ή ίσες με τη σχετική φασματική τιμή της απόκρισης. Επομένως, το φάσμα ταχύτητας είναι μια επαρκής καμπύλη περιβάλλουσας για το φάσμα Fourier εδαφικής επιτάχυνσης. Με τη χρήση αυτής της παρατήρησης αποδεικνύεται, όπως φαίνεται παρακάτω, ότι μια παρόμοια σχέση υπάρχει μεταξύ του φάσματος απόκρισης μετακίνησης για μηδενική απόσβεση και του φάσματος απόκρισης εδαφικής ταχύτητας (βλ. σχήμα 38).

$$\mathbf{FS}[\mathbf{Ag}(\omega)] \leq \mathbf{SV}(\omega) \Rightarrow \frac{\mathbf{FS}[\mathbf{Ag}(\omega)]}{\omega} \leq \frac{\mathbf{SV}(\omega)}{\omega} \Rightarrow \mathbf{FS}[\mathbf{Vg}(\omega)] \leq \mathbf{SD}(\omega) \quad (53)$$

όπου $\mathbf{FS}[\mathbf{Ag}]$, $\mathbf{FS}[\mathbf{Vg}]$ είναι οι φασματικές τιμές Fourier για την εδαφική επιτάχυνση και την ταχύτητα και \mathbf{SV} , \mathbf{SD} οι τιμές του φάσματος απόκρισης της ταχύτητας και της μετακίνησης αντίστοιχα.

Το γεγονός ότι το φάσμα μετατόπισης είναι μια επαρκής καμπύλη περιβάλλουσας για το φάσμα Fourier εδαφικής ταχύτητας, υποδεικνύει μια στενή σχέση μεταξύ της δεσπόζουσας περιόδου \mathbf{T}_{a-p} του φάσματος μετακίνησης και της δεσπόζουσας περιόδου της εδαφικής ταχύτητας, που στην περίπτωση της κατευθυντικότητας κοντινού πεδίου, είναι

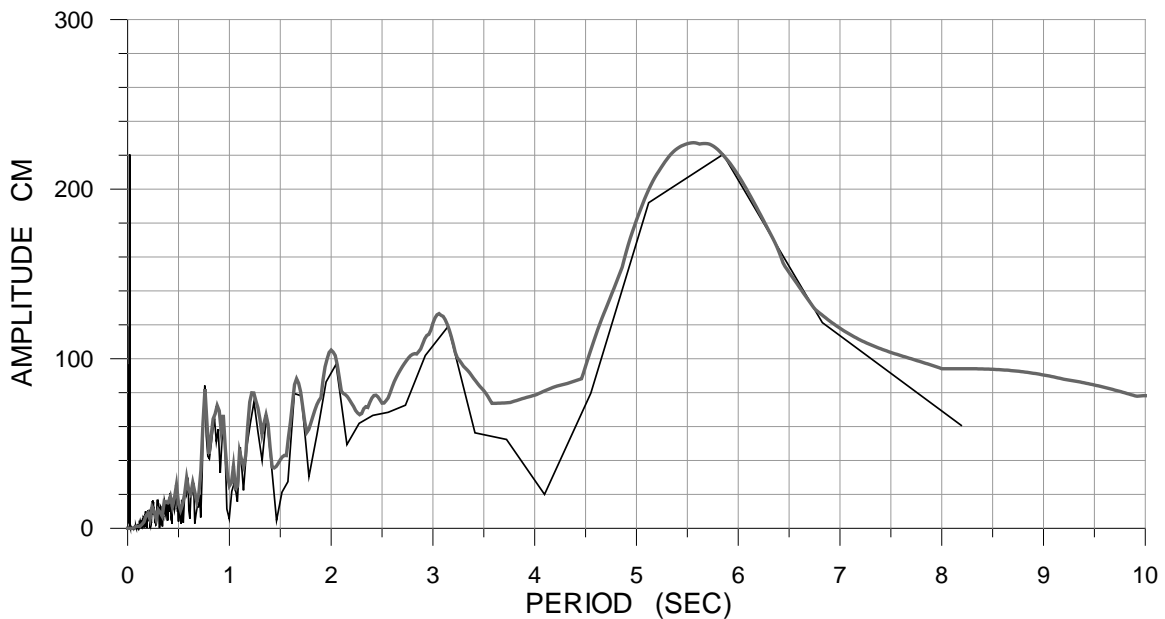
ίση με την περίοδο του παλμού T_p της εδαφικής ταχύτητας. Αυτή η στενή σχέση επιτρέπει στη χρήση μιας σειράς προγνωστικών σχέσεων ώστε το T_p να χρησιμοποιηθεί για την εκτίμηση της T_{d-p} . Αυτή είναι η περίοδος μεταξύ της περιοχής σταθερής φασματικής ταχύτητας και της σταθερής φασματικής μετακίνησης. Σχέσεις που προβλέπουν την T_p δίνονται μεταξύ άλλων, από τους Sommerville, Abrahamson και Rodriguez-Marek. Η ακόλουθη σχέση δίνεται από τον Sommerville και παρουσιάζει τη χαρακτηριστική εκθετική μορφή αυτού του είδους των εκφράσεων:

$$\log_{10} T_p = -3.0 + 0.5 \times M_w \quad (54)$$

Όπως φαίνεται, οι προγνωστικές σχέσεις συνδέουν στενά την περίοδο του παλμού με το μέγεθος σεισμικής ροπής του σεισμικού γεγονότος επιτρέποντας μια παρόμοια σχέση με την δεσπόζουσα περίοδο των φασμάτων απόκρισης μετακίνησης. Η επίδραση των εδαφολογικών συνθηκών έχει ερευνηθεί από τους Rodriguez-Marek παρουσιάζοντας διαφορετικές εκφράσεις για συνθήκες βράχου και εδάφους, καθώς επίσης και μια έκφραση για όλα τα εδάφη με την ακόλουθη μορφή:

$$\ln T_p = -8.33 + 1.33 \times M_w \quad (55)$$

Η εκτίμηση της τιμής της T_{d-p} επιτρέπει τον προσδιορισμό ενός ανώτερου ορίου για την περίοδο μεταξύ της περιοχής σταθερής φασματικής ταχύτητας και της σταθερής φασματικής μετακίνησης. Όπως παρουσιάζεται, το συχνοτικό περιεχόμενο των φασμάτων απόκρισης μετακίνησης συνδέεται με το μέγεθος σεισμικής ροπής, υπερβαίνοντας την τιμή των 10 sec για μεγάλου μεγέθους γεγονότα. Οι αναλογικές καταγραφές, που παρουσιάζουν σφάλμα χαμηλών συχνοτήτων, πρέπει να χρησιμοποιούνται με μεγάλη προσοχή καθώς η περιοχή της περιόδου που βρίσκεται υπό εξέταση μπορεί να είναι παραμορφωμένη σημαντικά.



Σχήμα 38. Φάσμα Fourier εδαφικής ταχύτητας FS[Vg] και φάσμα απόκρισης μετατόπισης SD (Tabas, Iran 1978, $M_w=7.1$)

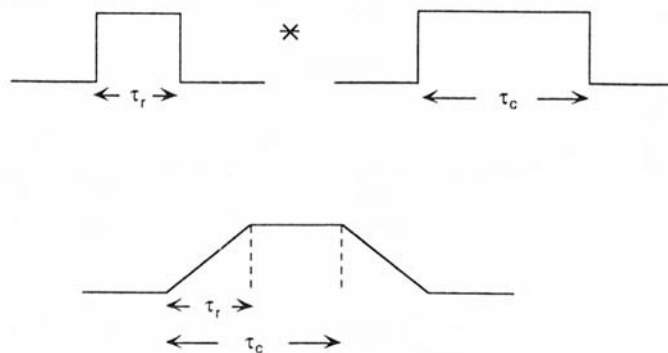
4.3 Εκτίμηση του πλάτους και της μορφής των φασμάτων μετατόπισης.

Προκειμένου να εκτιμηθεί η επίδραση του φαινομένου κατευθυντικότητας στο εύρος και τη μορφή των φασμάτων μετακίνησης στην περιοχή κοντινού πεδίου, χρησιμοποιήθηκε το μοντέλο Haskell. Το φαινόμενο της κατευθυντικότητας εμφανίζεται να επηρεάζεται έντονα από το αζιμούθιο του σταθμού καταγραφής σχετικά με την διάρρηξη του ρήγματος, μια παράμετρος που λαμβάνεται υπόψη από το αναφερόμενο μοντέλο.

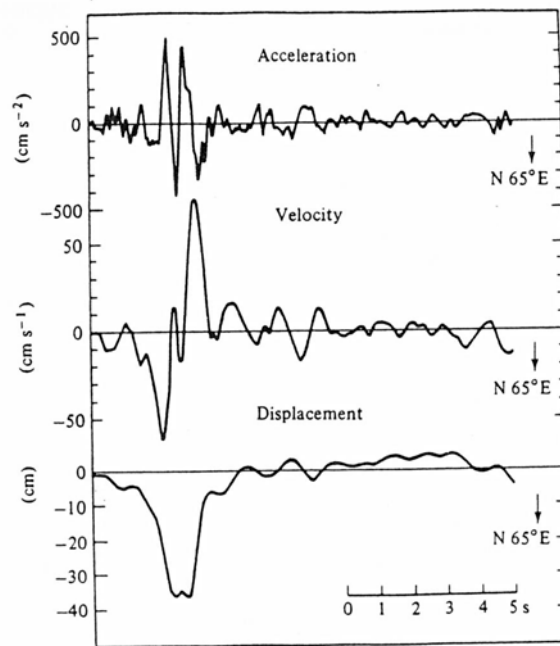
Σύμφωνα με το απλό μοντέλο Haskell, οι χρονοϊστορίες εδαφικής μετακίνησης λόγω σεισμικών κυμάτων που συνδέονται με τα φαινόμενα κατευθυντικότητας, παρουσιάζουν μια τραπεζοειδή μορφή με διάρκεια που εξαρτάται από το αζιμούθιο της θέσης σε σχέση με την διάρρηξη του ρήγματος. Ένα άλλο χαρακτηριστικό είναι ότι ανεξαρτήτως της μορφής της χρονοϊστορίας εδαφικής μετακίνησης, το χρονικό ολοκλήρωμά της αποδεικνύεται σταθερό και συνδέεται με τη σεισμική ροπή.

Η τραπεζοειδής χρονική συνάρτηση μετακινήσεων παράγεται μέσω της συνέλιξης δύο ορθογωνικών συναρτήσεων boxcars που συνδέονται με το μηχανισμό του σεισμικού

γεγονότος. Η τραπεζοειδής χρονική συνάρτηση εδαφικής μετακίνησης και η σχετική εδαφική ταχύτητα παρουσιάζονται στα σχήματα 39, 40. Η πρώτη συνάρτηση boxcar αντιπροσωπεύει την μετατόπιση ενός μοναδικού σωματιδίου στην επιφάνεια του ρήγματος και έχει μήκος τ_r ίσο με το χρόνο ανάδυσης του διαρρηγμένου τμήματος του ρήγματος. Η δεύτερη συνάρτηση boxcar έχει διάρκεια τ_c και συνδέεται με την επίδραση του πεπερασμένου ρήγματος και της διάδοσης της διάρρηξης. Κατά συνέπεια το δεύτερο boxcar επηρεάζεται έντονα από τα φαινόμενα κατευθυντικότητας σε ότι αφορά και το εύρος και τη διάρκειά του. Αυτή η διάρκεια είναι συγκρίσιμη με την χρονική διάρκεια της ισχυρής εδαφικής κίνησης σε μια θέση καταγραφής και εξαρτάται από τις διαστάσεις του ρήγματος, τις ταχύτητες του σεισμικού κύματος και της διάρρηξης και το αζιμούθιο της θέσης καταγραφής σχετικά με την διάρρηξη του ρήγματος. Αυτή η εξάρτηση από το αζιμούθιο επιτρέπει τη μελέτη του φαινομένου της κατευθυντικότητας. Η τιμή του τ_c είναι το χρονικό διάστημα μεταξύ της πρώτης και της τελευταίας άφιξης του ισχυρού σεισμικού κύματος στην θέση καταγραφής.



Σχήμα 39. Η συνέλιξη των δύο boxcar συναρτήσεων, η πρώτη μήκους τ_r και η δεύτερη μήκους τ_c ($\tau_c > \tau_r$). Το αποτέλεσμα είναι ένα τραπέζιο με χρόνο ανάδυσης τ_r και κορυφή μήκους $\tau_c - \tau_r$.



Σχήμα 40. Μια καταγραφή της εδαφικής κίνησης κοντά στο επίκεντρο ενός σεισμού στο Parkfield, California. Ο παλμός μετακίνησης είναι κύμα SH. Η τραπεζοειδής μορφή είναι εμφανής.

Γνωρίζοντας το αζιμούθιο της θέσης, το μήκος διάρρηξης L , την ταχύτητα διάρρηξης V_r και την ταχύτητα του κύματος, $v_b = v$ η τιμή της τ_c δίνεται από την ακόλουθη εξίσωση:

$$\tau_c = \frac{L}{v_r} + \frac{r}{v_b} - \frac{r_o}{v_b} \quad (56)$$

όπου r_o είναι η απόσταση μεταξύ της θέσης καταγραφής και της έναρξης της διάρρηξης του ρήγματος και r η απόσταση από το τέλος της διάρρηξης του ρήγματος. Η αναπαράσταση της θέσης της περιοχής σε σχέση με τη διάρρηξη του ρήγματος δίνεται στο σχήμα 41. Χρησιμοποιώντας τον τριγωνομετρικό νόμο των συνημιτόνων η απόσταση r δίνεται από την ακόλουθη έκφραση:

$$r = (L^2 + r_o^2 - 2 \cdot r_o \cdot L \cdot \cos \theta)^{1/2} \quad (57)$$

Και άρα η εξίσωση (56) αναπτύσσεται ως εξής:

$$\tau_c = \frac{L}{v_r} + \frac{(L^2 + r_o^2 - 2 \cdot r_o \cdot L \cdot \cos \theta)^{1/2}}{v_b} - \frac{r_o}{v_b} \quad (58)$$

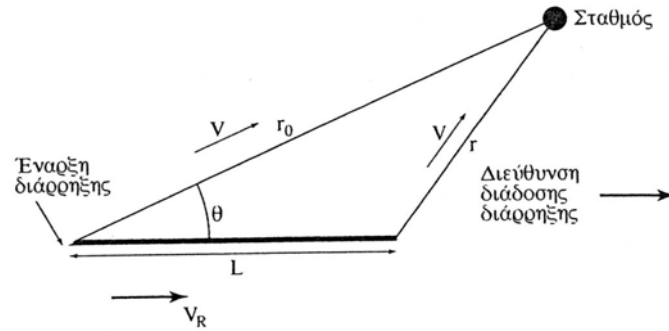
Αυτή η εξίσωση επιτρέπει την αξιολόγηση των ισοϋψών ίσης διάρκειας τ_c στην περιοχή γύρω από την διάρρηξη του ρήγματος. Χαρακτηριστικά, εάν θεωρήσουμε την ταχύτητα διάρρηξης v_r ίση με την ταχύτητα διάδοσης του κύματος v_b , στην περίπτωση της πρόσω κατευθυντικότητας ($\theta=0$), η εξίσωση (58) μετασχηματίζεται σε:

$$\tau_c = \frac{L}{v_r} + \frac{(r_o - L)}{v_r} - \frac{r_o}{v_r} = 0 \quad (59)$$

Συνεπώς, στην περίπτωση της πρόσω κατευθυντικότητας, θεωρείται ότι τα κύματα από τις διαφορετικές ρηγματώσεις κατά μήκος της επιφάνειας του ρήγματος φθάνουν στον τόπο καταγραφής ταυτόχρονα, δημιουργώντας έτσι έναν παλμό εδαφικής μετακίνησης μικρής διάρκειας και μεγάλου πλάτους. Μια διαφορετική περίπτωση είναι αυτή της όπισθεν κατευθυντικότητας όπου η γωνία θ είναι ίση με 180 μοίρες. Σε αυτή την περίπτωση η εξίσωση δίνει μια τιμή τ_c ίση με δύο φορές τη διάρκεια διάρρηξης L/v_r και η σχετική χρονοϊστορία έχει μεγάλη διάρκεια με μικρά πλάτη. Εάν η τ_c θεωρηθεί ίση με L/v_r , σύμφωνα με την εξίσωση (58):

$$\frac{L}{2} = r \cdot \cos \theta \quad (60)$$

Όπως αποδεικνύεται, οι περιοχές με τ_c διάρκεια ίση με τη διάρκεια διάρρηξης του ρήγματος τοποθετούνται σε ένα επίπεδο κάθετο στη διάρρηξη του ρήγματος και στο μέσον αυτής. Λαμβάνοντας υπόψη το γεγονός ότι το ολοκλήρωμα της τραπεζοειδούς συνάρτησης μπορεί να θεωρηθεί σταθερό και συνδεδεμένο με τη σεισμική ροπή, το πλάτος της εδαφικής μετατόπισης είναι αντιστρόφως ανάλογο προς την τ_c διάρκεια της χρονικής συνάρτησης μετατοπίσεων. Το απλό μοντέλο Haskell που εξετάστηκε αντιστοιχεί σε μονομερή διάρρηξη.



Σχήμα 41. Διάδοση της σεισμικής διάρρηξης από αριστερά προς τα δεξιά κατά μήκος ενός ρήγματος

Όσον αφορά τη μορφή και το εύρος των φασματικών μετακινήσεων, η ισοδυναμία των αναπαραστάσεων χρονικού και φασματικού επιπέδου ενός σειсмоγραφήματος επιτρέπει μια πολύτιμη ενόραση στα σχετικά χαρακτηριστικά των φασμάτων απόκρισης μετατόπισης. Δεδομένου ότι η χρονική συνάρτηση εδαφικής μετακίνησης προσεγγίζεται ως η συνέλιξη δύο boxcars χρονικών συναρτήσεων, η φασματικού επιπέδου αναπαράσταση είναι ίση με τον πολλαπλασιασμό των μετασχηματισμών Fourier των δύο boxcars. Για μια boxcar συνάρτηση $B_n(\tau)$ διάρκειας τ με ύψος κανονικοποιημένο σε $1/\tau$, ο μετασχηματισμός Fourier δίνεται από την ακόλουθη έκφραση:

$$F_n(\omega, \tau) = \frac{\sin(\omega\tau/2)}{\omega\tau/2} \quad (61)$$

Όπως αναφέρθηκε, το χρονικό ολοκλήρωμα της τραπεζοειδούς χρονικής συνάρτησης εδαφικής μετακίνησης των boxcars συναρτήσεων είναι ανάλογο με τη σεισμική ροπή. Συνεπώς, είναι ίσο με την ακόλουθη έκφραση:

$$\int u(t) = C \times M_0 = B(\tau_r) * B(\tau_c) = C \times M_0 \times [B_n(\tau_r) * B_n(\tau_c)] \quad (62)$$

όπου $B(\tau), B_n(\tau)$ είναι οι χρονικές συναρτήσεις των αρχικών και κανονικοποιημένων boxcars, αντίστοιχα.

Ο μετασχηματισμός Fourier της χρονικής συνάρτησης μετατόπισης δίνεται από τον τύπο:

$$U(\omega) = C \times M_0 \times \left[\frac{\sin(\omega\tau_r/2)}{\omega\tau_r/2} \right] \times \left[\frac{\sin(\omega\tau_c/2)}{\omega\tau_c/2} \right] \quad (63)$$

Από την εξίσωση (63) μπορεί να αποδειχθεί ότι με αύξηση στη συχνότητα ω , οι φασματικές τιμές μειώνονται. Σύμφωνα με τα παραπάνω η κανονικοποιημένη boxcar συνάρτηση Fourier πλάτους μπορεί να προσεγγιστεί ως:

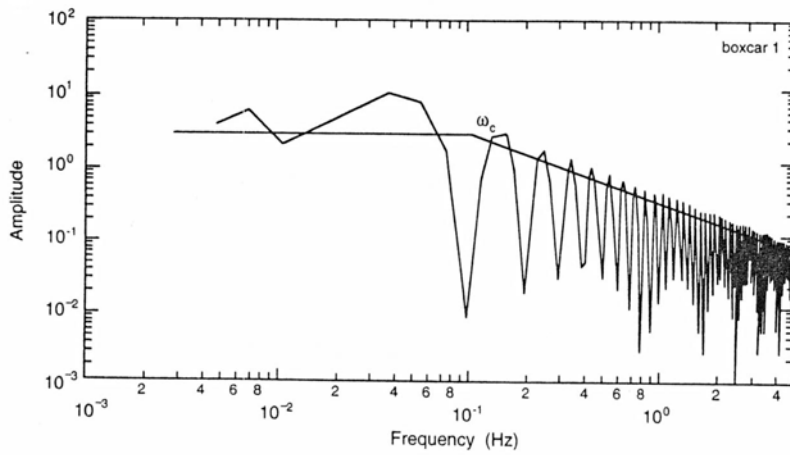
$$\left| \frac{\sin(\omega\tau/2)}{\omega\tau/2} \right| = \begin{cases} 1 & \omega < \frac{2}{\tau} \\ \frac{1}{\omega\tau/2} & \omega > \frac{2}{\tau} \end{cases} \quad (64)$$

Σύμφωνα με αυτήν την προσέγγιση το φάσμα Fourier μιας συνάρτησης boxcar σταθεροποιείται σε συχνότητες μικρότερες από $2/\tau$ και στη συνέχεια εξασθενεί αντιστρόφως ανάλογα με τη συχνότητα. (σχήμα 42). Για την συνέλιξη των δύο συναρτήσεων boxcars, με τη χρήση των εξισώσεων (63) και (64), υποθέτοντας ότι $\tau_r < \tau_c$, το φάσμα πλάτους Fourier θα έχει τις ακόλουθες τρεις διακριτές τάσεις: (σχήμα 43)

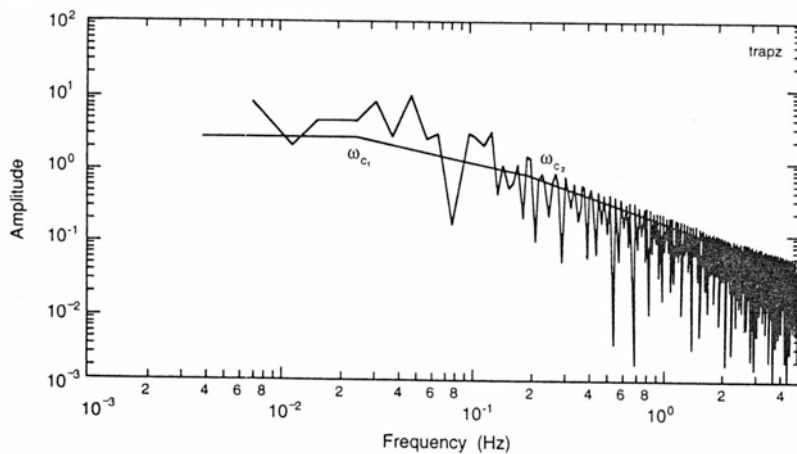
$$U(\omega) = \begin{cases} C \times M_0 & \omega < \frac{2}{\tau_c} \\ \frac{C \times M_0}{\omega\tau_c/2} & \frac{2}{\tau_c} < \omega < \frac{2}{\tau_r} \\ \frac{C \times M_0}{\omega^2(\tau_c\tau_r/4)} & \omega > \frac{2}{\tau_r} \end{cases} \quad (65)$$

Η ισοδυναμία των αναπαραστάσεων χρονικού και φασματικού επιπέδου παρέχει πολύτιμη διορατικότητα στο εύρος και τη μορφή των φασμάτων απόκρισης μετακίνησης και βασίζεται στην αναφερόμενη σχέση με το φάσμα Fourier εδαφικής ταχύτητας. Το φάσμα Fourier εδαφικής μετατόπισης μπορεί να μετασχηματιστεί ως εξής προκειμένου να αντιπροσωπεύσει το φάσμα Fourier εδαφικής ταχύτητας:

$$U'(\omega) = \omega \times U(\omega) = \begin{cases} \omega \times C \times M_0 & \omega < \frac{2}{\tau_c} \\ \frac{C \times M_0}{\tau_c/2} & \frac{2}{\tau_c} < \omega < \frac{2}{\tau_r} \\ \frac{C \times M_0}{\omega (\tau_c' \tau_r/4)} & \omega > \frac{2}{\tau_r} \end{cases} \quad (66)$$



Σχήμα 42. Φάσμα απόκρισης μιας boxcar συνάρτησης. Το φάσμα έχει δύο διακριτές περιοχές, μια που η φασματική πυκνότητα είναι ομαλή και μια που πέφτει (ω^{-1})

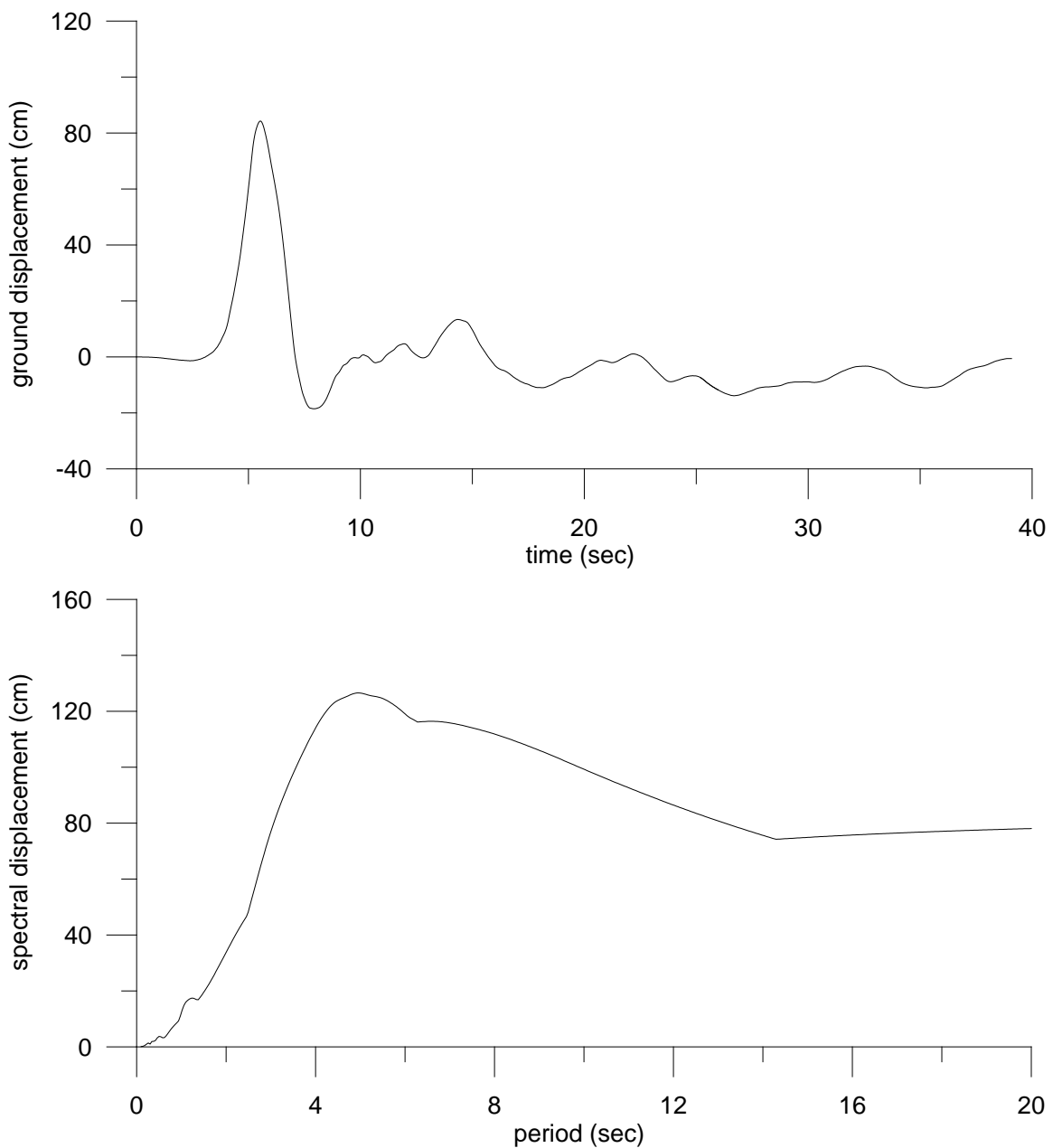


Σχήμα 43. Σεισμικό φάσμα μετατόπισης μιας τραπεζοειδούς (συνέλιξη δύο boxcar). Η τομή των ασύμπτωτων στις χαμηλές, υψηλές συχνότητες καθορίζει τις γωνιακές συχνότητες ω_{c1}, ω_{c2}

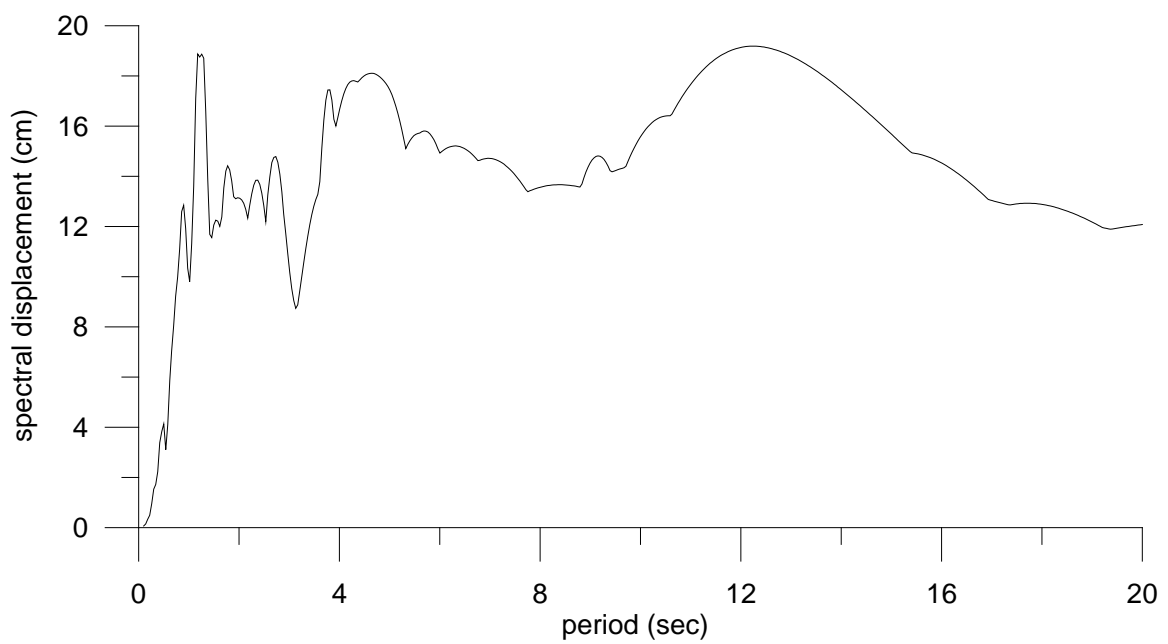
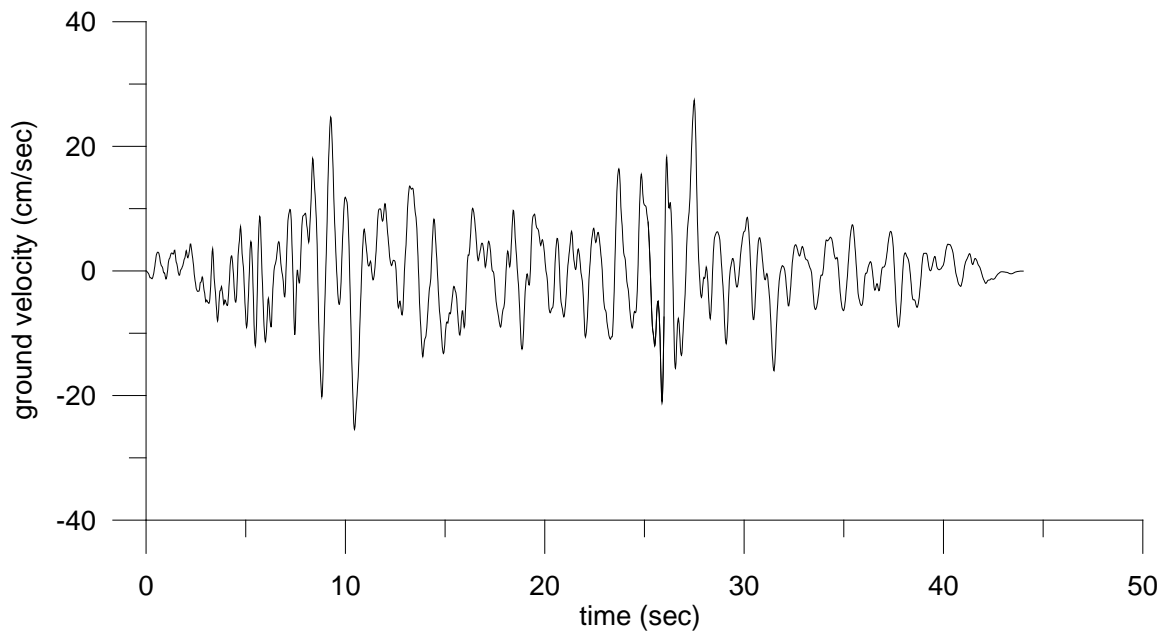
Δεδομένου ότι τα φάσματα απόκρισης μετακίνησης είναι μια επαρκής καμπύλη περιβάλλουσα των φασμάτων Fourier εδαφικής ταχύτητας, το φάσμα απόκρισης μετακίνησης για απόσβεση 0% θεωρείται περίπου ίσο με το φάσμα απόκρισης εδαφικής ταχύτητας και παρουσιάζει ένα πλατό, δηλαδή μια περιοχή σταθερής φασματικής μετακίνησης σε μια περιοχή που συνδέεται με τις διάρκειες τ_c και τ_r , και τις αντίστοιχες συχνότητες μεταξύ του πλατό και των γειτονικών φασματικών περιοχών. Επιπλέον, το μέγιστο φασματικό εύρος μετακίνησης εμφανίζεται να είναι αντιστρόφως ανάλογο προς τη διάρκεια τ_c . Συνεπώς, τα φάσματα μετακίνησης κοντά στην περιοχή της πρόσω κατευθυντικότητας χαρακτηρίζονται από μεγάλα φασματικά πλάτη αφού η τ_c παίρνει μια ελάχιστη τιμή. Κατά συνέπεια το πλατό των σταθερών τιμών είναι μικρό. Αντιστρόφως, στην περίπτωση της όπισθεν κατευθυντικότητας, οι μέγιστες φασματικές τιμές είναι χαμηλές και το εύρος του πλατό είναι μεγάλο για μεγάλες τιμές τ_c . Αυτές οι παρατηρήσεις παρουσιάζονται στα ακόλουθα παραδείγματα.

Ας μελετήσουμε την καταγραφή E04-230 του σεισμού στο Imperial Valley το 1979, που αντιπροσωπεύει μια περίπτωση πρόσω κατευθυντικότητας (βλ. σχήμα 44). Από τη χρονοϊστορία της εδαφικής μετακίνησης παρατηρείται ότι η συνάρτηση έχει τριγωνική μορφή, που σημαίνει ότι η διαφορά μεταξύ της διάρκειας τ_c και τ_r είναι σχεδόν μηδενική. Σε αυτή την περίπτωση το σταθερό πλάτος της εδαφικής μετακίνησης εξαφανίζεται και η τ_c είναι σχεδόν ίση με την τ_r . Συνεπώς, το σχετικό φάσμα μετακίνησης παρουσιάζει, αντί ενός πλατό, μια διακριτή αιχμή σε μια περίοδο που συνδέεται με τη διάρκεια τ_r . Σαν χαρακτηριστική περίπτωση της εδαφικής κίνησης όπισθεν κατευθυντικότητας, η καταγραφή Joshua Tree του σεισμού στο Landers παρουσιάζεται στη συνέχεια (βλ. σχήμα 45). Η χρονοϊστορία της εδαφικής ταχύτητας παρουσιάζει ένα χαρακτηριστικό που παρατηρείται σε πολλές περιπτώσεις των καταγραφών όπισθεν κατευθυντικότητας. Υπάρχουν δύο διακριτές ακολουθίες S-κυμάτων που χωρίζονται από ένα χρονικό διάστημα περίπου ίσο με τη διαφορά μεταξύ τ_c και τ_r . Το ίδιο φαινόμενο έχει παρατηρηθεί στα αρχεία του σεισμού Northridge (01/17/94), καθώς επίσης και το μεγάλο σεισμικό γεγονός του 2008 στην Κίνα (βλ. σχήμα 46), κοντά στο επίκεντρο του σεισμικού γεγονότος. Όσον αφορά το εύρος και τη μορφή του φάσματος μετακίνησης όπισθεν κατευθυντικότητας παρατηρείται ότι, αν και τα γεγονότα στο Landers και στο Imperial είναι του ίδιου μεγέθους, το φάσμα μετακίνησης της όπισθεν κατευθυντικότητας του Landers είναι 7 φορές μικρότερο από αυτό της πρόσω κατευθυντικότητας της καταγραφής στο Imperial

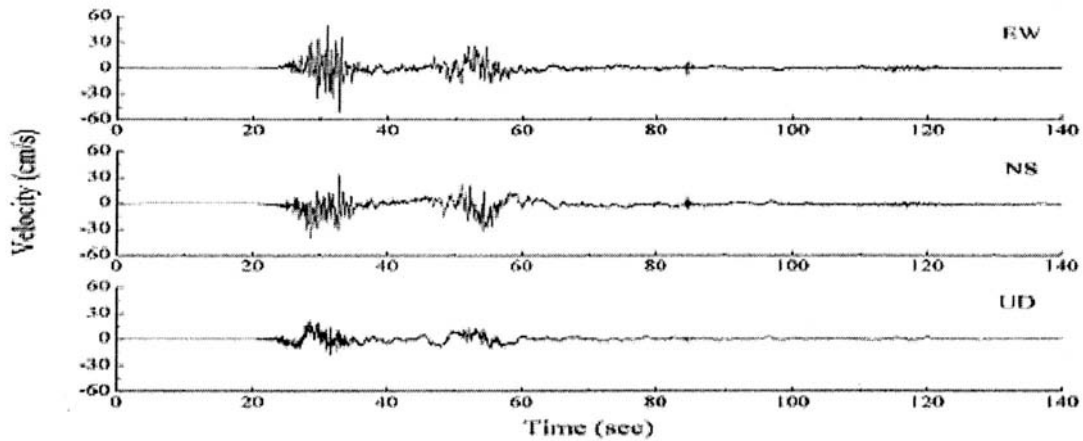
Valley. Επιπλέον, η καταγραφή της όπισθεν κατευθυντικότητας παρουσιάζει ένα μεγάλο πλατό διαστήματος περιόδων περίπου 10 sec. Αυτά θεωρούνται τα κρίσιμα χαρακτηριστικά των εδαφικών κινήσεων πρόσω και όπισθεν κατευθυντικότητας και των σχετικών με αυτά φασμάτων μετακίνησης. Υπολογίζοντας πως στην περίπτωση της πρόσω και όπισθεν κατευθυντικότητας οι τιμές της τ_c είναι κοντά με την τ_r και διπλάσια από την διάρκεια διάρρηξης αντίστοιχα, οι φασματικές τιμές μεταξύ της πρόσω και όπισθεν κατευθυντικότητας μπορεί να παρουσιάσουν μια αναλογία της τάξης του $2(L/v_r)/\tau_r$.



Σχήμα 44. Χρονοϊστορία εδαφικής μετακίνησης και φάσμα απόκρισης μετατόπισης της καταγραφής E04-230 (Imperial Valley 1979).



Σχήμα 45. Χρονοϊστορία εδαφικής ταχύτητας και φάσμα απόκρισης μετατόπισης καταγραφής JSH-000 (Landers)



Σχήμα 46. Χρονοϊστορία εδαφικής ταχύτητας (Κίνα 2008)

Όπως παρουσιάστηκε, οι μέγιστες τιμές του φάσματος μετακίνησης στην περιοχή κοντινού πεδίου συνδέονται με τη σεισμική ροπή M_0 και τη διάρκεια τ_c , η οποία κυμαίνεται από τιμές κοντά σε τ_r έως διπλάσιες της διάρκειας διάρρηξης. Όλες οι παράμετροι μπορούν να εκφραστούν ως εκθετικές συναρτήσεις του μεγέθους σεισμικής ροπής M_w . Για παράδειγμα, η σχέση μεταξύ του μεγέθους σεισμικής ροπής και της σεισμικής ροπής είναι γνωστή ως:

$$M_w = \log M_0 - 6 \quad (67)$$

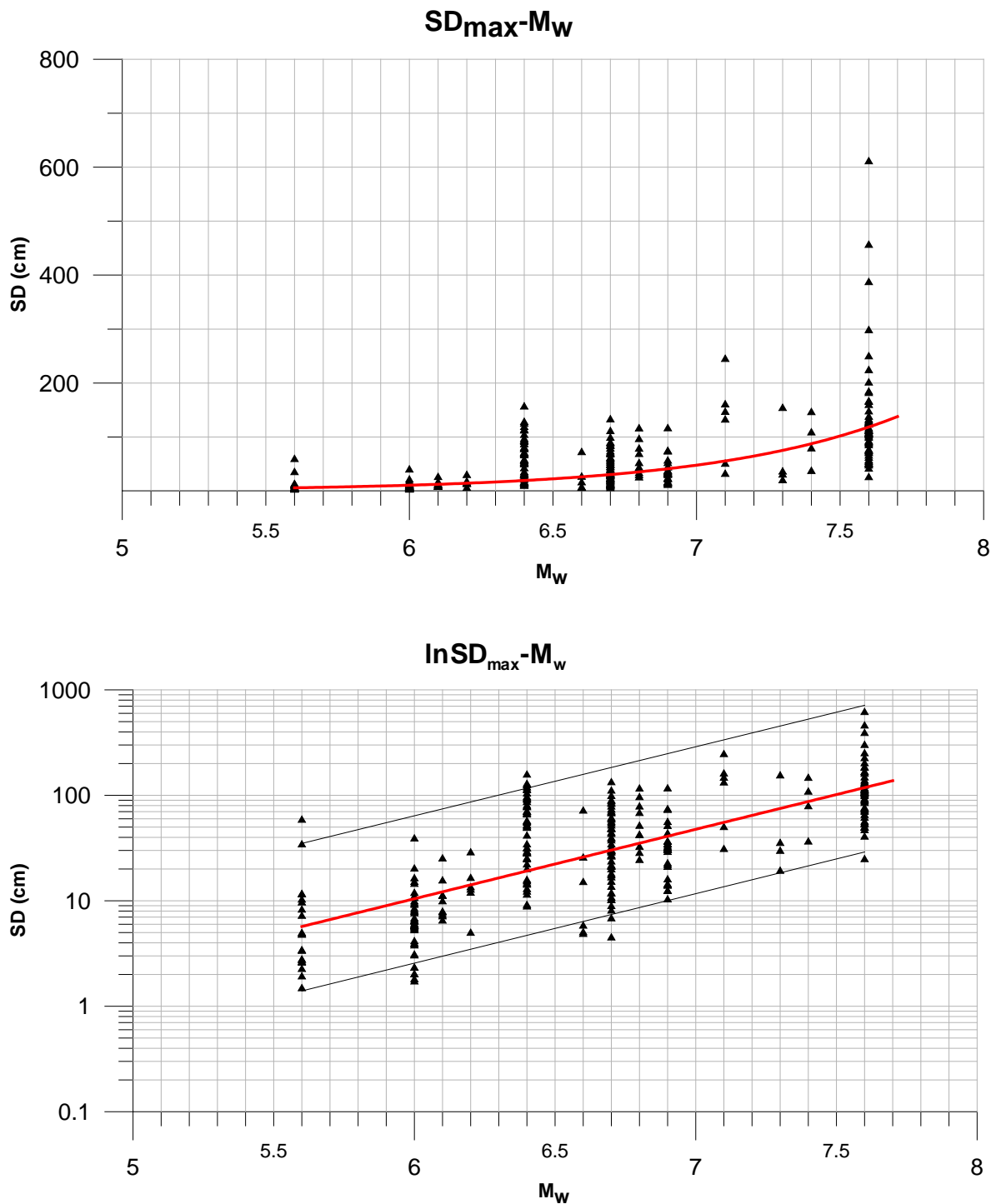
Επιπλέον, ο χρόνος ανάδυσης τ_r συνδέεται με την περίοδο των παλμών κατευθυντικότητας T_p σύμφωνα με την ακόλουθη σχέση που δίνεται από τους Mantovani et al:

$$0.35T_p \leq \tau_r \leq 0.70T_p \quad (68)$$

Δεδομένου ότι η σχέση μεταξύ T_p και του M_w είναι εκθετική (δείτε τις εξισώσεις 54 και 55) το ίδιο μπορεί να αναμένεται για τη διάρκεια τ_r . Τέλος, η διάρκεια διάρρηξης συνδέεται με το μήκος της διάρρηξης L που, σύμφωνα με πολλούς ερευνητές (Wells and Coppersmith, κ.λπ.) δίνεται ως εκθετική συνάρτηση του M_w .

Συνεπώς, αναμένεται ότι οι τιμές των φασματικών μετατοπίσεων συσχετίζονται εκθετικά με το μέγεθος σεισμικής ροπής. Αυτό βεβαιώνεται καλά στο σχήμα 47 όπου η εκθετική σχέση μπορεί να παρατηρηθεί. Αναλόγως στο σχήμα 48 φαίνεται η γραμμική σχέση μεταξύ του λογαρίθμου των μέγιστων τιμών της φασματικής μετατόπισης και των σχετικών μεγεθών σεισμικής ροπής. Μια ανώτατη γραμμική συσχέτιση, που συνδέεται με τις μέγιστες φασματικές τιμές της πρόσω κατευθυντικότητας κοντά στο ρήγμα, επιτρέπει

τη βαθμονόμηση του προτεινόμενου μοντέλου και την καθιέρωση μιας μαθηματικής έκφρασης για την αξιολόγηση των σχετικών δεσποζουσών φασματικών τιμών. Αντίστοιχα, η χαμηλότερη γραμμική συσχέτιση συνδέεται με τις μέγιστες φασματικές τιμές της όπισθεν κατευθυντικότητας σε μια απόσταση από τη διάρρηξη του ρήγματος. Η μεσαία εφαρμογή θεωρείται ότι αντιπροσωπεύει τις μεσαίες τιμές φασματικών μετακινήσεων στην κοντινή περιοχή του ρήγματος.



Σχήμα 47, 48.

Οι αναφερόμενες σχέσεις αξιολογήθηκαν με τη χρήση ενός μεγάλου δείγματος καταγραφών σεισμών κοντινού πεδίου που δίνονται από τους Mavroudis and Papageorgiou. Τα αρχεία του σεισμού που χρησιμοποιούνται σε αυτήν την μελέτη έχουν επιλεγεί από τις βάσεις δεδομένων COSMOS και PEER σύμφωνα με τα ακόλουθα κριτήρια:

- i) τα αρχεία πρέπει να αφορούν γνωστά συμβάντα από όλο τον κόσμο, έτσι ώστε τα δείγματα να μπορούν να θεωρηθούν ανεξάρτητα από τις επιδράσεις των τοπικών πηγών,
- ii) τα γεγονότα πρέπει να έχουν διαφορετικά επίπεδα μεγέθους καλύπτοντας το εύρος μεσαίων και μεγάλων σεισμών,
- iii) οι καταγραφές πρέπει να έχουν συλλεγεί από περιοχές με διαφορετικές εδαφολογικές συνθήκες και αποστάσεις από την πηγή,

Τα δεδομένα περιλαμβάνουν γνωστούς σεισμούς, όπως αυτών στο Northridge (ΗΠΑ, 1994), στο Kobe (Ιαπωνία, 1995) και στο Chi-Chi (Ταϊβάν, 1999). Τα γεγονότα που εξετάζονται στην αξιολόγηση των αναφερόμενων διαγραμμάτων παρουσιάζονται στον πίνακα 7.

Οι κατ' εκτίμηση προσαρμογές επιτρέπουν την αξιολόγηση των μέγιστων και μεσαίων δεσπόζουσων τιμών για τα φάσματα μετατοπίσεως στην περιοχή κοντινού πεδίου και για διαφορετικά στιγμιαία μεγέθη (*Διπλωματική Μαρίας- Ειρήνης Εμμανουηλίδου*). Μια πρώτη προσέγγιση των γραμμικών συσχετίσεων για τις μέγιστες και μεσαίες φασματικές τιμές δίνεται από τις ακόλουθες εκφράσεις:

Για τις μέγιστες τιμές:

$$\ln SD = 1.516 \times M_w - 4.949 \quad (69)$$

Για τις μεσαίες τιμές:

$$\ln SD = 1.516 \times M_w - 6.749 \quad (70)$$

Για τις τιμές M_w 6, 6.5, και 7 οι μέγιστες φασματικές τιμές μετακίνησης για την πρόσω κατευθυντικότητα είναι 63, 134 και 288 cm αντίστοιχα. Οι μεσαίες τιμές κοντινού πεδίου για την περιοχή κοντινού πεδίου υπολογίζεται ότι είναι 10.5, 22.5 και 47.5 cm αντίστοιχα. Για σύγκριση, οι μέγιστες τιμές που δίνονται από τον Faccioli για τα μεγέθη 6, 6.5 και 7 σε μια απόσταση 25 km από την περιοχή του ρήγματος, είναι 2.5, 8 και 25 cm.

ΠΙΝΑΚΑΣ 7

A/A	ΠΕΡΙΟΧΗ	ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ	M _w	ΣΤΑΘΜΟΣ ΚΟΝΤΙΝΟΥ ΠΕΔΙΟΥ	ΟΡΙΖΟΝΤΙΕΣ ΔΙΕΥΘΥΝΣΕΙΣ		ΜΕΓΙΣΤΗ ΜΕΤΑΤΟΠΙΣΗ (cm)	
1	Imperial Valley,CA,USA	19/5/1940	6,9	Imperial Valley Irrig. Distr.,El Centro(ELC)	180	270	16,15	21,04
2	Olympia,WA,USA	13/4/1949	6,6	Olympia Highway Test Lab(OLY)	86	356	7,08	8,29
				Seattle Army Base(SAB)	182	272	2,42	2,97
3	Puget Sound,WA,USA	29/4/1965	6,7	Olympia Highway Test Lab(OLY)	176	266	3,19	4,76
				Seattle Federal Office Building(SEF)	148	238	2,83	4,28
4	Parkfield,CA,USA	27/6/1966	6,0	Cholame Shandon Array 2(CO2)	65	~	22,96	~
				Cholame Shandon Array 5(CO5)	85	355	6,21	5,26
				Cholame Shandon Array 8(CO8)	50	320	5,23	3,88
				Temblor Station 2(TMB)	205	295	3,27	4,11
5	San Fernando,CA,USA	9/2/1971	6,7	Pacoima Dam(PCD)	254	164	11,82	35,73
6	Gazli,USSR	17/5/1976	6,7	Karakyr Point(KAR)	0	90	25,54	23,40
7	Tabas,Iran	16/9/1978	7,1	Tabas(TAB)	74	344	95,07	38,66
8	Coyote Lake,CA,USA	8/6/1979	5,6	Gilroy Array 1(GA1)	230	320	0,53	1,48
				Gilroy Array 2(GA2)	50	140	2,15	5,42
				Gilroy Array 3(GA3)	50	140	3,74	5,86

				Gilroy Array 4(GA4)	270	360	2,98	5,54
				Gilroy Array 6(GA6)	230	320	30,05	16,46
				San Martin Coyote Creek(SMCC)	160	250	1,17	3,19
9	Imperial Valley,CA,USA	15/10/1979	6,4	Aeropuerto Mexicall(AEP)	45	315	10,42	3,64
				Agrarias(AGR)	33	273	11,12	14,41
				El Centro Array 3,Pine Union Schl(E03)	140	230	16,71	30,28
				El Centro Array 4,Anderson Rd(E04)	140	230	22,99	63,11
				El Centro Array 5,James Rd(E05)	140	230	36,59	67,39
				El Centro Array 6,Huston Rd(E06)	140	230	35,38	61,96
				El Centro Array 7,Imperial Val. Coll.(E07)	140	230	36,90	51,82
				El Centro Array 8,Cruickshank Rd(E08)	140	230	25,94	33,99
				El Centro Array 10,Hospital(E10)	320	50	25,14	29,67
				Bonds Corner(BCR)	270	140	14,05	13,73
				Calexico Fire Station(CXO)	225	315	16,08	12,19
				Mexicall Casa Flores(MXC)	0	270	2,87	5,87
				Compuertas(CMP)	15	285	3,22	2,96
				Meloland Route Overpass(EMO)	0	270	30,06	44,96
				Brawley Airport(BRA)	225	315	17,04	20,85
				Differential Array-Dogwood Rd(EDA)	0	270	17,23	37,10
				Post Office,Hotville(HVP)	315	225	26,31	41,06
10	Mexicali Valley,Mexico	9/6/1980	6,4	Cerro Prieto(CPR)	45	315	9,50	5,33
11	Morgan Hill,CA,USA	24/4/1984	6,2	Anderson Dam,Downstream(AND)	250	340	3,67	4,97

				Coyote Lake Dam,San Martin(CLD)	195	285	11,93	9,55
				Halls Valley(HAL)	150	240	2,23	8,14
12	Michoacan,Mexico	19/9/1985	8,0	Caleta de Campos(CAL)	90	180	10,84	10,28
				La Villita(VIL)	90	180	13,63	6,45
				La Union(UNI)	90	180	9,31	6,93
				Zihuatanejo(ZIH)	90	180	4,34	3,33
13	Nahanni,Canada	23/12/1985	6,7	Iverson,NW Territories(SITE 1)	10	280	0,51	0,40
				Slide Mountain(SITE 2)	240	330	7,05	6,15
14	Palm Springs,CA,USA	8/7/1986	6,1	Cabazon Post Office(CAB)	180	270	2,56	2,50
				Desert Hot Springs(DSP)	0	90	8,36	5,09
				North Palm Springs Post Office(NPS)	210	300	13,91	7,07
				Palm Springs Airport(PSA)	0	90	2,27	2,49
				Whitewater Trout Farm(WWT)	180	270	6,52	4,40
15	Whittier Narrows,CA,USA	10/10/1987	6,0	Alhambra,Fremont School(ALF)	180	270	2,42	2,51
				San Marino,SW Academy(SNM)	270	360	0,82	2,23
				Los Angeles,Obregon Park(OBP)	270	360	2,25	3,29
				Altadena,Eaton Canyon Park(ECP)	0	90	1,22	0,58
				Downey,Country Maint. Bldg.(DOW)	180	270	4,09	1,50
				Garvey Reservoir(GVR)	60	330	1,48	2,48
				Whittier Narrows Dam-Upstream(WND)	62	152	1,47	1,25
				Alhambra 900 S.Fremont(ALH)	0	90	7,33	2,99
				Whittier 7215 Bright Ave (WTR)	90	180	2,41	4,16

				Los Angeles-Bulk Mail Center(LBM)	10	280	1,47	4,32
				Vernon 4814 Loma Vista Ave(VRN)	7	277	2,72	2,11
				Norwalk 12400 Imperial Highway (NWK)	90	360	1,01	2,53
				San Gabriel 600 E.Grand Ave(SGS)	270	180	2,65	4,06
				El Monte 11338 Fairview Ave(EMC)	270	0	2,07	4,44
				West Covina 1307 S.Orange(XWC)	315	225	1,86	2,69
				Hacienda Heights 16750 Coima(XHA)	140	230	1,14	1,81
				Arcadia 180 Campus Dr.(ARC)	9	279	2,70	0,65
16	Superstition Hills,CA,USA	24/11/1987	6,4	Parchute Test Site(PTS)	225	315	54,11	15,59
				Superstition Mountain(SSM)	45	135	4,70	7,92
				Poe Road(POE)	270	360	8,46	11,50
				Kornbloom Poad(KRN)	270	360	6,1	7,26
				Westmorland Firestation(WST)	90	180	13,69	20,72
				El Centro(ELC)	0	90	16,51	20,61
17	Loma Prieta,USA	17/10/1989	6,9	Corralitos(COR)	0	90	12,03	14,35
				Gavilan College Physics Sci. Bldg.(GIL)	67	337	5,79	7,08
				Gilroy 1-Gavilan Coll. Water Tank(G01)	0	90	7,10	6,58
				Lexington Dam-Left Abutment(LXD)	0	90	17,41	27,29
				Los Gatos Presentation Center(LGP)	0	90	40,95	11,04
				Saratoga-Aloha Avenue(STG)	0	90	11,73	32,62
				Gilroy Historic Building(GHB)	90	180	11,00	4,27
				Capitola Fire Station(CAP)	0	90	11,91	8,01
				Branciforte Drive(BRN)	0	90	7,74	6,21

18	Sierra Madre,CA,USA	28/6/1981	5,6	Cogswell Dam(COG)	65	155	0,98	2,30
				Eaton Canyon Park-Altadena(ETN)	0	90	3,37	0,89
				Mt. Wilson-Caltech Station(MTW)	0	90	1,81	2,73
				San Marino-SW Academy(SNM)	0	90	1,18	2,39
19	Erzincan,Turkey	13/3/1992	6,6	Erzincan(ERZ)	0	90	21,84	27,42
20	Petrolia,CA,USA	25/4/1992	6,9	Cape Mendocino(CAP)	0	90	33,13	16,64
				Petrolia(PGS)	0	90	13,73	27,74
				Fortuna(FOR)	0	90	21,57	14,38
				Rio Dell(RIO)	270	360	18,82	15,40
21	Landers,CA,USA	28/6/1992	7,3	Joshua Tree-Fire Station(JSH)	0	90	8,75	18,11
				Lucerne Valley(LUC)	0	90	14,66	69,87
22	Northridge,CA,USA	17/1/1994	6,7	Jensen Filtration Plant(JFA)	22	292	42,39	25,09
				Pacoima Kagel Canyon(PKC)	90	360	12,65	9,03
				Newhall,LA Country Fire Station(NWH)	90	360	18,77	41,49
				Arieta,Nordhoff Fire Station(SFY)	90	360	10,43	10,43
				Pacoima Dam-Downstream(PCD)	175	265	5,53	5,15
				Rinaldi Receiving Station(RRS)	318	228	29,39	43,49
				Sylmar Converter Station(SCG)	52	142	44,77	25,46
				Sylmar Converter Station East(SCH)	11	281	37,84	28,55
				Sepulveda Veterans Hospital(VSP)	270	360	17,30	16,17
				Los Angeles Dam(LDW)	334	64	20,86	21,51
				Sylmar Country Hospital(SYH)	90	360	20,94	30,67
				Canoga Park Epiphany Church(CPC)	196	106	16,07	12,92

				Canyon Country(CCY)	0	270	11,07	12,11
				LA Fire Station 108 (LF5)	35	125	9,15	5,90
				LA Fire Station 99 (LF6)	9	279	18,46	13,42
				LA UCLS Grounds(ULA)	90	360	3,52	7,14
				LA Westlake School(LWS)	0	90	4,23	8,22
				Newhall,Pico Canyon(NWS)	46	316	56,69	17,81
				North Hollywood Coldwater Canyon(NHW)	270	180	8,35	29,21
				Northridge White Oak Cov. Church(NRG)	90	180	15,90	13,82
				Simi Valley(SMI)	0	90	6,86	5,95
				Sun Valley Grace Commun. Church(SVG)	0	90	6,00	9,79
				Tarzana Nursery(TAR)	90	360	22,67	24,26
23	Hanshin(Kobe),Japan	17/1/1995	6,8	Kobe University(KBU)	0	90	13,97	7,28
				Kobe Port Island,Surface(KPI)	0	90	38,08	24,67
				Takarazuka(TAZ)	0	90	26,27	16,78
				Takatori(TAK)	0	90	35,91	32,79
				Nishi-Akashi(NIS)	0	90	9,97	12,6
24	Izmit,Turkey	17/8/1999	7,4	Arcelik Arge Lab(ARC)	0	270	14,35	37,64
				Yarimca Petkim(YPT)	0	270	50,98	55,07
25	Chi-Chi,Taiwan	20/9/1999	7,6	CHY024	90	360	37,10	31,47
				CHY028	90	360	14,75	22,58
				CHY101	90	360	45,75	69,18
				TCU049	90	360	36,05	37,62
				TCU051	90	360	41,12	60,00

				TCU052	90	360	116,43	139,66
				TCU053	90	360	64,43	48,96
				TCU054	90	360	37,23	37,78
				TCU055	90	360	9,73	57,46
				TCU065	90	360	79,71	61,91
				TCU067	90	360	52,07	32,41
				TCU068	90	360	151,54	205,45
				TCU071	90	360	14,99	32,11
				TCU072	90	360	25,08	24,28
				TCU074	90	360	20,38	16,59
				TCU075	90	360	61,20	33,45
				TCU076	90	360	24,76	24,96
				TCU078	90	360	18,80	9,09
				TCU082	90	360	50,99	52,72
				TCU087	90	360	66,15	25,23
				TCU089	90	360	15,80	20,36
				TCU101	90	360	77,97	36,37
				TCU102	90	360	88,52	44,81
				TCU103	90	360	90,32	18,65
				TCU116	90	360	49,28	29,08
				TCU120	90	360	32,92	36,76
				TCU122	90	360	40,58	39,77
				TCU129	90	360	35,29	30,08
26	Duzce,Turkey	12/11/1999	7,1	Duzce(DZC)	180	270	41,40	51,79
				Bolu(BOL)	0	90	23,72	11,67

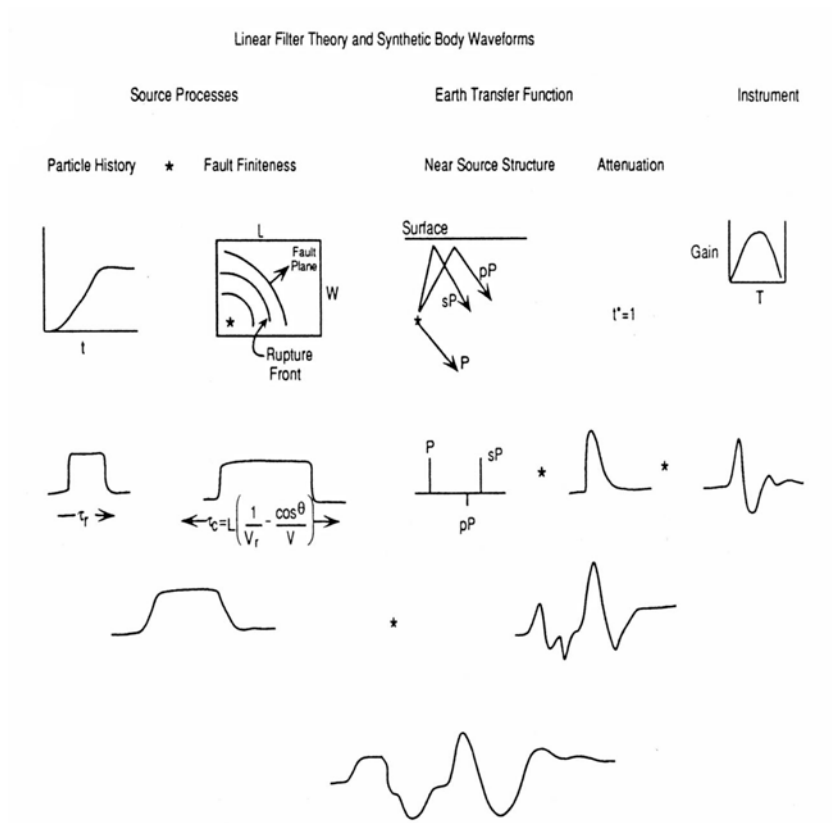
4.4 Μια νέα παράμετρος εκτίμησης της έντασης της εδαφικής μετακίνησης.

Μια περαιτέρω επίπτωση της χρήσης του μοντέλου Haskell είναι ο καθορισμός μιας νέας παραμέτρου για την εκτίμηση της έντασης των εδαφικών κινήσεων, κατάλληλης για τις μεσαίες και μεγάλες περιόδους. Όπως αναφέρθηκε ήδη, το ολοκλήρωμα της τραπεζοειδούς χρονικής συνάρτησης της εδαφικής μετατόπισης είναι σταθερό και ανάλογο προς τη σεισμική ροπή. Δεδομένου ότι το ολοκλήρωμα είναι ίσο με το γινόμενο της μέγιστης εδαφικής μετατόπισης D επί την διάρκεια τ_c και ανάλογο προς την σεισμική ροπή M_0 , είναι προφανές ότι η μετατόπιση D είναι ανάλογη προς την αναλογία M_0/τ_c , καθώς επίσης και ανάλογη προς τη μέγιστη φασματική μετατόπιση. Από το σχήμα 49 το χρονικό ολοκλήρωμα της απόλυτης εδαφικής ταχύτητας, όπως καθορίζεται από το μοντέλο Haskell, είναι ίσο με δύο φορές τη μέγιστη εδαφική μετακίνηση D και συνεπώς ανάλογο προς τη μέγιστη φασματική μετατόπιση. Λαμβάνοντας υπόψη ότι η καταγεγραμμένη εδαφική ταχύτητα σε ένα σημείο είναι το αποτέλεσμα της συνέλιξης μεταξύ της χρονικής συνάρτησης της ταχύτητας Haskell και μιας κατάλληλης συνάρτησης Green, υπολογίζοντας τις επιδράσεις της συνάρτησης μεταφοράς (transfer function) της γης, το απόλυτο ολοκλήρωμα εδαφικής ταχύτητας, καλούμενο ως αθροιστική απόλυτη μετακίνηση CAD (**Taflampas et al**), μπορεί να εκφραστεί ως εξής:

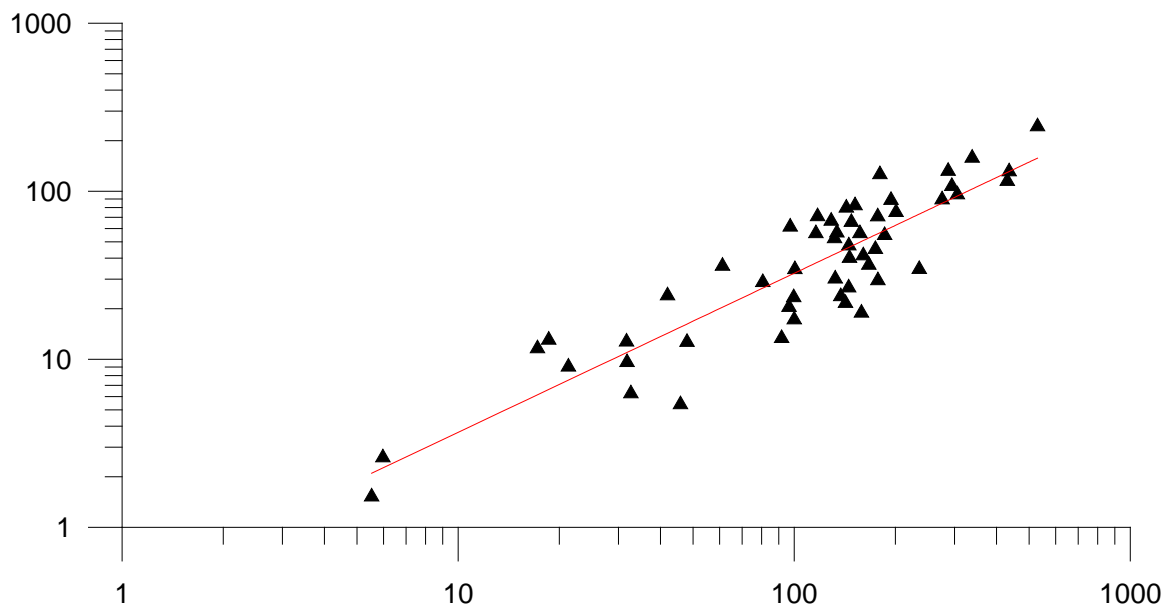
$$\int_{-\infty}^{\infty} |\dot{v}_g(t)| dt = 2D'\tau_r \int_{-\infty}^{\infty} |g(\tau)| d\tau = 2D \int_{-\infty}^{\infty} |g(\tau)| d\tau \quad (71)$$

όπου το $g(\tau)$ είναι η συνάρτηση Green.

Το χρονικό ολοκλήρωμα του απόλυτου της συνάρτησης Green παρουσιάζει μια σταθερή τιμή, επιτρέποντας το απόλυτο χρονικό ολοκλήρωμα εδαφικής ταχύτητας να θεωρείται ανάλογο προς τις μέγιστες εδαφικές και φασματικές μετατοπίσεις. Η συσχέτιση μεταξύ των τιμών του απόλυτου ολοκληρώματος εδαφικής ταχύτητας και των μέγιστων φασματικών μετατοπίσεων παρουσιάζει έναν συντελεστή της τάξης του 90% και παρουσιάζεται στο σχήμα 50:

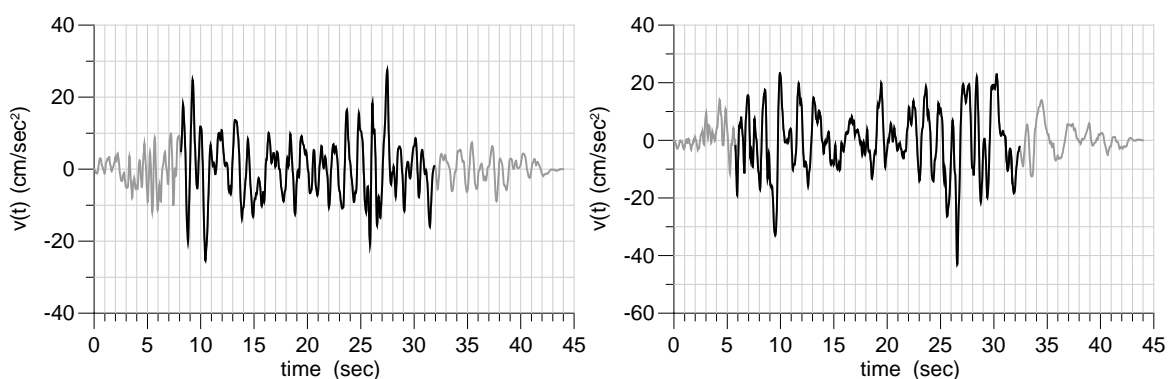


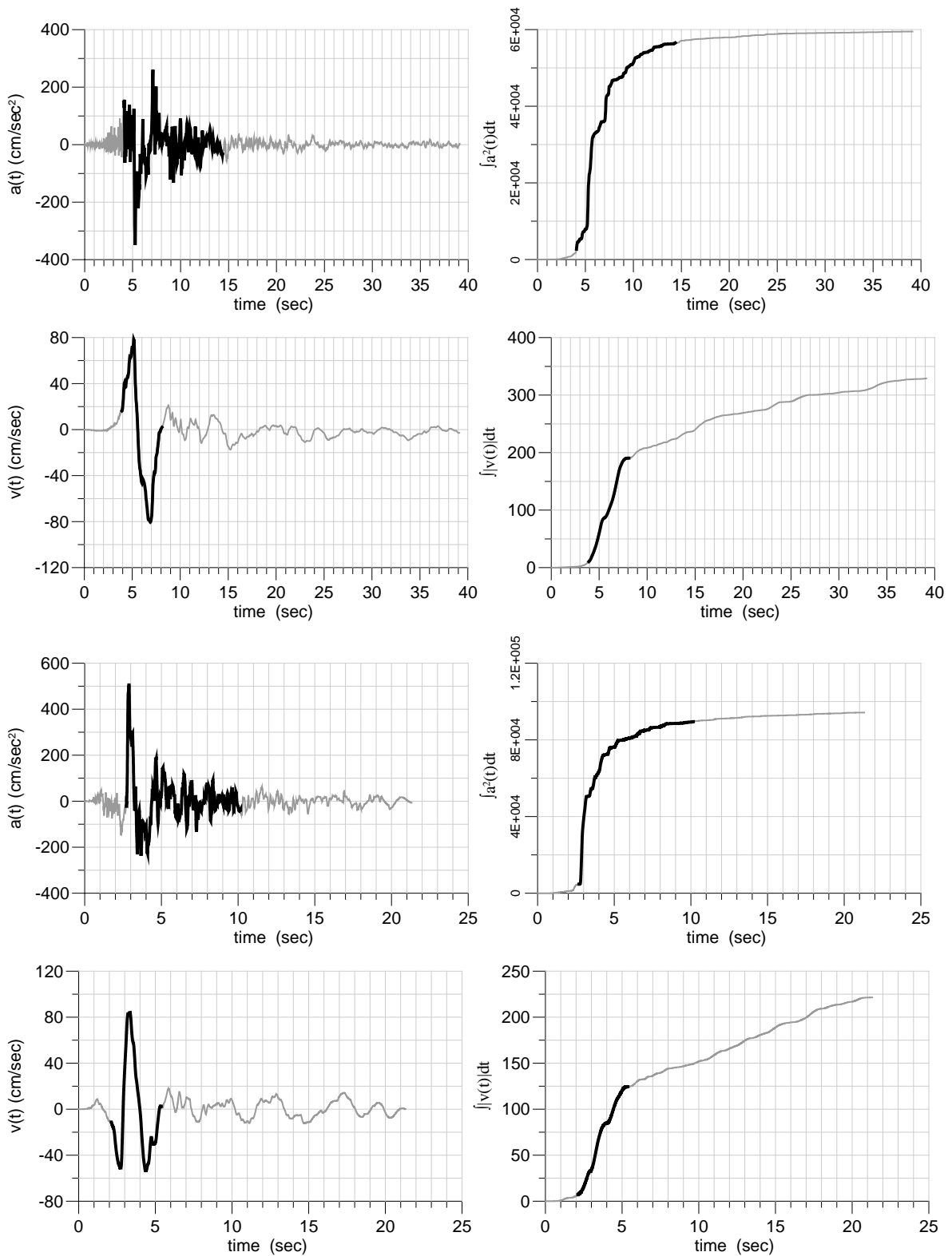
Σχήμα 49.



Σχήμα 50.

Η εισαγωγή της CAD, επιτρέπει επίσης έναν νέο ορισμό της διάρκειας της ισχυρής εδαφικής κίνησης συνδυάζοντας τους ορισμούς της σημαντικής και της οριοθετημένης διάρκειας. Για κάθε κίνηση του εδάφους, μπορεί να καθορισθεί ένα όριο σχετικό με ένα ποσοστό της μέγιστης εδαφικής ταχύτητας, έτσι ώστε η οριοθετημένη διάρκεια να συμπίπτει με τη σημαντική διάρκεια που περιλαμβάνει την απότομη κλίση του ολοκληρώματος CAD. Το αναφερόμενο δείγμα από καταγραφές γνωστών διεθνών ισχυρών κινήσεων χρησιμοποιείται προκειμένου να βαθμονομηθεί η προτεινόμενη μέθοδος. Για κάθε καταγραφή, ορίζεται ένα όριο ως ένα ποσοστό της μέγιστης εδαφικής ταχύτητας, έτσι ώστε οι φασματικές τιμές ταχύτητας για το χρονικό διάστημα της οριοθετημένης - σημαντικής διάρκειας t_{bs} να είναι τουλάχιστον 90% εκείνων της αρχικής καταγραφής, σύμφωνα με το κριτήριο που χρησιμοποιείται από τους Trifunac και Brady για τον καθορισμό της σημαντικής διάρκειας. Ένα βέλτιστο όριο έχει εκτιμηθεί στο 30% της μέγιστης εδαφικής ταχύτητας. Η διάρκεια της ισχυρής κίνησης t_{bs} που εκτιμήθηκε για κάθε καταγραφή, συγκρίνεται με τη διάρκεια t_d , όπως αυτή ορίζεται από τους Trifunac και Brady και εκτιμήθηκε με τη χρήση του ολοκληρώματος Αγίας. Όπως φαίνεται στο σχήμα 51 σχετικά με τη διάρκεια Trifunac και με αυτήν που προτείνεται σε αυτήν την μελέτη, στην περίπτωση των χρονοϊστοριών πρόσω κατευθυντικότητας με λίγους ισχυρούς παλμούς ταχύτητας, η προτεινόμενη διάρκεια συμπίπτει με το διάστημα της ισχυρής έκλυσης ενέργειας πολύ καλύτερα από τη διάρκεια που προτείνεται από τους Trifunac και Brady. Στην περίπτωση της όπισθεν κατευθυντικότητας και οι δύο διάρκειες έχουν παρόμοιες τιμές.





Σχήμα 51.

Όπως παρατηρείται, η προτεινόμενη διάρκεια ταιριάζει καλά με την τ_c διάρκεια, που συνδέεται με την συνολική διάρκεια της διάρρηξης και το αζιμούθιο της περιοχής καταγραφής. Συνεπώς, η νέα προτεινόμενη διάρκεια έχει μια φυσική έννοια που σχετίζεται με το μηχανισμό πηγής του σεισμικού γεγονότος.

Κεφάλαιο 5 - Συμπεράσματα -

Εφαρμογές

Στην παρούσα μελέτη το μοντέλο Haskell που χρησιμοποιείται για την εκτίμηση της διάδοσης των σεισμικών κυμάτων επιτρέπει τον ποσοτικό προσδιορισμό των φασμάτων απόκρισης μετατόπισης στις περιπτώσεις των φαινομένων κατευθυντικότητας γύρω από τη διάρρηξη του ρήγματος. Ο προσδιορισμός των φασμάτων μετακίνησης στην περιοχή κοντινού πεδίου θεωρείται αναγκαίος σύμφωνα με τις πρόσφατες εξελίξεις στις πρακτικές αντισεισμικού σχεδιασμού. Η εφαρμογή του σχεδιασμού βάσει μετακινήσεων δεν μπορεί να επιτευχθεί χωρίς την εκτίμηση των αντίστοιχων φασματικών τιμών στις μεσαίες και μεγάλες περιόδους.

Η προτεινόμενη μεθοδολογία επιτρέπει μια αξιόπιστη αξιολόγηση του εύρους και της μορφής των φασμάτων απόκρισης μετακινήσεων για την περιοχή μεσαίων και μεγάλων περιόδων. Αυτή η αξιολόγηση γίνεται για διαφορετικές θέσεις γύρω από την διάρρηξη του ρήγματος, που κυμαίνονται από την περιοχή που επηρεάζεται από την ισχυρή πρόσω κατευθυντικότητα σε περιοχές που παρουσιάζονται φαινόμενα όπισθεν κατευθυντικότητας. Η τραπεζοειδής χρονική συνάρτηση εδαφικών μετακινήσεων που παρουσιάζονται από τον Haskell και το σχετικό φάσμα Fourier εδαφικών μετακινήσεων χρησιμοποιούνται για την εκτίμηση των σχετικών φασμάτων απόκρισης μετακίνησης. Η προτεινόμενη σχέση μεταξύ του φάσματος απόκρισης μετακίνησης για απόσβεση 0 % και του φάσματος εύρους Fourier εδαφικής ταχύτητας επιτρέπει τη χρήση του μοντέλου Haskell για την αξιολόγηση των φασμάτων απόκρισης μετακίνησης. Αποδεικνύεται ότι οι μέγιστες φασματικές τιμές εξαρτώνται από το αζιμούθιο μεταξύ της θέσης καταγραφής και της διάρρηξης του ρήγματος και είναι ανάλογες προς τη σεισμική ροπή και αντιστρόφως ανάλογες προς το χρονικό διάστημα μεταξύ της πρώτης και τελευταίας άφιξης των S κυμάτων. Εκθετικές σχέσεις καθιερώνονται μεταξύ των μέγιστων φασματικών τιμών μετακίνησης και του μεγέθους σεισμικής ροπής των σεισμικών γεγονότων. Οι μέγιστες και μεσαίες δεσπόζουσες φασματικές τιμές μετακίνησης στην περιοχή κοντινού πεδίου υπολογίζονται για διαφορετικά μεγέθη σεισμικής ροπής και τα αποτελέσματα συγκρίνονται με τις τιμές που έχουν δοθεί από άλλους ερευνητές για περιπτώσεις μακρινού πεδίου.

Αυτή η μελέτη παρουσιάζει επίσης μια νέα παράμετρο της ισχυρής εδαφικής κίνησης που βασίζεται στο χρονικό ολοκλήρωμα της απόλυτης εδαφικής ταχύτητας, την αθροιστική απόλυτη μετατόπιση CAD, και που χρησιμοποιείται για την εκτίμηση της διάρκειας ισχυρής εδαφικής κίνησης. Ο προτεινόμενος δείκτης φαίνεται να συσχετίζεται άμεσα με τις μέγιστες φασματικές τιμές μετακινήσεων και η προτεινόμενη οριοθετημένη - σημαντική διάρκεια t_{bs} κρίνεται ικανοποιητική για το διάστημα ισχυρής εδαφικής κίνησης των σεισμικών καταγραφών, ειδικά στην περίπτωση κοντινού πεδίου.

Για την καλύτερη κατανόηση του περιεχομένου αυτής της μελέτης, παρουσιάζονται 6 χαρακτηριστικές καταγραφές από αυτές του σεισμού του Northridge (Κεφάλαιο 3), εκ των οποίων οι 2 αντιπροσωπεύουν το φαινόμενο της πρόσω κατευθυντικότητας;

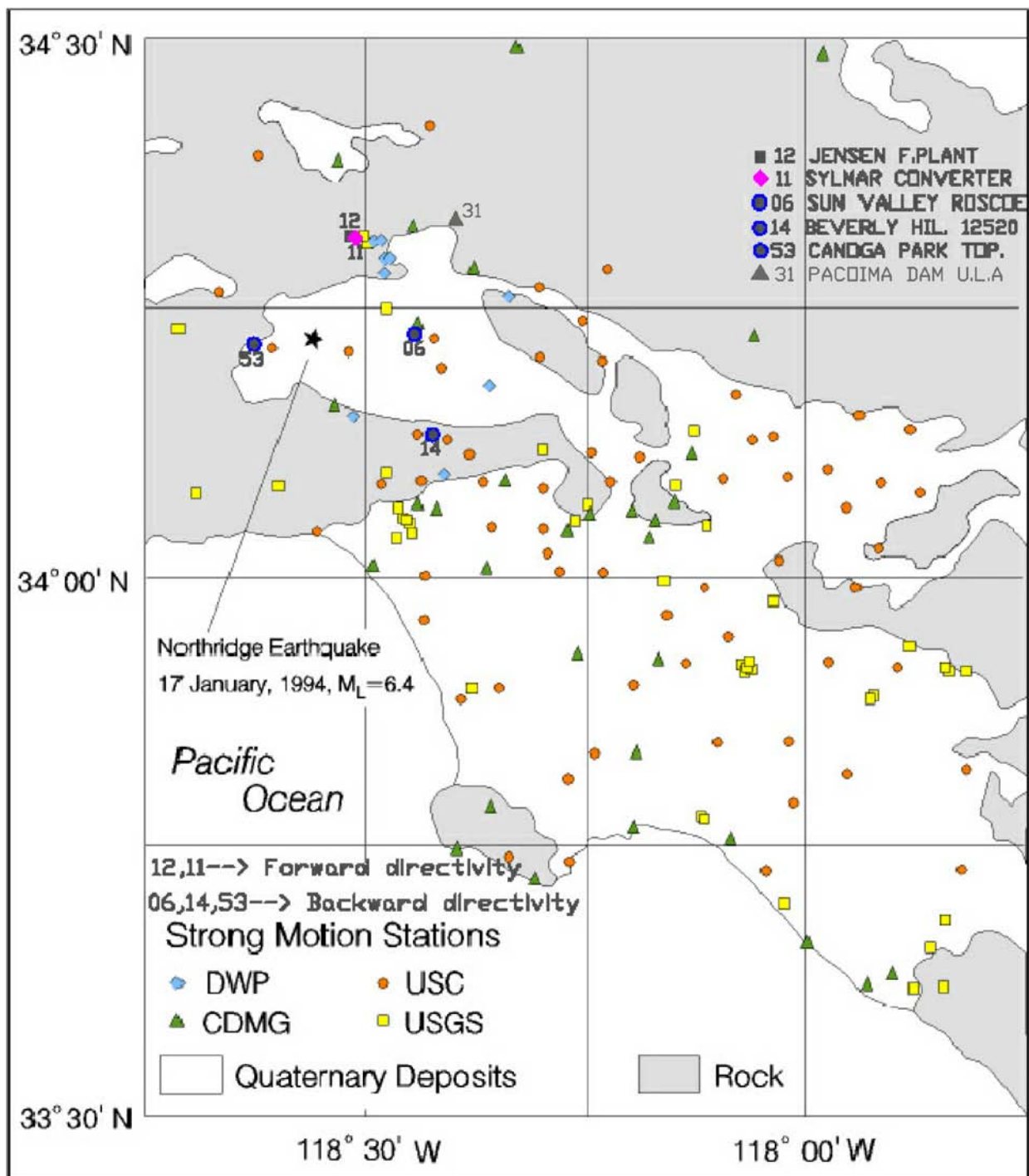
- Jensen Filter Plant
- Sylmar Converter Sta

και οι υπόλοιπες 4 το φαινόμενο της όπισθεν κατευθυντικότητας:

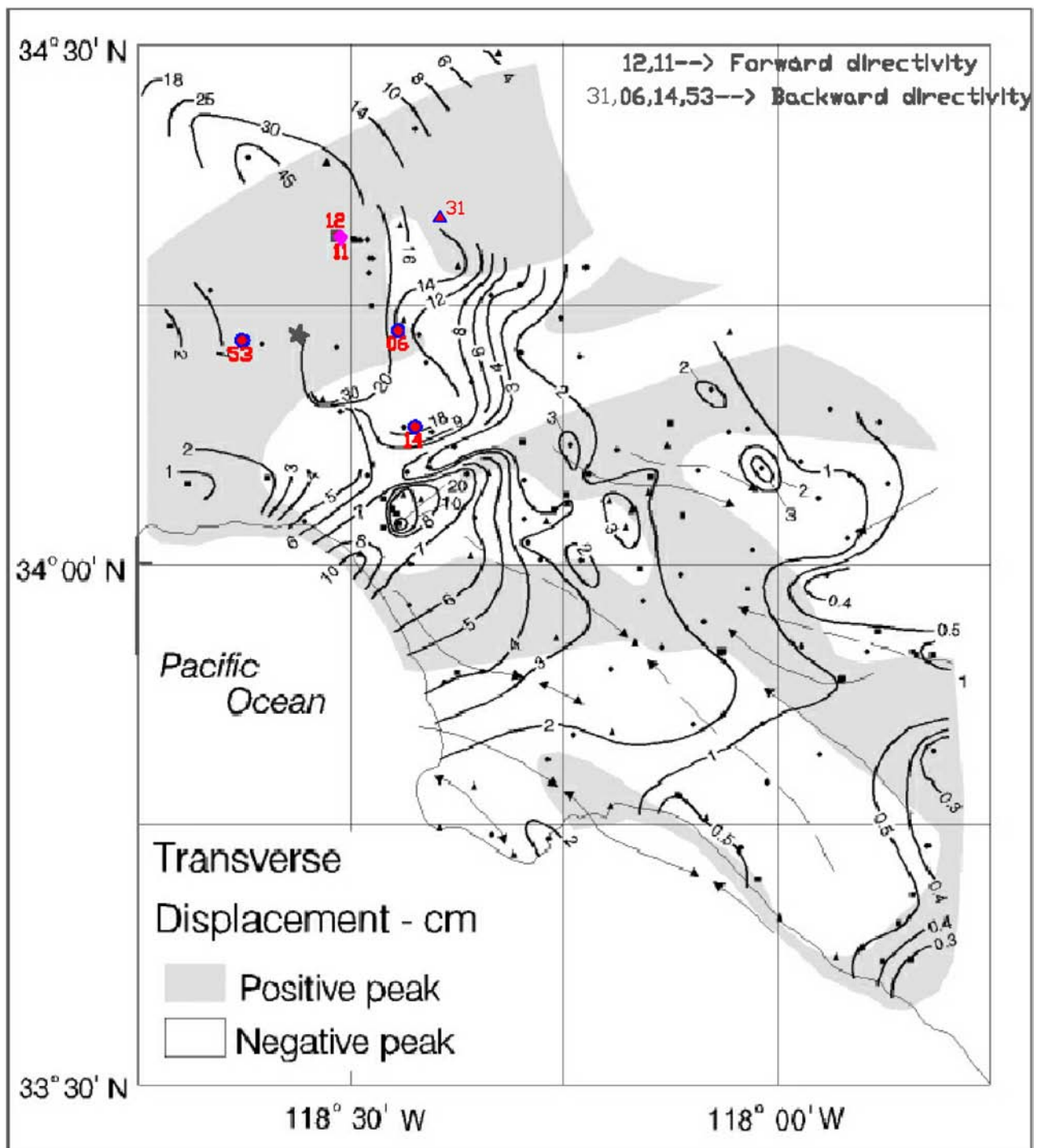
- Sun Valley Roscoe
- Pacoima Dam U.L.A
- Canoga Park-Topanga Canyon
- Beverly Hills MULH 12520

Με τη βοήθεια του προγράμματος *Autocad*, τοποθετήσαμε τις 6 αυτές καταγραφές στους παρακάτω χάρτες. Ο μεν ένας (σχήμα 52) περιέχει όλες τις καταγραφές ισχυρής κίνησης του κυρίως σεισμού του Northridge, και ο δεύτερος (σχήμα 53) περιέχει τις μέγιστες τιμές εδαφικής μετατόπισης με τη μορφή ισοϋψών. Στους χάρτες αυτούς, μπορούμε να δούμε την απόστασή τους από το επίκεντρο, την θέση τους σε σχέση με τη διάρρηξη και τον τρόπο με τον οποίο η μορφή των φασμάτων ξετυλίγει τα χαρακτηριστικά της επίδρασης της κατευθυντικότητας

Οι χάρτες παρουσιάζονται παρακάτω, καθώς και οι χρονοϊστορίες – φάσματα της καταγραφής **Jensen Filter Plant** (deg. 022) ως περίπτωση **πρόσω** κατευθυντικότητας και της καταγραφής **Pacoima Dam U.L.A** (deg. 194) ως περίπτωση **όπισθεν** κατευθυντικότητας.

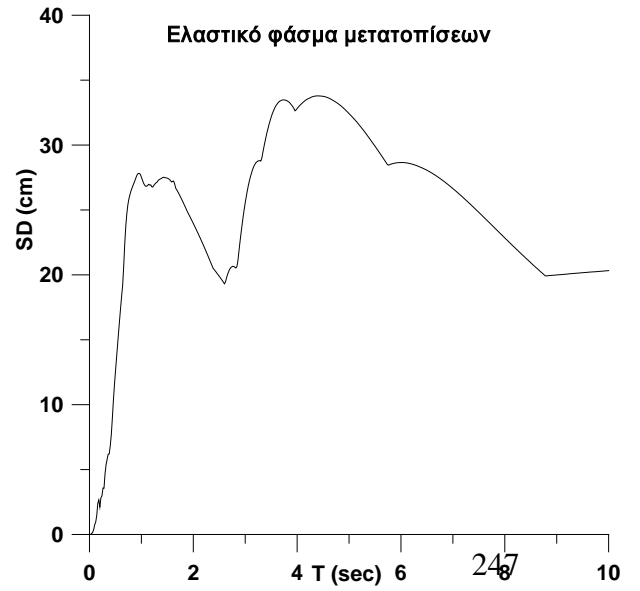
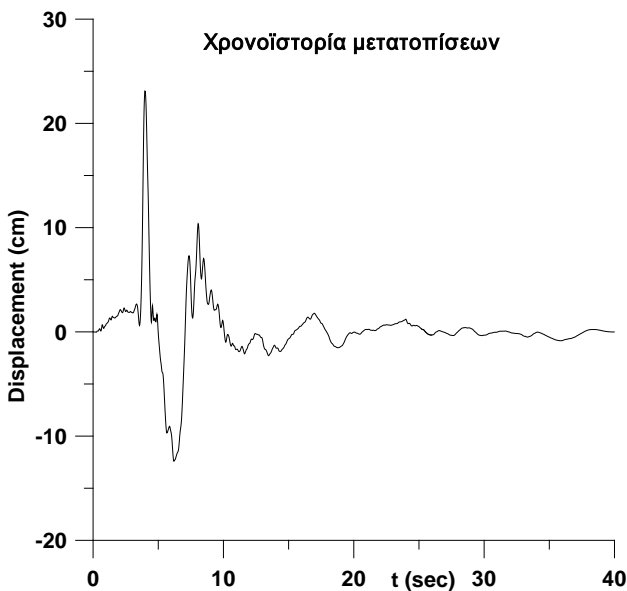
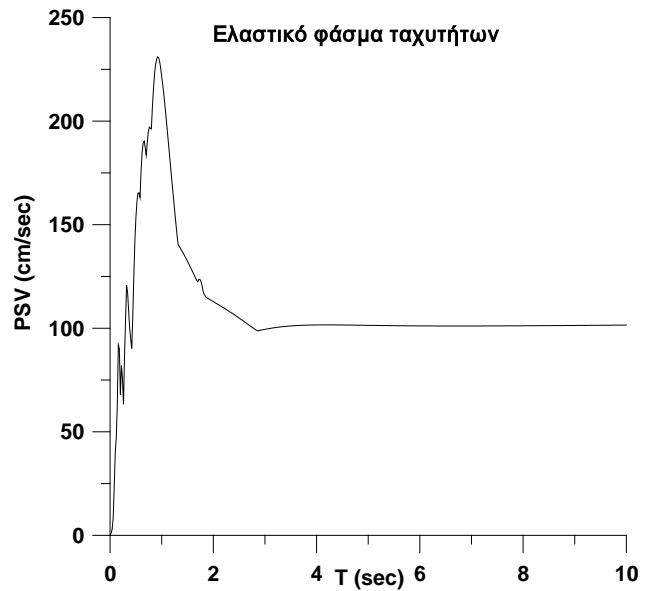
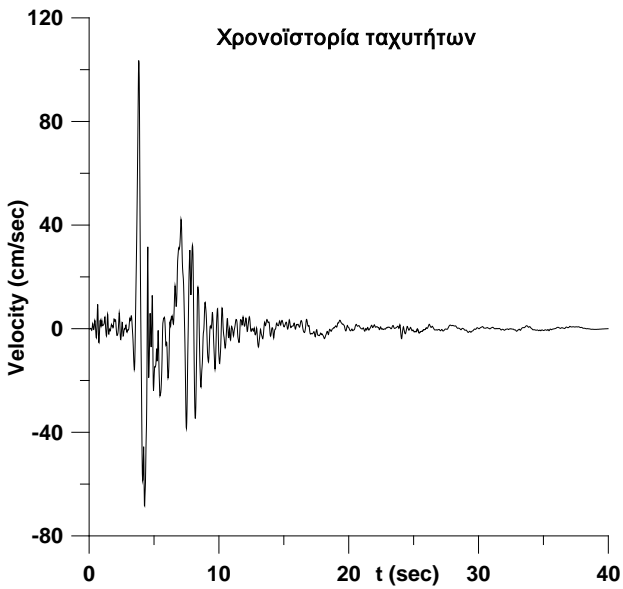
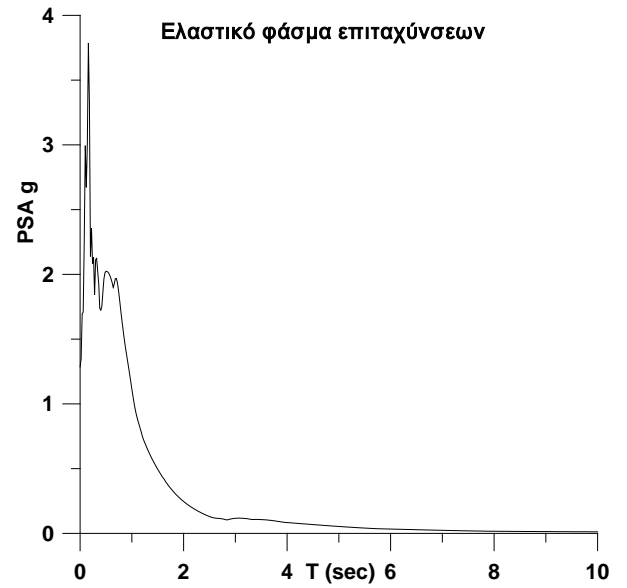
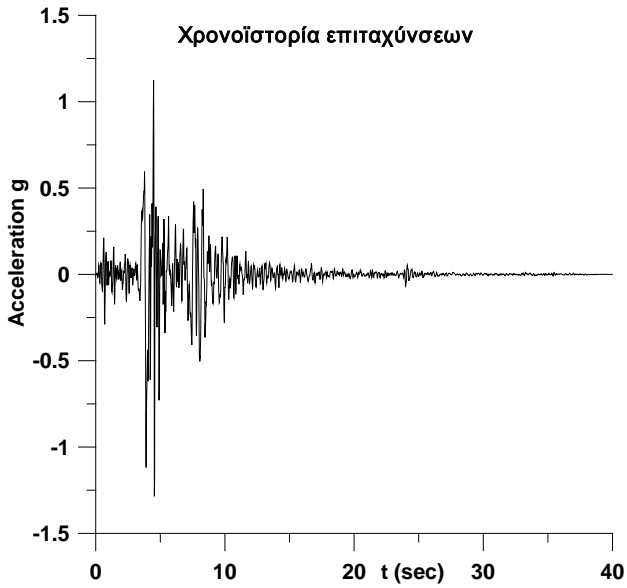


Σχήμα 52.

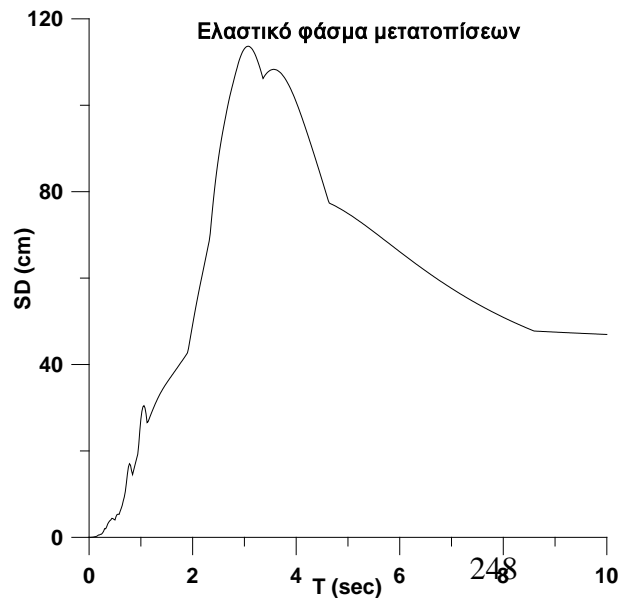
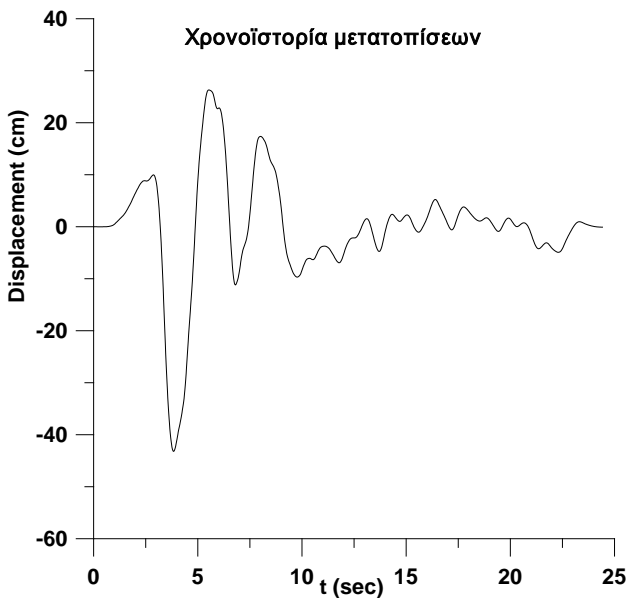
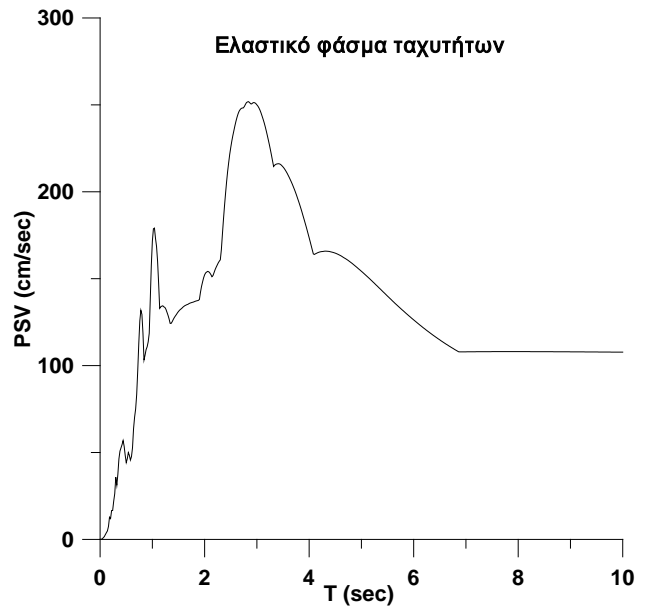
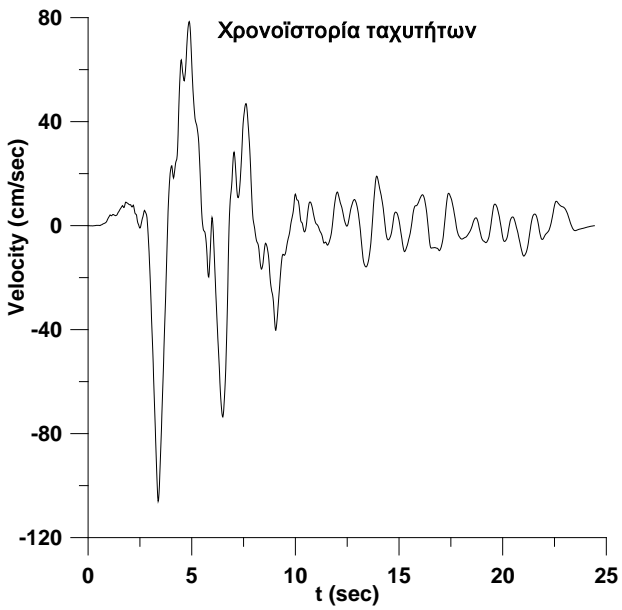
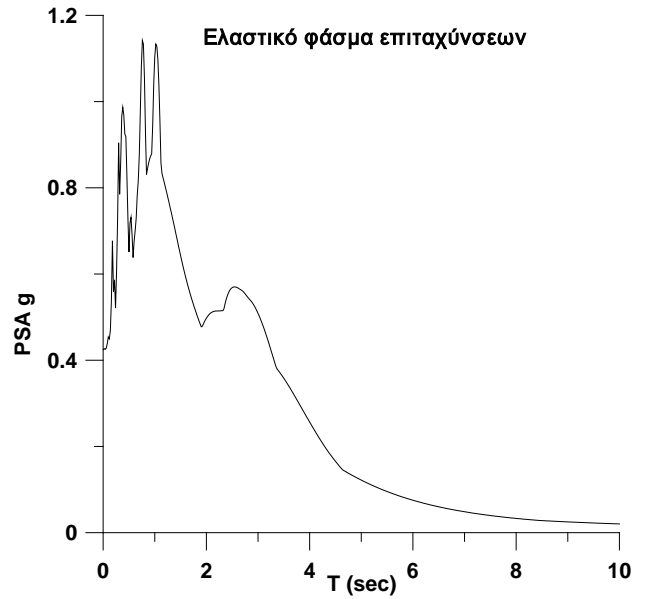
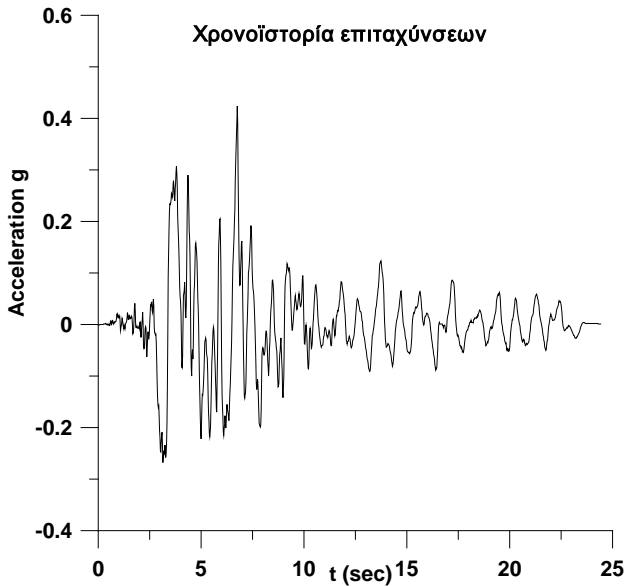


Σχήμα 53.

NORTHRIDGE 01/17/94, PACOIMA DAM, UPPER LEFT ABUT, deg.194, Lat. 34.334, Long.-118.396 PGA (g)= 1.285 PGV (cm/s)= 103.9 PGD (cm) = 23.8



NORTHRIDGE 01/17/94, JENSEN FILTER PLANT, deg.022, Lat. 34.313, Long.-118.498 **PGA (g)= 0.424 PGV (cm/s)= 106.2 PGD (cm) = 43.06**



Παρατηρούμε λοιπόν ότι στις περιπτώσεις πρόσω κατευθυντικότητας (π.χ Jensen F. Plant) οι τιμές της εδαφικής μετατόπισης είναι από τέσσερις έως και επτά φορές μεγαλύτερες από ότι σε αυτές της όπισθεν κατευθυντικότητας (π.χ Pacoima Dam).

Μελετώντας τις χρονοϊστορίες και τα φάσματα των συγκεκριμένων καταγραφών θα δούμε ότι στις καταγραφές πρόσω κατευθυντικότητας όπως στην παραπάνω χαρακτηριστική καταγραφή 12 «**Jensen F. Plant**», έχουμε παλμούς μεγάλου εύρους και μικρής διάρκειας και στα αντίστοιχα φάσματα απόκρισης μετακίνησης διακρίνεται μια αιχμή που συνδέεται με τη περίοδο του παλμού. Οι παλμοί φτάνουν σχεδόν ταυτόχρονα στη θέση καταγραφής, δηλαδή η τ_c , που είναι ο χρόνος μεταξύ της 1^{ης} και της τελευταίας άφιξης των κυμάτων είναι πολύ μικρή. Γι' αυτό το λόγο βλέπουμε ότι η τραπεζοειδής μορφή που θα περιμέναμε από το θεωρητικό μοντέλο, έχει εκφυλιστεί σε τρίγωνο. Οι δε μέγιστες φασματικές τιμές SD συμβαδίζω με την ανάλυση της M. Εμμανουηλίδου (σχέσεις 69,70).

Αντίθετα στις περιπτώσεις όπισθεν κατευθυντικότητας, όπως στην παραπάνω χαρακτηριστική καταγραφή 31 «**Pacoima Dam U.L.A**», βλέπουμε δύο κύριες διακριτές αφίξεις μικρού πλάτους (έως και 7 φορές μικρότερου από αυτόν πρόσω κατευθυντικότητας), μεταξύ των οποίων μεσολαβούν περίπου 3sec δηλαδή όσο είναι η διάρκεια της σημαντικής ολίσθησης. Τα αντίστοιχα φάσματα παρουσιάζουν μια εξομάλυνση, μια μεγάλη περιοχή περίπου σταθερών τιμών φασματικών μετακινήσεων (πλατό) μέχρι τα 8-9 sec και όχι μια έντονη αιχμή. Εδώ η τ_c είναι μεγάλη, περίπου όσο η διάρκεια της διάρρηξης. Το γεγονός ότι η διάρκεια δεν είναι ίση με το διπλάσιο της διάρκειας διάρρηξης (όπως αναφέρεται στο θεωρητικό μοντέλο), οφείλεται στην κλίση του επιπέδου του ρήγματος (45 μοίρες) με αποτέλεσμα οι θέσεις (6,14,31,53) που εξετάστηκαν να βρίσκονται στο επίπεδο, το κάθετο στο μέσον της ολίσθησης. Το πλατό είναι περίπου ίσο με το τριπλάσιο του διαστήματος μεταξύ των δύο διακριτών αφίξεων της χρονοϊστορίας ταχύτητας.

Αυτά είναι τα σημαντικότερα συμπεράσματα της παρούσας εργασίας, τα οποία στηρίζονται σε μια αξιόπιστη εκτίμηση του εύρους και της μορφής των φασμάτων μετατόπισης, που λαμβάνουν υπόψη το αζιμούθιο της θέσης και της διάρρηξης, τη διάρκεια της διάρρηξης και το μέγεθος της σεισμικής ροπής.

Βιβλιογραφία

- Boore D.M., Bommer J.J. (2005), “Processing of strong-motion accelograms: needs, options and consequences”, *Soil Dynamics and Earthquake Engineering* 25, p.93-115.
- Chopra A.K. and Chintanapakdee C. (2001), Comparing response of SDF systems to near-fault and far-fault earthquake motions in the context of spectral regions”, *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, 30, p.1769-1789.
- Mavroeidis G.P., and Papageorgiou A.S. (2003), “A Mathematical Representation of Near-Fault Ground Motions”. *Bulletin of the Seismological Society of America*, Vol.93, No 3, p.1099-1131.
- Mavroeidis G.P., Dong G. and Papageorgiou A.S. (2004), “Near-fault ground motions, and the response of elastic and inelastic single-degree-of-freedom (SDOF) systems”, *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, 33, p. 1023-1049
- Stewart J.P., Chiou S-J., Bray J.D., Graves R.W. and Abrahamson N.A. (1997). “Modification of empirical strong ground motion attenuation relations to include the amplitude and duration effects of rupture directivity”. *Seismological Research Letters* 68, p.199-205.
- E. Mistakidis, R. Apostolska (Petrusevska), D. Dubina, W. Graf, G. Necevska-Cvetanovska, P. Nogueiro, S. Pannier, J.-U. Sickert, L. Simões da Silva, A. Stratan, U. Terzic, COST C26: Urban Habitat Constructions under Catastrophic Events, WG2: Earthquake resistance , “Typology of seismic motion and seismic Engineering Design”, Workshop Prague, March 30-31, 2007.
- Ezio Faccioli, Roberto Paolucci and Julien Rey, “Displacement Spectra for Long Periods”, *Earthquake Spectra*, Volume 20, No. 2, pages 347–376, May 2004.
- E. Faccioli, C. Cauzzi, R. Paolucci, M. Vanini, M. Villani and D. Finazzi, Structural Engineering Department, Technical University (Politecnico) of Milan, Italy, *Earthquake Geotechnical Engineering*, 23–51.
- Nigel Priestley, “Seismological information for Displacement-Based Seismic Design, Rose School Pavia, Italy
- Peer Strong Motion Data Base (<http://peer.berkeley.edu/svbin/GeneralSearch>): “Κατάλογος καταγραφών σεισμού Northridge”.

- USC “Selected Activities in Response to the 1994 Northridge Earthquake” (http://www.usc.edu/dept/civil_eng/Earthquake_eng/North_res/#Ground%20Motion%20Contour%20Maps)
- Π.Γ. Καρύδης και Ι.Μ. Ταφλαμπάς (2008), “ΤΕΧΝΙΚΗ ΣΕΙΣΜΟΛΟΓΙΑ Παραδόσεις”, <http://www.civil.ntua.gr/earthquake>
- Γ.Ν. Ψυχάρης (2008), “Βοηθητικές Σημειώσεις Αντισεισμικής Τεχνολογίας, Κεφάλαιο 1”, <http://www.civil.ntua.gr/earthquake>
- Γ.Ν. Ψυχάρης και Ι.Μ. Ταφλαμπάς (2008), “Διερεύνηση της Επιρροής των Χαρακτηριστικών της Σεισμικής Δόνησης στην Ανελαστική Συμπεριφορά Μονοβάθμιων Ταλαντωτών”, 3ο Πανελλήνιο Συνέδριο Αντισεισμικής Μηχανικής & Τεχνικής Σεισμολογίας 5–7 Νοεμβρίου, 2008, Άρθρο 1885