



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

ΔΙΑΤΜΗΜΑΤΙΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ

ΔΟΜΟΣΤΑΤΙΚΟΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΚΑΙ ΑΝΑΛΥΣΗ ΚΑΤΑΣΚΕΥΩΝ

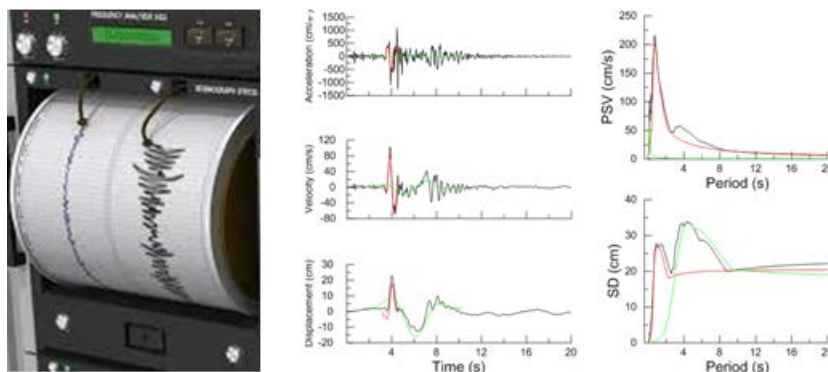
ΣΧΟΛΗ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΑΝΤΙΣΕΙΣΜΙΚΗΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ

Καθορισμός Παλμικού Περιεχομένου σε Καταγραφές Κοντινού Πεδίου

Μαρία Κανελλοπούλου

Πολ. Μηχ. Ε.Μ.Π.



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

Συνεπιβλέπων: Ι. Ταφλαμπας, Δρ. Ε.Μ.Π.



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΔΙΑΤΜΗΜΑΤΙΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ
ΔΟΜΟΣΤΑΤΙΚΟΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΚΑΙ ΑΝΑΛΥΣΗ ΚΑΤΑΣΚΕΥΩΝ
ΣΧΟΛΗ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΑΝΤΙΣΕΙΣΜΙΚΗΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ

Καθορισμός Παλμικού Περιεχομένου
σε Καταγραφές Κοντινού Πεδίου

Μαρία Κανελλοπούλου

Πολ. Μηχ. Ε.Μ.Π.

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

Συνεπιβλέπων: Ι. Ταφλαμπας, Δρ. Ε.Μ.Π.

Ευχαριστίες

Θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τον Καθηγητή Αντισεισμικής Μηχανικής Ε.Μ.Π. κ. Ιωάννη Ψυχάρη για την ανάθεση της μεταπτυχιακής αυτής εργασίας, καθώς και την επιστημονική του καθοδήγηση του κατά τη διάρκεια εκπόνησής της.

Επίσης, θα ήθελα εγκάρδια να ευχαριστήσω τον επιστημονικό συνεργάτη του Εργαστηρίου Αντισεισμικής Τεχνολογίας, Δρ. Πολιτικό Μηχανικό κ. Ι. Ταφλαμπά για την απερίσπαστη προσοχή, τις παρατηρήσεις και τις συμβουλές του σε κάθε φάση της εργασίας. Ακόμα, ευχαριστώ πολύ την υποψήφια διδάκτορα Ε.Μ.Π. κ. Βασιλική Καρδούτσου για την βοήθεια και συνεργασία της.

Τέλος, θα ήθελα να εκφράσω την ευγνωμοσύνη μου στην οικογένειά μου και στους φίλους μου για την πολύτιμη στήριξή τους.

Abstract

At engineering practice the structures are usually designed considering their behavior under far-field earthquakes. However, recently conducted extensive research indicates that the structural response significantly alters when structures are located near the epicenter of the earthquake. For this reason, the attention of the scientific community has been focused on identifying and modeling the characteristics of recordings from near-field earthquakes to achieve their analytical determination and then to allow the insertion of the phenomenon in seismic codes and regulations.

Near-field ground motions recorded until now, are considered to be within 20-60 km of a fault and suggest that they may include strong impulsive behavior in long period ranges of velocity and displacement. However, not all recordings contain such pulses. The distinction of recordings that contain pulses from those which do not is particularly useful in several seismological and engineering issues, such as probabilistic seismic hazard analysis, ground motion prediction models and nonlinear dynamic analysis of structures. Regardless of the cause of the impulsive behavior in every circumstance, the key feature is the very existence of that behavior. Therefore, the primary purpose is to determine the pulse content in such recordings. Apart from some visual criteria, the question of how to analytically locate the pulses and categorize them arises. Moreover, it is obvious that the actual time-histories are computationally unaffordable for analysis, so it is intended to use only idealized ones.

The main interest of the present study is to search for the optimum representation of the dominant pulse of near-field records in all histories and also in the velocity and displacement spectra. Furthermore, the possibility of quantitative characterization of the impulsive character of such records is examined, independently to the reason of its existence, through classification criteria.

A simple but yet effective analytical model that describes adequately the impulsive character of near-fault ground motions both qualitatively and quantitatively, and at the same time successfully simulates a large number of actual records close to the epicenter of earthquakes selected from a worldwide range of tectonic environments, is the Mavroeidis and Papageorgiou (M&P 2003) wavelet. A brief overview of wavelet analysis can be given by comparing it to the Fourier transform. The latter represents a signal using a linear combination of sine waves and each represents a signal of infinite length and a specific frequency. The opposite happens in wavelet analysis, where a signal is decomposed into small wavelets, each of them is detected in time and represents a narrow range of frequencies. The wavelets are basic functions that satisfy a set of mathematical requirements. Several models can be used to decompose a signal. The main function is referred to as the mother wavelet and it is scaled and translated in time to form a set of basic functions. With the aim of using a mathematical expression with input parameters that have an unambiguous physical meaning and the possibility of closed-form solution for the response of a SDOF system, a changed version of the Gabor wavelet was considered as suitable. The final product is an equation with harmonic oscillation and a bell-shaped (single envelope of

a cosine expression) form, and is determined by the amplitude A , the prevailing frequency f_p , the phase angle ν and the oscillatory character γ . This model is sufficient to describe the total content of pulses, thus the artificial velocity, acceleration and displacement time histories are produced.

One of the most interesting proposals regarding to the detection of the pulses in combination with the classification of the respective records, was given by Baker (2007). His study includes the extraction of the most important pulse through waveform analysis, the determination of the prevailing period of the near-field earthquake and introduces a pulse indicator that depends on the peak ground velocity (PGV) of the residual record divided by the original record's PGV, and the energy of the residual record divided by the original record's energy. When this indicator takes a value of at least 0.85, the record is considered as pulse-like. However, records with $PGV < 30$ cm/s are categorized as non pulse-like, while an exclusion criterion of 'delayed pulses' is introduced for detecting pulses due to directivity.

In a later publication (Zhai et al, 2013), a pulse-like record is determined with a criterion based on energy. It is known that the dominant pulse occurs because a significant amount of energy is concentrated in a short area. This inherently means that the pulse makes a large contribution to the total energy of the ground motion. The time integral of the squared ground velocity is employed to represent the motion energy. In order to avoid the influence of high frequency contents the potential velocity pulse is first extracted with a pulse model. The starting and ending time points as well as period of the velocity pulse are subsequently determined by the peak-point method. Records with peak ground velocities above 30cm/s from a large database are selected and utilized to calibrate the final criterion. It appears that those ground motions whose dominant velocity pulses hold relative energy values of greater than 0.3 can be classified as pulse-like with sufficient accuracy. A similar effort which differs to the investigation of the presence and characteristics of multiple pulses of these recordings, with quite different period each, was held by the Yuan Lu and Panagiotou (2014).

The representation of the dominant pulse, which is used for the analysis of selected records in this study, is based on a recent different approach by Mimoglou et al (2014). The identification the period of significant pulses takes into account the both the velocity and the displacement spectra, unlike previous publications. This process combines the efficient M&P pulse model representation with a well-defined procedure for determining the parameters of the respective waveforms. Although the original method is described in detail in the main body of the current study, the summarized method that follows is the diversified one that is being used.

First of all, the prevailing period of the most important pulse is determined by the maximum value of the convolution spectrum resulting from the displacement and the pseudo-velocity response spectrum for 5% damping. This approach is based on the observation that since the pulse inherent in a ground motion affects both the velocity and acceleration ground motions, to a different degree though, the pulse period should be found in the convolution integral of these two time-histories. The remaining

parameters of the M&P wavelet are derived with the help of a new introduced parameter, CAD, which is defined as the integral of the absolute value of the ground velocity. Therefore, an equation of the amplitude A of the pulse appears, as a function of the value of the displacement for period equal to that of the pulse, the damping value ξ and the value γ which measures the number of oscillations of the wavelet. The first is easily detected from the response spectrum for 5% damping which is selected in order to satisfactorily correspond to usual structures and parameter γ is incrementally increased to a maximum selected value. For each pair of A and γ values and for the phase ν ranging from 0° to 360° with step $\Delta\nu = 5^\circ$, which controls the shape of the wavelet towards best fitting the velocity time-history, the waveform is generated by the M&P equations. It is noted that all wavelets that the maximum value of acceleration, velocity or displacement is greater than the corresponding ground motion are excluded. Transporting in whole length of time the wavelet a cross correlation operation is performed between the velocity time-history of each wavelet, and the time-history of the original ground velocity and the cross correlation factor is calculated. The wavelet with the highest cross correlation value is selected as the most important pulse and the values A , γ , ν , and the starting time of the pulse t_0 are determined from its parameters. Subsequently, the pseudo-velocity and the displacement elastic response spectra that correspond to the artificial pulse are calculated, to make a visual comparison with those of the original recording. Moreover, the original time-histories of acceleration, velocity and displacement are designed to contrast with the corresponding artificial ones.

It is apparent that in some cases, the first artificial pulse is not satisfying enough to simulate the largest pulse. Usually, that happens for the displacement response spectrum and/or the displacement time-history. In such cases, the rainflow method is being used, according to which the two largest valleys on both sides of the peak of the spectrum convolution are selected. For each of them, the period corresponding to the point of the highest water level of the valley is detected and it is set equal to the period of the new pulse. The procedure performed for the first pulse is being repeated and from the four arising pulses, the one that best represents the displacement is chosen.

Simultaneously, a new criterion that classifies the records to pulse-like or non pulse like is proposed. The value of the cross correlation coefficient that has been already calculated for the first artificial pulse, as mentioned above, is evaluated. The conclusion drawn is that the more this value increases the more intense are the impulsive characteristics of the corresponding records. Specifically, the upper and lower thresholds for this classification are set to 0.60 (pulse-like) and 0.50 (non pulse-like), respectively, while for the intermediate values the recordings are considered ambiguous.

The application of the proposed method was extended to a set of records from the NGA strong motion database. By limiting the minimum value of the maximum ground velocity to 30 cm/s, 227 cases arose from the total of 3551. The time-histories

of the longitudinal and transversal components are used, which led to 454 records. These records were analyzed using an automated code of the process described. In conclusion, it appears that 285 records are classified as pulse-like, 73 as non-pulse like and 96 as ambiguous. It is emphasized that for 115 records a second pulse was necessary for a better fit for displacement. The graphs of all the time-histories and response spectra are given which include both the original ground motions and the final artificial pulses. Finally, a relationship between the pulse period and magnitude of the seismic moment of the near-field earthquake is derived from the results.

Keywords

pulse-like, near-field, cross correlation, impulsive

Περίληψη

Οι κατασκευές παραδοσιακά, εξετάζονται ως προς τη συμπεριφορά τους σε σεισμούς μακρινού πεδίου. Διάφορες όμως καταγραφές των τελευταίων δεκαετιών μαρτυρούν ότι η απόκριση των κατασκευών αλλάζει όταν αυτές βρίσκονται κοντά στο επίκεντρο του σεισμού. Για το λόγο αυτό, η προσοχή της επιστημονικής κοινότητας έχει στραφεί στον προσδιορισμό και τη μοντελοποίηση των χαρακτηριστικών των καταγραφών που προέρχονται από σεισμούς εγγύς πεδίου, ώστε να επιτευχθεί ο αναλυτικός προσδιορισμός αυτών και ακολούθως να δοθεί η δυνατότητα εισαγωγής του φαινομένου στους αντισεισμικούς κανονισμούς και Κώδικες.

Οι μέχρι σήμερα καταγεγραμμένες εδαφικές κινήσεις κοντινού πεδίου, που θεωρείται ότι βρίσκονται εντός 20-60 km από ένα ρήγμα, δείχνουν ότι μπορεί να περιλαμβάνουν ισχυρούς και με μεγάλη περίοδο παλμούς ταχύτητας αλλά και μετατόπισης. Ωστόσο, αυτό δεν συμβαίνει για το σύνολο των καταγραφών καθώς άλλες περιέχουν και άλλες όχι τέτοιους παλμούς. Η διάκριση μιας παλμικής καταγραφής είναι ιδιαίτερα χρήσιμη σε αρκετά σεισμολογικά και θέματα μηχανικού, όπως πιθανοτική σεισμική επικινδυνότητα, μοντέλα πρόγνωσης εδαφικής κίνησης και μη γραμμικής δυναμικής ανάλυσης κατασκευών. Ανεξάρτητα από την αιτία της παλμικότητας σε κάθε περίπτωση, το καθοριστικό χαρακτηριστικό είναι η ίδια η ύπαρξή της, συνεπώς πρωταρχικός σκοπός είναι ο καθορισμός παλμικού περιεχομένου σε τέτοιες καταγραφές. Πέρα από κάποια οπτικά κριτήρια, γεννάται η ανάγκη αναλυτικών τρόπων εύρεσής και κατηγοριοποίησής τους. Άλλωστε, είναι προφανές ότι οι πραγματικές χρονοϊστορίες είναι υπολογιστικά ασύμφορες για αναλύσεις, επιδιώκεται λοιπόν η χρησιμοποίηση μόνο εξιδανικευμένων παλμών.

Το ενδιαφέρον της παρούσας μεταπτυχιακής εργασίας επικεντρώνεται στη βέλτιστη αναπαράσταση του κυριάρχου παλμού των καταγραφών εγγύς πεδίου σε όλες τις χρονοϊστορίες αλλά και στα ελαστικά φάσματα ταχύτητας και μετατόπισης. Επιπλέον, εξετάζεται η δυνατότητα ποσοτικού χαρακτηρισμού της παλμικότητας των καταγραφών, χωρίς να δίνεται σημασία στο λόγο τον οποίο οφείλεται αυτή, μέσω κριτηρίων ταξινόμησης αυτών.

Ένα απλό αλλά αξιόπιστο μοντέλο που περιγράφει τον παλμικό χαρακτήρα των δυνατών κινήσεων κοντινού πεδίου τόσο ποιοτικά, όσο και ποσοτικά, προσομοιάζοντας επιτυχώς ένα μεγάλο αριθμό πραγματικών καταγραφών κοντά στο επίκεντρο σεισμών, επιλεγμένο από μια παγκόσμια ποικιλία από τεκτονικά περιβάλλοντα, είναι το κυματίδιο των Μαυροειδή και Παπαγεωργίου (2003). Μια σύντομη επισκόπηση ανάλυσης του κυματιδίου μπορεί να δοθεί μέσω της σύγκρισής της με την ανάλυση Fourier. Η τελευταία αναπαριστά ένα σήμα χρησιμοποιώντας γραμμικό συνδυασμό ημιτονοειδών κυμάτων, όπου το καθένα αναπαριστά ένα σήμα απείρου μήκους και μιας συχνότητας, το αντίθετο από την ανάλυση κυματιδίου που αποσυνθέτει ένα κύμα σε μικρά κυματίδια που εντοπίζονται στο χρόνο και αντιπροσωπεύουν ένα στενό εύρος συχνοτήτων. Τα κυματίδια είναι βασικές συναρτήσεις που ικανοποιούν ένα σύνολο μαθηματικών απαιτήσεων. Διάφορα πρότυπα μπορεί να χρησιμοποιηθούν στην αποσύνθεση ενός σήματος. Η πρότυπη συνάρτηση αναφέρεται ως το μητρικό κυματίδιο και αυτή η συνάρτηση κλιμακώνεται και μεταφράζεται στο χρόνο για να σχηματίσει ένα σύνολο βασικών συναρτήσεων. Με την επιδίωξη χρήσης μιας συνάρτησης με παραμέτρους εισόδου που έχουν φυσική σημασία και τη δυνατότητα κλειστού τύπου λύσης για την απόκριση ενός μονοβάθμιου συστήματος, κρίθηκε ως καταλληλότερο μια παραλλαγή του κυματιδίου του

Gabor. Το τελικό κυματίδιο είναι προϊόν είναι μιας αρμονικής ταλάντωσης και μιας εξίσωσης κωδωνοειδούς μορφής (περιβάλλουσα απλής έκφρασης συνημιτονοειδούς μορφής), ενώ καθορίζεται από το εύρος \mathbf{A} , την κυρίαρχη συχνότητα \mathbf{f}_p , τη φάση ν και τον δείκτη αρμονικού χαρακτήρα του σήματος γ . Το μοντέλο αυτό αρκεί για να περιγράψει το σύνολο των παλμών ταχύτητας, οπότε προκύπτουν οι τεχνητές χρονοϊστορίες ταχύτητας, επιτάχυνσης και μετατόπισης αυτών.

Όσο αφορά τον εντοπισμό των παλμών σε συνδυασμό με την κατηγοριοποίηση των καταγραφών σε παλμικές ή μη, μια από τις πιο ενδιαφέρουσες προτάσεις δόθηκε από τον Baker (2007). Αυτή περιλαμβάνει την απόσπαση του σημαντικότερου παλμού μέσω ανάλυσης κυματομορφής, τον προσδιορισμό της δεσπόζουσας ιδιοπεριόδου του σεισμού εγγύς πεδίου και εισάγει ένα δείκτη ύπαρξης παλμού που εξαρτάται από το λόγο της εναπομένουσας μέγιστης εδαφικής ταχύτητας PGV προς την αρχική τιμή της στην καταγραφή και το λόγο της εναπομένουσας ενέργειας προς την αντίστοιχη αρχική. Όταν η ο δείκτης αυτός λαμβάνει τιμή τουλάχιστον 0.85, η καταγραφή θεωρείται παλμική. Απορρίπτεται ωστόσο ως μη παλμικές τις κινήσεις με $PGV < 30 \text{ cm/s}$, και ταυτόχρονα εισάγει ένα κριτήριο εξαίρεσης των ‘καθυστερημένων παλμών’ για την περίπτωση αναζήτησης παλμών που έχουν προκύψει λόγω κατευθυντικότητας.

Σε μια νεότερη δημοσίευση των Zhai et al (2013), ο προσδιορισμός παλμικών καταγραφών βασίζεται στην ενέργεια. Όπως γνωρίζουμε, ο κυρίαρχος παλμός παρουσιάζεται εξαιτίας της ενέργειας που συγκεντρώνεται σε μιας μικρής διάρκειας ζώνη. Αυτό σημαίνει εγγενώς ότι ο παλμός συνεισφέρει αρκετά στη συνολική ενέργεια της εδαφικής κίνησης, η οποία θεωρείται ως το ολοκλήρωμα του τετραγώνου της καταγεγραμμένης εδαφικής ταχύτητας. Για την αποφυγή της επιρροής των περιεχομένων υψηλής συχνότητας, ανιχνεύεται και αφαιρείται ο πιθανός παλμός ταχύτητας μέσω ενός παλμικού μοντέλου. Ακολουθώντας, προσδιορίζονται τα σημεία που ξεκινά και τελειώνει χρονικά ο παλμός καθώς και η περίοδος του με τη μέθοδο μέγιστου σημείου (peak point method) και επιλέγονται καταγραφές με μέγιστη εδαφική ταχύτητα πάνω από 30 cm/s . Προκύπτει, ότι οι εδαφικές κινήσεις των οποίων οι κυρίαρχοι παλμοί ταχύτητας έχουν σχετικές τιμές ενέργειας πάνω από 0.3, μπορούν να κατηγοριοποιηθούν ως παλμικές με ικανοποιητική ακρίβεια. Παρόμοια προσπάθεια με τη διαφορά της διερεύνησης της παρουσίας και των χαρακτηριστικών πολλαπλών παλμών των εν λόγω καταγραφών, με αρκετά διαφορετική περίοδο ο καθένας, πραγματοποιήθηκε από τους Yuan Lu και Παναγιώτου (2014).

Οι αναπαράσταση του κυρίαρχου παλμού η οποία χρησιμοποιείται για τις αναλύσεις καταγραφών που επιλέγονται από τη βάση NGA στην παρούσα εργασία, στηρίζεται στην πρόσφατη διαφορετική προσέγγιση των Mimoglou et al (2014), όπου ο προσδιορισμός περιόδου σημαντικών παλμών λαμβάνει υπόψη το φάσμα ταχύτητας και μετατόπισης, σε αντίθεση με τις προγενέστερες δημοσιεύσεις. Η διαδικασία αυτή συνδυάζει το αποδοτικό μοντέλο αναπαράστασης των παλμών των Μαυροειδή και Παπαγεωργίου (M&P) με μια καλώς ορισμένη διαδικασία προσδιορισμού των παραμέτρων των αντίστοιχων κυματομορφών. Παρόλο που περιλαμβάνεται αναλυτικά και η αυτούσια πρόταση της δημοσίευσης αυτής, εδώ περιγράφεται απ’ ευθείας η διαφοροποιημένη που χρησιμοποιήθηκε.

Αρχικά, η περίοδος του σημαντικότερου παλμού καθορίζεται από τη μέγιστη τιμή του φάσματος συνέλιξης που προκύπτει από το φάσμα απόκρισης μετακίνησης το φάσμα απόκρισης ταχύτητας για απόσβεση 5%. Ο ορισμός αυτός στηρίζεται στην παρατήρηση ότι από τη στιγμή που οι εγγενείς παλμοί σε μια εδαφική κίνηση επιδρούν στις χρονοϊστορίες

ταχύτητας και επιτάχυνσης, αν και σε διαφορετικό βαθμό στη καθεμία, η περίοδος των σημαντικών παλμών θα εντοπίζεται στη συνέλιξη του ολοκληρώματος αυτών των χρονοϊστοριών και θα αντιστοιχεί στις αιχμές του αντίστοιχου φάσματος Fourier. Οι υπόλοιπες παράμετροι του κυματιδίου M&P προσδιορίζονται με τη βοήθεια της νέας παραμέτρου CAD που ορίζεται ως το ολοκλήρωμα της απόλυτης τιμής της εδαφικής ταχύτητας. Προκύπτει λοιπόν, μια εξίσωση του πλάτους A του παλμού ως συνάρτηση της τιμής μετατόπισης για περίοδο ίση με εκείνη του παλμού, της απόσβεσης και της τιμής γ που μετρά τον αριθμό των ταλαντώσεων του κυματιδίου. Η πρώτη εντοπίζεται εύκολα από το αρχικό φάσμα μετατόπισης, η τιμή της απόσβεσης επιλέγεται 5% ώστε να ανταποκρίνεται περισσότερο στις κατασκευές και γίνεται σάρωση των τιμών της γ με μικρό βήμα μέχρι μια συνήθη μέγιστη τιμή. Για κάθε ζεύγος τιμών A και γ και για όλο το φάσμα γωνιών διαφοράς φάσης ν παράγεται η κυματομορφή από τις εξισώσεις των M&P. Απορρίπτονται όλα τα κυματίδια που η μέγιστη τιμή επιτάχυνσης, ταχύτητας ή μετατόπισης είναι μεγαλύτερη από αυτή της αντίστοιχης εδαφικής κίνησης. Μετατοπίζοντας χρονικά σε όλο το μήκος της χρονοϊστορίας τα κυματίδια εκτελείται μια συσχέτιση μεταξύ της χρονοϊστορίας ταχύτητας της κυματομορφής και της αντίστοιχης εδαφικής. Επιλέγεται ως σημαντικότερος παλμός το κυματίδιο με τη μεγαλύτερη συσχέτιση και οι τιμές A , γ , ν , και η χρονική στιγμή εκκίνησης του παλμού t_0 προσδιορίζονται από τις παραμέτρους αυτού. Υπολογίζονται τα ελαστικά φάσματα ταχύτητας και μετατόπισης που αντιστοιχούν στον τεχνητό παλμό προκειμένου να γίνει οπτική σύγκριση με τα αντίστοιχα της αρχικής καταγραφής. Ακόμα, αντιπαραβάλλονται γραφικά οι διαθέσιμες αρχικές χρονοϊστορίες επιτάχυνσης, ταχύτητας και μετατόπισης με τις αντίστοιχες του τεχνητού παλμού που έχουν υπολογιστεί.

Διαπιστώνεται ότι σε κάποιες περιπτώσεις, ο πρώτος τεχνητός παλμός δεν είναι και ο κατάλληλος για την προσομοίωση του μεγαλύτερου παλμού στη χρονοϊστορία και στο φάσμα μετατόπισης. Τότε, εφαρμόζεται η μέθοδος rainflow, η οποία αναζητά τα δύο μεγαλύτερα βυθίσματα εκατέρωθεν της αιχμής του φάσματος συνέλιξης. Για καθένα από αυτά, εντοπίζεται η περίοδος που του αντιστοιχεί στο σημείο της υψηλότερης στάθμης νερού του βυθίσματος και τίθεται ίση με τη περίοδο του νέου παλμού. Επαναλαμβάνεται η διαδικασία που πραγματοποιήθηκε για τον πρώτο παλμό και από τους τέσσερις παλμούς που προκύπτουν επιλέγεται αυτός που αναπαριστά καλύτερα τη χρονοϊστορία και το φάσμα μετατόπισης, μέσω γραφικής απεικόνισης.

Ταυτόχρονα, στην εργασία αυτή εισάγεται ένα νέο κριτήριο ταξινόμησης καταγραφών σε παλμικές και μη. Υπολογίζεται ο συντελεστής συσχέτισης του πρώτου τεχνητού παλμού, με περίοδο ίση με τη μέγιστη αιχμή του φάσματος συνέλιξης, με τον αντίστοιχο της αρχικής καταγραφής στην ταχύτητα. Οι τιμές του συντελεστή αυτού αξιολογούνται και το συμπέρασμα που εξάγεται είναι όσο αυξάνονται τόσο πιο έντονα παλμικά χαρακτηριστικά παρουσιάζει η αντίστοιχη καταγραφή. Συγκεκριμένα, το τελικό κριτήριο που διαμορφώνεται προτείνει για τιμές τουλάχιστον ίσες με **0.6** η αρχική καταγραφή ταξινομείται ως παλμική, για το πολύ **0.5** ως μη παλμική, ενώ για τις ενδιάμεσες τιμές θεωρείται αμφιλεγόμενη.

Η προτεινόμενη μέθοδος εφαρμόστηκε σε έναν μεγάλο αριθμό καταγραφών της βάσης δεδομένων ισχυρής εδαφικής κίνησης NGA. Με τον περιορισμό της ελάχιστης τιμής της μέγιστης εδαφικής ταχύτητας 30cm/s προέκυψαν 227 από το σύνολο 3551 καταγραφών. Για τις 227 καταγραφές χρησιμοποιήθηκαν οι χρονοϊστορίες της διαμήκους και της εγκάρσιας συνιστώσας, συνεπώς οι αναλύσεις πραγματοποιήθηκαν για **454** καταγραφές. Αυτές αναλύθηκαν μέσω ενός αυτοματοποιημένου κώδικα της διαδικασίας που περιγράφηκε. Εν κατακλείδι, προέκυψε ότι οι **285** καταγραφές είναι **παλμικές**, οι **73 μη παλμικές** και οι **96**

αμφιλεγόμενες. Σημειώνεται ότι, για **115** από αυτές αποδεικνύεται η αναγκαιότητα δεύτερου παλμού ο οποίος είναι ο καταλληλότερος για τη μετατόπιση. Επιπλέον, για οπτική αξιολόγηση δίνονται όλα τα γραφήματα χρονοϊστοριών και φασμάτων που απεικονίζουν ταυτόχρονα την αρχική καταγραφή και τους τελικούς τεχνητούς παλμούς. Τέλος, από τα αποτελέσματα προκύπτει μια σχέση της περιόδου του παλμού και του μεγέθους της σεισμικής ροπής του σεισμού.

Λέξεις Κλειδιά

παλμικότητα, συντελεστής συσχέτισης, κατάταξη καταγραφών

Πίνακας περιεχομένων

Ευχαριστίες.....	3
Abstract	5
Keywords.....	8
Περίληψη.....	9
Λέξεις Κλειδιά.....	12
Λίστα σχημάτων	15
1 Εισαγωγή.....	17
2 Σεισμική Διέγερση Κοντινού Πεδίου.....	19
2.1 Οι επιδράσεις του κοντινού πεδίου.....	19
2.2 Παραμετροποίηση των εδαφικών κινήσεων κοντινού πεδίου.....	22
3 Κυματίδιο Μαυροειδή-Παπαγεωργίου	29
3.1 Ανάλυση κυματομορφής	30
3.2 Περίοδος του παλμού	32
3.3 Βαθμονόμηση του μοντέλου	33
3.4 Παλινδρομική Ανάλυση και Νόμοι Κλιμάκωσης	34
3.5 Φασματικές Ιδιότητες του Μοντέλου Ανάλυσης	35
3.6 Σύνθεση των Κινήσεων Κοντινού Πεδίου	37
4 Ανασκόπηση μοντέλων εντοπισμού και προσομοίωσης παλμικότητας	41
4.1 Το προσομοίωμα του Baker	41
4.1.1 Ανάλυση Κυματομορφής.....	42
4.1.2 Απόσπαση του παλμού ταχύτητας.....	43
4.1.3 Καθορισμός σημαντικότητας του εξαγόμενου παλμού	43
4.1.4 Εξαίρεση των ‘καθυστερημένων’ παλμών	44
4.1.5 Εξαίρεση των εδαφικών κινήσεων με $PGV < 30 \text{cm/s}$	45
4.1.6 Προσδιορισμός της περιόδου του παλμού.....	46
4.1.7 Δυο διαστάσεις εδαφικής κίνησης.....	46
4.2 Ενεργειακό προσομοίωμα των Zhai et al	47
4.2.1 Παράμετροι της μεθόδου ενέργειας.....	47
4.2.2 Προσδιορισμός της περιόδου του παλμού.....	47
4.2.3 Προσδιορισμός της Ενέργειας του παλμού	48
4.2.4 Αναγνώριση παλμικών καταγραφών	49
4.2.5 Παλμικές καταγραφές που πιθανόν προκλήθηκαν από εμπρόσθια κατευθυντικότητα.....	50
4.3 Σημαντικοί παλμοί σύμφωνα με τους Lu & Panagiotou	51

4.3.1	Μέθοδος CPE	51
4.3.2	Μέθοδος CPEV-EN.....	53
4.3.3	Σύγκριση με την απόκριση μονοβάθμιου	54
4.3.4	Είδος χρονοϊστορίας και συναρτήσεις βαρύτητας.....	55
4.3.5	Σχέση μεταξύ T_p , του πλάτος παλμού και M_w	55
5	Μεθοδολογία των Mimoglou et al	57
5.1	Προσδιορισμός T_p των σημαντικών παλμών.....	57
5.2	Παράμετροι της κυματομορφής	58
5.3	Η Μεθοδολογία σε Βήματα.....	60
5.4	Εφαρμογή σε παλμικές καταγραφές της βάσης NGA.....	63
5.5	Μη γραμμική ανάλυση.....	64
5.6	Κατάταξη εδαφικών κινήσεων κατά Kardoutsou et al (2014)	65
5.6.1	Σύγκριση με άλλες μεθόδους.....	66
5.6.2	Εφαρμογή σε καταγραφές της βάσης NGA.....	67
6	Προτεινόμενη μέθοδος.....	69
6.1	Θεωρητικό υπόβαθρο παρούσας εργασίας.....	69
6.1.1	Στόχοι της παρούσας εργασίας	69
6.1.2	Διαφοροποιήσεις από τη μεθοδολογία Mimoglou et al (2014)	70
6.1.3	Προσδιορισμός της T_p	70
6.1.4	Μέθοδος rainflow	70
6.1.5	Χρήση της $S_{d,5\%}(T_p)$ και του συντελεστή συσχέτισης	72
6.2	Μεθοδολογία σε Βήματα.....	72
6.3	Επιλογή μιας ευρείας βάσης δεδομένων	74
6.4	Εφαρμογή μεθοδολογίας	79
6.4.1	Αυτοματοποιημένος Κώδικας.....	79
6.5	Γραφική απεικόνιση και αξιολόγηση	80
6.5.1	Τεχνητός παλμός $T_{p,1}$	80
6.5.2	Τεχνητός παλμός για τη μετατόπιση $T_{p,2}$	83
7	Συμπεράσματα	85
	Παράρτημα Α	87
	Παράρτημα Β	99
	Παράρτημα Γ	327
	Βιβλιογραφία.....	387

Λίστα σχημάτων

2.1 Επίδραση της κατευθυντικότητας της διάρρηξης για ένα οριζόντιο ρήγμα ολίσθησης (Πηγή: Sommerville 1997a).....	20
2.2 Αποτελέσματα της κατευθυντικότητας της διάρρηξης στις καταγραμμένες χρονοϊστορίες μετακινήσεων του σεισμού του Loma Prieta του 1989, για τις κάθετες (αριστερά) και παράλληλες (δεξιά) στο ρήγμα συνιστώσες. (Πηγή: EERI, 1995).....	20
2.3 Προσανατολισμός της παραμένουσας μετακίνησης και του παλμού κατευθυντικότητας για ρήγμα οριζόντιας ολίσθησης και κατακόρυφης βύθισης.....	21
2.4 Χρονοϊστορίες για ρήγματα οριζόντιας ολίσθησης και κατακόρυφης βύθισης, όπου η παραμένουσα μετακίνηση και ο παλμός κατευθυντικότητας δείχνονται μαζί και χωριστά....	22
2.5 Οι παράμετροι που χρησιμοποιούνται για να ερμηνεύσουν τις συνθήκες της κατευθυντικότητας της διάρρηξης από Somerville et al (1997).....	23
2.6 Προβλέψεις από την σχέση των Somerville et al (1997 a) μεταξύ διαφορετικών συνθηκών κατευθυντικότητας.	23
2.7 Απλοποιημένοι παλμοί που έχουν χρησιμοποιηθεί από ερευνητές.....	26
2.8 Παράγοντες για τον καθορισμό της κάθετης (N) και της παράλληλης (P) στο ρήγμα συνιστώσας για απλοποιημένους παλμούς ταχύτητας. (Πηγή Rodriguez & Marek - 2000)...	26
2.9 Χρονοϊστορίες ταχύτητας και οριζόντια τροχιακά σχέδια για κάθετη (FN) και παράλληλη (FP) στο ρήγμα συνιστώσα για δύο καταγραφές κοντινού πεδίου.....	27
2.10 Απλοποιημένη αναπαράσταση ημιτονικού παλμού για εδαφικές κινήσεις κοντινού πεδίου	28
3.1 Σύγκριση τεχνητών παλμών με τον καταγεγραμμένο εγκάρσιο παλμό ταχύτητας από το σταθμό E06 για το σεισμό του Imperial Valley.	32
3.2 Εύρος παλμών ταχύτητας σε σχέση με την απόσταση R και τη σεισμική ροπή M_w	34
3.3 Επίδραση παραμέτρων γ και ν στη μορφή του παλμού	36
3.4 Μορφή παλμού και ενεργειακό περιεχόμενο για διαφορετικά μεγέθη σεισμών.....	36
3.5 Γεωμετρία περιοχής και υποσυμβάντα που απαρτίζουν το σεισμό.....	38
3.6 Συνιστώσες της τεχνητής εδαφικής κίνησης εγκαρσίως του ίχνους του ρήματος και επαλληλία	38
4.1 Κυματομορφή Daubchies τάξης 4.....	43
4.2 Ανίχνευση παλμού στη χρονοϊστορία ταχύτητας μέσω CSV.....	45
4.3 Δείκτης ύπαρξης παλμού για την καταγραφή TCU075 (Chi-Chi, Taiwan).....	46
4.4 Χρονοϊστορία ταχύτητας και ενέργειας μη παλμικής καταγραφής.....	49
4.5 Χρονοϊστορία ταχύτητας και ενέργειας παλμικής καταγραφής.....	49
4.6 Δείκτης Ύπαρξης Παλμού κατά Zhai et al καθώς και κατά Baker.....	50
4.7 Βήματα μεθόδου CPE	52
4.8 Φάσματα απόκρισης επιτάχυνσης και μετακίνησης.....	53
4.9 Συγκριτική παρουσίαση των σχέσεων μεγέθους σεισμού - περιόδου παλμού.....	54
4.10 Μέσο σφάλμα χρονοϊστοριών σημαντικών παλμών 40 διαφορετικών καταγραφών.....	54
4.11 Εύρος επιτάχυνσης a_{max} και ταχύτητας v_{max} συναρτήσει της T_p για παλμούς που προέκυψαν από τις μεθόδους CPE_{A-EN} και CPE_{V-EN}	55
5.1 Λόγος $S_{d,0,max}/CAD$ συναρτήσει διαφορετικών γωνιών και δεικτών γ	59
5.2 Σύγκριση περιόδου T_p , Baker και Mimoglou et al.....	64
5.3 Χρονοϊστορία ταχύτητας και φάσματα συνέλιξης και μετατόπισης της παλμικής καταγραφής Cape Medocino (Petrolia) 1992.....	66
5.4 Χρονοϊστορία ταχύτητας και φάσματα συνέλιξης και μετατόπισης της μη παλμικής καταγραφής CHY036 του σεισμού Chi-Chi, 1999	66

5.5 Μετακίνηση του αρχικού φάσματος για περίοδο T_p συναρτήσει του δείκτη CAD σε σύγκριση με τον Baker και των Zhai et al.....	67
5.6 Μετακίνηση του αρχικού φάσματος για περίοδο T_p συναρτήσει του δείκτη CAD	67
6.1 Φάσμα συνέλιξης $S_d * S_v$, φάσμα ψευδοταχύτητας PSV και χρονοϊστορία ταχύτητας $v_g(t)$ μιας καταγραφής στην Petrolia, στο σεισμό Cape Medocino, το 1992.....	70
6.2 Φάσμα συνέλιξης της καταγραφής NGA:00006T όπου εφαρμόζεται η μέθοδος rainflow	71
6.3 Χρονοϊστορίες και φάσματα της παλμικής σεισμικής καταγραφής 181T της βάσης NGA	81
6.4 Χρονοϊστορίες και φάσματα της παλμικής σεισμικής καταγραφής 1543T της βάσης NGA	81
6.5 Χρονοϊστορίες και φάσματα της παλμικής σεισμικής καταγραφής 1009T της βάσης NGA	82
6.6 Χρονοϊστορίες και φάσματα της μη παλμικής σεισμικής καταγραφής 1495L της βάσης NGA	82
6.7 Χρονοϊστορίες και φάσματα της αμφιλεγόμενης καταγραφής 768T της βάσης NGA	83
6.8 Χρονοϊστορίες και φάσματα της παλμικής σεισμικής καταγραφής 1051T της βάσης NGA	84
7.1 Σύγκριση περιόδων T_p , T_1 , T_2 και $T_{sd,max}$	85
7.2 Σχέση T_p και M_w	86

1 Εισαγωγή

Οι κατασκευές παραδοσιακά, εξετάζονται ως προς τη συμπεριφορά τους σε σεισμούς μακρινού πεδίου. Διάφορες όμως καταγραφές των τελευταίων δεκαετιών μαρτυρούν ότι η απόκριση των κατασκευών αλλάζει όταν αυτές βρίσκονται κοντά στο επίκεντρο του σεισμού. Για το λόγο αυτό, η προσοχή της επιστημονικής κοινότητας έχει στραφεί στον προσδιορισμό των αποτελεσμάτων στις κατασκευές σε καταπόνησή τους σε σεισμούς εγγύς πεδίου. Προκειμένου να πραγματοποιηθεί αυτό, απαιτείται καλή γνώση του είδους και των χαρακτηριστικών των καταγραφών κοντινού πεδίου, ώστε να επιτευχθεί ο αναλυτικός προσδιορισμός αυτών και ακολούθως να δοθεί η δυνατότητα εισαγωγής του φαινομένου στους αντισεισμικούς κανονισμούς και Κώδικες.

Οι μέχρι σήμερα καταγεγραμμένες εδαφικές κινήσεις κοντινού πεδίου, που θεωρείται ότι βρίσκονται εντός 20-60 km από ένα ρήγμα, δείχνουν ότι μπορεί να περιλαμβάνουν ισχυρούς και με μεγάλη περίοδο παλμούς ταχύτητας αλλά και μετατόπισης. Ωστόσο, αυτό δεν συμβαίνει για το σύνολο των καταγραφών καθώς άλλες περιέχουν και άλλες όχι τέτοιους παλμούς και δεν αιτιολογούνται με τον ίδιο τρόπο κάθε φορά. Αυτό συμβαίνει διότι ένα τέτοιο αποτέλεσμα εξαρτάται από διάφορους παράγοντες, όπως η θέση του σταθμού καταγραφής σε σχέση με το ρήγμα, το είδος το ρήγματος, την διεύθυνση διάδοσης του σεισμού (κατευθυντικότητα) και την περιβάλλουσα γεωλογική γεωμετρία.

Παρόλα τα παραπάνω, το καθοριστικό χαρακτηριστικό των καταγραφών που επηρεάζει τις κατασκευές είναι η ύπαρξη αυτής της παλμικότητας ανεξαρτήτως του λόγου που αυτή εισέρχεται στην χρονοϊστορία, συνεπώς πρωταρχικός σκοπός είναι ο καθορισμός παλμικού περιεχομένου σε τέτοιες καταγραφές. Πέρα από κάποια οπτικά κριτήρια, γεννάται η ανάγκη αναλυτικών τρόπων εύρεσής και κατηγοριοποίησής τους. Άλλωστε, είναι προφανές ότι οι πραγματικές χρονοϊστορίες είναι υπολογιστικά ασύμφορες για αναλύσεις, επιδιώκεται λοιπόν η χρησιμοποίηση μόνο εξιδανικευμένων παλμών. Διάφοροι ερευνητές στην προσπάθεια επίτευξης του στόχου αυτού εισήγαγαν διάφορα μοντέλα αναλυτικής αναπαράστασης παλμών καθώς και κριτήρια κατάταξης των καταγραφών ανάλογα με τα χαρακτηριστικά τους.

Στόχος της παρούσας εργασίας είναι η βέλτιστη αναπαράσταση του κυριάρχου παλμού των καταγραφών εγγύς πεδίου σε όλες τις χρονοϊστορίες αλλά και στα ελαστικά φάσματα ταχύτητας και μετατόπισης. Ο τεχνητός παλμός που χρησιμοποιείται για την προσομοίωση είναι ένα κυματίδιο σύμφωνα με το μοντέλο των Μαυροειδή και Παπαγεωργίου, το οποίο και περιγράφεται. Επιπλέον, εξετάζεται η δυνατότητα ποσοτικού χαρακτηρισμού της παλμικότητας των καταγραφών, χωρίς να δίνεται σημασία στο λόγο τον οποίο οφείλεται αυτή, με ένα κριτήριο ταξινόμησης καταγραφών που συνδέεται με τον συντελεστή συσχέτισης του τεχνητού παλμού με τον αντίστοιχο της αρχικής καταγραφής στην ταχύτητα.

Το πρώτο κεφάλαιο είναι η εισαγωγή όπου αναφέρεται συνοπτικά το περιεχόμενο ολόκληρης της διπλωματικής εργασίας, καθώς και του κάθε κεφαλαίου.

Το δεύτερο κεφάλαιο περιλαμβάνει κάποια θεωρητικά στοιχεία για τους σεισμούς κοντινού πεδίου.

Στο τρίτο κεφάλαιο αναλύεται η ανάλυση κυματομορφής και το παραμετροποιημένο μοντέλο ανάλυσης παλμών κοντινού πεδίου, σύμφωνα με τους Μαυροειδή και Παπαγεωργίου (2003).

Στο τέταρτο κεφάλαιο περιγράφεται ο αναλυτικός εντοπισμός παλμών μιας καταγραφής ενός σεισμού κοντινού πεδίου που έχει προταθεί σε κάποιες γνωστές δημοσιεύσεις. Αρχικά, παρουσιάζεται το προσομοίωμα του Baker (2007) που περιλαμβάνει τον προσδιορισμό της δεσπόζουσας ιδιοπεριόδου ενός τέτοιου σεισμού και διαμορφώνει κριτήρια παλμικότητας μιας καταγραφής. Στη συνέχεια, δίνεται μια μέθοδος των Zhai et al (2013) που βασίζεται μόνο στην ενέργεια του παλμού προκειμένου να την ταξινομήσει, ενώ ακολουθεί μια διερεύνηση της παρουσίας και των χαρακτηριστικών πολλαπλών παλμών των εν λόγω καταγραφών, με αρκετά διαφορετική περίοδο ο καθένας, από τους Yuan Lu και Παναγιώτου (2014).

Στο πέμπτο κεφάλαιο πραγματοποιείται μια εκτενής αναφορά μιας πρόσφατης διαφορετικής προσέγγισης αναγνώρισης σημαντικών παλμών από τους Mimoglou et al (2014) όπου ο προσδιορισμός περιόδου σημαντικών παλμών λαμβάνει υπόψη το φάσμα ταχύτητας και μετατόπισης, σε αντίθεση με τις προγενέστερες δημοσιεύσεις. Η διαδικασία αυτή συνδυάζει το αποδοτικό μοντέλο αναπαράστασης των παλμών των Μαυροειδή και Παπαγεωργίου με μια καλώς ορισμένη διαδικασία προσδιορισμού των παραμέτρων των αντίστοιχων κυματομορφών. Επιπλέον, δίνεται το κριτήριο κατάταξης εδαφικών κινήσεων σύμφωνα με τους Kardoutsou et al (2014).

Στο έκτο κεφάλαιο αναπτύσσεται το θεωρητικό υπόβαθρο και η μεθοδολογία της παρούσας εργασίας. Η παλμική προσομοίωση του σημαντικότερου παλμού στηρίζεται στην πρόταση των Mimoglou et al, ωστόσο διαφοροποιείται σε αρκετά σημεία, ενώ ταυτόχρονα εισάγεται ένα κριτήριο παλμικότητας καταγραφών κοντινού πεδίου. Στη συνέχεια δίνονται αναλυτικά τα στοιχεία των σεισμικών καταγραφών κοντινού πεδίου που χρησιμοποιούνται για ανάλυση της προτεινόμενης μεθόδου ενώ εξηγούνται και σχολιάζονται τα εξαγόμενα αποτελέσματα.

Στο έβδομο κεφάλαιο γίνεται μια συνοπτική ανακεφαλαίωση των συμπερασμάτων που προέκυψαν στο προηγούμενο κεφάλαιο.

Τέλος, στα παραρτήματα Α', Β' και Γ' παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των αναλύσεων των καταγραφών με τα αντίστοιχα διαγράμματα σύγκρισης χρονοϊστορίας και φασμάτων των πραγματικών καταγραφών και αυτών που προκύπτουν από τη μέθοδο.

2 Σεισμική Διέγερση Κοντινού Πεδίου

2.1 Οι επιδράσεις του κοντινού πεδίου

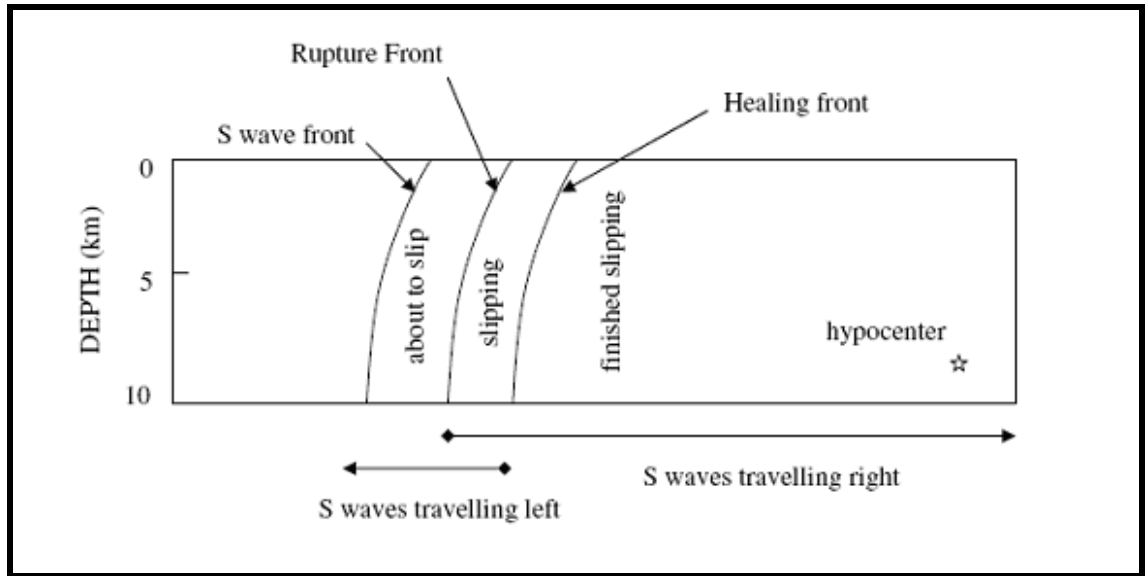
Η εδαφική κίνηση κοντά σε ένα ρήγμα μπορεί να διαφέρει σημαντικά από τις διεγέρσεις που καταγράφονται μακριά από τη σεισμική πηγή. Ως σεισμοί κοντινού πεδίου θεωρούνται αυτοί που καταγράφονται μέσα σε μια απόσταση περίπου 20-60 km από ένα ρήγμα. Μέσα σε αυτήν την ζώνη κοντινού πεδίου, οι εδαφικές κινήσεις επηρεάζονται σημαντικά από το μηχανισμό διάρρηξης, την κατεύθυνση της διάδοσης της διάρρηξης σε σχέση με την περιοχή, και τις πιθανές μόνιμες εδαφικές μετατοπίσεις ως αποτέλεσμα της ολίσθησης του ρήγματος. Αυτοί οι παράγοντες οδηγούν στα αποτελέσματα που καλούνται ως "κατευθυντικότητα της διάρρηξης" και "παραμένουσα μετακίνηση" (fling step).

Η εμπρόσθια κατευθυντικότητα (forward directivity) εμφανίζεται όταν η διάδοση της διάρρηξης γίνεται προς μια περιοχή και η κατεύθυνση της ολίσθησης στο ρήγμα είναι επίσης προς την περιοχή. Αυτό εμφανίζεται επειδή η ταχύτητα της διάρρηξης στο ρήγμα είναι κοντά (γενικά λίγο μικρότερη) στην ταχύτητα διατμητικών κυμάτων του βράχου κοντά στην πηγή. Για έναν μηχανισμό οριζόντιας ολίσθησης (σχήμα 2.1), όπου το μέτωπο διάρρηξης διαδίδεται μακριά από το υπόκεντρο και προς μια περιοχή, η ενέργεια συσσωρεύεται κοντά στο μέτωπο διάρρηξης από κάθε διαδοχική ζώνη της ολίσθησης κατά μήκος του ρήγματος. Το μέτωπο των κυμάτων φθάνει ως ένας μεγάλος παλμός της κίνησης. Ο παλμός της κίνησης χαρακτηρίζεται από το μεγάλο εύρος ενδιάμεσα στις μεγάλες περιόδους και τη μικρή διάρκεια.

Εάν μια περιοχή βρίσκεται κοντά στο επίκεντρο, δηλαδή, η διάρρηξη διαδίδεται μακριά από την περιοχή, η άφιξη κάθε παλμού επιμέρους σεισμικής διάρρηξης γίνεται στο τέλος του προηγούμενου του. Αυτός ο όρος, καλούμενος ως "οπίσθια κατευθυντικότητα" (backward directivity), χαρακτηρίζεται από κινήσεις με σχετικά μεγάλη διάρκεια και μικρό εύρος. Η "ουδέτερη κατευθυντικότητα" (neutral directivity) εμφανίζεται όταν η ρήξη δεν είναι ούτε προς ούτε μακριά από την περιοχή.

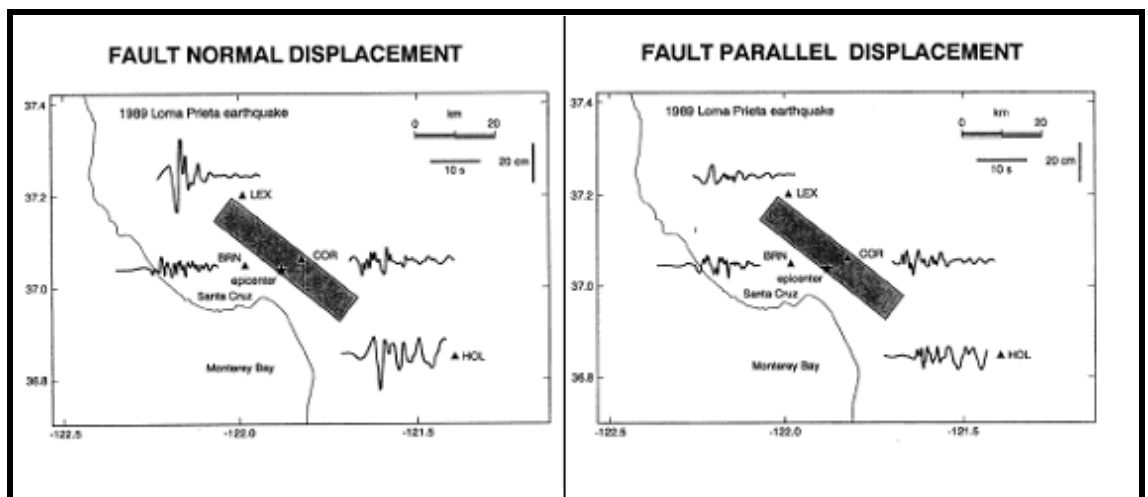
Στο σχήμα 2.1 παρουσιάζεται σχηματικά η επίδραση της κατευθυντικότητας. Απεικονίζεται ένα στιγμιότυπο του μετώπου ρήξης σε μια δεδομένη στιγμή. Η διάρρηξη αρχίζει στο υπόκεντρο και διαδίδεται με μια ταχύτητα που είναι περίπου 80% της ταχύτητας διατμητικών κυμάτων.

Οι επιδράσεις της κατευθυντικότητας της διάρρηξης στις εδαφικές μετατοπίσεις που καταγράφηκαν κατά τη διάρκεια του σεισμού στο Loma Prieta του 1989 παρουσιάζονται στο σχήμα 2.2. Το επίκεντρο του σεισμού είναι κοντά στο Corralitos και Branciforte Drive, όπου οι οριζόντιες εδαφικές μετακινήσεις είναι μέτριες και στις κάθετες και στις παράλληλες με το ρήγμα συνιστώσες. Αυτό αποδίδεται στην οπίσθια κατευθυντικότητα. Στα άκρα του ρήγματος εντούτοις, στο Lexington Dam και το Hollister, η εμπρόσθια κατευθυντικότητα αναγκάζει τις οριζόντιες εδαφικές κινήσεις στην κάθετη διεύθυνση του ρήγματος να είναι παλμικές και πολύ μεγαλύτερες από τις κινήσεις των παράλληλων συνιστωσών του ρήγματος, οι οποίες είναι παρόμοιες με εκείνες κοντά στο επίκεντρο. Οι μεγάλες παλμικές κινήσεις εμφανίζονται μόνο στην κάθετη με το ρήγμα συνιστώσα (fault normal) και μόνο μακριά από το επίκεντρο.



2.1 Επίδραση της κατευθυντικότητας της διάρρηξης για ένα οριζόντιο ρήγμα ολίσθησης (Πηγή: Sommerville 1997a)

Τα φαινόμενα της κατευθυντικότητας της διάρρηξης μπορούν να παρουσιαστούν τόσο σε ρήγματά οριζόντιας ολίσθησης, όσο και σε κατακόρυφης ολίσθησης - βύθισης. Στις περιπτώσεις ρήματος κατακόρυφης βύθισης, οι συνθήκες εμπρόσθιας κατευθυντικότητας εμφανίζονται για περιοχές κοντά στην προβολή του επάνω-τεμάχους του ρήματος. Σε μηχανισμούς οριζόντιας ολίσθησης, ο τρόπος εκπομπής ενέργειας λόγω διάτμησης σε ένα ανάστροφο ρήγμα αναγκάζει τον παλμό της κίνησης να είναι προσανατολισμένος κάθετα στα οριζόντια ρήματα (Somerville et al, 1997a).

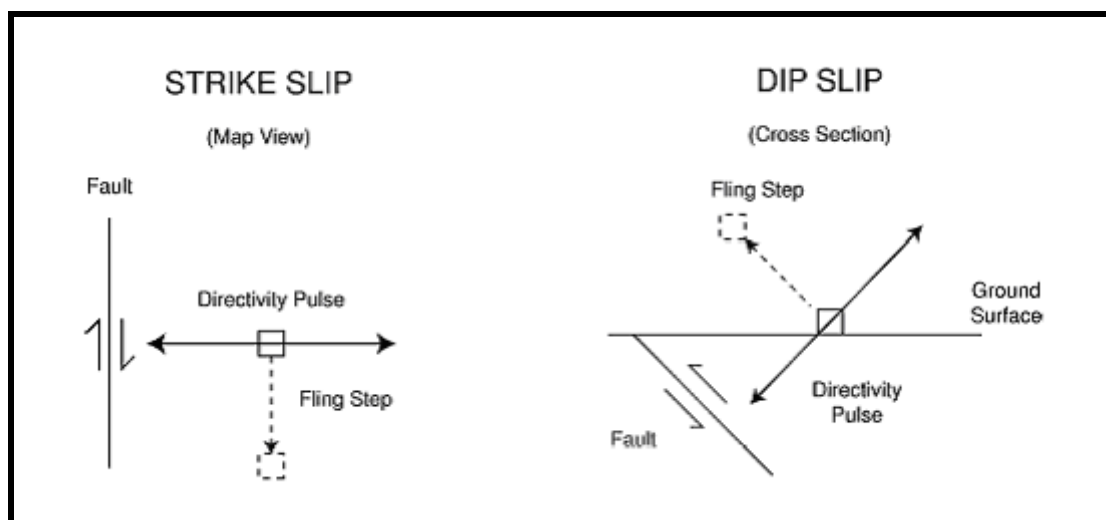


2.2 Αποτελέσματα της κατευθυντικότητας της διάρρηξης στις καταγραμμένες χρονοϊστορίες μετακινήσεων του σεισμού του Loma Prieta του 1989, για τις κάθετες (αριστερά) και παράλληλες (δεξιά) στο ρήγμα συνιστώσες. (Πηγή: EERI, 1995)

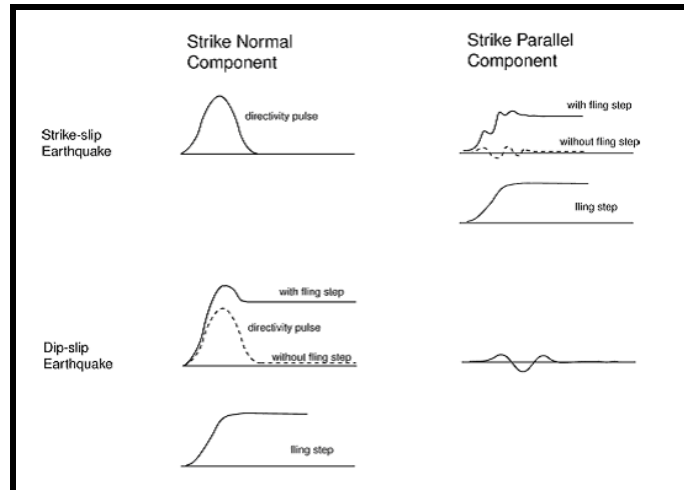
Οι σύγχρονες ψηφιακές καταγραφές των εδαφικών κινήσεων κοντινού πεδίου περιέχουν μόνιμες εδαφικές μετακινήσεις λόγω του στατικού πεδίου παραμόρφωσης του σεισμού.

Αυτές οι στατικές μετατοπίσεις, που καλούνται "παραμένουσες μετακινήσεις" (fling step) εμφανίζονται μετά από ένα χρονικό διάστημα αρκετών δευτερολέπτων καθώς η ολίσθηση του ρήγματος προχωρά. Οι παραμένουσες μετακινήσεις (fling step) εμφανίζονται παράλληλες στην διεύθυνση ολίσθησης του ρήγματος, και επομένως δεν συνδέονται άμεσα με τις προαναφερθείσες δυναμικές μετακινήσεις που καλούνται "παλμός κατευθυντικότητας της διάρρηξης". Στα ρήγματα οριζόντιας ολίσθησης, ο παλμός κατευθυντικότητας εμφανίζεται στην κάθετη συνιστώσα ενώ η παραμένουσα μετακίνηση εμφανίζεται στην παράλληλη συνιστώσα. Στα ρήγματα κατακόρυφης βύθισης, τόσο η παραμένουσα μετακίνηση όσο και ο παλμός κατευθυντικότητας εμφανίζονται στην κάθετη συνιστώσα. Οι προσανατολισμοί της παραμένουσας μετακίνησης και του παλμού κατευθυντικότητας για ρήγματα οριζόντιας ολίσθησης και κατακόρυφης βύθισης παρουσιάζονται στο σχήμα 2.3, και οι χρονοϊστορίες στις οποίες αυτές οι συνεισφορές εμφανίζονται μαζί και χωριστά, παρουσιάζονται στο σχήμα 2.4.

Τα διαθέσιμα στοιχεία κινήσεων που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να μετρηθούν οι επιδράσεις του κοντινού πεδίου είναι περιορισμένα. Ωστόσο, οι πρόσφατοι σεισμοί στην Τουρκία και την Ταϊβάν έχουν συμπληρώσει σημαντικά τη βάση δεδομένων εδαφικών κινήσεων κοντινού πεδίου.



2.3 Προσανατολισμός της παραμένουσας μετακίνησης και του παλμού κατευθυντικότητας για ρήγμα οριζόντιας ολίσθησης και κατακόρυφης βύθισης.



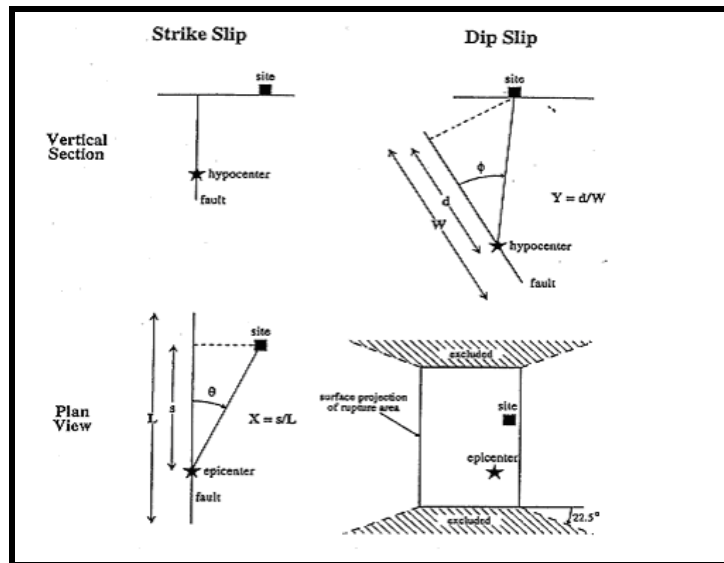
2.4 Χρονοϊστορίες για ρήγματα οριζόντιας ολίσθησης και κατακόρυφης βύθισης, όπου η παραμένουσα μετακίνηση και ο παλμός κατευθυντικότητας δείχνονται μαζί και χωριστά.

2.2 Παραμετροποίηση των εδαφικών κινήσεων κοντινού πεδίου

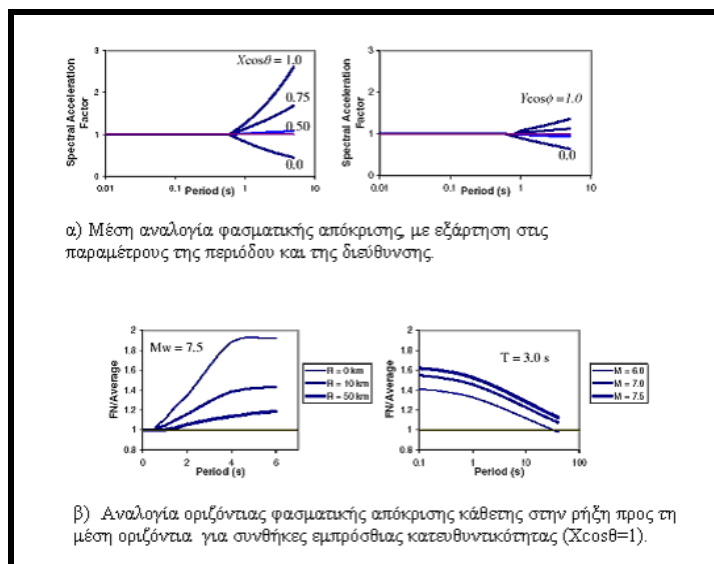
Οι Somerville et al (1997a) παραμετροποίησαν τις συνθήκες που οδηγούν σε εμπρόσθια και οπίσθια κατευθυντικότητα. Όπως φαίνεται στο σχήμα 2.5, η διαφοροποίηση στο χώρο, των επιδράσεων της κατευθυντικότητας εξαρτάται από τη γωνία μεταξύ της κατεύθυνσης της διάδοσης ρήξης και της κατεύθυνσης των κυμάτων που ταξιδεύουν από το ρήγμα στην περιοχή (θ για τα ρήγματα οριζόντιας ολίσθησης, και ϕ για τα ρήγματα ολίσθησης βύθισης), και στο μέρος της επιφάνειας διάρρηξης του ρήγματος που βρίσκεται μεταξύ του υποκέντρου και της εξεταζόμενης περιοχής (X για τα ρήγματα οριζόντιας ολίσθησης και Y για τα ρήγματα κατακόρυφης βύθισης). Τα σημαντικότερα αποτελέσματα εμπρόσθιας κατευθυντικότητας προκύπτουν από τις μικρότερες γωνίες μεταξύ της εξεταζόμενης περιοχής και του ρήγματος και για τα μεγαλύτερα μέρη του διερρηγμένου ρήγματος μεταξύ της θέσης και υποκέντρου. Πρέπει να σημειωθεί ότι ακόμα και όταν ικανοποιούνται οι γεωμετρικές συνθήκες για την εμπρόσθια κατευθυντικότητα, τα αποτελέσματα της εμπρόσθιας κατευθυντικότητας μπορούν να μην εμφανιστούν. Αυτό θα μπορούσε να συμβεί εάν ένας σταθμός είναι στο τέλος ενός ρήγματος και η διάρρηξη εμφανίζεται προς το σταθμό αλλά η ολίσθηση συγκεντρώνεται προς το τέλος του ρήγματος όπου ο σταθμός βρίσκεται.

Για να ληφθούν υπ όψιν τα αποτελέσματα της κατευθυντικότητας, οι Somerville et al (1997a) συσχέτισαν τις ανηγμένες προς ένα μέσο φάσμα, τιμές των φασμάτων απόκρισης (με 5% απόσβεση) με τις γεωμετρικές παραμέτρους που καθορίζονται στο σχήμα 2.5, και τα αποτελέσματα που παρουσιάζονται στο σχήμα 2.6. Οι παράμετροι εδαφικής κίνησης που

τροποποιούνται είναι τα μέσα οριζόντια φάσματα απόκρισης και ο λόγος των φασμάτων απόκρισης για την κάθετη και την παράλληλη στο ρήγμα συνιστώσα. Οι παράγοντες κοντινής πηγής καθορίζονται για αποστάσεις μικρότερες από 15km και για τρεις διαφορετικούς τύπους σεισμικών πηγών (Πίνακας 2.1). Οι παράγοντες κοντινής πηγής από τον κανονισμό UBC (1997) είναι συμβατοί με το μέσο όρο των καθέτων και των παράλληλων στο ρήγμα συνιστωσών στο μοντέλο Somerville et al (1997a), και ως εκ τούτου, οι διατάξεις του κανονισμού δεν εξετάζουν τη μεγαλύτερη κάθετη συνιστώσα της κίνησης Somerville (1998).



2.5 Οι παράμετροι που χρησιμοποιούνται για να ερμηνεύσουν τις συνθήκες της κατευθυντικότητας της διάρρηξης από Somerville et al (1997).



2.6 Προβλέψεις από την σχέση των Somerville et al (1997 a) μεταξύ διαφορετικών συνθηκών κατευθυντικότητας.

α) Παράγοντας μικρής περιόδου (N_{α})

Seismic Source Type	Closest Distance to Known Seismic Source ¹		
	≤ 2 km	5 km	≥ 10 km
A	1.5	1.2	1.0
B	1.3	1.0	1.0
C	1.0	1.0	1.0

β) Παράγοντας ενδιάμεσης περιόδου (N_{ν})

Seismic Source Type	Closest Distance to Known Seismic Source ¹			
	≤ 2 km	5 km	10 km	≥ 15 km
A	2.0	1.6	1.2	1.0
B	1.6	1.2	1.0	1.0
C	1.0	1.0	1.0	1.0

γ) Περιγραφή των τύπων σεισμικής πηγής

Seismic Source Type	Description	Seismic Source Definition	
		Maximum Moment Magnitude, m	Slip Rate, s (mm/year)
A	Faults that are capable of producing large magnitude events and that have a high rate of seismic activity	$m \geq 7.0$	$s \geq 5$
B	All faults other than Types A and C	$m \geq 7.0$ $m < 7.0$ $m \geq 6.5$	$s > 5$ $s > 2$ $s < 2$
C	Faults that are not capable of producing large magnitude earthquakes and that have a relatively low rate of seismic activity	$m < 6.5$	$s \leq 2$

Πίνακας 2.1 Παράγοντες κοντινής πηγής από UBC (1997)

Για την πλησιέστερη απόσταση στην σεισμική πηγή (παραπομπή 1 στον παραπάνω πίνακα) επισημαίνεται, ότι πρέπει να λαμβάνεται ως η ελάχιστη απόσταση μεταξύ της εξεταζόμενης θέσης και της προβολής του επιπέδου του ρήγματος στην επιφάνεια (R_{J-B}). Η επιφανειακή προβολή δε χρειάζεται να περιλαμβάνει μέρη της πηγής σε βάθη των 10 km ή μεγαλύτερα.

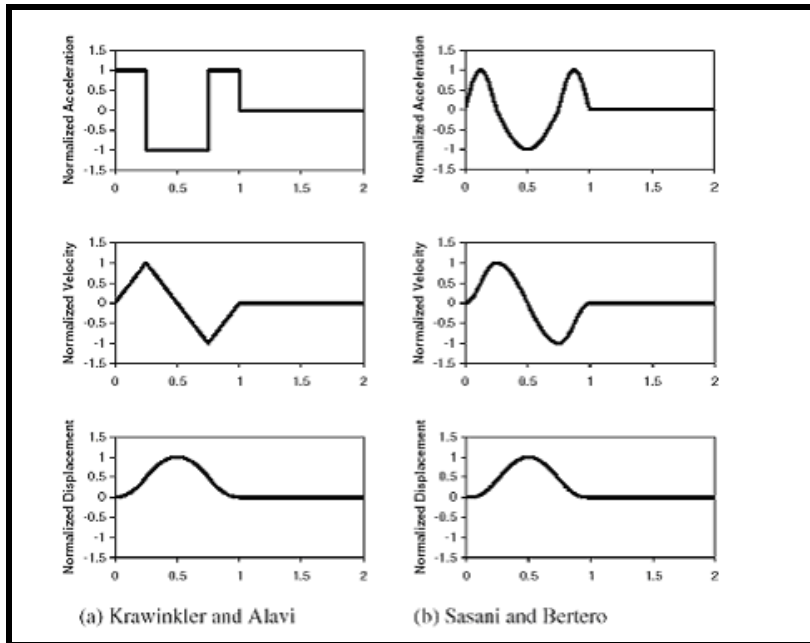
Η έρευνα για την απόκριση των κατασκευών στις κινήσεις κοντινού πεδίου έχει οδηγήσει στην εύρεση μιας αντιπροσωπευτικής χρονοϊστορίας των κινήσεων που είναι προτιμητέα για μια αντιπροσώπευση ενός φάσματος απόκρισης (π.χ. Somerville, 1998 Alavi και Krawinkler, 2000 Sasaki και Bertero, 2000 Rodriguez- Marek, 2000). Μια παρουσίαση χρονοϊστορίας είναι προτιμητέα επειδή ο χαρακτηρισμός στο πεδίο συχνοτήτων της εδαφικής κίνησης (δηλ. μέσω ενός φάσματος απόκρισης) υπονοεί μια πιθανοτική διαδικασία που έχει μια σχετικά ομοιόμορφη διανομή της ενέργειας σε όλη τη διάρκεια της κίνησης. Όταν η ενέργεια συγκεντρώνεται σε λίγους παλμούς κίνησης, το φαινόμενο συντονισμού που το φάσμα απόκρισης αντιλαμβάνεται για να παρουσιάσει μπορεί να έχει ανεπαρκή χρόνο να αναπτυχθεί (Somerville, 1998).

Οι μελέτες από Krawinkler και Alavi (1998) και Sasaki και Bertero (2000) έχουν δείξει ότι οι απλουστευμένες θεωρήσεις του παλμού ταχύτητας μπορούν να «συλλάβουν» τα εμφανή

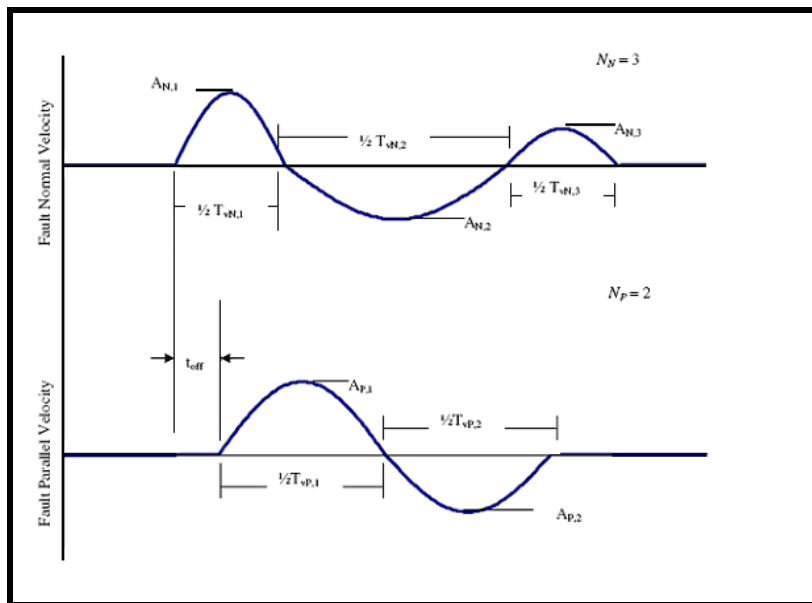
χαρακτηριστικά γνωρίσματα απόκρισης των κατασκευών που υποβάλλονται στις εδαφικές κινήσεις κοντινού πεδίου. Μερικοί απλουστευμένοι παλμοί παρουσιάζονται στο σχήμα 2.7. Για να αναπαρασταθεί μια δόνηση δύο διευθύνσεων, απαιτείται μια αναπαράσταση ημιτονικού παλμού της παράλληλης στο ρήγμα συνιστώσας, μαζί με τη χρονική καθυστέρηση μεταξύ της έναρξης της κάθετης και της παράλληλης με το ρήγμα συνιστώσας. Ο Πίνακας 2.1 παρέχει τους ορισμούς συνηθισμένων παραμέτρων εδαφικών κινήσεων κοντινού πεδίου, και αυτές οι παράμετροι είναι διευκρινισμένες στο σχήμα 2.8. Ένας απλός χαρακτηρισμός είναι δυνατός με τη χρήση της μέγιστης οριζόντιας ταχύτητας (*PHV*), της κατά προσέγγιση περιόδου δεσπόζοντος παλμού (T_v), και του αριθμού σημαντικών ημιπαλμών της κίνησης στη (μεγαλύτερη) κάθετη διεύθυνση στο ρήγμα.

Parameter	Abbreviation	Methodology to obtain parameter
Number of significant pulses.	N	Number of half-cycle pulses in the velocity-time history with amplitudes at least 50% of the peak ground velocity of the record.
Pulse period.	$T_{v,i}$	For each half sine pulse, $T_{v,i} = 2(t_2 - t_1)$, where t_1 and t_2 are either the zero-crossing time, or the time at which velocity is equal to 10% of the peak velocity for the pulse if this time is significantly different than the zero crossing time. T_v corresponding to the pulse with maximum amplitude is the overall representative velocity pulse period.
Predominant period from pseudo-velocity response spectra.	T_{p-v}	Period corresponding to a clear and global peak in the pseudo-velocity response spectra at 5% damping.
Pulse amplitude.	A_i	For each half sine pulse, the peak ground velocity in the time interval $[t_1, t_2]$.
Peak ground velocity	PHV	Maximum velocity, defined by the maximum value of A_i . Note, however, that in very few exceptions, the maximum value of A_i in the fault parallel direction does not occur concurrently with the fault normal pulse.
Ratio of fault parallel to fault normal amplitude	$PHV_{P/N}$	Defined by the ratio of maximum A_P divided by maximum A_N , where the subscripts P and N denote fault-parallel and fault-normal motions respectively.
Time delay between fault normal and fault parallel pulse	t_{off}	Time of initiation of fault parallel pulse minus the time of initiation of fault normal pulse.

Πίνακας 2.2 Παράγοντες που χρησιμοποιούνται για να καθορίσουν τις απλοποιημένες εδαφικές κινήσεις ημιτονικού παλμού (από Rodriguez-Marek 2000)



2.7 Απλοποιημένοι παλμοί που έχουν χρησιμοποιηθεί από ερευνητές

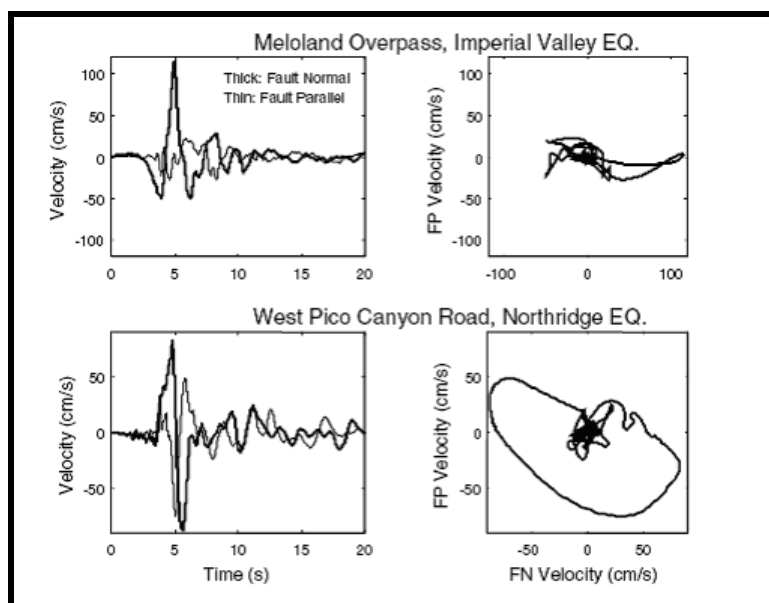


2.8 Παράγοντες για τον καθορισμό της κάθετης (N) και της παράλληλης (P) στο ρήγμα συνιστώσας για απλοποιημένους παλμούς ταχύτητας. (Πηγή Rodriguez & Marek - 2000)

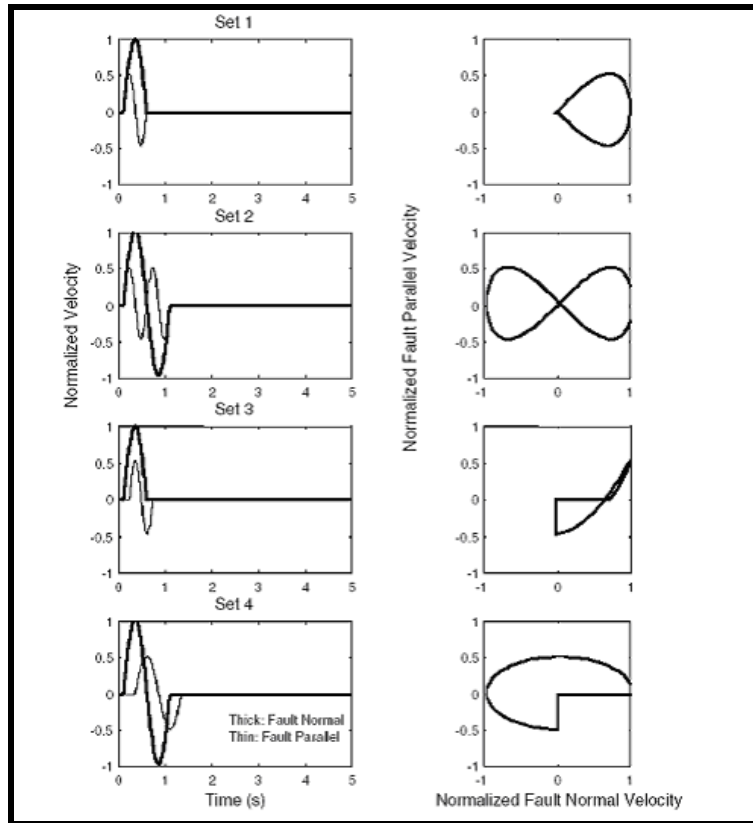
Ο προσδιορισμός της περιόδου του παλμού χρησιμοποιεί είτε το χρόνο μηδενισμού των τιμών (zero crossing time) είτε το χρόνο στον οποίο η ταχύτητα είναι ίση με 10% της μέγιστης ταχύτητας για αυτόν τον παλμό. Αυτό είναι απαραίτητο για τους παλμούς στους οποίους έχει προηγηθεί απόκλιση από το μηδενικό άξονα στη χρονοϊστορία της ταχύτητας. Ένας βαθμός αβεβαιότητας υφίσταται σε αυτόν τον προσδιορισμό και μπορεί να οδηγήσει σε παραλλαγές στις εκτιμήσεις της T_v . Εντούτοις, η αβεβαιότητα που συνδέεται με την πρόβλεψη της T_v από τις σεισμολογικές μεταβλητές είναι πολύ μεγαλύτερη από τα λάθη στον

υπολογισμό του από τα σημεία μηδενισμού. Οι Krawinkler και Alavi (1998) προσδιορίζουν τον παλμό ταχύτητας από μια σαφή και σφαιρική κορυφή αιχμής στο φάσμα απόκρισης ταχύτητας της εδαφικής κίνησης. Ως εκ τούτου, αυτή η εκτίμηση της ισοδύναμης περιόδου παλμού (T_{v-p}) είναι σχετικά σαφής. Για τις μονοπαλικές κινήσεις, αυτοί οι διαφορετικοί ορισμοί της περιόδου του παλμού παρέχουν κατά προσέγγιση ισοδύναμα αποτελέσματα. Συνολικά, ο λόγος μεταξύ της T_v και της T_{v-p} είναι 0.84 με μια τυπική απόκλιση 0.28 (Rodríguez- Marek 2000). Η σύμπτωση της T_v και της T_{v-p} για μια εδαφική κίνηση σεισμού δείχνει ότι ο παλμός ταχύτητας περιέχει την ενέργεια σε μια συγκεκριμένη ζώνη περιόδων.

Οι μελέτες απόκρισης των κατασκευών στις κινήσεις κοντινού πεδίου έχουν εστιάσει στα αποτελέσματα της μεγαλύτερης κάθετης στο ρήγμα συνιστώσας (π.χ. Alavi και Krawinkler 2000). Εντούτοις, υπάρχουν εφαρμογές για τις οποίες η παράλληλη συνιστώσα στο ρήγμα μπορεί επίσης να είναι σημαντική. Μη γραμμικές αναλύσεις εδαφικής απόκρισης από τον Rodríguez-Marek (2000) δείχνουν ότι οι τοπικές εδαφικές συνθήκες μπορούν να έχουν επιπτώσεις στις τιμές της PHV και της T_v και στις δύο διευθύνσεις. Δύο κινήσεις κοντινού πεδίου με τις σημαντικά διαφορετικές κινήσεις της παράλληλης συνιστώσας στο ρήγμα παρουσιάζονται στο σχήμα 2.9. Και οι δύο καταγραφές παρουσιάζουν σημαντικές «κάθετες» ταχύτητες, αλλά το Meloland έχει σχετικά μικρότερες «παράλληλες» ταχύτητες. Επιπρόσθετη έρευνα επιτρέπει να διακριθούν τα αποτελέσματα της δόνησης δύο διευθύνσεων στην απόκριση του εδάφους και των κατασκευών στη ζώνη κοντινού ρήγματος όπου οι δύο συνιστώσες της οριζόντιας εδαφικής κίνησης μπορούν να διαφέρουν σημαντικά. Από μια εξέταση καταγραμμένων κινήσεων κοντινού πεδίου που παρουσιάζουν την εμπρόσθια κατευθυντικότητα από τον Rodríguez-Marek (2000), διαπιστώθηκε ότι οι απλουστευμένες κινήσεις που παρουσιάστηκαν στο σχήμα 2.10 θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν για να ερευνήσουν τη σημασία της δόνησης δύο διευθύνσεων στις μελλοντικές μελέτες. Εάν είναι σημαντικές στη συμπεριφορά των κατασκευών, οι κατακόρυφες κινήσεις στη ζώνη κοντινού πεδίου μπορεί να πρέπει να υπολογιστούν επίσης.



2.9 Χρονοϊστορίες ταχύτητας και οριζόντια τροχιακά σχέδια για κάθετη (FN) και παράλληλη (FP) στο ρήγμα συνιστώσα για δύο καταγραφές κοντινού πεδίου.



2.10 Απλοποιημένη αναπαράσταση ημιτονικού παλμού για εδαφικές κινήσεις κοντινού πεδίου

Στο σχήμα 2.10 παρατηρούμε επίσης ότι η PHV (μέγιστη οριζόντια ταχύτητα) για παράλληλη στο ρήγμα συνιστώσα αντιστοιχεί στο 50% της PHV κάθετης στο ρήγμα συνιστώσας (Rodriguez-Marek 2000).

3 Κυματίδιο Μαυροειδή-Παπαγεωργίου

Ένα απαραίτητο στοιχείο για την κατανόηση αλλά κυρίως για την ένταξη των κινήσεων κοντινού πεδίου σε σεισμικές αναλύσεις κατασκευών είναι η αναπαράστασή τους με χρήση ενός αναλυτικού μοντέλου. Μια δημοσίευση που πραγματεύεται αυτό το αντικείμενο και στην οποία βασίστηκαν αρκετές μεταγενέστερες είναι των Μαυροειδή και Παπαγεωργίου με τίτλο 'Μια μαθηματική παρουσίαση των κινήσεων κοντινού πεδίου', 2003. Σε αυτήν γίνεται μια προσπάθεια εύρεσης ενός απλού αλλά αποτελεσματικού μοντέλου που να περιγράφει τον παλμικό χαρακτήρα των δυνατών κινήσεων κοντινού πεδίου τόσο ποιοτικά, όσο και ποσοτικά. Προσομοιάζει επιτυχώς για τις μέχρι τώρα υπάρχουσες καταγραφές κοντά στο επίκεντρο σεισμών, τις χρονοϊστορίες μετακίνησης, ταχύτητας και αρκετές φορές της επιτάχυνσης καθώς επίσης τα αντίστοιχα φάσματα απόκρισης. Ταυτόχρονα ασχολείται με την διαδικασία παραγωγής ρεαλιστικών εδαφικών κινήσεων διευκολύνοντας έτσι τη μελέτη ελαστικής και ανελαστικής απόκρισης συμβατικών και μη κατασκευών που υπόκεινται σε μικρή απόσταση από την πηγή σεισμικές δονήσεις. Με τη χρήση δηλαδή μιας συνάρτησης με παραμέτρους εισόδου βοηθά στην ένταξη του φαινομένου στο σχεδιασμό κατασκευών. Τέλος, το μοντέλο αναπαράγει κάποιες εμπειρικές παρατηρήσεις που προκύπτουν από τις υπάρχουσες καταγραφές.

Προηγούμενες μέχρι τότε μελέτες αποδεικνύουν ότι η εγκάρσια (fault-normal) στο ρήγμα συνιστώσα μετακίνησης αλλά και η παράλληλη στο ρήγμα συνιστώσα της ταχύτητας έχουν μια απλή παλμική μορφή, τα χαρακτηριστικά της κατευθυντικότητας των οποίων έχουν σοβαρές επιπτώσεις στη συμπεριφορά εύκαμπτων κατασκευών, όταν το υπαίτιο ρήγμα είναι κοντά σε (πυκνο)κατοικημένες περιοχές. Αναζητήθηκε λοιπόν η εξέταση των χαρακτηριστικών της διαδικασίας διάρρηξης και εύρεσης μεθόδων ενσωμάτωσης της επίδρασης του κοντινού πεδίου στο σχεδιασμό.

Η ανάπτυξη ενός απλού και αξιόπιστου μοντέλου ικανού να παρέχει τεχνητές κινήσεις ανάλογες με τις καταγραφές κοντινού πεδίου, απαιτεί παραμέτρους εισαγωγής με φυσικό νόημα που να συσχετίζεται όσο γίνεται με τις φυσικές παραμέτρους του ρήγματος και τη διαδικασία διάδοσης των κυμάτων. Η δυναμική ανάλυση των κατασκευών χρησιμοποιώντας απλουστευμένες κυματομορφές ταχύτητας, αν και είναι προς τη σωστή κατεύθυνση, μπορεί να οδηγήσει σε παραπλανητικά συμπεράσματα αν οι χρησιμοποιούμενοι παλμοί δεν περιγράφουν τα χαρακτηριστικά των χρονοϊστοριών και των φασμάτων απόκρισης των πραγματικών καταγραφών. Για το λόγο αυτό το μοντέλο που προτείνουν οι Μαυροειδής και Παπαγεωργίου βασίζεται σε μεγάλο αριθμό πραγματικών καταγραφών κοντινού πεδίου, επιλεγμένο από μια παγκόσμια ποικιλία από τεκτονικά περιβάλλοντα. Η βάση καταγραφών που καταλήγουν αποτελείται από 165 χρονοϊστορίες και με μεγέθη σεισμών από $M_w=5.6$ μέχρι 8.1, ενώ η πλειοψηφία τους είναι από σταθμούς εντός απόστασης 20km από το ρήγμα. Ωστόσο, λιγότερες από τις μισές καταγραφές εμφανίζουν διακριτούς δυνατούς παλμούς ταχύτητας, οι περισσότερες από τις οποίες εκδηλώνουν εμπρόσθια κατευθυντικότητα και οι υπόλοιπες (5) συμπεριλαμβάνουν επίδραση μόνιμης παραμόρφωσης. Τα παραπάνω φαινόμενα είναι και οι δύο κύριες αιτίες για τους παλμούς ταχύτητας που εμφανίζονται, αν και η διατμητική ταχύτητα διάρρηξης και οι ειδικές γεωμετρικές συνθήκες μπορεί να συνεπάγονται ή να εντείνουν περεταίρω τους παλμούς. Το μοντέλο αυτό ασχολήθηκε με τα πρώτα δύο φαινόμενα.

3.1 Ανάλυση κυματομορφής

Μια σύντομη επισκόπηση ανάλυσης του κυματιδίου μπορεί να δοθεί μέσω της σύγκρισής της με την ανάλυση Fourier. Η τελευταία αναπαριστά ένα σήμα χρησιμοποιώντας γραμμικό συνδυασμό ημιτονοειδών κυμάτων, όπου το καθένα αναπαριστά ένα σήμα απείρου μήκους και μιας συχνότητας, το αντίθετο από την ανάλυση κυματιδίου που αποσυνθέτει ένα κύμα σε μικρά κυματίδια που εντοπίζονται στο χρόνο και αντιπροσωπεύουν ένα στενό εύρος συχνοτήτων. Για μη στάσιμα κύματα όπως οι εδαφικές κινήσεις, είναι καλύτερο να παρουσιαστεί το σήμα ως ένα άθροισμα κυματιδίων από ότι ένα άθροισμα στάσιμων ημιτονοειδών κυμάτων. Τα κυματίδια είναι βασικές συναρτήσεις που ικανοποιούν ένα σύνολο μαθηματικών απαιτήσεων. Διάφορα πρότυπα μπορεί να χρησιμοποιηθούν στην αποσύνθεση ενός σήματος. Η πρότυπη συνάρτηση αναφέρεται ως το μητρικό κυματίδιο και αυτή η συνάρτηση κλιμακώνεται και μεταφράζεται στο χρόνο για να σχηματίσει ένα σύνολο βασικών συναρτήσεων. Παρόλο που οι θεωρητικές σκέψεις για την επιλογή της κατάλληλης συνάρτησης ποικίλουν, λίγα από αυτά χρησιμοποιούνται συχνά στη πράξη. Με στόχο να επιλεγεί το κατάλληλο μοντέλο εισάγονται οι εξής προϋποθέσεις για το τεχνητό κυματίδιο:

1. Αρχικά, θα πρέπει να δίνεται μέσω μιας σωστά παραμετροποιημένης απλής μαθηματικής έκφρασης, με τον ελάχιστο δυνατό αριθμό παραμέτρων εισόδου που έχουν αμφιλεγόμενη φυσική ερμηνεία, ώστε να υπάρχει η ευελιξία που χρειάζεται για τη παρουσίαση των παλμών με λογική ακρίβεια.
2. Να είναι ικανό να προσομοιάζει όσο περισσότερες καταγραφές κοντινού πεδίου.
3. Η μαθηματική έκφραση του κυματιδίου να είναι τέτοια που να διευκολύνει την παραγωγή εκφράσεων κλειστού τύπου για τα φασματικά του χαρακτηριστικά σε μορφή μετασχηματισμού Fourier και φασμάτων απόκρισης.

Το κυματίδιο που πληροί σε περισσότερο βαθμό τα παραπάνω και έχει τη δυνατότητα, ελαφρώς τροποποιημένο να καλύψει πλήρως τις απαιτήσεις αυτές είναι αυτό του Gabor. Το σήμα αυτό είναι προϊόν αρμονικής ταλάντωσης και μιας εξίσωσης κωδωνοειδούς μορφής (περιβάλλουσα Gauss), και καθορίζεται από το εύρος Δ , την κυρίαρχη συχνότητα f_p , τη φάση ν και τον ταλαντούμενο χαρακτήρα του σήματος γ . Η αναλυτική έκφραση του είναι:

$$f(t) = Ae^{-\left(\frac{2f_p}{\gamma}\right)^2} \cos(2\pi f_p t + \nu) \quad 3.1$$

Οι παράμετροι κλειδιά για τον προσδιορισμό της κυματομορφής του παλμού ταχύτητας κοντινού πεδίου είναι η διάρκεια του παλμού (η περίοδος), το εύρος του καθώς και ο αριθμός και η φάση των μισών ταλαντώσεων. Ως εκ τούτου, ένα μοντέλο ανάλυσης με τέσσερις παραμέτρους αρκεί για να περιγράψει το σύνολο των παλμών ταχύτητας λόγω της εμπρόσθια κατευθυντικότητας και παραμένουσας μετακίνησης. Το πρόβλημα με το κυματίδιο της εξίσωσης (3.1) είναι ότι δεν μπορεί να υπάρξει κλειστού τύπου λύση για την απόκριση ενός μονοβάθμιου συστήματος, όταν αυτό υποβάλλεται σε τεχνητές εδαφικές κινήσεις που έχουν παραχθεί από ένα σήμα τύπου Gabor. Αυτό συμβαίνει λόγω της συμπεριλαμβανομένης

πιθανοτικής εξίσωσης, δηλαδή της περιβάλλουσας του Gauss, και για να ξεπεραστεί είναι επιθυμητή ή εύρεση ενός μοντέλου που να διατηρεί τα πλεονεκτήματα του Gabor και ταυτόχρονα να δίνει μια κλειστού τύπου έκφραση για την απόκριση του μονοβάθμιου. Αντικαθίσταται λοιπόν η υπάρχουσα περιβάλλουσα με μια άλλη κωνοειδή συμμετρική, η οποία έχει μια πιο απλή έκφραση 'υπερυψωμένου' συνημίτονου:

$$f(t) = A \frac{1}{2} \left(1 + \cos \frac{2\pi f_p t}{\gamma}\right) \cos(2\pi f_p t + \nu) \quad 3.2$$

Παρατηρούμε ότι μετά από αυτή την αλλαγή το μοντέλο έχει μια περιοδική εξίσωση που σημαίνει ότι δεν δημιουργεί μια περιβάλλουσα με μία καμπύλη όμως αυτό λύνεται μέσω περιορισμού του χρονικού διαστήματος του σήματος ως εξής:

$$-\frac{\gamma}{2f_p} \leq t \leq \frac{\gamma}{2f_p} \quad 3.3$$

Επιπλέον η περίοδος της αρμονικής ταλάντωσης, για να παράγει φυσικώς αποδεκτά σήματα θα πρέπει να είναι μικρότερη από την περιβάλλουσα που δημιουργείται.

$$\frac{1}{f_p} < \frac{\gamma}{f_p} \Rightarrow \gamma > 1 \quad 3.4$$

Για τη βαθμονόμηση του μοντέλου, είναι βολικό να εισαχθεί μια χρονική μετατόπιση t_0 ώστε να καθορίζεται με ακρίβεια η χρονική στιγμή της αιχμής (κορυφής) της περιβάλλουσας. Αυτή η παράμετρος συχνά προσδίδει το χαρακτηριστικό της ευκαμψίας στο σήμα, επιτρέποντας τη μετακίνηση στον χρονικό άξονα. Έτσι,

$$t \Rightarrow t - t_0 \quad 3.5$$

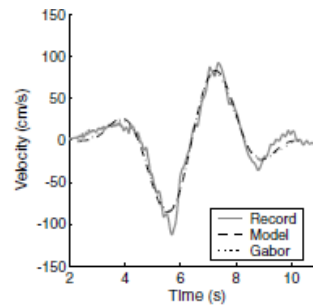
Ο συνδυασμός των εκφράσεων 3.2 έως 3.5 δίνει τη διατύπωση του προτεινόμενου από τους Μαυροειδή και Παπαγεωργίου μοντέλου ανάλυσης για τους παλμούς ταχύτητας κοντινού πεδίου:

$$v(t) = \begin{cases} A \frac{1}{2} \left[1 + \cos \left(\frac{2\pi f_p}{\gamma} (t - t_0)\right)\right] \cdot \cos(2\pi f_p (t - t_0) + \nu) & \text{για } t_0 - \frac{\gamma}{2f_p} \leq t \leq t_0 + \frac{\gamma}{2f_p} \\ 0 & \text{με } \gamma > 1 \\ & \text{αλλιώς} \end{cases} \quad 3.6$$

- A: το εύρος του σήματος
- f_p : η κυρίαρχη συχνότητα,
- ν : η φάση
- γ : η παράμετρος που καθορίζει τον αρμονικό χαρακτήρα του σήματος, δηλαδή πόσες φορές μηδενίζεται το σήμα στο χρονικό διάστημα της (3). Για μικρές τιμές του το σήμα προσεγγίζει μορφή τύπου δέλτα, ενώ όσο αυξάνεται αυξάνονται οι τομές με το χρονικό άξονα
- t_0 : χρονική στιγμή που συναντάται η κορυφή της περιβάλλουσας

Για να αποδειχθεί ότι το μαθηματικό αυτό μοντέλο παράγει σχεδόν ταυτόσημους παλμούς με το κυματίδιο του Gabor και να δικαιολογηθεί η αντικατάσταση της καμπύλης του Gauss

χρησιμοποιήθηκαν και τα δύο για παραγωγή σύνθετων κυμάτων που να προσομοιάζουν τον εγκάρσιο παλμό ταχύτητας του σταθμού E06 του σεισμού στο Imperial Valley, California το 1979. Τα τεχνητά σήματα αναπαράγουν τα τμήματα των μεγαλύτερων περιόδων και στις δύο περιπτώσεις, ενώ η σύγκριση των παλμών τους φαίνεται στην εικόνα:



3.1 Σύγκριση τεχνητών παλμών με τον καταγεγραμμένο εγκάρσιο παλμό ταχύτητας από το σταθμό E06 για το σεισμό του Imperial Valley.

3.2 Περίοδος του παλμού

Ένα σημαντικό χαρακτηριστικό του προτεινόμενου μοντέλου είναι ο αντικειμενικός ορισμός της διάρκειας του παλμού βασισμένος στις παραμέτρους εισόδου. Παρόλο που χρησιμοποιείται εκτεταμένα η διάρκεια ή καλύτερα η περίοδος του παλμού ταχύτητας δεν υπάρχει μοναδική μέθοδος προσδιορισμού της. Πολλοί ερευνητές την προσδιορίζουν χρησιμοποιώντας τις τομές με τον χρονικό άξονα του κυματιδίου του παλμού. Άλλοι προτιμούν τη μέγιστη τιμή του φάσματος απόκρισης της ταχύτητας ώστε να την ορίσουν έμμεσα ή πολλές φορές δεν δίνεται εξήγηση για τον τρόπο εκτίμησής της. Αντίθετα, οι παραπάνω συγγραφείς προτείνουν την αντίστροφη τιμή της δεσπόζουσας συχνότητας του σήματος:

$$T_p = \frac{1}{f_p} \quad 3.7$$

Οι αντίστοιχες εκφράσεις επιτάχυνσης και μετατόπισης της προκύπτουν από την 3.6:

$$\alpha(t) = -\frac{A\pi}{\gamma T_p} \left[\sin\left[\frac{2\pi}{\gamma T_p}(t - t_0)\right] \cos\left[\frac{2\pi}{T_p}(t - t_0) + \nu\right] + \gamma \sin\left[\frac{2\pi}{T_p}(t - t_0) + \nu\right] \left[1 + \cos\left[\frac{2\pi}{\gamma T_p}(t - t_0)\right] \right] \right] \quad \text{για } t_0 - \frac{\gamma}{2f_p} \leq t \leq t_0 + \frac{\gamma}{2f_p} \quad 3.8$$

$$d(t) \begin{cases} \left[\frac{AT_p}{4\pi} \left[\sin\left[\frac{2\pi}{T_p}(t - t_0) + \nu\right] + \frac{1}{2} \frac{\gamma}{\gamma-1} \sin\left[\frac{2\pi(\gamma-1)}{\gamma T_p}(t - t_0) + \nu\right] + \frac{1}{2} \frac{\gamma}{\gamma+1} \sin\left[\frac{2\pi(\gamma+1)}{\gamma T_p}(t - t_0) + \nu\right] \right] \right], & \text{για } t_0 - \frac{\gamma}{2} T_p \leq t \leq t_0 + \frac{\gamma}{2} T_p \\ \frac{AT_p}{4\pi} \frac{1}{1-\gamma^2} \sin(\nu - \pi\gamma) & \text{για } t < t_0 - \frac{\gamma}{2} T_p \\ \frac{AT_p}{4\pi} \frac{1}{1-\gamma^2} \sin(\nu + \pi\gamma) & \text{για } t > t_0 + \frac{\gamma}{2} T_p \end{cases} \quad 3.9$$

όπου $C=0$ για απλουστευτικούς λόγους, αφού τις περισσότερες φορές η σταθερά αυτή είναι πολύ κοντά στο μηδέν.

3.3 Βαθμονόμηση του μοντέλου

Η εκτίμηση των παραμέτρων T_p , A , ν , γ γίνεται μέσω μιας βηματικής διαδικασίας. Η περίοδος του παλμού T_p ορίζεται έτσι ώστε το τεχνητό φάσμα απόκρισης της ψευδοταχύτητας και αυτό που προκύπτει από την καταγραφή να παρουσιάζουν μέγιστη τιμή σχεδόν στην ίδια φυσική περίοδο. Αυτό δε συνεπάγεται ότι η T_p συμπίπτει με αυτή που αντιστοιχεί στο πραγματικό φάσμα απόκρισης παρόλο που σε πολλές περιπτώσεις αυτό συμβαίνει. Το εύρος του παλμού A καθορίζεται έτσι ώστε το εύρος του συνθετικού παλμού ταχύτητας και η αντίστοιχη μέγιστη τιμή ψευδοταχύτητάς του να συμφωνούν ικανοποιητικά με την πραγματική καταγραφή. Τέλος, οι παράμετροι ν και γ ρυθμίζονται με βελτιστοποίηση για να 'εφαρμόσουν' καλά με τις καταγραφές ταχύτητας και μετατόπισης. Οι παράμετροι A , ν και γ προσδιορίζονται ταυτόχρονα με δοκιμές και σφάλματα, καθώς το γ επηρεάζει και το εύρος των φασμάτων. Θα μπορούσε κανείς να εφαρμόσει στη διαδικασία αυτή ελάχιστα τετράγωνα, όμως θα προκαλούσε περιπλοκότητα χωρίς ουσιαστικά οφέλη. Ακόμα θα μπορούσε να γίνει προσπάθεια να ταιριάζει το μοντέλο μόνο με τη χρονοϊστορία ταχύτητας και να χρησιμοποιηθούν οι παράμετροι που προκύπτουν για να φτιαχτούν οι χρονοϊστορίες μετακίνησης και επιτάχυνσης, έγινε όμως η διαδικασία και για αυτές διότι ενώ μικρές διαφορές στις παραμέτρους δεν επηρεάζουν την ταχύτητα, αυτό δε συμβαίνει όταν αναπαράγουμε τη μετακίνηση και την επιτάχυνση. Από τα αποτελέσματα που προκύπτουν είναι προφανές ότι το μαθηματικό αυτό μοντέλο προσομοιάζει με επιτυχία το σύνολο των καταγραφών της μετατόπισης, ταχύτητας, και (σε πολλές περιπτώσεις) της επιτάχυνσης, ποιοτικά και ποσοτικά. Προσεγγίζεται ο στόχος να αναπαραχθούν με ακρίβεια τα χαρακτηριστικά της εδαφικής κίνησης στις ενδιάμεσες και μεγάλες περιόδους. Κατά συνέπεια, η υψηλής συχνότητας. Κατά συνέπεια, οι συνιστώσες υψηλής συχνότητας οι οποίες είναι από τη φύση τους στοχαστικές, δεν μπορούν να προσομοιωθούν στην παρούσα περίπτωση.

Τα τεχνητά ελαστικά φάσματα είναι επίσης ικανοποιητικά παρόμοια με τα αντίστοιχα των καταγεγραμμένων εδαφικών κινήσεων στην περιοχή κοντά στην κυρίαρχη συχνότητα του παλμού. Για μετρίου σε μέγεθος σεισμούς, οι παλμοί ταχύτητας χαρακτηρίζονται από μικρή διάρκεια και τα τεχνητά και μη φάσματα ταιριάζουν πολύ καλά σε όλο το εύρος συχνοτήτων, ενώ σε μεγάλους σεισμούς οι παλμοί έχουν μακρά διάρκεια και τα φάσματα ταιριάζουν ικανοποιητικά μόνο στην περιοχή μεγάλων περιόδων. Βέβαια, κάποιες φορές ο παλμός είναι προφανές ότι δεν είναι μοναδικός, και τότε το μοντέλο δεν δίνει δυστυχώς ικανοποιητικά αποτελέσματα παρόλο που δοκιμάστηκαν διάφοροι συνδυασμοί παραμέτρων. Μια σύντομη επισκόπηση των τιμών των παραμέτρων που προκύπτουν από όλες τις αναλύσεις αποκαλύπτει ότι η παράμετρος γ κυμαίνεται γύρω από τις τιμές $1 < \gamma < 3$. Όπου υπάρχουν μόνιμες παραμένουσες μετακινήσεις στις καταγραφές το γ προσεγγίζει τη μονάδα και το ν παίρνει τιμές κοντά στις 0° ή στις 180° . Η T_p είναι συνήθως αρκετά κοντά στη τιμή του πραγματικού φάσματος που αντιστοιχεί στη μέγιστη τιμή της ψευδοταχύτητας (PGV), το A είναι κατά μέσο όρο λίγο μικρότερο από την PGV, ενώ σε περιπτώσεις που υπάρχουν πολλές ταλαντώσεις, το γ αυξάνεται.

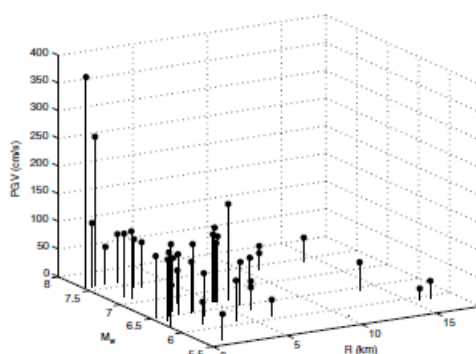
3.4 Παλινδρομική Ανάλυση και Νόμοι Κλιμάκωσης

Η επιδίωξη των μηχανικών να παράγουν αξιόπιστες τεχνητές χρονοϊστορίες κατάλληλες για σχεδιασμό απαιτεί τη θέσπιση νόμων κλιμάκωσης του μοντέλου αυτού, δηλαδή το πώς κλιμακώνονται οι παράμετροι σε σχέση με το μέγεθος του σεισμού M_w . Τέτοιοι νόμοι μπορούν να προκύψουν κυρίως μέσω παλινδρομικής ανάλυσης των υφιστάμενων δεδομένων και σταδιακά να ενημερωθούν από καινούριους σεισμούς. Είναι αντιληπτό ότι οι παράμετροι T_p και A συσχετίζονται άμεσα με το χρόνο ανόδου και την ταχύτητα ολίσθησης του ρήγματος αντίστοιχα, οπότε αναμένεται να κλιμακωθούν αναλόγως.

Η περίοδος των καταγεγραμμένων παλμών ταχύτητας φαίνεται T_p να συσχετίζεται έντονα με τη σεισμική ροπή M_w . Αναζητώντας τη σχέση τους με βάση το είδος του ρήγματος, διακρίνεται ότι για δεδομένη M_w η διάρκεια των παλμών που παράγονται από ρήματα οριζόντιας μετατόπισης είναι κατά μέσο όρο μεγαλύτερη από την αντίστοιχη των ανάστροφων ρηγμάτων, ενώ τα πλάγια (κανονικό και οριζόντιας μετατόπισης ταυτόχρονα) βρίσκονται κάπου ανάμεσα. Σε περίπτωση που ληφθεί υπόψη και η διεύθυνση στην οποία έχει καταγραφεί η εδαφική κίνηση σε σχέση με αυτή του ίχνους του ρήγματος δηλαδή κατά μήκος ή εγκάρσια, παρατηρείται ότι και οι δύο έχουν την ίδια τάση. Ελάχιστες καταγραφές διαφέρουν στη σχέση T_p και M_w και εμφάνισαν μικρότερη περίοδο ήταν είτε σε με σεισμική πηγή σε μεγάλο βάθος και εντός (και όχι στα σύνορα κάποιων τεκτονικής πλάκας (Βουδαπέστη της Ρουμανίας 1977) , είτε σε άλλους το φαινόμενο ίσως εμφανίστηκε λόγω των κυμάτων SP που παράγονται από διακοπτόμενες φάσεις. Εναλλακτικά, συμπεριλαμβάνοντας μόνο τις περιπτώσεις που εμφανίζουν εμπρόσθια κατευθυντικότητα και θεωρώντας ότι δεν παίζει ρόλο η απόσταση του σταθμού καταγραφής όταν είναι εντός 10km από το ρήγμα και εφαρμόζοντας τη μέθοδο ελαχίστων τετραγώνων προκύπτει η εμπειρική σχέση:

$$\log T_p = -2.2 + 0.4M_w \quad 3.10$$

Καθώς το εύρος A του παλμού συνδέεται άμεσα με τη μέγιστη τιμή ταχύτητας PGV, παρουσιάζεται η διακύμανσή της σε σχέση με τη σεισμική ροπή και την απόσταση της καταγραφής από το υπαίτιο ρήγμα στο ακόλουθο σχήμα, στο οποίο απεικονίζεται ότι το εύρος των παλμών ταχύτητας που καταγράφεται εντός 7km από το ρήγμα βρίσκεται στο διάστημα 70-130 cm/s για το σύνολο του φάσματος τιμών της M_w , κάτι που συμφωνεί με την τυπική ταχύτητα ολίσθησης $v=100\text{cm/s}$ που συχνά υιοθετείται από τους σεισμολόγους.



3.2 Εύρος παλμών ταχύτητας σε σχέση με την απόσταση R και τη σεισμική ροπή M_w

Αντίθετα με τα μεγέθη T_p και M_w , οι τιμές της παραμέτρου γ δεν εμφανίζουν κάποια συστηματική σχέση με το μέγεθος του σεισμού ή την απόσταση από το ρήγμα, ίσως διότι εξαρτώνται από την επεξεργασία του αρχικού σήματος. Για παράδειγμα, το γ προσεγγίζει τη μονάδα για χρονοϊστορίες που καταγράφηκαν από ψηφιακά μέσα μέτρησης ισχυρών κινήσεων ευρείας ζώνης και επεξεργάστηκαν με τρόπο που να διασωθεί το περιεχόμενο των συχνοτήτων μεγάλων περιόδων. Αν οι ίδιες καταγραφές είχαν φιλτραριστεί υπερπερατά και είχαν αφαιρεθεί τα χαμηλής συχνότητας περιεχόμενα όπως γίνεται στα αναλογικά φίλτρα, οι απαιτούμενες τιμές του γ θα ήταν μεγαλύτερες.

3.5 Φασματικές Ιδιότητες του Μοντέλου Ανάλυσης

Με στόχο την αντιπροσώπευση και φυσική ερμηνεία κάποιων εμπειρικών παρατηρήσεων που βασίζονται σε πραγματικές καταγραφές, έγινε ο μετασχηματισμός Fourier και πραγματοποιήθηκαν παραμετρικές μελέτες του αναλυτικού μοντέλου. Ο μετασχηματισμός Fourier του μοντέλου του παλμού ταχύτητας κανονικοποιημένος ως προς ω_p και A είναι ο παρακάτω:

$$V(\omega) = \int_{-\infty}^{+\infty} v(t)e^{-i\omega t} dt = \bar{R}_v(\bar{\omega}) + i \bar{I}_v(\bar{\omega}) \quad 3.11$$

όπου:

$$\bar{R}_v(\bar{\omega}) = \frac{R_v(\omega)\omega_p}{A} = \frac{1}{2\bar{\Phi}} \{ \gamma^2 \cdot \cos(\pi\gamma) \cdot [\sin\theta_3 - \sin\theta_1] \cdot \bar{\omega}^3 - 3\gamma^2 \cdot \sin(\pi\gamma) \cdot [\cos\theta_3 + \cos\theta_1] \cdot \bar{\omega}^2 + (3\gamma^2 - 1) \cdot \cos(\pi\gamma) \cdot [\sin\theta_3 - \sin\theta_1] \cdot \bar{\omega} - (\gamma^2 - 1) \cdot \sin(\pi\gamma) \cdot [\cos\theta_3 + \cos\theta_1] \} \quad 3.12$$

$$\bar{I}_v(\bar{\omega}) = \frac{I_v(\omega)\omega_p}{A} = -\frac{1}{2\bar{\Phi}} \{ \gamma^2 \cdot \sin(\pi\gamma) \cdot [\sin\theta_3 + \sin\theta_1] \cdot \bar{\omega}^3 + 3\gamma^2 \cdot \cos(\pi\gamma) \cdot [\cos\theta_3 - \cos\theta_1] \cdot \bar{\omega}^2 + (3\gamma^2 - 1) \cdot \sin(\pi\gamma) \cdot [\sin\theta_3 + \sin\theta_1] \cdot \bar{\omega} + (\gamma^2 - 1) \cdot \cos(\pi\gamma) \cdot [\cos\theta_3 - \cos\theta_1] \} \quad 3.13$$

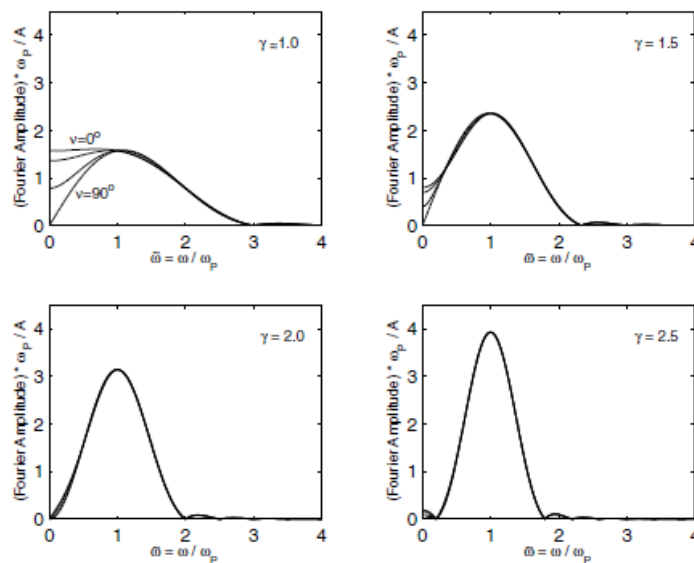
$$\bar{\Phi} = (1 - \bar{\omega})(1 + \bar{\omega})(-\gamma\bar{\omega} + \gamma + 1)(\gamma\bar{\omega} + \gamma - 1)(\gamma\bar{\omega} + \gamma + 1)(-\gamma\bar{\omega} + \gamma - 1) \quad 3.14$$

$$\theta_1 = -\bar{\omega}\pi\gamma + \nu \quad \text{και} \quad \theta_3 = \bar{\omega}\pi\gamma + \nu \quad 3.15$$

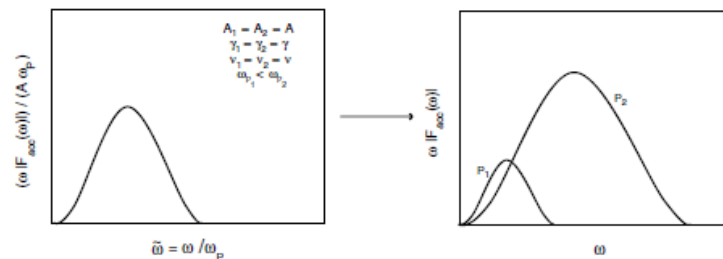
Με βάση αυτό το μετασχηματισμό γίνεται παραμετρική ανάλυση ως προς γ και ν , της οποίας τα αποτελέσματα καθιστούν σαφές ότι το μαθηματικό μοντέλο παράγει παλμό ταχύτητας που για σταθερές τιμές T_p και A , το πόσο ‘απλωμένος’ και τι ‘ύψος’ έχει, εξαρτάται από το γ , ενώ η φάση ν επηρεάζει μόνο στην περίπτωση που το γ πλησιάζει τη μονάδα και αυτό μόνο για περιόδους μεγαλύτερες από T_p . Για να γίνει αντιληπτό, δίνεται το σχήμα 3.3 για χαρακτηριστικές τιμές της παραμέτρου γ .

Έχει παρατηρηθεί αρχικά από τον Somerville [2000], και επιβεβαιωθεί από τους συγγραφείς ότι το φάσμα απόκρισης επιτάχυνσης κοντινού πεδίου για σεισμούς μετρίου προς μεγάλου μεγέθους είναι ισχυρότερο από το αντίστοιχο ενός σεισμού αρκετά μεγάλου μεγέθους στη

περιοχή υψηλών συχνοτήτων. Επιπρόσθετα, υπάρχει η εμπειρική παρατήρηση ότι αυτό συμβαίνει και με τη μέγιστη τιμή φασματικής επιτάχυνσης PSA. Προκειμένου να εξηγηθεί το φαινόμενο αυτό χρησιμοποιείται το αποτέλεσμα που προέκυψε στον Hudson (1962) το οποίο συνδέει τη μηδενικής απόσβεσης ψευδοφασματική ταχύτητα $S_{PV}(\xi=0, \omega)$ ενός επιταχυνσιογραφήματος με πλάτος $|F_{acc}(\omega)|$, με τον αντίστοιχο μετασχηματισμό Fourier του. Συγκεκριμένα απέδειξε ότι ισχύει $|F_{acc}(\omega)| \leq S_{PV}(\xi=0, \omega) \Leftrightarrow \omega|F_{acc}(\omega)| \leq S_A(\xi=0, \omega)$ και μάλιστα ότι το $|F_{acc}(\omega)|$ δίνει μια καλή εκτίμηση του $S_{PV}(\xi=0, \omega)$ παρόλο που είναι το κάτω όριό του. Λαμβάνονται λοιπόν δύο τυπικοί σεισμοί όπου $M_{w1} > M_{w2}$, ίδιου πλάτους $A_1=A_2$ που μπορούν να αναπαραχθούν αποτελεσματικά από το μοντέλο. Από την σχέση 3.10 συνεπάγεται ότι $T_{p1} > T_{p2}$ και για ίσες τιμές παραμέτρων γ και ν , τα τεχνητά σήματα που προκύπτουν από τους δύο σεισμούς εκπροσωπούνται από τον ίδιο ακριβώς παλμό σε κανονικοποιημένη μορφή, ενώ οι απόλυτες τιμές δείχνουν ότι ο μεγαλύτερος σεισμός εμφανίζει πλούσιο ενεργειακό περιεχόμενο στην περιοχή μεγάλων περιόδων ενώ ο μικρότερος συγκεντρώνει υψηλή ενέργεια στην περιοχή υψηλών συχνοτήτων, όπως φαίνεται στο σχήμα 3.4.



3.3 Επίδραση παραμέτρων γ και ν στη μορφή του παλμού



3.4 Μορφή παλμού και ενεργειακό περιεχόμενο για διαφορετικά μεγέθη

Μια απλοποιημένη εξήγηση για το λόγο που συμβαίνει κάτι τέτοιο παρέχεται μέσω των χρονοϊστοριών ταχύτητας και επιτάχυνσης. Ας θεωρήσουμε δύο αρμονικά σήματα που να εκπροσωπούν τη χρονοϊστορία ταχύτητας τα οποία έχουν το ίδιο πλάτος, τότε η χρονοϊστορία επιτάχυνσης θα έχουν πλάτη αναλογικά με τις αντίστοιχες συχνότητες των σημάτων. Συνεπώς, η καταγραφή με το μικρότερο μέγεθος σεισμού που έχει υψηλής συχνότητας σήμα ταχύτητας δίνει μεγαλύτερα πλάτη από τη χρονοϊστορία επιτάχυνσης της χαμηλής συχνότητας σήμα ταχύτητας που έχει ο μεγαλύτερος σεισμός. Ως αποτέλεσμα, η μέγιστη τιμή πλάτους του της χρονοϊστορίας με μικρή περίοδο θα είναι θα είναι μεγαλύτερο από τη μέγιστη τιμή του πλάτους του φάσματος απόκρισης επιτάχυνσης το οποίο αντιστοιχεί στη χρονοϊστορία με μεγάλη περίοδο.

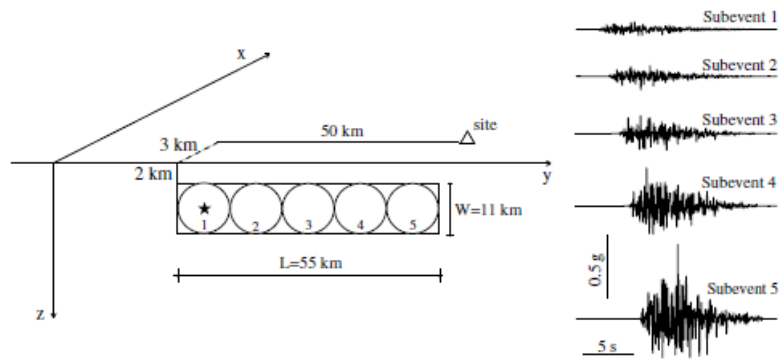
3.6 Σύνθεση των Κινήσεων Κοντινού Πεδίου

Βασιζόμενοι σε όλα τα παραπάνω οι συγγραφείς προτείνουν μια απλή μεθοδολογία δημιουργίας τεχνητών εδαφικών κινήσεων που να επαρκούν στην ανάλυση και σχεδιασμό έργων μηχανικού. Εκμεταλλεύόμενοι το μοντέλο ανάλυσης περιγράφουν τη συνεκτική συνιστώσα των μεγάλων περιόδων δηλαδή της κίνησης και τη στοχαστική προσέγγιση για τη σύνθεση της μη συνεκτικής σεισμικής ακτινοβολίας (υψηλών συχνοτήτων). Για την τελευταία συνιστώσα λόγω της εγγύτητας του σημείου παρατήρησης στη πηγή, κρίνεται απαραίτητη η χρήση ενός μοντέλου πηγής, που να παρέχει καθοδήγηση ως προς τον τρόπο διανομής της διαθέσιμης σεισμικής ροπής του προσομοιωμένου γεγονότος στο επίπεδο του ρήγματος. Επιλέγεται το μοντέλο επιλεγμένης φραγής των Μαυροειδή και Aki σύμφωνα με το οποίο ένας σεισμός εμφανίζεται σαν μια σειρά από δευτερεύοντα συμβάντα ίσου μεγέθους, ομοιόμορφα κατανεμημένα σε ένα ορθογώνιο επίπεδο ρήγματος. Τα συμβάντα αυτά εκπροσωπούνται από κυκλικές σχισμές που δίνουν σεισμική ενέργεια όσο το μέτωπο της διάρρηξης διαπερνά το επίπεδο του ρήγματος. Το μοντέλο αυτό, μαζί με τους νόμους κλιμάκωσης μπορεί να λάβει υπόψη του μόνο την επίδραση της *εμπρόσθιας* κατευθυντικότητας. Παρόλο που η αναλυτική έκφραση μπορεί να αναπαράγει και τις επιδράσεις μόνιμης μετατόπισης, δεν υπάρχουν αρκετές καταγραφές που να επιτρέπουν σωστούς νόμους κλιμάκωσης οπότε θα πρέπει να χρησιμοποιείται με προσοχή στην παραγωγή εδαφικών κινήσεων μεγάλων περιόδων που τείνουν να συμπεριλάβουν το φαινόμενο αυτό.

Η προτεινόμενη μεθοδολογία αποτελείται από τα εξής βήματα:

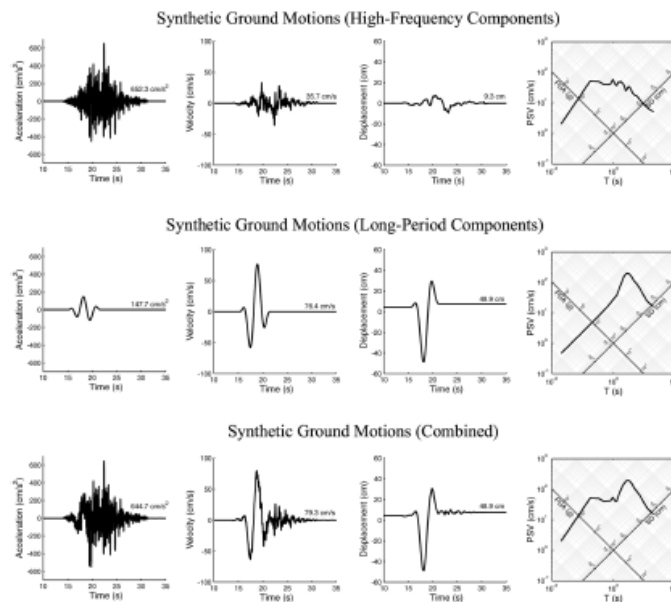
1. Επιλέγεται το μέγεθος της σεισμικής ροπής M_w του πιθανού σεισμού και υπολογίζεται η κυρίαρχη συχνότητα f_p χρησιμοποιώντας τις εξισώσεις 3.10 και 3.7. Για επιλεγμένες τιμές των παραμέτρων A , γ , ν δημιουργείται η συνεκτική συνιστώσα της χρονοϊστορίας επιτάχυνσης με χρήση της εξίσωσης 3.8.
2. Για την επιλεγμένη γεωμετρία του ρήγματος και της θέσης καταγραφής παράγεται η τεχνητή χρονοϊστορία επιτάχυνσης για τη σεισμική ροπή M_w με τη βοήθεια του μοντέλου επιλεγμένης φραγής.
3. Υπολογίζεται ο μετασχηματισμός Fourier του τεχνητού επιταχυνσιογραφήματος.
4. Αφαιρείται το πλάτος του φάσματος Fourier της τεχνητής χρονοϊστορίας που δημιουργήθηκε στο πρώτο βήμα από το αντίστοιχο του βήματος 2.
5. Κατασκευάζεται η χρονοϊστορία επιτάχυνσης έτσι ώστε το πλάτος του φάσματος Fourier του να είναι η διαφορά του πλάτους φάσματος που υπολογίστηκε στο βήμα 4 και η φάση του να συμπίπτει με αυτή του μετασχηματισμού Fourier της τεχνητής χρονοϊστορίας που συντέθηκε στο βήμα 2.
6. Πραγματοποιείται υπέρθεση των χρονοϊστοριών που δημιουργήθηκαν στα βήματα 1 και 5. Ο παλμός κοντινού πεδίου μετατοπίζεται στο χρόνο έτι ώστε η μέγιστη τιμή της περιβάλλουσάς του να συμπίπτει χρονικά με το χρόνο η ρήξη του μετώπου περνά μπροστά από το σταθμό καταγραφής.

Ως μια επίδειξη της δυνατότητας παραγωγής εδαφικής κίνησης δίνεται το παρακάτω παράδειγμα για ένα σεισμό μεγέθους $M_w=6.8$. Η γεωμετρία σταθμού- σεισμικής πηγής και ο χωρισμός του σεισμού σε 5 δευτερεύοντα συμβάντα παρουσιάζεται ακολούθως:



3.5 Γεωμετρία περιοχής και υποσυμβάντα που απαρτίζουν το σεισμό

Στη συνέχεια δίνονται τα εγκάρσια στο ίχνος του ρήγματος τεχνητά γραφήματα εδαφικής κίνησης. Τα άνω γραφήματα δείχνουν την μη-συνεκτική συνιστώσα της κίνησης, στη μέση είναι αυτά με τη συνεκτική συνιστώσα δηλαδή το παλμό ταχύτητας εγγύς πεδίου, ενώ τα κάτω την υπέρθεση και των δύο συνιστωσών. Όπως αναμενόταν, η πρώτη συνιστώσα παίζει σπουδαίο ρόλο στις μέγιστες τιμές επιτάχυνσης ενώ η δεύτερη στις τιμές της ταχύτητας και μετατόπισης.



3.6 Συνιστώσες της τεχνητής εδαφικής κίνησης εγκαρσίου του ίχνους του ρήγματος και επαλληλία

Συμπερασματικά, οι Μαυροειδής και Παπαγεωργίου πρότειναν ένα απλό αναλυτικό μοντέλο για την αναπαράσταση και τη δημιουργία εδαφικών κινήσεων ισχυρού κοντινού πεδίου, που να περιγράφει την παλμική φύση αυτών των καταγραφών ποιοτικά και ποσοτικά, ενώ εξήγησαν αναλυτικά κάποιες εμπειρικές παρατηρήσεις. Το μοντέλο είναι αρκετά επαρκές στην προσομοίωση τέτοιων χρονοϊστοριών και των φασμάτων απόκρισής τους. Υπάρχει το πλεονέκτημα της χρήσης παραμέτρων εισαγωγής που έχουν μη αμφιλεγόμενο φυσικό νόημα και συνεπώς μπορεί να διευκολύνει τη ανάλυση και το σχεδιασμό. Μάλιστα οι κύριες παράμετροι (T_p, A) ελέγχουν σε μεγάλο βαθμό τη σεισμική απόκριση κατασκευών δίνοντας πιο αξιόπιστα αποτελέσματα από κινηματικά ή δυναμικά μοντέλα ρηγμάτων και επιτρέποντας στους μηχανικούς να εξετάσουν την εναισθησία μιας κατασκευής από τις διακυμάνσεις των μέσων τιμών των παραμέτρων για δεδομένη σεισμική ροπή. Από την άλλη πλευρά, τα μοντέλα προσομοίωσης ρηγμάτων είναι χρήσιμα στην κατανόηση της φυσικής

λειτουργίας της παραγωγής εδαφικών κινήσεων, κάτι που δε συμβαίνει με το μοντέλο ανάλυσης των Μαυροειδή και Παπαγεωργίου. Επιπρόσθετα, υπάρχουν κάποιες επιφυλάξεις στη χρήση του μοντέλου αυτού επειδή εξαρτάται από την υπάρχουσα βάση δεδομένων η οποία αναμένεται να εμπλουτιστεί με καινούργιους σεισμούς καθώς και το γεγονός ότι δεν έχουν ληφθεί υπόψη παράγοντες όπως η τριδιάστατη ετερογένεια της λιθόσφαιρας, λεκάνες απορροής ή πολυπλοκότητα της πηγής.

4 Ανασκόπηση μοντέλων εντοπισμού και προσομοίωσης παλμικότητας

4.1 Το προσομοίωμα του Baker

Οι παλμικές κινήσεις εγγύς πεδίου έχει αποδειχθεί ότι επιβάλλουν μεγάλες απαιτήσεις σε κατασκευές από πολλούς ερευνητές. Θεωρητικές εκτιμήσεις παρέχουν επίσης την ένδειξη σεισμολογικών συνθηκών που μπορεί να καταλήξουν στην εμφάνιση παλμών λόγω επίδρασης της κατευθυντικότητας. Η πρωταρχική αιτία που θεωρείται ότι προκαλεί τον παλμό ταχύτητας είναι η εμπρόσθια κατευθυντικότητα στην περιοχή κοντά στο ρήγμα και καθώς παρουσιάζεται κυρίως στις καταγραφές εγκάρσια στο ίχνος του ρήγματος, δίνεται έμφαση σε αυτές. Η ύπαρξη όμως άλλων φαινομένων, όπως όταν η θέση καταγραφής βρίσκεται κοντά σε περιοχή που παρουσιάζει ανωμαλίες, μπορεί να δώσουν λανθασμένη εντύπωση παλμού από κατευθυντικότητα. Ένα εμπόδιο ενσωμάτωσης επιδράσεων κοντινού πεδίου στη σεισμική επικινδυνότητα και στους Κώδικες είναι μια ποσοτικοποιημένη μέθοδος προσδιορισμού τους. Συνήθως οι ερευνητές επιλέγουν τις καταγραφές με οπτικά κριτήρια στη χρονοϊστορία ταχύτητας ή και από τη γεωμετρία του ρήγματος σε συνδυασμό με τη θέση καταγραφής που δείχνει ότι είναι πιθανό να έχει συμβεί κάτι τέτοιο. Ωστόσο αυτό απαιτεί καλό επίπεδο κρίσης και σε κάποιες περιπτώσεις ο παλμός μπορεί να μην είναι εμφανής ενώ δεν βοηθά την πρόοδο απόκτησης αποτελεσμάτων όπως η πιθανότητα μια εδαφική κίνηση με δεδομένο μέγεθος σεισμού, απόσταση και γεωμετρία θέσης να περιέχει παλμό ταχύτητας. Έτσι δεν υπάρχει συνέπεια μεταξύ αναλυτών.

Η διάκριση μιας παλμικής καταγραφής είναι ιδιαίτερα χρήσιμη σε αρκετά σεισμολογικά και θέματα μηχανικού, όπως πιθανοτική σεισμική επικινδυνότητα, μοντέλα πρόγνωσης εδαφικής κίνησης και μη γραμμικής δυναμικής ανάλυσης κατασκευών. Μια μέθοδος ποσοτικού προσδιορισμού εδαφικών κινήσεων με ισχυρούς παλμούς που προκαλούνται από την κατευθυντικότητα στο κοντινό πεδίο προτάθηκε από τον Baker το 2007. Η προσέγγιση του γίνεται μέσω ανάλυσης κυματομορφής προκειμένου να αποσπάσει τον μεγαλύτερο παλμό ταχύτητας για δεδομένη εδαφική κίνηση και χρησιμοποιεί το μέγεθός του σε σχέση με την αρχική εδαφική κίνηση στην προσπάθεια διαμόρφωσης ενός κριτηρίου που να ταξινομεί μια εδαφική κίνηση σε παλμική ή μη. Για τον εντοπισμό του υποσυνόλου των καταγραφών που πιθανώς προκλήθηκαν από την κατευθυντικότητα, εισάγονται δύο επιπρόσθετα κριτήρια: ο παλμός φθάνει στην αρχή σχετικά της χρονοϊστορίας και το απόλυτο μέγεθος του παλμού είναι μεγάλο ενώ ως μέρος της διαδικασίας, προσδιορίζεται και η περίοδος του παλμού ταχύτητας. Η διαδικασία μπορεί να χρησιμοποιηθεί αυτόνομα ως κριτήριο ταξινόμησης ή ως ένα φίλτρο αναγνώρισης εδαφικών κινήσεων με πιθανή κατευθυντικότητα που χρήζουν προσεκτικότερης μελέτης.

Ο διαχωρισμός μεταξύ μιας καταγραφής με παλμικό χαρακτήρα από μια που μη παλμική δεν είναι εγγενώς δυαδικός αλλά είναι απλούστερο να υπάρξει κατάταξη στις καταγραφές με τον καθορισμό ενός κατωφλίου που να κάνει δυαδική ταξινόμηση. Σημαντικοί στόχοι είναι η διαδικασία ταξινόμησης να εμφανίζει αποτελέσματα συνεπή, που μπορούν να αναπαραχθούν χωρίς διαφορές, και ταυτόχρονα ο αλγόριθμος να είναι υπολογιστικά αδιάπανος ώστε να δίνεται η δυνατότητα ανάλυσης μεγάλης βάσης δεδομένων. Η απλότητα είναι βασική καθώς ένα μοντέλο με πολλές παραμέτρους χάνει την αξιοπιστία του. Στο είδος του εδάφους για

παράδειγμα μπορούμε να αρκεστούμε σε γνωστές κατατάξεις που τα διαχωρίζουν σε τέσσερις με πέντε κατηγορίες.

4.1.1 Ανάλυση Κυματομορφής

Ταυτόσημη με τη λογική του υπολογισμού του μετασχηματισμού Fourier η βασική συνάρτηση κυματομορφής για χρόνο t είναι:

$$\Phi_{s,l}(t) = \frac{1}{\sqrt{s}} \Phi\left(\frac{t-l}{s}\right) \quad 4.1$$

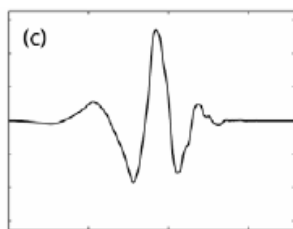
όπου $\Phi()$ η μητρική κυματομορφή, s : η παράμετρος κλίμακας, l : η παράμετρος θέσης που μεταφράζει χρονικά την κυματομορφή. Κάθε σήμα $f(t)$ μπορεί να αναπαρασταθεί ως ένας γραμμικός συνδυασμός βασικών συναρτήσεων και οι συντελεστές του να προσδιορίζονται από ένα ολοκλήρωμα συνέλιξης:

$$C_{s,l} = \int_{-\infty}^{\infty} f(t) \Phi_{s,l}(t) dt = \int_{-\infty}^{\infty} f(t) \frac{1}{\sqrt{s}} \Phi\left(\frac{t-l}{s}\right) dt \quad 4.2$$

Για ψηφιακά σήματα όπως χρονοϊστορίες η εξίσωση διακριτοποιείται σε ένα άθροισμα αντί για ένα ολοκλήρωμα και υπάρχουν δύο κατηγορίες ανάλυσης ενός σήματος. Η πρώτη είναι ο *συνεχής* μετασχηματισμός κυματομορφής που οι συντελεστές του συνδέονται με κάθε ακέραιη τιμή από τις παραμέτρους κλίμακας και θέσης. Αυτό παρέχει λεπτομερείς πληροφορίες σχετικά με τα χαρακτηριστικά του χρόνου και της συχνότητας του σήματος, όμως ένα ψηφιακό σήμα με μήκος n μπορεί να περιγραφεί πλήρως χρησιμοποιώντας ένα μειωμένο αριθμό συντελεστών. Αν η κυματομορφή είναι ορθογωνικής μορφής, τότε χρειάζονται μόνο n κυματίδια για την πλήρη περιγραφή ενός σήματος με μήκος n . Η δεύτερη κατηγορία, ο *διακριτός* μετασχηματισμός κυματομορφής, παρέχει n συντελεστές που περιγράφουν το πλάτος των n κυματιδίων σε διάφορες κλίμακες και θέσεις. Στην περίπτωση που το n είναι δύναμη του δύο τότε μπορεί να κατασκευαστεί ένας εξαιρετικά αποδοτικός αλγόριθμος.

Επίσης, αν το μητρικό κυματίδιο αναπαριστά καλά το σχήμα των χαρακτηριστικών που μας ενδιαφέρουν, χρειάζονται λιγότεροι από n συντελεστές. Λίγοι από αυτούς θα έχουν μεγάλες τιμές και τα αντίστοιχα κυματίδια που θα προκύπτουν θα αναπαριστούν τα κύρια χαρακτηριστικά του κύματος, ενώ πολλοί θα είναι κοντά στο μηδέν επειδή θα αντιπροσωπεύουν κυματίδια με μικροχαρακτηριστικά του σήματος. Το φαινόμενο αυτό είναι η βάση για πολλές εφαρμογές απομάκρυνσης του θορύβου από ένα σήμα και σύμπτυξής τους. Ο Baker ωστόσο το χρησιμοποιεί για διαφορετικό σκοπό: αν ένα σημαντικό τμήμα της εδαφικής κίνησης περιγράφεται από ένα ή δύο κυματίδια με μεγάλους συντελεστές, είναι χρήσιμο για την ανίχνευση ύπαρξης παλμού.

Οι ευρέως γνωστές κυματομορφές είναι κατάλληλες για τη συγκεκριμένη εφαρμογή αλλά επιλέγεται η Daubchies της τάξης 4 η οποία φαίνεται παρακάτω στο σχήμα, καθώς προσεγγίζει το σχήμα πολλών παλμών ταχύτητας και αποδίδει καλύτερα σε σχέση με τις άλλες. Ακόμα χρησιμοποιούνται και οι δύο κατηγορίες μετασχηματισμού κυματομορφής καθώς ο συνεχής αν και υπολογιστικά δαπανηρός έχει υψηλότερη ανάλυση.



4.1 Κυματομορφή Daubchies τάξης 4

4.1.2 Απόσπαση του παλμού ταχύτητας

Ο μεγαλύτερος παλμός ταχύτητας εξάγεται από κάθε εδαφική κίνηση με χρήση διάσπασης κυματομορφής. Για την αξιολόγηση της εδαφικής μορφής, πρώτα γίνεται ο συνεχής μετασχηματισμός κυματομορφής της χρονοϊστορίας ταχύτητας και εντοπίζεται ο συντελεστής με τη μεγαλύτερη απόλυτη τιμή. Το κυματίδιο που προκύπτει από αυτόν δίνει με ακρίβεια το μεγαλύτερο παλμό ο οποίος υποδεικνύει την περίοδο και τη θέση του ζητούμενου παλμού. Το κυματίδιο αυτό αφαιρείται από την αρχική εδαφική κίνηση και υπολογίζεται ο συνεχής μετασχηματισμός για την εναπομένονσα χρονοϊστορία. Η θέση και η περίοδος του παλμού έχουν βρεθεί, γι αυτό στο βήμα αυτό μόνο κυματίδια με ίδια περίοδο και χρονικά κοντά (μισό πλάτος εκατέρωθεν του αρχικού σήματος) λαμβάνονται υπόψη. Εντοπίζεται ξανά ο συντελεστής με τη μεγαλύτερη τιμή και ο συνδυασμός του κύματος που προκύπτει με αυτόν του μεγαλύτερου συντελεστή του προηγούμενου βήματος δείχνει καλύτερα τον παλμό ταχύτητας. Επαναλαμβάνοντας τη διαδικασία καταλήγουμε σε όλο και πιο λεπτομερή απεικόνιση του παλμού. Τις περισσότερες φορές δύο συντελεστές αρκούν, έγινε ωστόσο υπολογισμός των πρώτων δέκα. Με τη διαδικασία αυτή, δίνεται ένας παλμός της εδαφικής κίνησης, είτε αυτός έχει σημαντική κατευθυντικότητα είτε όχι. Βέβαια για μη παλμικές καταγραφές η απομένονσα είναι σχεδόν ταυτόσημη με την αρχική εδαφική κίνηση.

4.1.3 Καθορισμός σημαντικότητας του εξαγόμενου παλμού

Αρχικά γίνεται χειροκίνητη ταξινόμηση ενός συνόλου καταγραφών και στη συνέχεια κατασκευάζεται ένα στατιστικό μοντέλο πρόβλεψης που μπορεί να αναπαράγει την κατηγοριοποίηση των εκπαιδευμένων δεδομένων. Για την δημιουργία τέτοιων δεδομένων, επιλέχθηκαν όλες οι εγκάρσιες στο ρήγμα εδαφικές κινήσεις της βιβλιοθήκης NGA με μέγεθος μεγαλύτερο του 5.5 και εντός απόσταση καταγραφής 30km από το σεισμικό γεγονός. Οι καταγραφές περιστράφηκαν στον προσανατολισμό του ρήγματος. Οι 398 καταγραφές που προέκυψαν κατατάχθηκαν χειροκίνητα με οπτικά κριτήρια, χωρίς να αποκλειστούν παλμοί μικρού πλάτους ή αυτοί που καθυστερούν να εμφανιστούν στη χρονοϊστορία. Οι καταγραφές που δεν είναι προφανές σε ποια κατηγορία ανήκουν κατηγοριοποιήθηκαν ξεχωριστά και αντιμετωπίστηκαν ξεχωριστά όταν έγινε αξιολόγηση της αποτελεσματικότητας της κυματομορφής. Ως αποτέλεσμα, 124 καταγραφές θεωρήθηκαν παλμικές, 190 μη παλμικές και 84 αμφιλεγόμενες.

Για την άμεση αξιολόγηση της δυνατότητας πιθανών προγνωστικών παραγόντων διάκρισης μεταξύ παλμικών καταγραφών από τους οποίους εξάγεται μεγάλος παλμός και μη παλμικών με ασήμαντους παλμούς, χρησιμοποιήθηκε γραμμική διαχωριστική ανάλυση. Εξετάστηκε μια ποικιλία παραγόντων πρόγνωσης συμπεριλαμβανομένου του μεγέθους των συντελεστών από

τη διάσπαση της κυματομορφής, τις τιμές του φάσματος απόκρισης, τις μέγιστες τιμές των εδαφικών ταχυτήτων και τιμές ενεργειών. Έγινε συνδυασμός παραγόντων στην προσπάθεια αναπαραγωγής αποτελεσμάτων με ακρίβεια. Δύο μεταβλητές αναγνωρίστηκαν ως εύκολες στον υπολογισμό, με επαναληψιμότητα και παροχή καλής δυνατότητας πρόβλεψης: ο λόγος της εναπομένουσας μέγιστης εδαφικής ταχύτητας PGV προς την αρχική τιμή της και η εναπομένουσα ενέργεια προς την αρχική. Εισάγεται ως εκ τούτου ο δείκτης ύπαρξης παλμού, που προβλέπει την πιθανότητα μια δοσμένη καταγραφή να είναι παλμική, βασισμένος σε κάποιες καταγραφές με τα ίδια χαρακτηριστικά οι οποίες κατηγοριοποιήθηκαν χειροκίνητα ως παλμικές:

$$\text{Pulse indicator} = \frac{1}{1 + e^{-23.3 + 14.6 \cdot (\text{PGVratio}) + 20.5 \cdot (\text{Energy ratio})}} \quad 4.3$$

Ο δείκτης αυτός λαμβάνει τιμές από 0 έως 1, και υψηλές τιμές του είναι ισχυρή ένδειξη παλμικών καταγραφών. Συγκεκριμένα κρίθηκε ότι για 0.85 και άνω έχουμε παλμικό, και για 0.35 και κάτω μη παλμικό χαρακτήρα. Ανάμεσα στις εδαφικές κινήσεις που κατηγοριοποιήθηκαν χειροκίνητα ως παλμικές ή μη, το 88% βρέθηκε στην ίδια κατηγορία όταν πραγματοποιήθηκε αυτόματα η διαδικασία, το 11% ταξινομήθηκε ως αμφιλεγόμενο και μόνο το 1% κατηγοριοποιήθηκε εσφαλμένα. Σημειώνεται ωστόσο ότι για τις περισσότερες καταγραφές στις οποίες η ταξινόμηση δεν κατάφερε αναπαραχθεί, όταν εξετάστηκαν πιο προσεκτικά, οι αυτόματες ταξινομήσεις παρουσιάστηκαν λογικές και κάποιες φορές είχαν αρχικά ταξινομηθεί λάθος λόγω ανθρωπίνου σφάλματος. Το 1% , δηλαδή δύο καταγραφές που κατηγοριοποιήθηκαν λανθασμένα δεν εντοπίστηκε ο παλμικός τους χαρακτήρας, επειδή ο παλμός με τη μεγαλύτερη ενέργεια διέφερε σε συχνότητα ή σε θέση από τον παλμό που διακρίνεται οπτικά, αλλά δεν ήταν και τόσο προφανής. Τα παραπάνω δείχνουν ότι η διαδικασία είναι αρκετά ακριβής, σίγουρα πιο βολική και επαναλήψιμη.

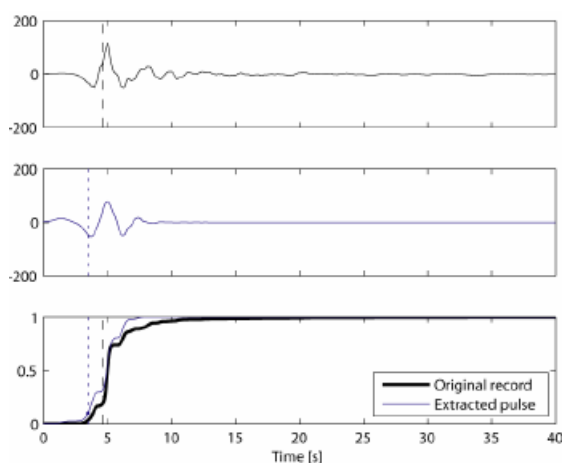
4.1.4 Εξαίρεση των ‘καθυστερημένων’ παλμών

Παρά το γεγονός ότι οι παλμοί που θεωρήθηκαν παλμικοί έχουν σημαντικά παλμικά χαρακτηριστικά, αυτά μπορεί να προκλήθηκαν από διάφορους παράγοντες. Κρίνοντας τις επιπτώσεις της κατευθυντικότητας ως πρωταρχικού ενδιαφέροντος, χρειάζεται ένα επιπρόσθετο κριτήριο που να εντοπίζει μόνο τους παλμούς που παρουσιάζονται στην αρχή της χρονοϊστορίας ταχύτητας. Οι παλμοί που εισάγονται καθυστερημένα στη χρονοϊστορία, μπορούν να ανιχνευτούν μέσω υπολογισμού του αθροίσματος των τετραγώνων των ταχυτήτων της αρχικής καταγραφής και του εξαγόμενου παλμού:

$$CSV(t) = \int_0^t V^2(u) du \quad 4.4$$

όπου $V(u)$ είναι η εδαφική ταχύτητα τη στιγμή u . Στη συνέχεια προσδιορίζονται οι στιγμές στις οποίες ο καθένας φθάνει το $x\%$ του συνολικού CSV και συμβολίζονται με $t_{x\%orig}$ και $t_{x\%pulse}$. Με την προσαρμογή των κριτηρίου ποσοστού για τις δυο εδαφικές κινήσεις, καθορίστηκε ότι οι παλμοί που φθάνουν νωρίς έχουν τιμή $t_{20\%orig}$ μεγαλύτερη από την $t_{10\%pulse}$. Αυτό το κριτήριο μας διαβεβαιώνει ότι ο παλμός ξεκινά πριν παρατηρηθεί το σημαντικό τμήμα της σεισμικής καταγραφής, δεν γνωρίζουμε όμως αν οι κατασκευές επηρεάζονται με διαφορετικό τρόπο αν παλμός είναι καθυστερημένος σε σχέση με έναν που δεν είναι. Στο επόμενο σχήμα δίνεται μια περίπτωση όπου ο παλμός παρατηρείται νωρίς. Στο άνω μέρος απεικονίζεται η αρχική χρονοϊστορία ταχύτητας, στη μέση ο παλμός που εξήχθη από αυτή, ενώ στο κάτω μέρος η χρονοϊστορία του CSV τόσο η αρχική όσο αυτή του παλμού. Οι δύο

διακεκομμένες κατακόρυφες που παρατηρούμε είναι οι χρονικές στιγμές $t_{10\%pulse}$, $t_{20\%orig}$ όπου $t_{10\%pulse} < t_{20\%orig}$.



4.2 Ανίχνευση παλμού στη χρονοϊστορία ταχύτητας μέσω CSV.

4.1.5 Εξαίρεση των εδαφικών κινήσεων με $PGV < 30\text{cm/s}$

Κάποιες χρονοϊστορίες μπορεί να δίνουν την εντύπωση ότι είναι παλμικές λόγω της απλής μορφής της χρονοϊστορίας ταχύτητας. Αυτό μπορεί για παράδειγμα να συμβεί όταν ο σεισμός είναι μικρού μεγέθους και σύντομης διάρκειας. Έτσι ορίζεται το κατώφλι των 30cm/s .

Τα τρία κριτήρια που τελικά υιοθετούνται για να θεωρηθεί μια καταγραφή παλμική είναι:

1. Η τιμή του δείκτη ύπαρξης παλμού να είναι μεγαλύτερη από 0.85
2. Ο παλμός να εισέρχεται νωρίς στη χρονοϊστορία, δηλαδή να φθάνει το 10% του συνολικού του CSV πριν η αρχική καταγραφή φθάσει το 20% της δικής της CSV
3. Η αρχική χρονοϊστορία ταχύτητας να έχει μέγιστη τιμή $PGV > 30\text{cm/s}$

Ο αριθμός των καταγραφών που ικανοποιούν όλα τα κριτήρια είναι 91. Είναι ωστόσο πιθανό αρκετοί ερευνητές να ενδιαφέρονται για καταγραφές που πληρούν κάποια από αυτά τα κριτήρια ή να προσθέσουν κι άλλα σε περίπτωση που θέλουν να σιγουρευτούν ότι οι παλμοί είναι κατευθυντικότητας.

Η ύπαρξη ενός παλμού, χωρίς τους περιορισμούς των κριτηρίων 2 και 3 περιλαμβάνει και σεισμολογικές παραμέτρους που δεν αναφέρονται στο σημείο αυτό, όπως η θέση του σταθμού σε σχέση με τη θέση της διάδοσης του ρήγματος. Όταν για παράδειγμα η θέση καταγραφής είναι κοντά και η διάρρηξη διαδίδεται προς τη θέση αυτή είναι πιθανότερο να καταγραφούν παλμικές κινήσεις. Υπάρχουν ενδείξεις, που βασίζονται σε στατιστική επεξεργασία των δεδομένων, ότι ο παλμός ταχύτητας είναι μεγάλος σε καταγραφές που απέχουν λίγο από το σεισμικό γεγονός, ενώ μηδενίζεται για αποστάσεις μεγαλύτερες των 30km .

4.1.6 Προσδιορισμός της περιόδου του παλμού

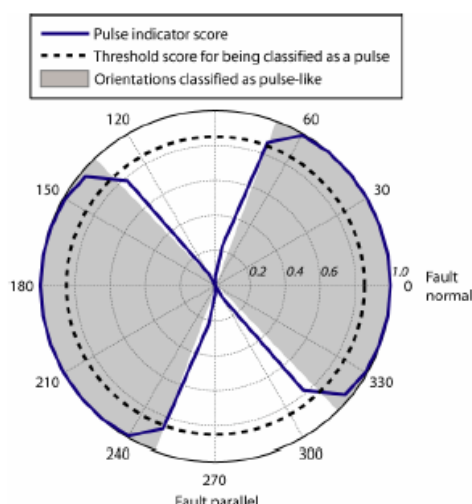
Όπως έχει προαναφερθεί, η τιμή της περιόδου του παλμού έχει μεγάλη σημασία, καθώς ο λόγος αυτής προς την θεμελιώδη περίοδο μιας κατασκευής ($T_p/T_{\text{κατασκευής}}$) επηρεάζει έντονα την απόκρισή της. Ωστόσο, οι ερευνητές χρησιμοποιούν διαφορετικούς τρόπους ορισμού της. Ο Baker προτείνει την περίοδο που προκύπτει από τη διαδικασία ταξινόμησης καταγραφών, δηλαδή την ψευδοπερίοδο του μεγαλύτερου συντελεστή κυματιδίου. Σε σχέση με την συνήθη επιλογή της περιόδου που ισούται με την τιμή που αντιστοιχεί στην μέγιστη εδαφική ταχύτητα PGV του φάσματος απόκρισης, η ψευδοπερίοδος αυτή είναι γενικά λίγο μεγαλύτερη.

Επίσης η σχέση που προκύπτει με γραμμική παλινδρόμηση ανάμεσα στο μέγεθος του σεισμού και την περίοδο του παλμού, χρησιμοποιώντας αυτή του Baker είναι η ακόλουθη:

$$E[\ln T_p] = -5.78 + 1.02M \quad 4.5$$

4.1.7 Δυο διαστάσεις εδαφικής κίνησης

Ας υποθέσουμε ότι έχουμε ένα σεισμό που έχει παλμικό χαρακτήρα στην εγκάρσια στο ίχνος του ρήγματος διεύθυνση και μη παλμικό στην παράλληλη συνιστώσα. Περιστρέφοντας τις δύο συνιστώσες εδαφικής κίνησης, μπορεί να υπολογιστεί ένας δείκτης εντοπισμού παλμών για αυθαίρετο προσανατολισμό, καθώς υπάρχει παλμός σε ένα εύρος γωνιών. Αυτό συμβαίνει διότι όταν παρατηρούμε το παλμό υπό γωνία διαφορετική της κύριας διεύθυνσής του, μπορεί ακόμα είναι σχετικά μεγάλος από τις μικρότερες κινήσεις που σχετίζονται με τη μη παλμική καταγραφή. Για παράδειγμα μετά από υπολογισμό αυτού του δείκτη για την καταγραφή TCU075 του Chi-Chi, Taiwan προκύπτει ότι περισσότερο από το μισό εύρος γωνιών χαρακτηρίζεται από παλμική συμπεριφορά, το οποίο είναι γραμμοσκιασμένο στο παρακάτω σχήμα.



4.3 Δείκτης ύπαρξης παλμού για την καταγραφή TCU075 (Chi-Chi, Taiwan)

4.2 Ενεργειακό προσομοίωμα των Zhai et al

Μια πρόκληση για τους πολιτικούς μηχανικούς είναι η κατηγοριοποίηση παλμικών καταγραφών σεισμών κοντινού πεδίου όπως έχει ήδη τονιστεί, καθώς τέτοιες εδαφικές κινήσεις είναι ικανές να προκαλέσουν σημαντικές ζημιές στις κατασκευές. Αρκετοί ερευνητές ασχολήθηκαν με τα χαρακτηριστικά των παλμών ταχύτητας αυτών των καταγραφών με διάφορες προσεγγίσεις οι οποίες ήταν μη ποσοτικές. Μια αξιόλογη προσπάθεια ήταν αυτή του Baker (2007) να εισάγει μια αυτοματοποιημένη ποσοτική μέθοδο εντοπισμού παλμικών καταγραφών, κατά την οποία εφαρμόζει ένα μετασχηματισμό κυματομορφής προκειμένου να αποσπάσει ένα πιθανό παλμό από τη χρονοϊστορία ταχύτητας και το αν μια καταγραφή είναι παλμική καθορίζεται από ένα δείκτη που προκύπτει από διακριτή ανάλυση και στον οποίο η σχετική ενέργεια του παλμού ταχύτητας παρουσιάστηκε να είναι ένα από τα βασικά χαρακτηριστικά που το διέπουν.

Σε μια νεότερη δημοσίευση των Zhai et al (2013) δίνεται ένας εκτενέστερος προσδιορισμός παλμικών καταγραφών κοντινού πεδίου βασιζόμενος στην ενέργεια. Όπως γνωρίζουμε, ο κυρίαρχος παλμός παρουσιάζεται εξαιτίας της ενέργειας που συγκεντρώνεται σε μιας μικρής διάρκειας ζώνη. Αυτό σημαίνει εγγενώς ότι ο παλμός συνεισφέρει αρκετά στη συνολική ενέργεια της εδαφικής κίνησης. Μια τόσο συγκεντρωμένη ενέργεια απαιτείται να διαχέεται σε ένα ή σχετικά λίγους πλαστικούς κύκλους όταν εισάγεται σε μια κατασκευή, προκαλώντας σοβαρές σεισμικές βλάβες σε χρονικά σύντομο διάστημα. Η μελέτη συνεπώς της ενέργειας κρίθηκε από τους Zhai et al αποδοτικός τρόπος κατανόησης του κοντινού πεδίου.

4.2.1 Παράμετροι της μεθόδου ενέργειας

Όπως έχει προαναφερθεί, το εύρος (πλάτος), η περίοδος όπως επίσης ο αριθμός και η φάση της ημιταλάντωσης είναι οι κύριες παράμετροι που καθορίζουν τα χαρακτηριστικά της κυματομορφής ενός παλμού ταχύτητας. Η μελέτη που περιγράφεται επικεντρώνεται στις δύο πρώτες παραμέτρους καθώς αντιπροσωπεύουν τα κυρίαρχα χαρακτηριστικά του παλμού και θεωρεί ότι το πλάτος του μεγαλύτερου παλμού ισούται πάντα με την PGV. Όσο αφορά την περίοδο του παλμού υιοθετείται η μέθοδος μέγιστου σημείου (PPM). Με τον ίδιο τρόπο που η περίοδος ενός ημιτονικού κύματος είναι το χρονικό διάστημα μεταξύ δύο διαδοχικών αιχμών ή βυθισμάτων, έτσι ορίζεται και στον παλμό, ενώ η διάρκεια του θα πρέπει να περιλαμβάνει το σημείο όπου αποκτάται η μέγιστη ταχύτητα PGV. Οι χρονικές στιγμές αυτών των αιχμών ή βυθισμάτων είναι διαδοχικά ο χρόνος εκκίνησης του παλμού t_s και ο χρόνος λήξης του t_e .

4.2.2 Προσδιορισμός της περιόδου του παλμού

Για να προσδιοριστεί η περίοδος μέσω της PPM απαραίτητο είναι να λυθεί ένα πρόβλημα που προκύπτει. Η ημιτονοειδής είναι μια ομαλή καμπύλη και αυτό δίνει τη δυνατότητα η τιμή της περιόδου να είναι σαφής και να προσδιορίζεται εύκολα. Αντίθετα, λόγω της ανάμειξης περιεχομένων υψηλών συχνοτήτων η εύρεση της περιόδου ενός παλμού με αυτόν τον ορισμό γίνεται πολύπλοκη. Η PGV είναι απλό να βρεθεί αλλά η χρονική θέση των γειτονικών αιχμών ή βυθισμάτων δεν είναι εύκολο να βρεθεί διότι υπάρχουν πολλά περιεχόμενα υψηλών

συχνοτήτων με τη μορφή αιχμών μέσα στη χρονοϊστορία ταχύτητας, τα οποία είναι αναγκαίο να αφαιρεθούν.

Η διαδικασία αυτή υλοποιείται αντιστοιχίζοντας τον πιθανό παλμό ταχύτητας με ένα συγκεκριμένο μοντέλο των Dickinson and Gavin (2011), το οποίο περιλαμβάνει πέντε παραμέτρους. Αυτές είναι η PGV, η περίοδος του παλμού T_p , ο αριθμός των κύκλων στον παλμό N_c , η θέση του παλμού T_{pk} και η φάση του φ , ενώ μαθηματικά εκφράζεται:

$$v_p(t; V_p, T_p, N_c, T_{pk}, \varphi) = V_p \exp \left[-\frac{\pi^2}{4} \left(\frac{t-T_{pk}}{N_c T_p} \right)^2 \right] \cos \left(2\pi - \frac{t-T_{pk}}{T_p} \varphi \right) \quad 4.6$$

όπου v_p είναι ο αποσπώμενος παλμός ταχύτητας, $V_p = PGV$ συνεπώς η αντίστοιχη περίοδος είναι η τιμή της T_{pk} . Από τον ορισμό της μεθόδου PPM, $N_c = 1$. Επίσης λαμβάνεται $\varphi = 0$ διότι διαπιστώνεται ότι τις περισσότερες φορές ο εξαγόμενος παλμός ταιριάζει αρκετά με τον πραγματικό. Όταν η τιμή της ακόλουθης συνάρτησης a ελαχιστοποιείται βρίσκεται ο αποσπώμενος παλμός και η περίοδος του:

$$a(T_p) = \sum_{i=1}^n [v(i) - v_p(i; T_p)]^2 \quad 4.7$$

στην οποία ο αριθμός n είναι ο αριθμός των σημείων δεδομένων της χρονοϊστορίας ταχύτητας $v(i)$. Ο αλγόριθμος αυτός ονομάζεται προσαρμοστικός ελαχίστων τετραγώνων.

Για την πιστοποίηση της αποτελεσματικότητας της PPM χρησιμοποιούνται ξανά τα αποτελέσματα των 91 παλμικών καταγραφών του Baker (2007), και υπολογίζεται η περίοδος του παλμού μετά την εξαγωγή του από τη χρονοϊστορία για καθεμία από αυτές με χρήση τόσο της PPM όσο και της S_v (η οποία ορίζει την περίοδο ως την τιμή που αντιστοιχεί στη μέγιστη ταχύτητα του φάσματος απόκρισης). Συγκρίνοντας τα αποτελέσματα, προκύπτει ότι οι τιμές της PPM συμφωνούν καλύτερα με την S_v από ότι οι αντίστοιχες του Baker που είναι λίγο μεγαλύτερες. Ωστόσο υπάρχουν κάποιες εξαιρέσεις όπου οι τιμές της PPM διαφέρουν σημαντικά από αυτές της μεθόδου S_v , ταυτόχρονα όμως είναι κοντά σε αυτές του Baker. Αν αναλογιστούμε το γεγονός ότι κάποιες φορές η S_v δίνει τιμές που αντιστοιχούν σε ένα τμήμα υψηλής συχνότητας, αυτό δικαιολογείται.

4.2.3 Προσδιορισμός της Ενέργειας του παλμού

Η σχετική αθροιστική ενέργεια μιας εδαφικής κίνησης τη χρονική στιγμή t είναι:

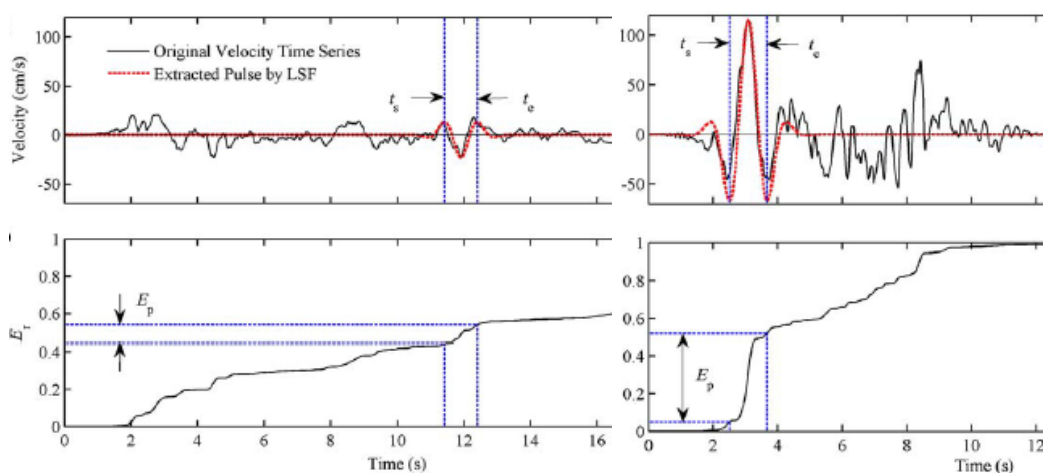
$$E(t) = \frac{\int_0^t v^2(\tau) d\tau}{\int_0^\infty v^2(\tau) d\tau} \quad 4.8$$

ενώ σχετική ενέργεια που περικλείεται μέσα σε ένα παλμό:

$$E_p = \int_{t_s}^{t_e} dE(t) = E(t_e) - E(t_s) \quad 4.9$$

όπου t_s ο χρόνος εκκίνησης του παλμού και t_e ο χρόνος λήξης του. Η 4.9 μπορεί να χρησιμεύσει ως ένας δείκτης πρόβλεψης για τον εντοπισμό ενός πραγματικού παλμού. Για να

αντιληφθούμε το πώς η σχετική ενέργεια του παλμού μαρτυρά τη σημαντικότητα του, δίνονται παρακάτω κάποια γραφήματα που φαίνεται η χρονοϊστορία ταχύτητας και E_p αριστερά μιας σαφώς μη παλμικής καταγραφής, και δεξιά μιας εμφανώς παλμικής.



4.4 Χρονοϊστορία ταχύτητας και ενέργειας μη παλμικής καταγραφής

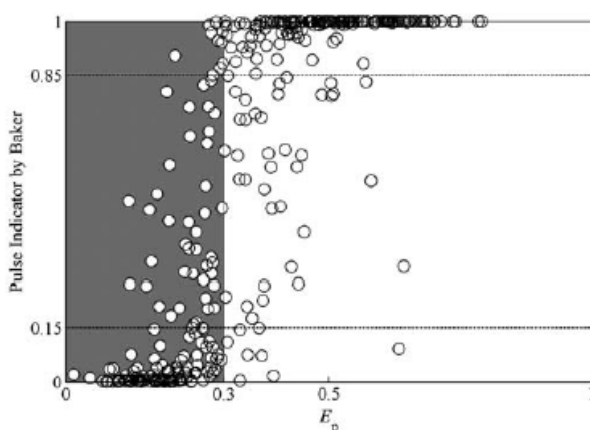
4.5 Χρονοϊστορία ταχύτητας και ενέργειας παλμικής καταγραφής

4.2.4 Αναγνώριση παλμικών καταγραφών

Η θέσπιση κριτηρίων κατηγοριοποίησης εδαφικών κινήσεων σε παλμικές και μη, σε αναλογία με τον Baker (δείκτης παλμού), γίνεται με τον δείκτη ενέργειας E_p ο οποίος για κάθε στιγμή παίρνει τιμές ανάμεσα στο 0 και το 1. Ορίζοντας ένα κατώφλι τιμής μπορεί μια κίνηση να χαρακτηριστεί παλμική από την τιμή αυτή και πάνω. Για να επιτευχθεί αυτό επιλέγονται και επιθεωρούνται οπτικά 3635 καταγραφές της βάσης δεδομένων NGA. Διαπιστώνεται ότι σε κάποιες καταγραφές με χαμηλές τιμές πλάτους δεν αρκούν οπτικά κριτήρια για να καταταγούν σε παλμικές ή όχι. Έτσι υιοθετείται το κριτήριο του Baker για τον αποκλεισμό καταγραφών με $PGV < 30$ cm/s οπότε και οι καταγραφές περιορίζονται στον αριθμό 357. Γι' αυτές υπολογίζεται ο δείκτης ενέργειας και ο δείκτης παλμού του Baker.

Τα αποτελέσματα που εξάγονται από το δείκτη ενέργειας προσδιορίζουν δύο διακριτές περιοχές που χωρίζονται από την τιμή 0.3. Συγκεκριμένα από το σύνολο των 357, οι 195 έχουν τιμή μεγαλύτερη του 0.3, εκ των οποίων οι 153 (78.5%) έχουν τιμές δείκτη παλμού μεγαλύτερο από 0.85 και είχαν καταταχθεί σε παλμικές με οπτικά κριτήρια. Υπενθυμίζεται ότι όταν ο δείκτης παλμού είναι 0.85 και άνω οι αντίστοιχη καταγραφή θεωρείται παλμική, ενώ από 0.15 και κάτω μη παλμική. Ακόμα, οι 42 υπόλοιπες καταγραφές από τις 195 (21.5%) αν εξεταστούν προσεκτικότερα, μπορούν να χαρακτηριστούν παλμικές οι 39. Συμπεραίνεται λοιπόν, ότι καθώς οι καταγραφές με $E_p > 0.3$ είναι το 98.5% των φορών παλμικές, αυτό θα είναι το κατώφλι κατηγοριοποίησής τους. Επιπρόσθετα, από τις 162 καταγραφές που εμφάνισαν τιμές $E_p \leq 0.3$, το 63% είχε χειροκίνητα θεωρηθεί με μη παλμικό περιεχόμενο, το 5.6% με αμφιλεγόμενο, ενώ το 31.4% παλμικές. Οι εδαφικές κινήσεις λοιπόν με $E_p > 0.3$ είναι παλμικές ενώ αυτές που είναι κάτω από αυτό το όριο θεωρούνται αμφιλεγόμενες.

Σε μια διαδικασία σύγκρισης με τα αποτελέσματα του Baker, διαπιστώνεται ότι 10 καταγραφές δεν εντοπίζεται ότι είναι παλμικές, σε αντίθεση τη μέθοδο του Baker. Ένας λόγος που παρατηρείται κάτι τέτοιο είναι η πιθανή παρουσία πολλαπλών δευτερευόντων παλμών που αντλούν ένα ικανό ποσοστό ενέργειας στο σύνολο τους αυξάνοντας τον παρανομαστή του δείκτη ενέργειας. Ακόμα, ο εξαγόμενος παλμός έχει δύο συμμετρικές ημιπεριόδους με ίδιο βάρος ενώ ο πραγματικός όχι και ίσως δεν γίνει καλή απεικόνισή του. Από την άλλη πλευρά, 7 παλμικές καταγραφές με τιμές $E_p > 0.3$, έχουν τιμή δείκτη παλμού μικρότερο από 0.15 και άρα εντοπίζονται μόνο από τη μεθοδολογία των Zhai et al. Παρατηρώντας τις καταγραφές αυτές είναι εύκολα αντιλαμβάνεται κανείς ότι περιέχουν πάνω από ένα σημαντικό παλμό ταχύτητας μέσα στο σύνολο της χρονοϊστορίας. Συνεπώς ο αλγόριθμος του Baker αποτυγχάνει να εντοπίσει παλμικές κινήσεις με πολλαπλούς παλμούς και επιπλέον αυτές που διαφέρουν σε θέση ή συχνότητα από την PGV. Γραφικά τα αποτελέσματα παρουσιάζονται παρακάτω, όπου γραμμοσκιασμένη είναι η περιοχή με αμφιλεγόμενες καταγραφές σύμφωνα με τους Zhai et al.



4.6 Δείκτης Ύπαρξης Παλμού κατά Zhai et al καθώς και κατά Baker

4.2.5 Παλμικές καταγραφές που πιθανόν προκλήθηκαν από εμπρόσθια κατευθυντικότητα

Ένα βασικό χαρακτηριστικό τους είναι ότι ο σημαντικός τους παλμός εντοπίζεται στην αρχή της χρονοϊστορίας, οπότε μια απλή προσέγγιση ύπαρξης του φαινομένου εμπρόσθιας κατευθυντικότητας είναι η εξέταση του αρχικού τμήματος. Η ποσοτικοποίηση συνεπώς της ‘αρχής’ της καταγραφής είναι το ζητούμενο. Αρχικά επιλέγεται να αγνοηθεί ένα τμήμα στην έναρξη και στο τέλος της καταγραφής προκειμένου να αποφευχθούν τμήματα με πολύ μικρές τιμές που παρουσιάστηκαν πριν και μετά τη σεισμική δόνηση. Αφαιρείται κατά συνέπεια το πρώτο 5% της συνολικής ενέργειας του σεισμού και το τελευταίο 5% ομοίως. Η σημαντική δηλαδή διάρκεια της ενέργειας είναι :

$$\Omega = t(E_{0.95}) - t(E_{0.05}) \quad 4.10$$

Οι Zhai et al υποστηρίζουν ότι αν η χρονική στιγμή έναρξης του παλμού προηγείται αυτής του μεσοδιαστήματος της ενέργειας Ω , τότε η καταγραφή έχει παλμό που εμφανίζεται νωρίς.

Παρόλο που η υπόθεση φαίνεται αυθαίρετη, συμφωνούν κατά 97% με τα αντίστοιχα αποτελέσματα του Baker, κάτι που την καθιστά αποδοτική.

Συμπερασματικά, η προσέγγιση μέσω ενέργειας είναι επιγραμματικά η ακόλουθη: Το ολοκλήρωμα του τετραγώνου της καταγεγραμμένης εδαφικής ταχύτητας θεωρείται ως η ενέργεια της εδαφικής κίνησης. Για την αποφυγή της επιρροής των περιεχομένων υψηλής συχνότητας, ανιχνεύεται και αφαιρείται ο πιθανός παλμός ταχύτητας μέσω ενός παλμικού μοντέλου. Ακολούθως, τα σημεία που ξεκινά και τελειώνει χρονικά ο παλμός καθώς και η περίοδος του προσδιορίζονται με τη μέθοδο μέγιστου σημείου (peak point method). Από τη βάση δεδομένων NGA που περιλαμβάνει πάνω από 3600 καταγραφές, επιλέγονται και χρησιμοποιούνται στη διαμόρφωση του τελικού κριτηρίου αυτές με μέγιστη εδαφική ταχύτητα πάνω από 30cm/s. Το συμπέρασμα που εξάγεται είναι ότι οι εδαφικές κινήσεις των οποίων οι κυρίαρχοι παλμοί ταχύτητας έχουν σχετικές τιμές ενέργειας πάνω από 0.3, μπορούν να κατηγοριοποιηθούν ως παλμικές με ικανοποιητική ακρίβεια. Επιπλέον, τα αποτελέσματα χρησιμοποιούνται για τον προσδιορισμό μιας σχέσης αναζήτησης καταγραφών που είναι παλμικές λόγω εμπρόσθιας κατευθυντικότητας.

4.3 Σημαντικοί παλμοί σύμφωνα με τους Lu & Panagiotou

Μια ακόμα προσπάθεια εντοπισμού παλμών σε εδαφικές κινήσεις κοντινού πεδίου πραγματοποιήθηκε πρόσφατα από τους Yuan Lu και Παναγιώτου (2014) στη δημοσίευση με τίτλο 'Χαρακτηρισμός και αναπαράσταση εδαφικών κινήσεων κοντινού πεδίου χρησιμοποιώντας υπολογιστική εξαγωγή παλμού με ανάλυση κυματομορφής'. Η κύρια διαφορά της από τις δημοσιεύσεις που αναφέρθηκαν ως το σημείο αυτό είναι η διερεύνηση της παρουσίας και των χαρακτηριστικών πολλαπλών παλμών, με αρκετά διαφορετική περίοδο ο καθένας (μεταξύ 0.5 και 12 sec) οι οποίοι εντοπίζονται σε υπάρχουσες καταγραφές κοντινού πεδίου.

4.3.1 Μέθοδος CPE

Στη δημοσίευση αυτή, δίνεται μια επαναληπτική μέθοδος για την απόσπαση των ενσωματωμένων στη χρονοϊστορία παλμών, η οποία αποσκοπεί στην αναπαράσταση του τμήματος με παλμικό χαρακτήρα ως σύνθεση του άθροισματος των παλμών αυτών. Η μέθοδος αναφέρεται ως αθροιστική εξαγωγή παλμών CPE (cumulative pulse extraction) και γίνεται μια εξαγωγή παλμού σε κάθε επανάληψή της. Για μια παλμική εδαφική κίνηση $S(t)$ η CPE καταλήγει στην ακόλουθη μορφή:

$$S(t) \approx S_N(t) = \sum_{i=1}^N P_i(t) \quad 4.11$$

όπου $S_N(t)$ είναι η αναπαράσταση του $S(t)$ χρησιμοποιώντας το άθροισμα N στον αριθμό παλμών $P_i(t)$ με $i=1, \dots, N$. Κάθε παλμός ανιχνεύεται με τη βοήθεια μιας μεθόδου εντοπισμού παλμών που επιλέγει ο χρήστης. Οι Yuan Lu και Παναγιώτου επιλέγουν να καθορίζεται ο παλμός μέσω της ανάλυσης κυματομορφής που πρότειναν οι Μαυροειδής και Παπαγεωργίου και την οποία έχουμε ήδη περιγράψει εκτενώς. Η διαδικασία αυτή χρησιμοποιείται για να εντοπίσει και να αφαιρέσει πολλαπλούς ισχυρούς παλμούς από την εγκάρσια στο ίχνος του ρήγματος οριζόντια συνιστώσα 40 παλμικών καταγραφών εντός 10km από την διάρρηξη του ρήγματος από 7 διαφορετικούς σεισμούς μεγέθους $M_w=6.3-7.9$ με $PGV>60\text{cm/s}$. Στο σημείο

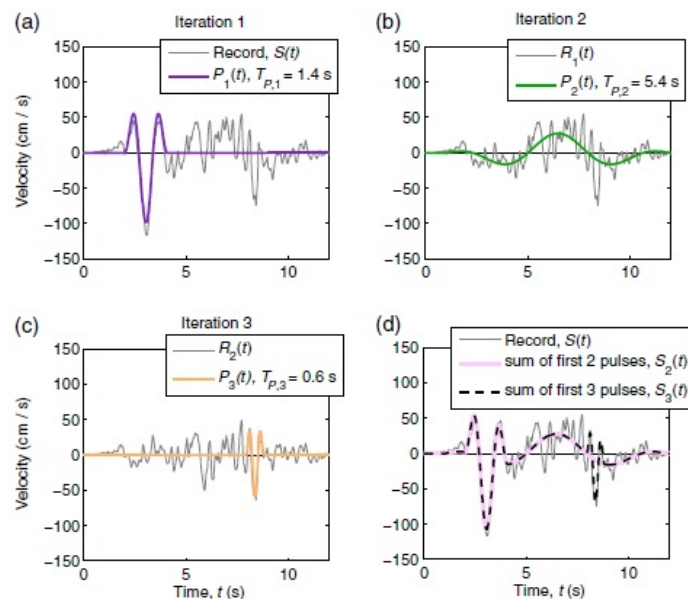
αυτό σημειώνεται ότι ο αριθμός αυτός των καταγραφών αντιπροσωπεύει το 40% περίπου του συνόλου των καταγραφών που υπάρχουν οι οποίες πληρούν τις παραπάνω προϋποθέσεις, ενώ δεν αντιπροσωπεύουν κινήσεις κοντινού πεδίου με $PGV < 60 \text{ cm/s}$. Προκειμένου να εμπεδωθεί η μέθοδος και να γίνει αντιληπτή η χρησιμότητά της, την εφαρμόζουμε σε μια από τις επιλεγθείσες καταγραφές του σεισμού $M_w=6.6$ του San Fernando στην California, 1971.

1^η επανάληψη: Εφαρμόζεται ανάλυση κυματομορφής, και ο παλμός $P_1(t)$ που εξάγεται έχει περίοδο $T_{p,1}=1.4 \text{ s}$. Μετά την αφαίρεση του από την καταγραφή, η εναπομένουσα εδαφική κίνηση είναι η $R_1(t)=S(t)-P_1(t)$

2^η επανάληψη: Από την εναπομένουσα $R_1(t)$ εντοπίζεται με τον ίδιο τρόπο ο επόμενος μεγάλος παλμός $P_2(t)$ που έχει κυρίαρχη περίοδο $T_{p,2}=5.4 \text{ s}$. Υπολογίζεται στη συνέχεια η εδαφική κίνηση που προκύπτει μετά την αφαίρεση και του δεύτερου παλμού $R_2(t)=R_1(t)-P_2(t)$

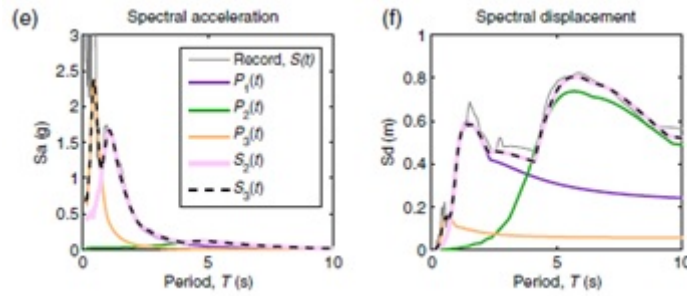
Νιοστή επανάληψη: Ο παλμός $P_N(t)$ ανιχνεύεται από την $R_{N-1}(t)=S(t)-[P_1(t)+\dots+P_{N-1}(t)]$. Για την συγκεκριμένη καταγραφή αυτός είναι ο $P_3(t)$.

Η εικόνα 4.7 παρουσιάζει γραφικά τα αποτελέσματα της μεθόδου CPE. Τα γραφήματα (a),(b),(c) δείχνουν τη σύγκριση της χρονοϊστορίας ταχύτητας $S(t)$ με καθέναν από τους 3 παλμούς διαδοχικά, ενώ το (d) τη σύγκριση της με το άθροισμα των δύο και τριών παλμών $S_2(t)$, $S_3(t)$ αντίστοιχα.



4.7 Βήματα μεθόδου CPE

Τα δύο τελευταία διαγράμματα (e) και (f) απεικονίζουν τα φάσματα απόκρισης επιτάχυνσης και μετακίνησης αντίστοιχα. Στα διαγράμματα αυτά το εκάστοτε φάσμα αρχικής καταγραφής $S(t)$ αντιπαραβάλλεται με το φάσμα του κάθε παλμού ξεχωριστά, αλλά και το άθροισμα των δύο και τριών παλμών επίσης



4.8 Φάσματα απόκρισης επιτάχυνσης και μετακίνησης

Είναι προφανές ότι ο πρώτος παλμός από μόνος του δεν είναι ικανός να περιγράψει αποτελεσματικά τον παλμικό χαρακτήρα της καταγραφής, καθώς στην ταχύτητα περιγράφει μόνο ένα τμήμα της ενώ μόλις συνδυαστεί με το δεύτερο δίνει μια σαφώς καλύτερη εικόνα. Μετά την εισαγωγή και του τρίτου στη χρονοϊστορία, αποτυπώνεται σχεδόν η δεδομένη καταγραφή. Ακόμα, ο δεύτερος παλμός περιγράφει μια καμπύλη μεγαλύτερου πλάτους από τον πρώτο παλμό στο φάσμα μετακινήσεων και ο τρίτος προσομοιώνει τη μια καμπύλη στο φάσμα επιτάχυνσης.

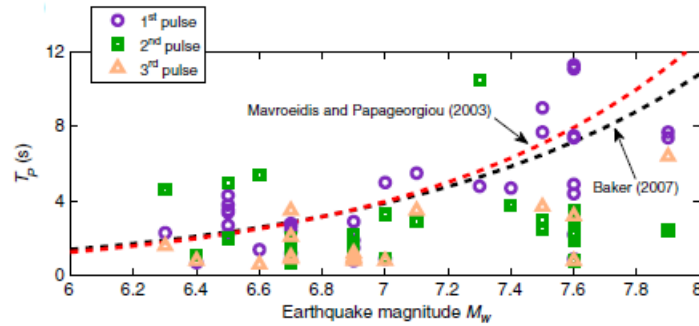
4.3.2 Μέθοδος CPEV-EN

Μια παραλλαγή της CPE είναι η εφαρμογή της με χρήση όχι των ίδιων των παλμών αλλά της ενέργειάς τους στη χρονοϊστορία ταχύτητας. Για καθεμιά από τις 40 καταγραφές ανιχνεύτηκαν τρεις παλμοί με περίοδο $T_{p,i}$, μέγιστη ταχύτητα παλμού $v_{max,i}$ και λόγο ενέργειας $E_{r,i}$ που ορίζεται ως το πηλίκο της ενέργειας του παλμού προς την συνολική ενέργεια της καταγραφής:

$$E_{r,i} = \frac{\int_{-\infty}^{\infty} P_i(t)^2 dt}{\int_{-\infty}^{\infty} S(t)^2 dt} \quad 4.12$$

Η τιμή του λόγου ενέργειας ενός παλμού μαρτυρά την σημαντικότητα του καθώς όσο η τιμή αυξάνεται τόσο μεγαλύτερη είναι η ενέργεια που περικλείει ο παλμός σε σχέση με τη συνολική. Επιλέχθηκε ως επαρκές το όριο του 7% και έτσι παλμοί με περίοδο $T_{p,i} \leq 12s$ και $E_{r,i} > 0.07$ θεωρήθηκαν σημαντικοί. Μετά την εφαρμογή της μεθόδου 35 καταγραφές παρουσίασαν πάνω από ένα σημαντικό παλμό και 18 από αυτές είχαν τρεις στο σύνολο σημαντικούς παλμούς. Επιπλέον, όλες οι καταγραφές με μέγεθος σεισμού $M_w \geq 6.9$ περιλαμβάνουν πάνω από ένα σημαντικό παλμό. Ταυτόχρονα, οι 36 καταγραφές έχουν τουλάχιστον ένα τέτοιο παλμό στο εύρος περιόδων $1 \leq T_p \leq 4sec$.

Παρακάτω δίνεται ένα γράφημα που απεικονίζει τη σχέση μεγέθους και περιόδου του παλμού των Μαυροειδή και Παπαγεωργίου και αυτή του Baker σε σύγκριση αυτά τα στοιχεία των παλμών προέκυψαν από την μέθοδο CPE_{EN}. Ο 1^{ος} παλμός είναι μοβ, ο 2^{ος} πράσινος και ο 3^{ος} κίτρινου χρώματος.



4.9 Συγκριτική παρουσίαση των σχέσεων μεγέθους σεισμού - περιόδου παλμού

Όπως διαπιστώνουμε οι υπάρχουσες σχέσεις είναι καλές στο να προσεγγίσουν τον πρώτο μόνο παλμό, ενώ οι υπόλοιποι διαφέρουν, καθώς είναι σημαντικά μεγαλύτερης ή μικρότερης περιόδου από τον πρώτο και από αυτήν που προβλέπουν οι γνωστές αυτές σχέσεις.

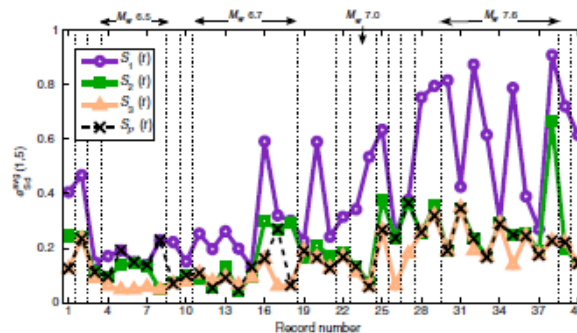
Από όλες τις καταγραφές ο μέσος λόγος ενέργειας του πρώτου παλμού υπολογίστηκε ίσο με $E_{r,1} = 59\%$ με μέγιστη τιμή 91% και ελάχιστη 22%. Για τις 35 καταγραφές που παρουσίασαν πάνω από ένα σημαντικό παλμό ο αντίστοιχος λόγος ήταν 56%, ενώ για τις υπόλοιπες 5, 83%. Ο μέσος όρος του λόγου ενέργειας του πρώτου προς το δεύτερο παλμό των 35 καταγραφών υπολογίστηκε 0.32.

4.3.3 Σύγκριση με την απόκριση μονοβάθμιου

Η εκτίμηση της ποιότητας αναπαράστασης των παλμών γίνεται μέσω σύγκρισής τους με το μονοβάθμιο φάσμα απόκρισης μετακίνησης για εύρος περιόδων μεταξύ 0.5 και 12sec. Το σφάλμα της γραμμικής φασματικής τιμής μετακίνησης του μονοβάθμιου ταλαντωτή περιόδου T και απόσβεσης 2% που υπόκειται στη δόνηση της αρχικής καταγραφής $S(t)$ και της αντίστοιχης του αθροίσματος των παλμών $S_N(t)$ είναι το παρακάτω:

$$e_{sd}(T) = \frac{|sd[S(t),T] - sd[S_N(t),T]|}{sd[S(t),T]} \quad 4.13$$

Στη συνέχεια ορίζεται το σφάλμα $e_{sd}^{avg}(T_1, T_2)$ ως η μέση τιμή των σφαλμάτων $e_{sd}(T)$ για περιόδους από T_1 έως T_2 με συγκεκριμένο βήμα. Υπολογίστηκε το σφάλμα αυτό της μεθόδου CPEV-EN για τη χρονοϊστορία του αθροίσματος του ενός $S_1(t)$, των δύο $S_2(t)$, των τριών $S_3(t)$ και των σημαντικών παλμών $S_p(t)$ για εύρος περιόδων 1-5sec και για τις 40 καταγραφές. Η τιμή του $e_{sd}^{avg}(1,5)$ είναι για τα παραπάνω 0.41, 0.20, 0.15 και 0.18 αντίστοιχα. Μόλις παρατηρηθούν σχηματικά τα αποτελέσματα αποδεικνύεται η βελτίωση που παρουσιάζεται στην αναπαράσταση, ειδικά μόλις ληφθεί υπόψη ο δεύτερος παλμός.



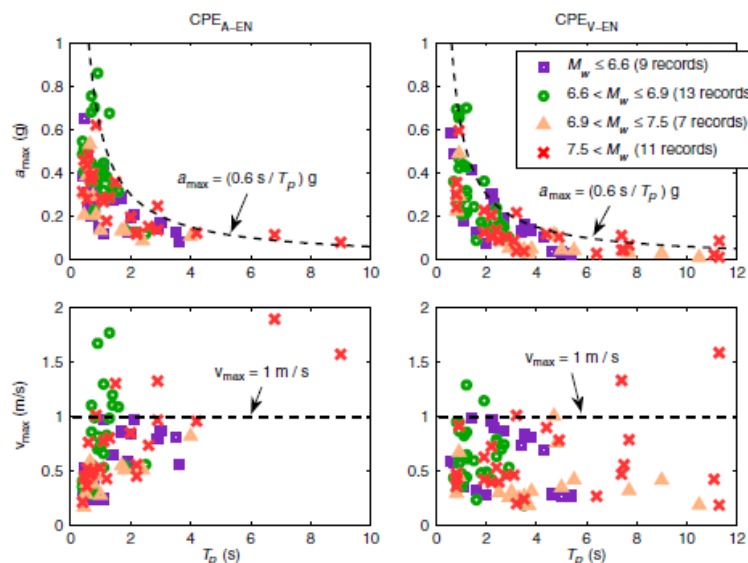
4.10 Μέσο σφάλμα χρονοϊστοριών σημαντικών παλμών 40 διαφορετικών καταγραφών

4.3.4 Είδος χρονοϊστορίας και συναρτήσεις βαρύτητας

Εκτός από τον αριθμό των παλμών, υπάρχουν κι άλλες παράμετροι που επηρεάζουν την αναπαράσταση των παλμών. Εξετάζεται λοιπόν, η επίδραση του είδους της χρονοϊστορίας στην οποία διεξάγεται η ανάλυση (ταχύτητας ή επιτάχυνσης) καθώς και οι 3 συναρτήσεις βαρύτητας που χρησιμοποιούνται στην ανάλυση κυματομορφής. Η μέθοδος CPE χρησιμοποιώντας ανάλυση κυματομορφής διεξάγεται με έξι παραλλαγές που προκύπτουν από τις παραπάνω παραμέτρους και ονομάζονται CPE_{V-EN} , CPE_{V-AM} , CPE_{V-AR} , CPE_{A-EN} , CPE_{A-AM} , CPE_{A-AR} . Μετά το πέρας όλων των αναλύσεων στο σύνολο των καταγραφών, τα γενικά συμπεράσματα που προκύπτουν είναι ότι για την ίδια συνάρτηση βαρύτητας, η ανάλυση κυματομορφής στην χρονοϊστορία ταχύτητας προσδιορίζει μεγαλύτερες περιόδους παλμών από ότι στην επιτάχυνση. Επίσης, για το ίδιο είδος χρονοϊστορίας η παράμετρος AM δίνει τις μικρότερες τιμές περιόδων παλμών ενώ η AR τις μεγαλύτερες. Οι μέθοδοι CPE_{V-EN} και CPE_{A-EN} δίνουν την καλύτερη προσέγγιση του φάσματος μετακίνησης του μονοβάθμιου για τιμές περιόδων $T=2-10s$ και $0.5-2s$ αντίστοιχα, ωστόσο η τελευταία δεν κατάφερε να εξάγει δυνατούς παλμούς που είχαν μεγάλη περίοδο σε καταγραφές που η χρονοϊστορία εμπεριείχε πολλούς παλμούς με μικρή περίοδο.

4.3.5 Σχέση μεταξύ T_p , του πλάτους παλμού και M_w

Όπως διαπιστώθηκε παραπάνω οι γνωστές σχέσεις μεταξύ περιόδου του παλμού και μεγέθους του σεισμού δεν καλύπτουν τον δεύτερο και τρίτο παλμό. Για κυρίαρχους παλμούς περιόδου 0.5 μέχρι 8 sec εφαρμόστηκαν οι μέθοδοι CPE_{V-EN} και CPE_{A-EN} . Η μέγιστη τιμή του πλάτους του παλμού παρουσιάζει μικρού βαθμού εξάρτηση του μέγεθος του σεισμού για τιμές T_p που επηρεάζουν το ευρύ φάσμα των κατασκευών. Είναι εύκολα κατανοητό από το ακόλουθο γράφημα ότι τα δύο κυρίαρχα χαρακτηριστικά του παλμού T_p και a_{max} μπορούν να καθορίσουν σε μεγάλο βαθμό την πιθανή απαίτηση που προκαλεί μια εδαφική κίνηση σε μια κατασκευή. Τέλος, τα αποτελέσματα υποδεικνύουν ότι το πλάτος των δυνατότερων παλμών (με $1.5 \leq T_p \leq 5$ sec) δεν εξαρτάται κατά κύριο λόγο από το μέγεθος του σεισμού.



4.11 Εύρος επιτάχυνσης a_{max} και ταχύτητας v_{max} συναρτήσει της T_p για παλμούς που προέκυψαν από τις μεθόδους CPE_{A-EN} και CPE_{V-EN}

5 Μεθοδολογία των Mimoglou et al

Μια νέα μέθοδος για την αναγνώριση σημαντικών παλμών που είναι ενσωματωμένοι σε εδαφικές κινήσεις κοντινού πεδίου προτείνεται από τους Mimoglou et al. Οι παλμοί αυτοί υπερτίθενται ώστε να παράγουν προσομοιωμένες καταγραφές που ταιριάζουν ικανοποιητικά με τα φάσματα απόκρισης στις περιοχές μεσαίων και μεγάλων περιόδων και να μπορούν να χρησιμοποιηθούν τόσο σε ελαστικές όσο και σε ανελαστικές αναλύσεις. Εισάγεται το φάσμα συνέλιξης και χρησιμοποιείται στον εντοπισμό των αντίστοιχων σημαντικών περιόδων. Οι παράμετροι κάθε κυματιδίου προκύπτουν από το φάσμα στόχο της εδαφικής κίνησης εφαρμόζοντας μια νέα σχέση που καθορίζεται μεταξύ του αθροίσματος της απόλυτης μετατόπισης ενός κυματιδίου και της μέγιστης τιμής του φασματικού του πλάτους. Η μέθοδος παρουσιάζεται σε βήματα και μπορεί εύκολα να εφαρμοστεί μέσω κώδικα σε υπολογιστή, και εφαρμόζεται σε 90 καταγραφές για να αποδείξει την αποδοτικότητά του. Εξετάζεται η ακρίβεια που επιτεύχθηκε χρησιμοποιώντας την τεχνητή εδαφική κίνηση σε μη γραμμική ανάλυση και αποδεικνύεται ικανοποιητική για το σχεδιασμό.

Η μέθοδος που εισάγουν οι Mimoglou et al συνδυάζει το αποδοτικό μοντέλο αναπαράστασης των παλμών των Μαυροειδή και Παπαγεωργίου (M&P) με μια καλώς ορισμένη διαδικασία προσδιορισμού των παραμέτρων των αντίστοιχων κυματομορφών. Μέχρι τώρα, το προαναφερθέν μοντέλο έχει χρησιμοποιηθεί είτε με μια διαδικασία από δοκιμές και σφάλματα είτε μέσω ανάλυσης κυματομορφής. Η προτεινόμενη διαδικασία βασίζεται σε καινούργιες έννοιες και επιτρέπει την εξαγωγή όλων των σημαντικών παλμών που βρίσκονται στις περιοχές μεσαίων και μεγάλων περιόδων, οι οποίες στη συνέχεια συνθέτονται ώστε να παραχθεί μια προσομοιωμένη (τεχνητή) εδαφική κίνηση.

Τα χαρακτηριστικά των κυματομορφών προσδιορίζονται μέσω της βέλτιστης τοποθέτησης στο φάσμα απόκρισης της ταχύτητας και αφορά μόνο στην αναγνώριση των σημαντικότερων παλμών οι οποίοι είναι ικανοί για την επαρκή προσομοίωση της αρχικής καταγραφής. Το πλεονέκτημα της νέας αυτής μεθόδου είναι ότι παρέχει ένα εργαλείο για την εξαγωγή των παλμών από την καταγραφή και ότι οδηγεί σε απλοποιημένες τεχνητές χρονοϊστορίες που μπορούν να χρησιμοποιηθούν αντί των πραγματικών καταγραφών στο σχεδιασμό κατασκευών μέσω ανάλυσης χρονοϊστορίας. Παρόλο που οι σημαντικοί παλμοί ορίζονται έτσι ώστε να ταιριάζουν με το ελαστικό φάσμα απόκρισης, οι παραγόμενες χρονοϊστορίες μπορούν να χρησιμοποιηθούν με αρκετή ακρίβεια και για μη γραμμική ανάλυση. Λαμβάνοντας υπόψη ότι η μη γραμμική ανάλυση χρονοϊστορίας που είναι πλέον δημοφιλής στο σχεδιασμό κτιρίων, δίνει αποτελέσματα ευαίσθητα στα χαρακτηριστικά των δονήσεων που αυτά υπόκεινται ως διέγερση βάσης, η βελτίωσή αυτών είναι σημαντική.

5.1 Προσδιορισμός T_p των σημαντικών παλμών

Έχουν καταστεί γνωστές διάφορες μέθοδοι προσδιορισμού της περιόδου του παλμού. Σύμφωνα με την μέθοδο που αναπτύσσεται στο σημείο αυτό, η περίοδος καθορίζεται από τη μέγιστη τιμή του φάσματος $S_{d,0} \times S_{v,0}$, όπου $S_{d,0}$ είναι το φάσμα απόκρισης της μετακίνησης και $S_{v,0}$ το φάσμα απόκρισης ταχύτητας για μηδενική απόσβεση. Ο ορισμός αυτός στηρίζεται στην παρατήρηση ότι από τη στιγμή που οι εγγενείς παλμοί σε μια εδαφική κίνηση επιδρούν στις χρονοϊστορίες ταχύτητας και επιτάχυνσης, αν και σε διαφορετικό βαθμό στη καθεμία, η

περίοδος των σημαντικών παλμών θα εντοπίζεται στη συνέλιξη του ολοκληρώματος αυτών των χρονοϊστοριών και θα αντιστοιχεί στις αιχμές του αντίστοιχου φάσματος Fourier. Σκεπτόμενοι ότι το μηδενικό φάσμα απόκρισης ταχύτητας και μετακίνησης είναι επαρκείς περιβάλλουσες του φάσματος Fourier της εδαφικής επιτάχυνσης και ταχύτητας αντίστοιχα και το γεγονός ότι το φάσμα Fourier του ολοκληρώματος της συνέλιξης είναι ίσο με αυτό που παράγει το φάσμα Fourier των σημάτων που έχουν συνελιχθεί, το φάσμα Fourier του ολοκληρώματος της συνέλιξης μπορεί να προσεγγιστεί από το παραγόμενο φάσμα απόκρισης για μηδενική απόσβεση, $S_{d,0} \times S_{v,0}$.

Όπως γίνεται αντιληπτό, ο κυρίαρχος παλμός θα αντιστοιχεί στη μέγιστη τιμή του φάσματος συνέλιξης και οι υπόλοιποι σημαντικοί θα αντιστοιχούν σε δευτερεύουσες αιχμές του με περιόδους που μπορεί να είναι μεγαλύτερες ή μικρότερες από την κυρίαρχη. Καθώς όμως δεν ξεχωρίζουν πάντα στο φάσμα, κάθε δευτερεύων παλμός μπορεί να εντοπιστεί επαναλαμβάνοντας τη διαδικασία για την αντίστοιχη εναπομένουσα εδαφική κίνηση. Ωστόσο όλοι οι παλμοί που θα προκύψουν στο τέλος των επαναλήψεων δεν είναι απαραίτητα σημαντικοί. Για το λόγο αυτό υιοθετούνται δύο κριτήρια. Το ένα είναι το 2^ο κριτήριο του Baker (2007), για το οποίο έχει γίνει αναφορά. Συνοπτικά, αυτό αναφέρει ότι για να εισέρχεται ένας παλμός νωρίς στη χρονοϊστορία, πρέπει να φθάνει το 10% του συνολικού του CSV πριν η αρχική καταγραφή φθάσει το 20% της δικής της CSV. Για τους παλμούς που ικανοποιούν αυτό το κριτήριο, περνούν και από ένα δεύτερο, το οποίο βασίζεται στην επίδραση κάθε πρόσθετου παλμού στο φάσμα απόκρισης ταχύτητας. Το αθροιστικό φάσμα απόκρισης ταχύτητας ορίζεται ως:

$$CS_v = \int_0^{T_{max}} PS_{v,\xi}(T) dT \quad 5.1$$

όπου $PS_{v,\xi}(T)$ είναι η φασματική ψευδοταχύτητα για την επιθυμητή απόσβεση ξ για περίοδο T και T_{max} είναι η μέγιστη περίοδος του φάσματος. Υπολογίζεται μετά το πέρας κάθε επανάληψης, η εναπομένουσα $CS_{v,sim,i}$ για το σύνολο των i παλμών που έχουν εξαχθεί μέχρι τότε. Ο παλμός με αριθμό i είναι σημαντικός μόνο εφόσον:

$$\frac{CS_{v,sim,i} - CS_{v,sim,(i-1)}}{CS_{v,sim,(i-1)}} \geq 5\% \quad 5.2$$

Ένα επιπρόσθετο κριτήριο εισάγεται προκειμένου να σταματήσει η διαδικασία και καθορίζεται από την επίτευξη αντιστοίχισης του στοχευόμενου φάσματος ταχύτητας, δηλαδή:

$$\frac{CS_{v,sim,i}}{CS_{v,orig}} \geq 90\% \quad 5.3$$

5.2 Παράμετροι της κυματομορφής

Κάθε σημαντικός παλμός που ανιχνεύεται με την προηγούμενη διαδικασία, αναπαριστάται σύμφωνα με το M&P μοντέλο και η εδαφική κίνηση προσομοιάζεται με την υπέρθεση αυτών. Οι τέσσερις παράμετροι του M&P μοντέλου είναι η περίοδος T_p του εκάστοτε παλμού, το πλάτος A της κωδωνοειδούς καμπύλης που συνδέεται με το πλάτος της χρονοϊστορίας ταχύτητας, η παράμετρος γ που μετρά τον αριθμό των ταλαντώσεων του κυματιδίου, η οποία ορίζεται ως $\gamma = t_{tot}/T_p$ όπου t_{tot} η διάρκεια του κυματιδίου και τέλος η διαφορά φάσης ν . Μόλις δοθούν τιμές στις παραμέτρους αυτές υπολογίζεται η χρονοϊστορία επιτάχυνσης και ταχύτητας του κάθε παλμού, όπως περιγράφηκε στο κεφάλαιο 3.

Προκειμένου να εκχωρηθούν τιμές στις παραμέτρους του κυματιδίου κάθε σημαντικού παλμού i , τίθεται $T_p = T_i$ ενώ οι υπόλοιπες προσδιορίζονται με τη χρήση της παραμέτρου CAD (Cumulative Absolute Displacement) που εισήχθη από τους Ταφλαμπάς et al (2009) σε αναλογία με την CAV (Cumulative Absolute Velocity) (EPRI 1991), που ορίζεται ως το ολοκλήρωμα της απόλυτης τιμής της εδαφικής ταχύτητας:

$$CAD = \int_0^{t_{tot}} |v_g| dt \quad 5.4$$

Αν υποθεθεί ότι μια αρμονική εδαφική κίνηση πλάτους $d_{g,max}$ εφαρμόζεται ως διέγερση βάσης σε ένα μονοβάθμιο ταλαντωτή μηδενικής απόσβεσης. Κατά το συντονισμό, το πλάτος της απόκρισης του ταλαντωτή αυξάνεται σχεδόν γραμμικά με τον αριθμό των κύκλων ταλάντωσης και για μια διέγερση γ κύκλων η μέγιστη απόκριση είναι (Clough and Penzien 1975):

$$S_{d,0}(T_{res}) = \pi \gamma d_{g,max} \quad 5.5$$

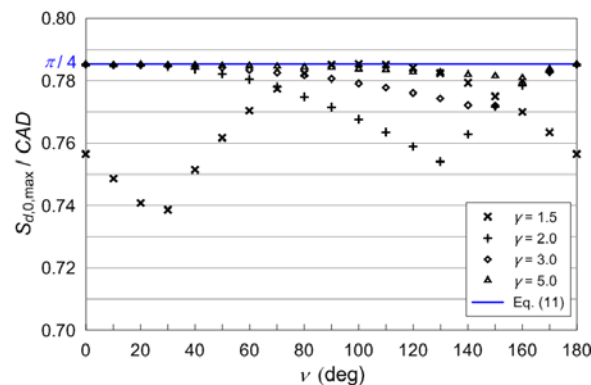
ενώ η τιμή της CAD στο τέλος του γ κύκλου της αρμονικής διέγερσης είναι:

$$CAD = 4 \gamma d_{g,max} \quad 5.6$$

Προκύπτει συνεπώς η ακόλουθη σχέση που δείχνει ότι για μια αρμονική εδαφική κίνηση κάποιου αριθμού κύκλων που εφαρμόζεται ως διέγερση βάσης σε ένα μονοβάθμιο ταλαντωτή χωρίς απόσβεση, υπάρχει μια σταθερή σχέση μεταξύ της τιμής της φασματικής μετατόπισης μηδενικής απόσβεσης κατά το συντονισμό και της CAD, η οποία είναι:

$$\frac{S_{d,0}(T_{res})}{CAD} = \frac{\pi}{4} \quad 5.7$$

Αν στη θέση της αρμονικής διέγερσης χρησιμοποιηθεί η M&P κυματομορφή, η παραπάνω εξίσωση συνεχίζει να ισχύει προσεγγιστικά, με ικανοποιητική ακρίβεια παρά το γεγονός ότι η κωδωνοειδούς μορφής περιβάλλουσα έχει εφαρμοστεί στο πλάτος της διέγερσης. Αυτό απεικονίζεται στην παρακάτω εικόνα όπου ο λόγος της μέγιστης φασματικής μετατόπισης για μηδενική απόσβεση προς την παράμετρο CAD παριστάνεται γραφικά συναρτήσει του δείκτη φάσης ν , για $\gamma = 1, 1.5, 2, 3, 5$. Τα αποτελέσματα είναι ανεξάρτητα της περιόδου T_p και του πλάτους A . Είναι προφανές ότι $S_{d,0,max}/CAD \approx \pi/4$ ειδικά για παλμούς μακράς διάρκειας (μεγάλες τιμές γ), με διασπορά το πολύ 6%.



5.1 Λόγος $S_{d,0,max}/CAD$ συναρτήσει διαφορετικών γωνιών και δεικτών γ

Για τη γενικότερη περίπτωση της μη μηδενικής απόσβεσης, η μετακίνηση συντονισμού ενός μονοβάθμιου ταλαντωτή απόσβεσης ξ για μια αρμονική διέγερση είναι:

$$S_{d,\xi}(T_{res}) = \frac{1-e^{-2\pi\gamma\xi}}{2\xi} d_{g,max} \quad 5.8$$

και συνεπώς από την 5.6:

$$\frac{S_{d,\xi}(T_{res})}{CAD} = \frac{1-e^{-2\pi\gamma\xi}}{8\gamma\xi} \quad 5.9$$

Αν η διέγερση είναι μια M&P κυματομορφή, υπάρχει ένα σφάλμα για μεγάλες τιμές της παραμέτρου γ . Μέσω μιας παραμετρικής έρευνας βρέθηκε ότι ο συντελεστής διόρθωσης ισούται με $1+(\gamma-1)\xi$. Ως εκ τούτου, η σχέση της μέγιστης φασματικής μετατόπισης και της CAD δίνεται ως εξής:

$$\frac{S_{d,\xi,max}}{CAD} = \frac{1-e^{-2\pi\gamma\xi}}{8\gamma\xi} [1 + (\gamma - 1) \xi] \quad 5.10$$

Μετά από σύγκριση της παραπάνω εξίσωσης με τις πραγματικές τιμές του λόγου $S_{d,0,max}/CAD$ για διάφορες τιμές ν και γ , παρατηρήθηκε ότι η ακρίβεια που αποκτάται είναι αρκετά καλή σε όλες τις περιπτώσεις.

Με τη βοήθεια της γνωστής σχέσης $PS_v = (2\pi/T) S_d$ και των εξισώσεων 5.7 και 5.10 προκύπτει ότι:

$$\frac{PS_{v,\xi,max}}{CAD} = \begin{cases} \frac{\pi^2}{2 T_p} & \text{για } \xi = 0 \\ \frac{\pi (1-e^{-2\pi\gamma\xi})[1+(\gamma-1)\xi]}{4\gamma\xi T_p} & \text{για } \xi \neq 0 \end{cases} \quad 5.11$$

Για κυματίδια M&P η τιμή της παραμέτρου CAD συνδέεται άμεσα με το πλάτος και την διάρκεια γ , καθώς ισχύει η σχέση:

$$CAD = \gamma A T_p / \pi \quad 5.12$$

Συνδυάζοντας τις (11) και (12) λαμβάνουμε την παρακάτω σχέση για το πλάτος του κάθε παλμού i που αντιστοιχεί στην περίοδο T_i :

$$A_i = \begin{cases} \frac{2PS_{v,0}(T_i')}{\pi \gamma_i} & \text{για } \xi = 0 \\ \frac{4\xi PS_{v,\xi}(T_i')}{(1-e^{-2\pi\gamma_i\xi})[1+(\gamma_i-1)\xi]} & \text{για } \xi \neq 0 \end{cases} \quad 5.13$$

όπου $PS_{v,\xi}(T_i')$ είναι η αιχμή του φάσματος ψευδοταχύτητας που βρίσκεται κοντά στη περίοδο T_i . Αν η ψευδοταχύτητα δεν παρουσιάζει κάποια αιχμή γύρω στην περίοδο T_i , τότε $T_i' = T_i$.

5.3 Η Μεθοδολογία σε Βήματα

- 1) Για μια δεδομένη εδαφική κίνηση παράγεται το φάσμα συνέλιξης πολλαπλασιάζοντας το φάσμα ταχύτητας και μετατόπισης για μηδενική απόσβεση.

- 2) Εντοπίζεται η περίοδος που αντιστοιχεί στη μέγιστη τιμή του φάσματος συνέλιξης και η τιμή αυτή τίθεται ίση με T_1 .
- 3) Υπολογίζεται το φάσμα απόκρισης της ψευδοταχύτητας για την επιθυμητή τιμή απόσβεσης ξ (συνήθως $\xi=5\%$) και προσδιορίζεται η περίοδος T_1' που βρίσκεται κοντά στην T_1 και αντιστοιχεί στην τοπική αιχμή του φάσματος με τιμή $PS_{v,\xi}(T_1')$. Αν δεν υπάρχει αιχμή κοντά στην τότε T_1 , τότε $T_1'=T_1$. Στο βήμα αυτό επιλέγεται το φάσμα ταχύτητας επειδή οι φασματικές αιχμές είναι εντονότερες, ειδικά για μικρές περιόδους.

- 4) Τίθεται μια μέγιστη τιμή γ_{max} για τη διάρκεια του M&P κυματιδίου. Καθώς η διάρκεια του κυματιδίου δεν είναι γνωστή εκ των προτέρων, χρειάζεται μια σάρωση όλων των δυνατών τιμών μεταξύ 1 και γ_{max} . Για παλμούς κατευθυντικότητας συνήθως η τιμή $\gamma_{max}=5$ αρκεί, υπάρχουν ωστόσο κάποιες εξαιρέσεις όπου φθάνει το 10 ή ακόμα το ξεπερνά (το όριο $\gamma_{max}=10$ είναι πρακτικά αρκετό). Η σάρωση των τιμών της γ γίνεται με βήμα 0.1 δηλαδή $\Delta\gamma=0.1$.

Για κάθε τιμή γ_j στο εύρος $1 \leq \gamma_j \leq \gamma_{max}$ με $\Delta\gamma=0.1$ και για τη τιμή $PS_{v,\xi}(T_1')$ που προέκυψε στο βήμα 3, υπολογίζεται η αντίστοιχη τιμή του πλάτους A_j με χρήση της εξίσωσης (13).

- 5) Για κάθε ζεύγος (A_j, γ_j) του βήματος 4 και για τιμές της φάσης ν να κυμαίνονται από 0° έως 360° με βήμα $\Delta\nu=5^\circ$ παράγεται η αντίστοιχη M&P κυματομορφή με χρήση των εξισώσεων 3.8 $a_p(t)$, $v_p(t)$ για $T_p = T_1'$ και αφήνοντας το t_0 ως μεταβλητή. Απορρίπτονται όλα τα κυματίδια που η μέγιστη τιμή επιτάχυνσης, ταχύτητας ή μετατόπισης είναι μεγαλύτερη από αυτή της αντίστοιχης εδαφικής κίνησης (pga, pgv, pgd).

- 6) Για κάθε αποδεκτό κυματίδιο που παρήχθη στο βήμα 5 και για όλες τις τιμές του $t_0 \in [\gamma_j T_1' / 2, t_{max} - \gamma_j T_1' / 2]$ όπου t_{max} ο χρόνος που τελειώνει η καταγραφή, εκτελείται μια συσχέτιση μεταξύ της χρονοϊστορίας ταχύτητας της κυματομορφής $v_p(t)$ και της αντίστοιχης εδαφικής $v_g(t)$. Επιλέγεται το κυματίδιο με τη μεγαλύτερη συσχέτιση και οι τιμές A_1, γ_1, ν_1 και t_{01} προσδιορίζονται από τις παραμέτρους αυτού. Υπολογίζεται ο χρόνος εκκίνησης του παλμού ως $t_{p,1} = t_{0,1} - \gamma_1 T_1' / 2$. Σημειώνεται πως αν οι συντελεστές συσχέτισης των κυματιδίων είναι σχετικά χαμηλοί, το πιθανότερο είναι να μην πρόκειται για παλμική καταγραφή.

- 7) Υπολογίζεται η συνάρτηση του αθροίσματος του τετραγώνου της ταχύτητας $CSV_{orig}(t)$ για την αρχική καταγραφή που δίνεται από την εξίσωση 4.4 και προσδιορίζεται η χρονική στιγμή $t_{20\%,orig}$ κατά την οποία η αρχική καταγραφή

αποκτά το 20% της συνολικής αρχικής καταγραφής. Επιπλέον, υπολογίζεται το αθροιστικό φάσμα απόκρισης ταχύτητας της δοσμένης καταγραφής, $CS_{v,orig}$ από την εξίσωση 5.1 για την επιθυμητή T_{max} , δηλαδή μια μεγάλη τιμή π.χ. $T_{max} = 20s$.

- 8) Ελέγχεται αν το κυματίδιο που επιλέχθηκε στο βήμα 6 αντιστοιχεί σε ένα παλμό που καθυστερεί να εισέλθει στη χρονοϊστορία, ώστε να απορριφθεί στη περίπτωση αυτή. Για το σκοπό αυτό υπολογίζεται η $CSV_{pulse1}(t)$ και από αυτήν προσδιορίζεται η χρονική στιγμή $t_{10\%,pulse1}$ κατά την οποία ο παλμός αποκτά το 10% της συνολικής του CSV. Αν $t_{10\%,pulse1} > t_{20\%,orig}$ απορρίπτεται ο παλμός και μεταβαίνουμε στο βήμα 10. Αλλιώς, συνεχίζουμε με το βήμα 9.
- 9) Υπολογίζεται η $CS_{v,sim}$ από την (1) δηλαδή το αθροιστικό φάσμα απόκρισης ταχύτητας του κυματιδίου που έχει επιλεγθεί. Αν $CS_{v,sim} / CS_{v,orig} > 90\%$ δεν απαιτούνται περισσότεροι παλμοί και η όλη διαδικασία σταματά, αν όχι, συνεχίζουμε με το βήμα 10.

Τα ακόλουθα βήματα επαναλαμβάνονται για όλους τους υπόλοιπους σημαντικούς παλμούς, μέχρι να ικανοποιηθεί το κριτήριο του βήματος 14.

- 10) Υπολογίζεται η απομένουσα εδαφική κίνηση μέσω αφαίρεσης του κυματιδίου που καθορίστηκε στο βήμα 6. Η χρονοϊστορία που απομένει θα αναφέρεται ως 'εδαφική κίνηση' στα επόμενα βήματα.
- 11) Επαναλαμβάνονται τα βήματα από 1 μέχρι 6 για τη νέα 'εδαφική κίνηση' για να προσδιοριστεί ο επόμενος σημαντικός παλμός αντικαθιστώντας το '1' με 'i' καθώς πρόκειται όχι για τον πρώτο αλλά τον $i \geq 2$ παλμό.
- 12) Ελέγχεται αν το νέο κυματίδιο που προέκυψε από το βήμα 6 αργεί να εισέλθει στην χρονοϊστορία:
 - a) Αν ο παλμός i ξεκινά πριν το τέλος του πρώτου παλμού, δηλαδή αν $t_{p,i} = t_{0,i} - \gamma_i T_i' / 2 < t_{0,1} + \gamma_1 T_1' / 2$ τότε γίνεται αποδεκτός ανεξάρτητα από το αν πληροί το (2^ο) κριτήριο του Baker και μεταβαίνουμε στο βήμα 13.
 - b) Αν ο παλμός ξεκινά μετά το τέλος του πρώτου, υπολογίζεται το $CSV_{pulse,i}(t)$ για το i κυματίδιο και προσδιορίζεται η χρονική στιγμή $t_{10\%,pulse,i}$. Αν $t_{10\%,pulse,i} > t_{20\%,orig}$, όπου το $t_{20\%,orig}$ είναι γνωστό από το βήμα 8, ο παλμός απορρίπτεται και η διαδικασία επαναλαμβάνεται από το βήμα 10 και μετά χωρίς να αλλάξει ο αριθμός του παλμού i . Σε αντίθετη περίπτωση, ο παλμός γίνεται δεκτός και συνεχίζουμε με το βήμα 13.

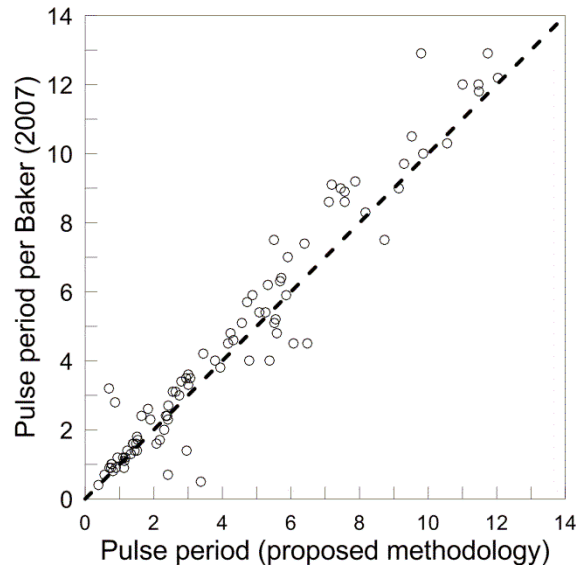
- 13) Υπερτίθεται ο παλμός i με όλους τους παλμούς από 1 μέχρι $i-1$ που έχουν γίνει δεκτοί, ώστε να προσδιοριστεί η χρονοϊστορία των κυματομορφών για την προσομοίωση της εδαφικής κίνησης.
- 14) Υπολογίζεται η $CS_{v, sim, i}$ από την 5.1 της τεχνητής εδαφικής κίνησης που προσδιορίστηκε στο προηγούμενο βήμα και στη συνέχεια πραγματοποιούνται οι παρακάτω έλεγχοι:
- Υπολογίζεται η διαφορά $\Delta CS_v = CS_{v, sim, i} - CS_{v, sim, (i-1)}$ και αν λόγος $\Delta CS_v / CS_{v, sim, (i-1)} < 5\%$ τότε ο παλμός i δεν θεωρείται σημαντικός και απορρίπτεται, οπότε επιστέφουμε στο βήμα 10 προκειμένου να προσδιοριστεί ο επόμενος. Αν ο παραπάνω λόγος ξεπερνά το 5% τότε συνεχίζουμε με το 14 (β).
 - Αν ο δείκτης $CS_{v, sim, i} / CS_{v, orig} > 90\%$ δεν υπάρχουν επιπλέον σημαντικοί παλμοί και η διαδικασία τερματίζεται. Διαφορετικά, μεταβαίνουμε στο βήμα 10 για τον προσδιορισμό του επόμενου παλμού.

Μετά το πέρας της διαδικασίας οι παλμοί μετονομάζονται σε φθίνουσα σειρά ανάλογα με την περίοδο που τους αντιστοιχεί $T_1 > T_2 > \dots > T_k$. Η όλη μεθοδολογία μπορεί να προγραμματιστεί εύκολα και να εφαρμοστεί αυτοματοποιημένα, το οποίο και έγινε μέσω κώδικα.

5.4 Εφαρμογή σε παλμικές καταγραφές της βάσης NGA

Η μέθοδος που περιγράφηκε παραπάνω, εφαρμόστηκε σε 90 καταγραφές κοντινού πεδίου από την PEER NGA βάση δεδομένων, που κατατάχθηκαν από το Baker (2007) στις παλμικές καταγραφές. Η ανάλυση πραγματοποιήθηκε για την εγκάρσια στο ίχνος του ρήγματος συνιστώσα κάθε εδαφικής κίνησης, που δόθηκε από την κατάλληλη περιστροφή των διαθέσιμων οριζοντίων συνιστωσών της εδαφικής κίνησης όπου ο προσανατολισμός του οργάνου μέτρησης δεν συμφωνούσε με αυτόν του ρήγματος. Τα αποτελέσματα δείχνουν ότι στις περισσότερες περιπτώσεις δύο ή τρεις παλμοί είναι αρκετοί για να αναπαραστήσουν επαρκώς την εδαφική κίνηση. Ωστόσο, σε κάποιες απαιτούνται τέσσερις ενώ σε άλλες ο πρώτος είναι αρκετός. Επίσης, τις περισσότερες φορές ο παλμός με τη μεγαλύτερη περίοδο είναι πιο κοντά με την τιμή της περιόδου που προκύπτει από τον Baker, σε κάποιους όμως σεισμούς αυτός είναι ο δεύτερος ή ακόμα και ο τρίτος παλμός. Είναι πάντως γεγονός, όπως διακρίνεται και στο ακόλουθο σχήμα, ότι μία από τις περιόδους των παλμών της μεθοδολογίας αυτής, είναι αρκετά κοντά στην περίοδο του παλμού του Baker (2007).

Η σύγκριση της καταγεγραμμένης και της τεχνητής χρονοϊστορίας ταχύτητας καθώς και των αντίστοιχων φασμάτων απόκρισης ταχύτητας για απόσβεση 5% παρουσιάζει στο σύνολο των αποτελεσμάτων εντυπωσιακή ακρίβεια.



5.2 Σύγκριση περιόδου T_p , Baker και Mimoglou et al

5.5 Μη γραμμική ανάλυση

Η ακρίβεια της γραμμικής ανάλυσης με χρήση της τεχνητής χρονοϊστορίας για περιοχές μεσαίων και μεγάλων περιόδων που προκύπτει από τη μεθοδολογία αυτή, αποδεικνύεται από την ικανοποιητική αναπαράσταση που γίνεται στο αντίστοιχο φάσμα απόκρισης. Για τη μη γραμμική ανάλυση όμως δεν είναι προφανές ότι μπορεί να αντικατασταθεί η αρχική καταγραφή με την τεχνητή στην εκτίμηση της ανελαστικής απόκρισης.

Προκειμένου να ερευνηθεί αν ισχύει κάτι τέτοιο, συγκρίθηκαν τα ανελαστικά φάσματα που προκύπτουν από τις δύο διαφορετικές χρονοϊστορίες για 45 (από τις 90) καταγραφές. Συγκεκριμένα, υπολογίστηκε το ανελαστικό φάσμα απόκρισης μετατόπισης για την αρχική $S_{d,orig}$ και την τεχνητή χρονοϊστορία $S_{d,sim}$ καθώς και για μονοβάθμιους ταλαντωτές με ελαστική-απολύτως πλαστική συμπεριφορά. Σημειώνεται ότι η ανελαστική φασματική μετατόπιση S_d δίνει την απαιτούμενη πλαστιμότητα μ , καθώς $\mu = S_d / d_y$ όπου d_y είναι η μετακίνηση διαρροής. Ο συντελεστής μείωσης $R_\mu = S_{a,el} / a_y$, όπου $S_{a,el}$ η τιμή της επιτάχυνσης που θα αναπτυσσόταν σε ένα ισοδύναμο ελαστικό σύστημα και η επιτάχυνση διαρροής, έλαβε για χάρη των συγκρίσεων ενδεικτικά τιμές $R_\mu=3$, $R_\mu=6$. Για σεισμούς μακρινού πεδίου και για ταλαντωτές που έχουν περίοδο μεσαία ή μεγάλη, η αρχή ίσων μετακινήσεων σύμφωνα με την οποία $R_\mu=\mu$ ισχύει με ικανοποιητική ακρίβεια. Από την άλλη πλευρά, για εδαφικές κινήσεις κοντινού πεδίου η αρχή αυτή έχει ισχύ μόνο για μόνο για μονοβάθμια συστήματα μεγάλων μακρών περιόδων, μεγαλύτερων από την περίοδο του παλμού κατευθυντικότητας, ενώ για μικρότερη περίοδο η απαιτούμενη πλαστιμότητα μ μπορεί να είναι αισθητά μεγαλύτερη από R_μ . Τα αποτελέσματα αυτής της αναζήτησης γίνονται αντιληπτά από το πηλίκο $S_{d,orig} / S_{d,sim}$ συναρτήσει του λόγου T/T_1 όπου T_1 η μεγαλύτερη περίοδος από αυτές των τεχνητών παλμών που προσομοιάζουν την αρχική καταγραφή. Η μέση συμπεριφορά του συνόλου των καταγραφών δείχνει ότι για κατασκευές με $T/T_1 > 0.3$ με 0.4 η αποκτούμενη ακρίβεια είναι αρκετά ικανοποιητική, ενώ για $T/T_1 < 0.3$ η μέθοδος υπερεκτιμά σε σημαντικό βαθμό την μέγιστη μετατόπιση ειδικά για μικρότερες τιμές του συντελεστή R_μ , είναι πάντως ένα αποτέλεσμα υπέρ της ασφαλείας.

5.6 Κατάταξη εδαφικών κινήσεων κατά Kardoutsou et al (2014)

Το κριτήριο χαρακτηρισμού καταγραφών σε παλμικές ή μη σχετίζεται με την τιμή της εισαχθείσας από το Mimoglou (2014) παραμέτρου CAD (Cumulative Absolute Displacement) που ορίζεται ως το ολοκλήρωμα της απόλυτης εδαφικής ταχύτητας, συγκρινόμενη με την φασματική μετακίνηση μηδενικής απόσβεσης $S_{d,0}(T_p)$ που συνδέεται με την χαρακτηριστική περίοδο T_p του εγγενούς παλμού.

Το προτεινόμενο κριτήριο βασίζεται στην εξίσωση 5.7 που υποδηλώνει ότι για εδαφικές κινήσεις που χαρακτηρίζονται από παλμούς ταχύτητας, το φάσμα απόκρισης μετατόπισης για μηδενική απόσβεση, το οποίο και προσεγγίζει το φάσμα Fourier της ταχύτητας, θα παρουσιάζει μεγάλη επαύξηση γύρω από την περίοδο του παλμού T_p και ο λόγος $S_{d,0}(T_p) / CAD$ θα πρέπει να είναι κοντά στην τιμή $\pi/4$. Αντίθετα, για μη παλμικές εδαφικές κινήσεις το φάσμα Fourier της ταχύτητας είναι πιο επίπεδο και ως αποτέλεσμα ο λόγος αυτός είναι αρκετά μικρότερος από $\pi/4$. Στον υπολογισμό του δείκτη αυτού, δεν ενδείκνυται η παράμετρος CAD να υπολογίζεται για όλη τη χρονοϊστορία της εδαφικής κίνησης αλλά για ένα μικρότερο διάστημα $[t_{min}, t_{max}]$, όπου t_{min} η στιγμή της πρώτης υπέρβασης του 40% της μέγιστης εδαφικής ταχύτητας και t_{max} η χρονική στιγμή της τελευταίας υπέρβασης της τιμής 0.4 PGV. Έτσι:

$$CAD = \int_{t_{min}}^{t_{max}} |v_g| dt \quad 5.14$$

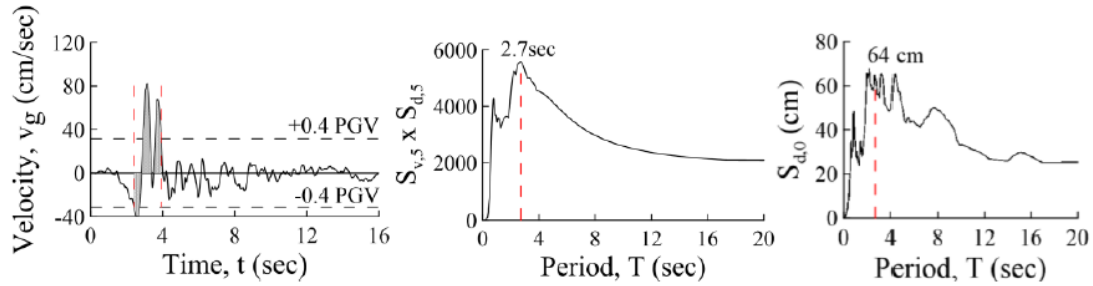
Είναι προφανές από τα παραπάνω ο δείκτης $S_{d,0}(T_p) / CAD$ διαμορφώνει ένα κριτήριο με το οποίο μπορούν να καταταγούν οι καταγραφές σε παλμικές και μη. Τίθεται ωστόσο το θέμα του ορισμού μιας τιμής που θα αποτελεί το κατώφλι αυτής της κατηγοριοποίησης. Η εξίσωση 5.2 δείχνει ότι η τιμή $\pi/4$ αντιπροσωπεύει παλμική συμπεριφορά, καθιστώντας το ζητούμενο κατώφλι ως μια τιμή χαμηλότερη από αυτήν. Λαμβάνοντας υπόψη τη σύγκριση των αποτελεσμάτων της μεθόδου αυτής και των μεθόδων του Baker (2007) και των Zhai et al (2013) που έχουν αναλυθεί νωρίτερα στην εργασία, προτείνεται να υιοθετηθεί μια τιμή κοντά στο $\pi/5=0.628$ ως το κατώφλι αυτό. Βέβαια, στην πραγματικότητα πρόκειται για αναζήτηση κάποιων διαστημάτων μέσα στα οποία μια καταγραφή θα είναι σαφώς παλμική ή μη παλμική, ενώ για κάποιο διάστημα τιμών θα είναι αμφιλεγόμενη. Συγκεκριμένα, προτείνεται το παρακάτω κριτήριο:

$$\frac{S_{d,0}(T_p)}{CAD} = \begin{cases} > 0.65, & \text{παλμική} \\ (0.55, 0.65), & \text{αμφιλεγόμενη} \\ < 0.55, & \text{μη παλμική} \end{cases} \quad 5.15$$

όπου η περίοδος T_p του παλμού προκύπτει όπως περιγράφεται παραπάνω από τον Mimoglou, ωστόσο για φάσμα συνέλιξης που προκύπτει από φάσματα ταχύτητας και μετατόπισης απόσβεσης 5%.

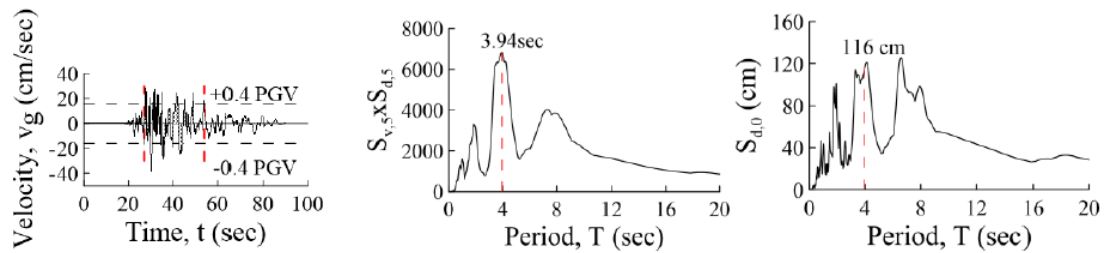
Η μέθοδος αυτή εφαρμόζεται ως παράδειγμα στην καταγραφή Cape Medocino (Petrolia) 1992, που είναι γνωστή παλμική όπως άλλωστε διαπιστώνεται και στο δεξί γράφημα του σχήματος 5.3. Στην περίπτωση αυτή, όπως φαίνεται στην ακόλουθη εικόνα, εντοπίζεται ότι $t_{min}=2.4$ s, $t_{max}=3.9$ s και υπολογίζεται $CAD=75.04$ cm. Από το φάσμα συνέλιξης προκύπτει $T_p=2.7$ s, και η αντίστοιχη φασματική μετακίνηση για μηδενική απόσβεση είναι $S_{d,0}(T_p) =$

64 cm, οπότε $S_{d,0}(T_p)/CAD = 0.85$ αρκετά μεγαλύτερο του 0.65, συνεπώς πρόκειται για μια παλμική σύμφωνα με τη μέθοδο καταγραφή.



5.3 Χρονοϊστορία ταχύτητας και φάσματα συνέλιξης και μετατόπισης της παλμικής καταγραφής Cape Medocino (Petrolia) 1992

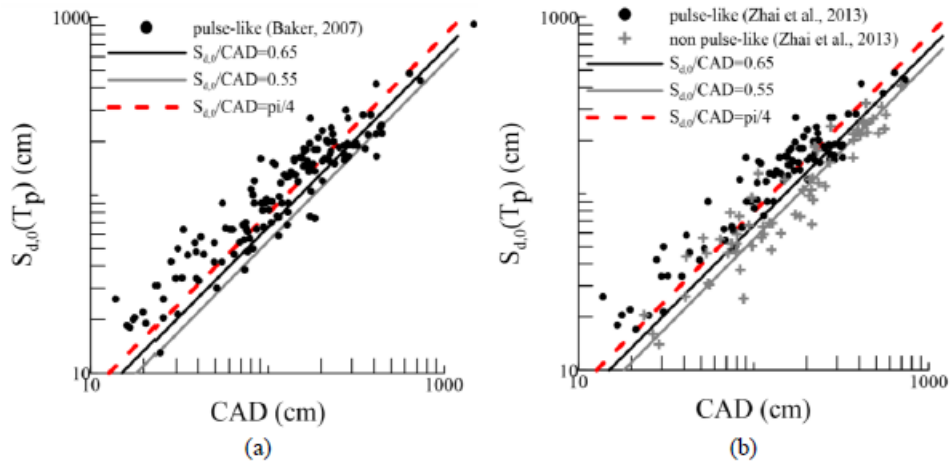
Αντίθετα, αν εφαρμόσουμε τη μέθοδο στη σεισμική μη παλμική καταγραφή CHY036 του σεισμού Chi-Chi, 1999 έχουμε ότι $t_{min}=27$ s, $t_{max}=54$ s και υπολογίζεται $CAD=235$ cm. Από το φάσμα συνέλιξης $S_d \times S_v$ απόσβεσης 5% προκύπτει $T_p=3.94$ s, και η φασματική μετακίνηση είναι $S_{d,0}(T_p) = 116$ cm, όπως παρατηρούμε και στην εικόνα 5.4. Είναι $S_{d,0}(T_p)/CAD = 0.49$ μικρότερο του 0.55, άρα κατατάσσεται ως μη παλμική καταγραφή, κάτι που ισχύει.



5.4 Χρονοϊστορία ταχύτητας και φάσματα συνέλιξης και μετατόπισης της μη παλμικής καταγραφής CHY036 του σεισμού Chi-Chi, 1999

5.6.1 Σύγκριση με άλλες μεθόδους

Η εφαρμογή της μεθόδου πραγματοποιήθηκε στις 90 καταγραφές που ο Baker χαρακτηρίζει παλμικές καθώς και στη βάση δεδομένων με 160 καταγραφές που χρησιμοποιούν οι Zhai et al. Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται γραφικά στο σχήμα 5.5 (a) και (b) αντίστοιχα στο επίπεδο $S_{d,0}(T_p) \sim CAD$ όπου οι μαύρες τελείες αντιπροσωπεύουν τις παλμικές καταγραφές και οι γκρι τις μη σύμφωνα με τη κατηγοριοποίηση που δόθηκε από τους παραπάνω ερευνητές. Στις εικόνες αυτές, η μαύρη γραμμή είναι το όριο 0.65, η γκρι το 0.55, ενώ για σύγκριση δίνεται και η κόκκινη διακεκομμένη που αντιστοιχεί στο $\pi/4$.

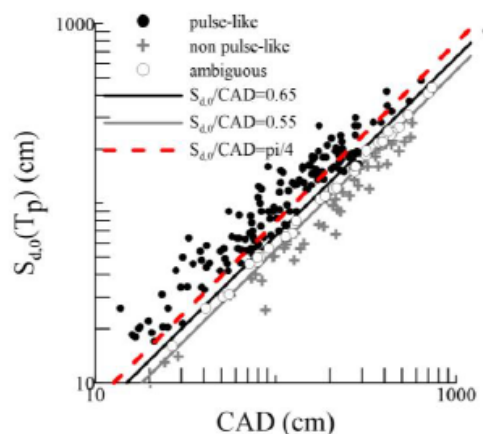


5.5 Μετακίνηση του αρχικού φάσματος για περίοδο T_p συναρτήσει του δείκτη CAD σε σύγκριση με τον Baker και των Zhai et al

Παρατηρούμε ότι στις περισσότερες περιπτώσεις οι μαύρες τελείες βρίσκονται πάνω από το όριο του 0.65 και οι γκρι κάτω από το αντίστοιχο όριο 0.55, ενώ υπάρχουν λίγες περιπτώσεις κατά τις οποίες τα αποτελέσματα των άλλων ερευνητών έρχονται ξεκάθαρα σε αντίθεση με αυτά της παρούσας μεθόδου.

5.6.2 Εφαρμογή σε καταγραφές της βάσης NGA

Η μέθοδος εφαρμόστηκε σε 227 καταγραφές με $PGV > 30 \text{ cm/s}$ της PEER-NGA βάσης δεδομένων ισχυρής εδαφικής κίνησης, όπου χρησιμοποιήθηκε η εγκάρσια στο ίχνος του ρήγματος (fault-normal) συνιστώσα. Ακολουθώντας το κριτήριο της εξίσωσης (4), 141 καταγραφές θεωρήθηκαν παλμικές, 43 μη παλμικές και 43 αμφιλεγόμενες. Τα αποτελέσματα αυτά παρουσιάζονται ακολούθως:



5.6 Μετακίνηση του αρχικού φάσματος για περίοδο T_p συναρτήσει του δείκτη CAD

6 Προτεινόμενη μέθοδος

6.1 Θεωρητικό υπόβαθρο παρούσας εργασίας

Το κύριο αντικείμενο της παρούσας μεταπτυχιακής εργασίας είναι η ταξινόμηση των σεισμικών καταγραφών σε παλμικές και μη, καθώς και η αποτελεσματική αναπαράσταση του παλμού που εμπεριέχουν. Η σημασία αυτής της κατηγοριοποίησης έχει τονιστεί ήδη στα προηγούμενα κεφάλαια και έχουν αναπτυχθεί διάφορες προσεγγίσεις που έχουν προταθεί από ερευνητές οι οποίες αφορούν κυρίως στην χρονοϊστορία ταχύτητας και στην ενέργεια του τμήματος που παρουσιάζονται οι παλμοί. Η εργασία αυτή ωστόσο, βασίζεται στη διαφορετική προσέγγιση των Mimoglou et al (2014) για αναπαράσταση του παλμικού τμήματος των καταγραφών στην οποία χρησιμοποιείται το κυματίδιο των Μαυροειδή και Παπαγεωργίου. Πραγματοποιούνται κάποιες διαφοροποιήσεις, ενώ η μέθοδος συνδυάζεται με ένα κριτήριο ποσοτικού χαρακτηρισμού των καταγραφών που προτείνεται.

Αρκετές δημοσιεύσεις εστιάζουν στην αναγνώριση παλμών που προκαλούνται από φαινόμενα κατευθυντικότητας και κυρίως εμπρόσθιας ή μελετούν τους παλμούς που οφείλονται σε άλλους λόγους όπως γεωλογικές συνθήκες, βάθος διάρρηξης και άλλα. Στη συγκεκριμένη εργασία, μελετάται ο παλμικός χαρακτήρας καταγραφών, ανεξάρτητα του λόγου που προέκυψαν. Οι παλμοί αυτοί επηρεάζουν τόσο τα ελαστικά όσο και τα ανελαστικά φάσματα απόκρισης. Στο ελαστικό φάσμα απόκρισης, παράγουν μια επαύξηση κωδωνοειδούς μορφής στο φάσμα μετακίνησης, γύρω από την περίοδο του παλμού T_p . Ένα τέτοιο χαρακτηριστικό, επηρεάζει σημαντικά το σχεδιασμό με στάθμες επιτελεστικότητας. Σε ότι αφορά το ανελαστικό φάσμα, η πλαστιμότητα είναι αρκετά μεγαλύτερη από το συντελεστή μείωσης για περιόδους μικρότερες από αυτή του παλμού. Όσο η περίοδος μειώνεται ο συντελεστής μείωσης πλαστιμότητας γίνεται μεγαλύτερος ενώ για περίοδο ίση ή μεγαλύτερη από του παλμού, ο συντελεστής αυτός πλησιάζει τη μονάδα και συνεπώς ισχύει η αρχή ίσων μετακινήσεων.

6.1.1 Στόχοι της παρούσας εργασίας

Στην εργασία που εκπονείται το ενδιαφέρον επικεντρώνεται στα ακόλουθα σημεία:

α) Επιδιώκεται η βέλτιστη αναπαράσταση του κυριάρχου παλμού των καταγραφών σε όλες τις χρονοϊστορίες αλλά και στα ελαστικά φάσματα ταχύτητας και μετατόπισης. Ο τεχνητός παλμός που χρησιμοποιείται για την προσομοίωση είναι ένα κυματίδιο M&P, συνεπώς εξαρτάται από τις τέσσερις παραμέτρους A , T_p , γ , ν ενώ χρειάζεται και ο χρόνος εκκίνησης του t_0 .

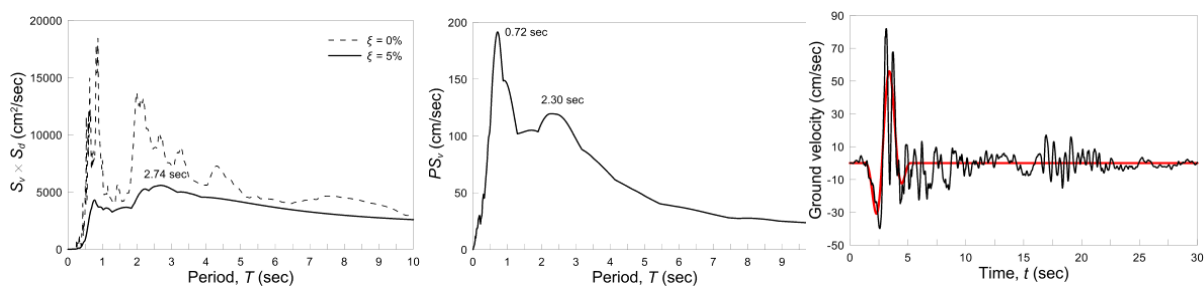
β) Εξετάζεται η δυνατότητα ποσοτικού χαρακτηρισμού της παλμικότητας των καταγραφών, χωρίς να δίνεται σημασία στο λόγο τον οποίο οφείλεται αυτή. Για το λόγο αυτό εισάγεται ένα κριτήριο ταξινόμησης καταγραφών που συνδέεται με τον συντελεστή συσχέτισης του τεχνητού παλμού με τον αντίστοιχο της αρχικής καταγραφής στην ταχύτητα, οι τιμές του οποίου αξιολογούνται.

6.1.2 Διαφοροποιήσεις από τη μεθοδολογία Mimoglou et al (2014)

Η αναπαράσταση του σημαντικότερου παλμού βασίζεται στη μεθοδολογία των Mimoglou et al (2014) με κάποιες όμως διαφοροποιήσεις. Αρχικά, επιδιώκεται ο εντοπισμός ενός μόνο σημαντικού παλμού, συνεπώς η αναζήτηση σταματά μόλις εντοπιστεί ο πρώτος παλμός που πληροί τις κατάλληλες προϋποθέσεις, ενώ δεν αποκλείεται ένας τυχόν ‘καθυστερημένος’ παλμός, καθώς όπως αναφέρθηκε δεν εξετάζεται ο λόγος ύπαρξης του στη χρονοϊστορία.

6.1.3 Προσδιορισμός της T_p

Έχουν αναπτυχθεί μέχρι τώρα διάφορες μέθοδοι προσδιορισμού της περιόδου του παλμού, επιλέγεται όμως μια νέα μέθοδος στηριζόμενη σε αυτή που προτάθηκε από τους Mimoglou et al (2014). Η περίοδος του παλμού, λοιπόν, καθορίζεται από τη μέγιστη τιμή του φάσματος συνέλιξης $S_d \times S_v$ όπου S_d είναι το φάσμα απόκρισης της μετακίνησης και S_v το φάσμα απόκρισης ταχύτητας για απόσβεση 5%. Στο σημείο αυτό αναφέρουμε ότι οι Mimoglou et al χρησιμοποίησε στον τρόπο αυτό εύρεσης της περιόδου τα αντίστοιχα φάσματα μηδενικής απόσβεσης, επιλέχθηκε όμως $\xi=5\%$ επειδή ανταποκρίνεται καλύτερα στις κατασκευές. Ο τρόπος αυτός προσδιορισμού της T_p αναφέρεται αναλυτικά στην παράγραφο 5.1. Για την περαιτέρω κατανόησή του, δίνεται ένα παράδειγμα εφαρμογής στην εγκάρσια στο ίχνος του ρήγματος συνιστώσα μιας καταγραφής στην Petrolia, στο σεισμό Cape Medocino, το 1992. Η περίοδος του παλμού, όπως φαίνεται στα αριστερά της παρακάτω εικόνας, προκύπτει $T_p=2.74$ s, κοντά στην αντίστοιχη του Baker που ισούται με 3s, βρίσκεται όμως κοντά στη δεύτερη αιχμή του φάσματος απόκρισης ψευδοταχύτητας για 5% απόσβεση, όπως παρατηρείται στο μεσαίο γράφημα. Δεξιά, με κόκκινη γραμμή φαίνεται ο παλμός που προκύπτει από την μέθοδο και παρουσιάζεται ότι αναπαριστά ικανοποιητικά τον πραγματικό παλμό της αρχικής καταγραφής.



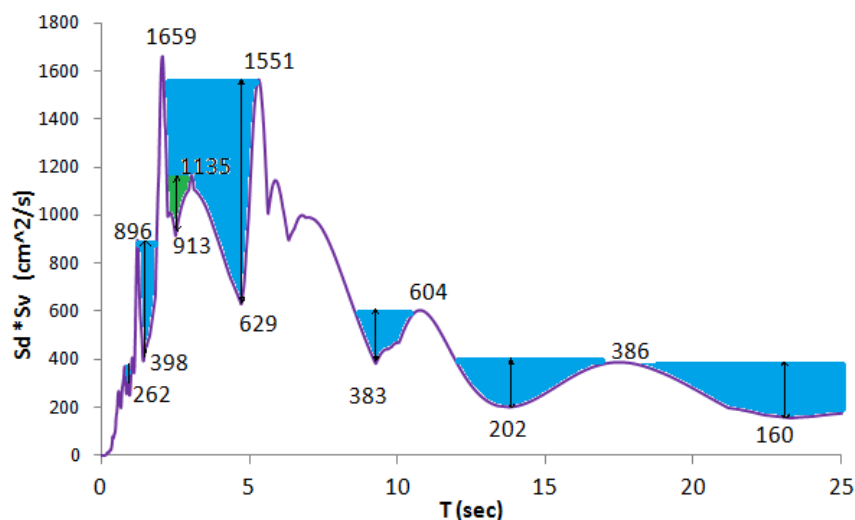
6.1 Φάσμα συνέλιξης $S_d \cdot S_v$, φάσμα ψευδοταχύτητας PSV και χρονοϊστορία ταχύτητας $v_g(t)$ μιας καταγραφής στην Petrolia, στο σεισμό Cape Medocino, το 1992

6.1.4 Μέθοδος rainflow

Η διαδικασία ξεκινά με την εύρεση του καταλληλότερου παλμού με περίοδο αυτή που αντιστοιχεί στην αιχμή του φάσματος συνέλιξης, ωστόσο μπορεί ο παλμός που προκύπτει δεν είναι ικανοποιητικός. Στην περίπτωση αυτή, συνήθως υπάρχει καλή ταύτιση μόνο στην ταχύτητα και όχι στη μετατόπιση, τόσο στη χρονοϊστορία όσο και στο φάσμα. Τότε, εφαρμόζεται μια παραλλαγή της μεθόδου της δεξαμενής (rainflow method), αναζητώντας τα δύο μεγαλύτερα βυθίσματα εκατέρωθεν της αιχμής του φάσματος συνέλιξης. Για καθένα από αυτά τα 4 βυθίσματα, εντοπίζεται μια περίοδος η οποία τίθεται ίση με T_p και γίνεται η

διαδικασία αναπαράστασής τους με τον ίδιο ακριβώς τρόπο που πραγματοποιήθηκε για τον πρώτο παλμό. Από τους 4 παλμούς που προκύπτουν επιλέγεται τελικά ως δεύτερος αυτός που αναπαριστά με το βέλτιστο τρόπο την χρονοϊστορία και το φάσμα μετατόπισης, ενώ διατηρείται και ο πρώτος τεχνητός.

Αναλυτικότερα, για την κατανόηση της παραλλαγής της μεθόδου της δεξαμενής δίνεται ένα παράδειγμα, χρησιμοποιώντας την εγκάρσια συνιστώσα του El Centro #9 του σεισμού Imperial Valley το 1940 (NGA:00006T). Στην παρακάτω εικόνα 6.2, δίνεται το φάσμα συνέλιξης $S_d \times S_v$ της καταγραφής αυτής, για την οποία ο παλμός που αντιστοιχεί στην περίοδο της αιχμής του $T_{p,1}=2.09$ sec δεν δίνει καλή προσομοίωση στη μετακίνηση.



6.2 Φάσμα συνέλιξης της καταγραφής NGA:00006T όπου εφαρμόζεται η μέθοδος rainflow

Το φάσμα γεμίζεται εν είδη δεξαμενής με νερό. Εντοπίζεται η υψηλότερη στήλη νερού (βύθισμα) τόσο δεξιά όσο και αριστερά της αιχμής του φάσματος που εδώ είναι το σημείο (2.09,1659), δηλαδή η μέγιστη διαφορά τιμής $S_d \times S_v$. Παρατηρούμε ότι δεξιά αυτή είναι η στήλη ύψους $1551-629=922$ ενώ το σημείο αντιστοιχεί στην υψηλότερη στάθμη νερού αυτού του βυθίσματος είναι η αιχμή (5.31,1551), συνεπώς η πρώτη ζητούμενη περίοδος είναι $T_{p,2}=5.31$ sec. Αριστερά, μεγαλύτερο ύψος έχει η $896-398=498$ και η αιχμή (1.24,898) δίνει περίοδο $T_{p,3}=1.24$ sec. Κατόπιν ανοίγεται από μια τρύπα στα δύο αυτά βυθίσματα και επαναλαμβάνεται η ίδια διαδικασία στις στήλες που απομένουν. Γίνεται αντιληπτό λοιπόν, ότι το πρώτο μπλε γέμισμα δεξιά αδειάζει, μένει όμως η περιοχή που είναι γραμμοσκιασμένη με πράσινο χρώμα, όπως ακριβώς θα γινόταν αν ήταν δεξαμενή που τρύπαγε στο βύθισμα (4.74,629). Ως εκ τούτου, δεξιά το μεγαλύτερο βύθισμα είναι το μεγαλύτερο από αυτά που αντιστοιχούν στις τιμές 913, 383, 202, 160 (υπάρχουν κι άλλα δύο που είναι εμφανώς μικρά) δηλαδή το $\max(1135-913, 604-383, 386-202, 386-160) = \max(222, 221, 184, 226) = 226$ που είναι το τελευταίο δεξιά βύθισμα το οποίο αντιστοιχεί στην αιχμή (17.85,386), συνεπώς $T_{p,4}=17.85$ sec. Ομοίως, από αριστερά προκύπτει η στήλη ύψους 262 και $T_{p,5}=0.59$ sec. Με τον τρόπο αυτό βρέθηκαν οι 4 περίοδοι με τις οποίες θα προκύψουν 4 παλμοί και εκ των οποίων τελικός θα είναι αυτός που προσομοιάζει καλύτερα την αρχική καταγραφή στη μετατόπιση.

6.1.5 Χρήση της $S_{d,5\%}(T_p)$ και του συντελεστή συσχέτισης

Επιπρόσθετα, αντίθετα με τη μεθοδολογία *Mimoglou et al* δεν χρησιμοποιείται η αιχμή του φάσματος ψευδοταχύτητας στον υπολογισμό του πλάτους, αλλά κατ' ευθείαν η φασματική τιμή της μετατόπισης που αντιστοιχεί στην περίοδο του παλμού. Αναλυτικά, από την εξίσωση 5.10 για $\xi=5\%$ έχουμε:

$$\frac{S_{d,\xi,max}}{CAD} = \frac{1-e^{-0.1\pi\gamma}}{0.4\gamma} [1 + (\gamma - 1) 0.05] \quad 6.1$$

Για κυματίδια M&P η τιμή της παραμέτρου CAD συνδέεται άμεσα με το πλάτος και την διάρκεια γ , καθώς ισχύει η σχέση:

$$CAD(= \int_0^{t_{tot}} |v_g| dt) = \gamma A T_p / \pi \quad 6.2$$

Συνδυάζοντας τις 6.1 και 6.2 λαμβάνουμε την παρακάτω σχέση για το πλάτος του παλμού i που αντιστοιχεί στην περίοδο T_p :

$$A = \frac{0.4 \pi S_{d,5\%}(T_p)}{(1-e^{-0.1\pi\gamma})[1+(\gamma-1) 0.05] T_p} \quad 6.3$$

Ταυτόχρονα, ενσωματώνεται στη μεθοδολογία ο υπολογισμός του συντελεστή συσχέτισης του αρχικού και του τεχνητού παλμού, ο οποίος λαμβάνει τιμές από 0 έως 1 και αυξάνεται όσο αυξάνεται η ομοιότητά τους, ώστε να δοθεί μια εκτενής εικόνα των τιμών του σε κάθε περίπτωση. Έτσι η μεθοδολογία διαμορφώνεται ως εξής:

6.2 Μεθοδολογία σε Βήματα

1. Για μια δεδομένη εδαφική κίνηση με μέγιστη εδαφική ταχύτητα κατ' ελάχιστον 30 cm/s ($PGV > 30$ cm/s) παράγεται το φάσμα συνέλιξης πολλαπλασιάζοντας το φάσμα ταχύτητας και μετατόπισης απόσβεσης 5%.
2. Εντοπίζεται η περίοδος που αντιστοιχεί στη μέγιστη τιμή του φάσματος συνέλιξης $S_d \times S_v$ απόσβεσης 5% και η τιμή αυτή τίθεται ίση με T_p . Ακόμα, εντοπίζεται η τιμή της μετατόπισης που αντιστοιχεί στην περίοδο αυτή $S_{d,5\%}(T_p)$.
3. Τίθεται μια μέγιστη τιμή γ_{max} για τη διάρκεια του M&P κυματιδίου. Καθώς η διάρκεια του κυματιδίου δεν είναι γνωστή εκ των προτέρων, χρειάζεται μια σάρωση όλων των δυνατών τιμών μεταξύ 1 και γ_{max} . Για παλμούς κατευθυντικότητας συνήθως η τιμή $\gamma_{max}=5$ αρκεί, υπάρχουν ωστόσο κάποιες εξαιρέσεις όπου φθάνει το 10 ή ακόμα το ξεπερνά (το όριο $\gamma_{max}=10$ είναι πρακτικά αρκετό). Συνεπώς, για λόγους υπολογιστικής ταχύτητας θέτουμε $\gamma_{max}=5$ και μόνο αν στο αποτέλεσμα προκύψει $\gamma=5$, επαναλαμβάνουμε για $\gamma_{max}=10$. Η σάρωση των τιμών της γ γίνεται με βήμα 0.1, δηλαδή $\Delta\gamma=0.1$.
4. Για κάθε τιμή γ_i στο εύρος $1 \leq \gamma_i \leq \gamma_{max}$ με $\Delta\gamma=0.1$ και για τη τιμή $S_{d,5\%}(T_p)$ που βρέθηκε στο βήμα 2, υπολογίζεται η αντίστοιχη τιμή του πλάτους A_i με χρήση της εξίσωσης (3).

5. Για κάθε ζεύγος (A_i, γ_i) του βήματος 4 και για τιμές της φάσης ν να κυμαίνονται από 0° έως 360° με βήμα $\Delta\nu=5^\circ$ παράγεται η αντίστοιχη M&P κυματομορφή με χρήση των εξισώσεων $a_p(t)$, $v_p(t)$, $d_p(t)$ για T_p και αφήνοντας το t_0 ως μεταβλητή. Απορρίπτονται όλα τα κυματίδια που η μέγιστη τιμή επιτάχυνσης, ταχύτητας ή μετατόπισης είναι μεγαλύτερη από τη μέγιστη τιμή της αντίστοιχης εδαφικής κίνησης (p_{ga}, p_{gv}, p_{gd}). Οι εξισώσεις του κυματιδίου προκύπτουν από τους Μαυροειδή και Παπαγεωργίου:

$$a(t) = -\frac{A_p}{\gamma T_p} \left[\sin\left[\frac{2\pi}{\gamma T_p}(t-t_0)\right] \cos\left[\frac{2\pi}{T_p}(t-t_0)+\nu\right] + \gamma \sin\left[\frac{2\pi}{T_p}(t-t_0)+\nu\right] \left[1 + \cos\left[\frac{2\pi}{\gamma T_p}(t-t_0)\right]\right] \right] \quad 6.4$$

$$v(t) = \frac{A}{2} \left[1 + \cos\left[\frac{2\pi}{\gamma T_p}(t-t_0)\right] \right] \cos\left[\frac{2\pi}{T_p}(t-t_0)+\nu\right], \quad \text{για } t_0 - \frac{\gamma}{2}T_p \leq t \leq t_0 + \frac{\gamma}{2}T_p \quad 6.5$$

και

$$d(t) \begin{cases} \left(\frac{AT_p}{4\pi} \left[\sin\left[\frac{2\pi}{T_p}(t-t_0)+\nu\right] + \frac{1}{2} \frac{\gamma}{\gamma-1} \sin\left[\frac{2\pi(\gamma-1)}{\gamma T_p}(t-t_0)+\nu\right] + \frac{1}{2} \frac{\gamma}{\gamma+1} \sin\left[\frac{2\pi(\gamma+1)}{\gamma T_p}(t-t_0)+\nu\right] \right], \\ \text{για } t_0 - \frac{\gamma}{2}T_p \leq t \leq t_0 + \frac{\gamma}{2}T_p \\ \frac{AT_p}{4\pi} \frac{1}{1-\gamma^2} \sin(\nu - \pi\gamma), \text{ για } t < t_0 - \frac{\gamma}{2}T_p \\ \frac{AT_p}{4\pi} \frac{1}{1-\gamma^2} \sin(\nu + \pi\gamma), \text{ για } t > t_0 + \frac{\gamma}{2}T_p \end{cases} \quad 6.6$$

6. Για κάθε αποδεκτό κυματίδιο που παρήχθη στο βήμα 5 και για όλες τις τιμές του $t_0 \in [0, t_{\max}]$, όπου t_{\max} ο χρόνος που τελειώνει η καταγραφή, εκτελείται μια συσχέτιση (cross correlation) μεταξύ της χρονοϊστορίας ταχύτητας της κυματομορφής $v_p(t)$ και της αντίστοιχης εδαφικής $v_g(t)$. Επιλέγεται το κυματίδιο με τη μεγαλύτερη τιμή του συντελεστή συσχέτισης και οι τιμές A , γ , ν και t_0 του ζητούμενου τεχνητού παλμού προσδιορίζονται από τις παραμέτρους αυτού. Ο χρόνος εκκίνησης του παλμού είναι ο t_0 . Σημειώνεται πως αν ο συντελεστής συσχέτισης του κυματιδίου είναι σχετικά χαμηλός, το πιθανότερο είναι να μην πρόκειται για παλμική καταγραφή.
7. Υπολογίζονται τα ελαστικά φάσματα ταχύτητας και μετατόπισης που αντιστοιχούν στον τεχνητό παλμό προκειμένου να γίνει οπτική σύγκριση με τα αντίστοιχα της αρχικής καταγραφής. Ακόμα, αντιπαραβάλλουμε γραφικά τις διαθέσιμες αρχικές χρονοϊστορίες επιτάχυνσης, ταχύτητας και μετατόπισης με τις αντίστοιχες του τεχνητού παλμού που έχουν υπολογιστεί.
8. Με κριτήριο την τιμή του συντελεστή συσχέτισης (cc) τεχνητού και αρχικού παλμού κατατάσσεται η αρχική καταγραφή σε παλμική ή μη. Συγκεκριμένα, από τα αποτελέσματα για τα οποία θα αναλυθούν παρακάτω στην εργασία αυτή καταλήγουμε ότι αν:

$$cc = \begin{cases} > 0.60, & \text{παλμική} \\ (0.50, 0.60), & \text{αμφιλεγόμενη} \\ < 0.50, & \text{μη παλμική} \end{cases} \quad 6.7$$

9. Αν υπάρχει καλή εναρμόνιση μεταξύ αρχικής και τεχνητής καταγραφής στην περιοχή του παλμού στην ταχύτητα και στην μετατόπιση, τότε η διαδικασία αναπαράστασης του έχει ολοκληρωθεί με τον πρώτο παλμό. Αν όχι, τότε εφαρμόζεται η μέθοδος rainflow, αναζητώντας τα δύο μεγαλύτερα βυθίσματα εκατέρωθεν της αιχμής του φάσματος

συνέλιξης (όπου αντιστοιχεί η $T_{p,1}$). Για καθένα από τα $i=2,3,4,5$ αυτά, εντοπίζεται η περίοδος που του αντιστοιχεί στο σημείο της υψηλότερης στάθμης νερού του βυθίσματος και τίθεται $T=T_{p,i}$. Στη συνέχεια από το αρχικό φάσμα μετατόπισης βρίσκεται η αντίστοιχη τιμή μετατόπισης $S_{d, .5\%}(T_p)$. Η διαδικασία επαναλαμβάνεται από το βήμα 3 έως 7 και για τους τέσσερις αυτούς παλμούς.

10. Επιλέγεται ως δεύτερος παλμός αυτός ο οποίος ανάμεσα στους τέσσερις αντιπροσωπεύει καλύτερα τη μετατόπιση και υπολογίζονται τα ελαστικά φάσματα ταχύτητας και μετατόπισης αυτού.

6.3 Επιλογή μιας ευρείας βάσης δεδομένων

Η μέθοδος εφαρμόστηκε σε έναν μεγάλο αριθμό καταγραφών της βάσης δεδομένων ισχυρής εδαφικής κίνησης NGA. Συγκεκριμένα επιλέχθηκαν οι αυτούσιες και όχι στραμμένες ως προς το ρήγμα καταγραφές NGA, διότι έτσι καταλήγουμε σε μια πιο αντικειμενική εικόνα των αποτελεσμάτων, χωρίς αυθαιρεσίες. Με τον περιορισμό της ελάχιστης τιμής της μέγιστης εδαφικής ταχύτητας $PGV > 30 \text{ cm/s}$ προέκυψαν 227 από το σύνολο 3551 καταγραφών. Για τις 227 καταγραφές χρησιμοποιήθηκαν οι χρονοϊστορίες της διαμήκουσ (longitudinal) και της εγκάρσιας (transversal) συνιστώσας, συνεπώς οι αναλύσεις πραγματοποιήθηκαν για $227 \times 2 = 454$ περιπτώσεις. Στον παρακάτω πίνακα δίνονται τα ονομαστικά στοιχεία των καταγραφών αυτών με τη σειρά που εμφανίζονται στη βάση NGA, καθώς και το μέγεθος και η κοντινότερη απόσταση αυτών από το εκάστοτε ρήγμα.

Πίνακας 6.1 Καταγραφές της NGA που επιλέχθηκαν

No	NGA No	Earthquake Name	YEAR	Station Name	Earthquake Magnitude	ClstD (km)
1	6	Imperial Valley-02	1940	El Centro Array #9	6.95	6.09
2	77	San Fernando	1971	Pacoima Dam (upper left abut)	6.61	1.81
3	126	Gazli, USSR	1976	Karakyr	6.8	5.46
4	143	Tabas, Iran	1978	Tabas	7.35	2.05
5	150	Coyote Lake	1979	Gilroy Array #6	5.74	3.11
6	158	Imperial Valley-06	1979	Aeropuerto Mexicali	6.53	0.34
7	159	Imperial Valley-06	1979	Agrarias	6.53	0.65
8	160	Imperial Valley-06	1979	Bonds Corner	6.53	2.68
9	161	Imperial Valley-06	1979	Brawley Airport	6.53	10.42
10	170	Imperial Valley-06	1979	EC County Center FF	6.53	7.31
11	171	Imperial Valley-06	1979	EC Meloland Overpass FF	6.53	0.07
12	173	Imperial Valley-06	1979	El Centro Array #10	6.53	6.17
13	174	Imperial Valley-06	1979	El Centro Array #11	6.53	12.45
14	178	Imperial Valley-06	1979	El Centro Array #3	6.53	12.85
15	179	Imperial Valley-06	1979	El Centro Array #4	6.53	7.05
16	180	Imperial Valley-06	1979	El Centro Array #5	6.53	3.95
17	181	Imperial Valley-06	1979	El Centro Array #6	6.53	1.35
18	182	Imperial Valley-06	1979	El Centro Array #7	6.53	0.56
19	183	Imperial Valley-06	1979	El Centro Array #8	6.53	3.86
20	184	Imperial Valley-06	1979	El Centro Differential Array	6.53	5.09
21	185	Imperial Valley-06	1979	Holtville Post Office	6.53	7.65

22	250	Mammoth Lakes-06	1980	Long Valley Dam (Upr L Abut)	5.94	
23	292	Irpinia, Italy-01	1980	Sturno	6.9	10.84
24	316	Westmorland	1981	Parachute Test Site	5.9	16.66
25	319	Westmorland	1981	Westmorland Fire Sta	5.90	6.50
26	338	Coalinga-01	1983	Parkfield - Fault Zone 14	6.36	29.48
27	368	Coalinga-01	1983	Pleasant Valley P.P. - yard	6.36	8.41
28	407	Coalinga-05	1983	Oil City	5.77	
29	415	Coalinga-05	1983	Transmitter Hill	5.77	
30	418	Coalinga-07	1983	Coalinga-14th & Elm (Old CHP)	5.21	
31	451	Morgan Hill	1984	Coyote Lake Dam (SW Abut)	6.19	0.53
32	459	Morgan Hill	1984	Gilroy Array #6	6.19	9.86
33	495	Nahanni, Canada	1985	Site 1	6.76	9.6
34	496	Nahanni, Canada	1985	Site 2	6.76	4.93
35	503	Taiwan SMART1(40)	1986	SMART1 C00	6.32	
36	508	Taiwan SMART1(40)	1986	SMART1 M07	6.32	
37	527	N. Palm Springs	1986	Morongo Valley	6.06	12.07
38	529	N. Palm Springs	1986	North Palm Springs	6.06	4.04
39	540	N. Palm Springs	1986	Whitewater Trout Farm	6.06	6.04
40	558	Chalfant Valley-02	1986	Zack Brothers Ranch	6.19	7.58
41	568	San Salvador	1986	Geotech Investig Center	5.8	6.3
42	569	San Salvador	1986	National Geographical Inst	5.8	6.99
43	585	Baja California	1987	Cerro Prieto	5.5	
44	615	Whittier Narrows-01	1987	Downey - Co Maint Bldg	5.99	20.82
45	645	Whittier Narrows-01	1987	LB - Orange Ave	5.99	24.54
46	721	Superstition Hills-02	1987	El Centro Imp. Co. Cent	6.54	18.20
47	723	Superstition Hills-02	1987	Parachute Test Site	6.54	0.95
48	725	Superstition Hills-02	1987	Poe Road (temp)	6.54	11.16
49	727	Superstition Hills-02	1987	Superstition Mtn Camera	6.54	5.61
50	729	Superstition Hills-02	1987	Wildlife Liquef. Array	6.54	23.85
51	738	Loma Prieta	1989	Alameda Naval Air Stn Hanger	6.93	71
52	741	Loma Prieta	1989	BRAN	6.93	10.72
53	752	Loma Prieta	1989	Capitola	6.93	15.23
54	753	Loma Prieta	1989	Corralitos	6.93	3.85
55	758	Loma Prieta	1989	Emeryville - 6363 Christie	6.93	76.97
56	759	Loma Prieta	1989	Foster City - APEEL 1	6.93	43.94
57	764	Loma Prieta	1989	Gilroy - Historic Bldg.	6.93	10.97
58	765	Loma Prieta	1989	Gilroy Array #1	6.93	9.64
59	766	Loma Prieta	1989	Gilroy Array #2	6.93	11.07
60	767	Loma Prieta	1989	Gilroy Array #3	6.93	12.82
61	768	Loma Prieta	1989	Gilroy Array #4	6.93	14.34
62	776	Loma Prieta	1989	Hollister - South & Pine	6.93	27.93
63	777	Loma Prieta	1989	Hollister City Hall	6.93	27.6
64	778	Loma Prieta	1989	Hollister Diff. Array	6.93	24.82
65	779	Loma Prieta	1989	LGPC	6.93	3.88
66	783	Loma Prieta	1989	Oakland - Outer Harbor Wharf	6.93	74.26
67	787	Loma Prieta	1989	Palo Alto - SLAC Lab	6.93	30.86
68	802	Loma Prieta	1989	Saratoga - Aloha Ave	6.93	8.5
69	803	Loma Prieta	1989	Saratoga - W Valley Coll.	6.93	9.31

70	806	Loma Prieta	1989	Sunnyvale - Colton Ave.	6.93	24.23
71	811	Loma Prieta	1989	WAHO	6.93	17.47
72	821	Erzican, Turkey	1992	Erzincan	6.69	4.38
73	825	Cape Mendocino	1992	Cape Mendocino	7.01	6.96
74	828	Cape Mendocino	1992	Petrolia	7.01	8.18
75	829	Cape Mendocino	1992	Rio Dell Overpass - FF	7.01	14.33
76	838	Landers	1992	Barstow	7.28	34.86
77	848	Landers	1992	Coolwater	7.28	19.74
78	864	Landers	1992	Joshua Tree	7.28	11.03
79	879	Landers	1992	Lucerne	7.28	2.19
80	900	Landers	1992	Yermo Fire Station	7.28	23.62
81	901	Big Bear-01	1992	Big Bear Lake - Civic Center	6.46	
82	949	Northridge-01	1994	Arleta - Nordhoff Fire Sta	6.69	8.66
83	952	Northridge-01	1994	Beverly Hills - 12520 Mulhol	6.69	18.36
84	953	Northridge-01	1994	Beverly Hills - 14145 Mulhol	6.69	17.15
85	959	Northridge-01	1994	Canoga Park - Topanga Can	6.69	14.7
86	960	Northridge-01	1994	Canyon Country - W Lost Cany	6.69	12.44
87	963	Northridge-01	1994	Castaic - Old Ridge Route	6.69	20.72
88	982	Northridge-01	1994	Jensen Filter Plant	6.69	5.43
89	983	Northridge-01	1994	Jensen Filter Plant Generator	6.69	5.43
90	1003	Northridge-01	1994	LA - Saturn St	6.69	27.01
91	1004	Northridge-01	1994	LA - Sepulveda VA Hospital	6.69	8.44
92	1009	Northridge-01	1994	LA - Wadsworth VA Hospital North	6.69	23.6
93	1012	Northridge-01	1994	LA 00	6.69	19.07
94	1013	Northridge-01	1994	LA Dam	6.69	5.92
95	1044	Northridge-01	1994	Newhall - Fire Sta	6.69	5.92
96	1045	Northridge-01	1994	Newhall - W Pico Canyon Rd.	6.69	5.48
97	1048	Northridge-01	1994	Northridge - 17645 Saticoy St	6.69	12.09
98	1050	Northridge-01	1994	Pacoima Dam (downstr)	6.69	7.01
99	1051	Northridge-01	1994	Pacoima Dam (upper left)	6.69	7.01
100	1052	Northridge-01	1994	Pacoima Kagel Canyon	6.69	7.26
101	1054	Northridge-01	1994	Pardee - SCE	6.69	7.46
102	1063	Northridge-01	1994	Rinaldi Receiving Sta	6.69	6.5
103	1077	Northridge-01	1994	Santa Monica City Hall	6.69	26.45
104	1080	Northridge-01	1994	Simi Valley - Katherine Rd	6.69	13.42
105	1082	Northridge-01	1994	Sun Valley - Roscoe Blvd	6.69	10.05
106	1084	Northridge-01	1994	Sylmar - Converter Sta	6.69	5.35
107	1085	Northridge-01	1994	Sylmar - Converter Sta East	6.69	5.19
108	1086	Northridge-01	1994	Sylmar - Olive View Med FF	6.69	5.3
109	1087	Northridge-01	1994	Tarzana - Cedar Hill A	6.69	15.60
110	1106	Kobe, Japan	1995	KJMA	6.90	0.96
111	1111	Kobe, Japan	1995	Nishi-Akashi	6.90	7.08
112	1116	Kobe, Japan	1995	Shin-Osaka	6.9	19.15
113	1119	Kobe, Japan	1995	Takarazuka	6.90	0.27
114	1120	Kobe, Japan	1995	Takatori	6.9	1.47
115	1141	Dinar, Turkey	1995	Dinar	6.40	3.36
116	1147	Kocaeli, Turkey	1999	Ambarli	7.51	69.62
117	1158	Kocaeli, Turkey	1999	Duzce	7.51	15.37

118	1161	Kocaeli, Turkey	1999	Gebze	7.51	10.92
119	1176	Kocaeli, Turkey	1999	Yarimca	7.51	4.83
120	1180	Chi-Chi, Taiwan	1999	CHY002	7.62	24.98
121	1182	Chi-Chi, Taiwan	1999	CHY006	7.62	9.77
122	1193	Chi-Chi, Taiwan	1999	CHY024	7.62	9.64
123	1194	Chi-Chi, Taiwan	1999	CHY025	7.62	19.09
124	1195	Chi-Chi, Taiwan	1999	CHY026	7.62	29.53
125	1197	Chi-Chi, Taiwan	1999	CHY028	7.62	3.14
126	1198	Chi-Chi, Taiwan	1999	CHY029	7.62	10.97
127	1201	Chi-Chi, Taiwan	1999	CHY034	7.62	14.82
128	1202	Chi-Chi, Taiwan	1999	CHY035	7.62	12.65
129	1203	Chi-Chi, Taiwan	1999	CHY036	7.62	16.06
130	1231	Chi-Chi, Taiwan	1999	CHY080	7.62	2.69
131	1238	Chi-Chi, Taiwan	1999	CHY092	7.62	22.70
132	1244	Chi-Chi, Taiwan	1999	CHY101	7.62	9.96
133	1246	Chi-Chi, Taiwan	1999	CHY104	7.62	18.04
134	1403	Chi-Chi, Taiwan	1999	NSY	7.62	13.15
135	1410	Chi-Chi, Taiwan	1999	TAP003	7.62	102.39
136	1462	Chi-Chi, Taiwan	1999	TCU	7.62	5.18
137	1463	Chi-Chi, Taiwan	1999	TCU003	7.62	86.57
138	1471	Chi-Chi, Taiwan	1999	TCU015	7.62	49.81
139	1472	Chi-Chi, Taiwan	1999	TCU017	7.62	54.28
140	1475	Chi-Chi, Taiwan	1999	TCU026	7.62	56.12
141	1476	Chi-Chi, Taiwan	1999	TCU029	7.62	28.05
142	1477	Chi-Chi, Taiwan	1999	TCU031	7.62	30.18
143	1478	Chi-Chi, Taiwan	1999	TCU033	7.62	40.89
144	1479	Chi-Chi, Taiwan	1999	TCU034	7.62	35.69
145	1480	Chi-Chi, Taiwan	1999	TCU036	7.62	19.84
146	1481	Chi-Chi, Taiwan	1999	TCU038	7.62	25.44
147	1482	Chi-Chi, Taiwan	1999	TCU039	7.62	19.9
148	1483	Chi-Chi, Taiwan	1999	TCU040	7.62	22.08
149	1484	Chi-Chi, Taiwan	1999	TCU042	7.62	26.32
150	1485	Chi-Chi, Taiwan	1999	TCU045	7.62	26
151	1486	Chi-Chi, Taiwan	1999	TCU046	7.62	16.74
152	1487	Chi-Chi, Taiwan	1999	TCU047	7.62	35
153	1488	Chi-Chi, Taiwan	1999	TCU048	7.62	13.55
154	1489	Chi-Chi, Taiwan	1999	TCU049	7.62	3.78
155	1490	Chi-Chi, Taiwan	1999	TCU050	7.62	9.51
156	1491	Chi-Chi, Taiwan	1999	TCU051	7.62	7.66
157	1492	Chi-Chi, Taiwan	1999	TCU052	7.62	0.66
158	1493	Chi-Chi, Taiwan	1999	TCU053	7.62	5.97
159	1494	Chi-Chi, Taiwan	1999	TCU054	7.62	5.3
160	1495	Chi-Chi, Taiwan	1999	TCU055	7.62	6.36
161	1496	Chi-Chi, Taiwan	1999	TCU056	7.62	10.5
162	1497	Chi-Chi, Taiwan	1999	TCU057	7.62	11.84
163	1498	Chi-Chi, Taiwan	1999	TCU059	7.62	17.13
164	1499	Chi-Chi, Taiwan	1999	TCU060	7.62	8.53
165	1500	Chi-Chi, Taiwan	1999	TCU061	7.62	17.19

166	1501	Chi-Chi, Taiwan	1999	TCU063	7.62	9.80
167	1502	Chi-Chi, Taiwan	1999	TCU064	7.62	16.62
168	1503	Chi-Chi, Taiwan	1999	TCU065	7.62	0.59
169	1504	Chi-Chi, Taiwan	1999	TCU067	7.62	0.64
170	1505	Chi-Chi, Taiwan	1999	TCU068	7.62	0.32
171	1506	Chi-Chi, Taiwan	1999	TCU070	7.62	19.02
172	1507	Chi-Chi, Taiwan	1999	TCU071	7.62	5.31
173	1508	Chi-Chi, Taiwan	1999	TCU072	7.62	7.03
174	1509	Chi-Chi, Taiwan	1999	TCU074	7.62	13.46
175	1510	Chi-Chi, Taiwan	1999	TCU075	7.62	0.91
176	1511	Chi-Chi, Taiwan	1999	TCU076	7.62	2.76
177	1512	Chi-Chi, Taiwan	1999	TCU078	7.62	8.20
178	1513	Chi-Chi, Taiwan	1999	TCU079	7.62	10.97
179	1514	Chi-Chi, Taiwan	1999	TCU081	7.62	55.49
180	1515	Chi-Chi, Taiwan	1999	TCU082	7.62	5.18
181	1517	Chi-Chi, Taiwan	1999	TCU084	7.62	11.24
182	1519	Chi-Chi, Taiwan	1999	TCU087	7.62	7
183	1521	Chi-Chi, Taiwan	1999	TCU089	7.62	8.88
184	1523	Chi-Chi, Taiwan	1999	TCU094	7.62	54.53
185	1526	Chi-Chi, Taiwan	1999	TCU098	7.62	47.67
186	1527	Chi-Chi, Taiwan	1999	TCU100	7.62	11.39
187	1528	Chi-Chi, Taiwan	1999	TCU101	7.62	2.13
188	1529	Chi-Chi, Taiwan	1999	TCU102	7.62	1.51
189	1530	Chi-Chi, Taiwan	1999	TCU103	7.62	6.1
190	1531	Chi-Chi, Taiwan	1999	TCU104	7.62	12.89
191	1532	Chi-Chi, Taiwan	1999	TCU105	7.62	17.18
192	1533	Chi-Chi, Taiwan	1999	TCU106	7.62	14.99
193	1534	Chi-Chi, Taiwan	1999	TCU107	7.62	16.01
194	1535	Chi-Chi, Taiwan	1999	TCU109	7.62	13.08
195	1536	Chi-Chi, Taiwan	1999	TCU110	7.62	11.60
196	1537	Chi-Chi, Taiwan	1999	TCU111	7.62	22.14
197	1538	Chi-Chi, Taiwan	1999	TCU112	7.62	27.50
198	1540	Chi-Chi, Taiwan	1999	TCU115	7.62	21.78
199	1541	Chi-Chi, Taiwan	1999	TCU116	7.62	12.40
200	1542	Chi-Chi, Taiwan	1999	TCU117	7.62	25.44
201	1543	Chi-Chi, Taiwan	1999	TCU118	7.62	26.84
202	1545	Chi-Chi, Taiwan	1999	TCU120	7.62	7.41
203	1546	Chi-Chi, Taiwan	1999	TCU122	7.62	9.35
204	1547	Chi-Chi, Taiwan	1999	TCU123	7.62	14.93
205	1548	Chi-Chi, Taiwan	1999	TCU128	7.62	13.15
206	1549	Chi-Chi, Taiwan	1999	TCU129	7.62	1.84
207	1550	Chi-Chi, Taiwan	1999	TCU136	7.62	8.29
208	1551	Chi-Chi, Taiwan	1999	TCU138	7.62	9.79
209	1553	Chi-Chi, Taiwan	1999	TCU141	7.62	24.21
210	1595	Chi-Chi, Taiwan	1999	WGK	7.62	9.96
211	1596	Chi-Chi, Taiwan	1999	WNT	7.62	1.84
212	1602	Duzce, Turkey	1999	Bolu	7.14	12.04
213	1605	Duzce, Turkey	1999	Duzce	7.14	6.58

214	1629	St Elias, Alaska	1979	Yakutat	7.54	80
215	1633	Manjil, Iran	1990	Abbar	7.37	12.56
216	1634	Manjil, Iran	1990	Abhar	7.37	75.58
217	1752	Northwest China-03	1997	Jiashi	6.1	
218	1787	Hector Mine	1999	Hector	7.13	11.66
219	1853	Yountville	2000	Napa Fire Station #3	5	
220	2114	Denali, Alaska	2002	TAPS Pump Station #10	7.90	2.74
221	2457	Chi-Chi, Taiwan-03	1999	CHY024	6.2	19.65
222	2495	Chi-Chi, Taiwan-03	1999	CHY080	6.2	22.37
223	2627	Chi-Chi, Taiwan-03	1999	TCU076	6.2	14.66
224	2734	Chi-Chi, Taiwan-04	1999	CHY074	6.20	6.20
225	3317	Chi-Chi, Taiwan-06	1999	CHY101	6.3	35.97
226	3474	Chi-Chi, Taiwan-06	1999	TCU079	6.30	10.05
227	3548	Loma Prieta	1989	Los Gatos - Lexington Dam	6.93	5.02

6.4 Εφαρμογή μεθοδολογίας

6.4.1 Αυτοματοποιημένος Κώδικας

Τα βήματα της μεθοδολογίας που περιγράφηκαν στην παράγραφο 6.2 προκειμένου να εφαρμοστούν για τις 454 καταγραφές, αυτοματοποιήθηκαν μέσω κώδικα σε πρόγραμμα Fortran στον οποίο δόθηκε η ονομασία TESTD-1. Σε αυτόν εισάγεται ένα αρχείο DATA1.DAT που περιλαμβάνει τις χρονοιστορίες της επιτάχυνσης, της ταχύτητας και της μετατόπισης με χρονικό βήμα $dt=0.02$ s της καταγραφής προς ανάλυση, το οποίο προκύπτει εύκολα με την εισαγωγή μιας δεδομένης καταγραφής στο πρόγραμμα SeismoSignal. Το πρόγραμμα ακολουθεί τα βήματα 1 έως 8, υπολογίζοντας ωστόσο σε κάθε περίπτωση τους 4 παλμούς που χρειάζονται μόνο αν δεν είναι κατάλληλος αυτός που αντιστοιχεί στη περίοδο της αιχμής του φάσματος συνέλιξης. Τα αποτελέσματα που προκύπτουν από το πρόγραμμα είναι τα σε αρχεία τύπου DAT και είναι τα εξής:

- SPECT: περιλαμβάνει στήλες με όλα τα φάσματα της αρχικής καταγραφής.
- SPECT1, SPECT2, SPECT3, SPECT4, SPECT5: δίνει τα φάσματα του 1^{ου}, 2^{ου}, 3^{ου}, 4^{ου}, 5^{ου} τεχνητού παλμού αντίστοιχα.
- RESP1, RESP2... RESP5: για καθένα από τους τεχνητούς παλμούς προκύπτει ένα αρχείο το οποίο περιέχει 7 τιμές οι οποίες με τη σειρά είναι οι εξής:
Συντελεστής συσχέτισης cc , πλάτος παλμού A , η αντίστροφη τιμή της περιόδου του παλμού $1/T_p$, ο αριθμός γ , η φάση ν , ο χρόνος εκκίνησης του τεχνητού παλμού t_0 και ο χρόνος που τελειώνει ο παλμός $t_{p,max}$.
- RESTH, RESTH2...RESTH5: Για κάθε παλμό δίνεται ένα αρχείο με τις αντίστοιχες χρονοιστορίες του, δηλαδή 4 στήλες που η 1^η δίνει το χρόνο, η 2^η την επιτάχυνση, η 3^η την ταχύτητα και η 4^η τη μετατόπιση.

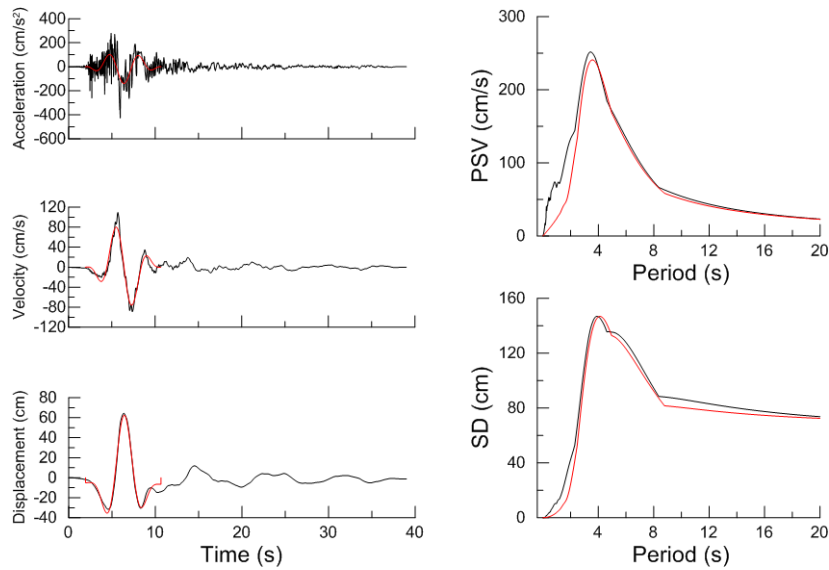
6.5 Γραφική απεικόνιση και αξιολόγηση

6.5.1 Τεχνητός παλμός $T_{p,1}$

Αρχικά, με τη βοήθεια του προγράμματος σχεδίασης γραφημάτων Grapfer 9 σχεδιάζονται πέντε γραφήματα για κάθε καταγραφή (συνιστώσα L ή T). Τα πρώτα τρία απεικονίζουν σε *μαύρο* χρώμα τις χρονοϊστορίες επιτάχυνσης, ταχύτητας και μετατόπισης της αρχικής καταγραφής, αλλά και τις αντίστοιχες του τεχνητού παλμού του οποίου η περίοδος του αντιστοιχεί στην αιχμή του φάσματος συνέλιξης $T_{p,1}$, σε *κόκκινο* χρώμα. Τα υπόλοιπα δύο γραφήματα αντιπαραβάλλουν τα αντίστοιχα ελαστικά φάσματα ταχύτητας και μετατόπισης. Η σχεδίαση των πέντε γραφημάτων που περιγράφηκαν, πραγματοποιείται επίσης για όλες τις καταγραφές συνεπώς προκύπτουν 454*5 διαγράμματα.

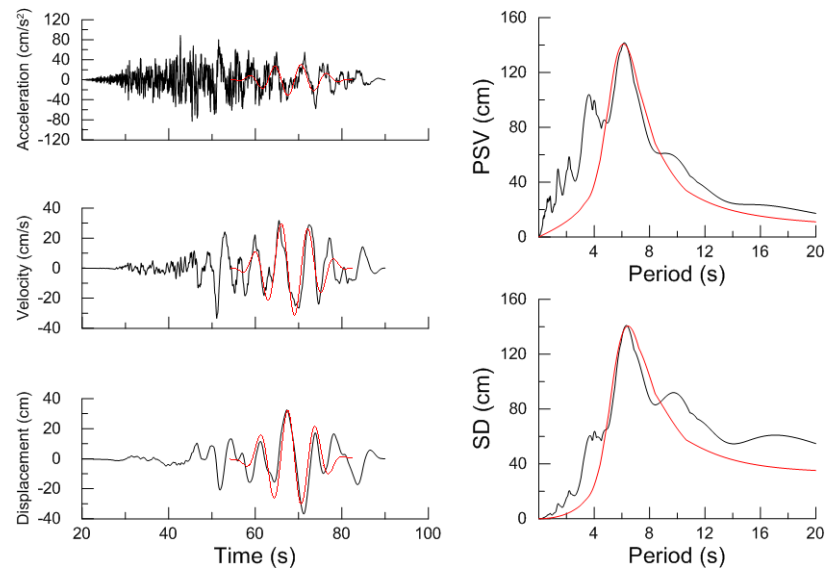
Στον **ΠΙΝΑΚΑ 1** του **Παράρτηματος Α'** δίνεται το σύνολο των 454 καταγραφών με φθίνουσα σειρά του συντελεστή συσχέτισης αρχικού και τεχνητού παλμού καθώς και η τιμή του συντελεστή συσχέτισης που αντιστοιχεί στην καθεμία από αυτές και που προκύπτει από την εφαρμογή της μεθοδολογίας μέσω του κώδικα. Προκειμένου να πραγματοποιείται εύκολη αναζήτηση του συντελεστή συσχέτισης μιας καταγραφής NGA καθώς και του αριθμού από 1 έως 454 που κατατάχθηκε στον ΠΙΝΑΚΑ 1, δίνεται ο **ΠΙΝΑΚΑΣ 2** στο ίδιο παράρτημα. Ακολουθώντας, στο **Παράρτημα Β'** απεικονίζονται με την σειρά του ΠΙΝΑΚΑ 1, δηλαδή φθίνουσα του συντελεστή συσχέτισης, τα 454*5 διαγράμματα. Η διάταξη αυτή είναι κατάλληλη για τον εντοπισμό διαφοροποιήσεων στα διαγράμματα συναρτήσει του συντελεστή συσχέτισης.

Η αξιολόγηση των παλμών που προκύπτουν γίνεται με οπτικά κριτήρια. Εστιάζοντας την προσοχή σε όλα τα διαγράμματα, γίνεται αντιληπτό ότι οι καταγραφές με μεγάλη τιμή συντελεστή συσχέτισης περιέχουν ευκρινώς παλμό, ενώ όταν η τιμή του μειώνεται αισθητά, η καταγραφή δεν είναι παλμικού χαρακτήρα. Σημειώνεται ότι οι δύο συνιστώσες του ίδιου σταθμού καταγραφής δεν είναι υποχρεωτικό να ανήκουν στην ίδια κατηγορία, δηλαδή να είναι και οι δύο παλμικές ή μη καθώς ο τυχόν παλμός δεν παρουσιάζεται σε όλο το φάσμα γωνιών, αλλά σε κάποιο εύρος, με διαφορετική ένταση. Για παράδειγμα, όπως έχει ήδη αναφερθεί, τα χαρακτηριστικά του γίνονται συνήθως εντονότερα στην εγκάρσια στο ίχνος του ρήγματος διεύθυνση όταν πρόκειται για επίπεδο ρήγμα. Δίνονται παρακάτω τα γραφήματα κάποιων αντιπροσωπευτικών περιπτώσεων, ξεκινώντας από τα διαγράμματα της καταγραφής 181T της βάσης NGA, της οποίας ο συντελεστής συσχέτισης πλησιάζει τη μονάδα ($cc=0.946$).



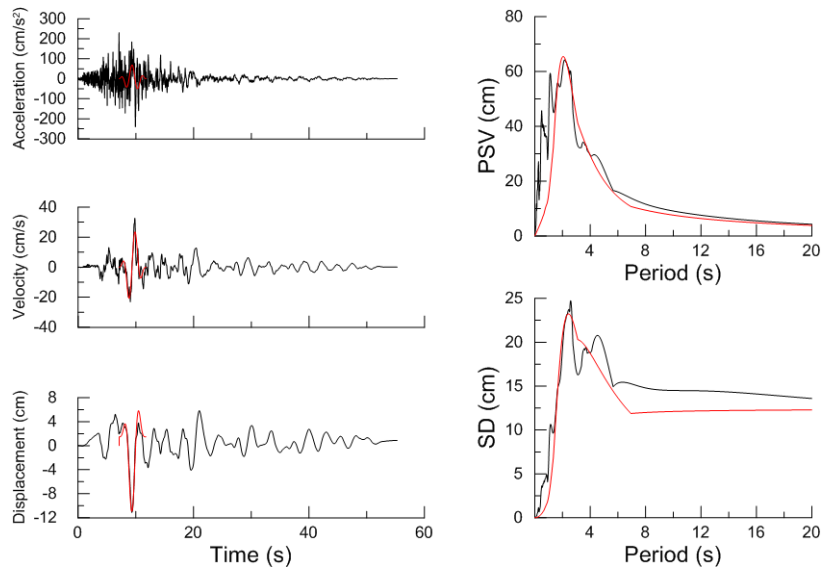
6.3 Χρονοϊστορίες και φάσματα της παλμικής σεισμικής καταγραφής 181T της βάσης NGA

Παρατηρούμε ότι η ύπαρξη του παλμού είναι εμφανής και η αναπαράσταση του είναι υψηλής ακρίβειας τόσο στις χρονοϊστορίες όσο και στα φάσματα της ταχύτητας και της μετατόπισης, ενώ ακόμα και στη χρονοϊστορία επιτάχυνσης δίνει αρκετά καλή προσέγγιση. Στην περίπτωση μιας καταγραφής με μειωμένο, ωστόσο ακόμα μεγάλης τιμής συσχέτισης όπως της 1543T (A/A:188) με $cc=0.682$.



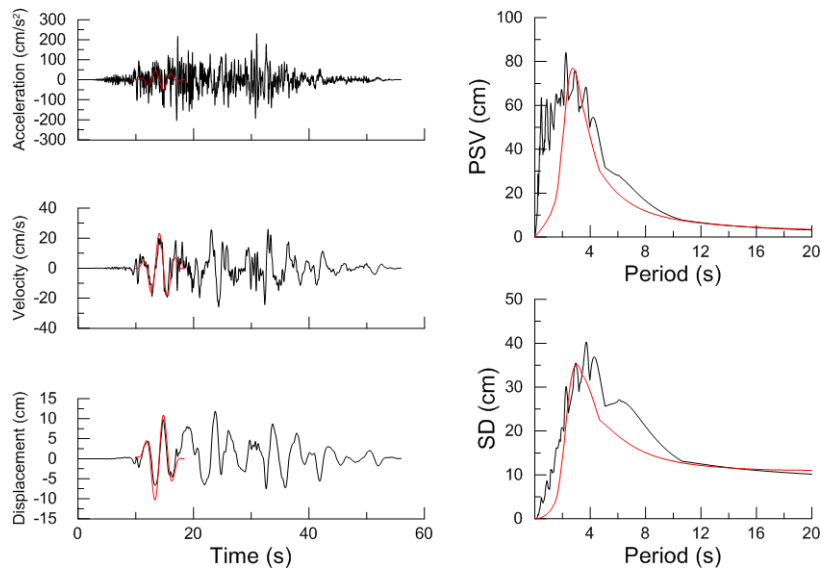
6.4 Χρονοϊστορίες και φάσματα της παλμικής σεισμικής καταγραφής 1543T της βάσης NGA

Η ύπαρξη του παλμού φαίνεται από τις χρονοϊστορίες, αλλά κυρίως από την κωδωνοειδή μορφή των ελαστικών φασμάτων, ενώ η αναπαράσταση του παλμού από την προτεινόμενη μεθοδολογία είναι αρκετά ικανοποιητική. Στη συνέχεια μεταβαίνουμε σε μια περίπτωση κοντά στην τιμή 0.60, την 1009T (A/A:258) με $cc=0.617$, όπου όπως φαίνεται παρακάτω υπάρχει παλμός στην καταγραφή και αναπαρίσταται επιτυχώς από τον τεχνητό.



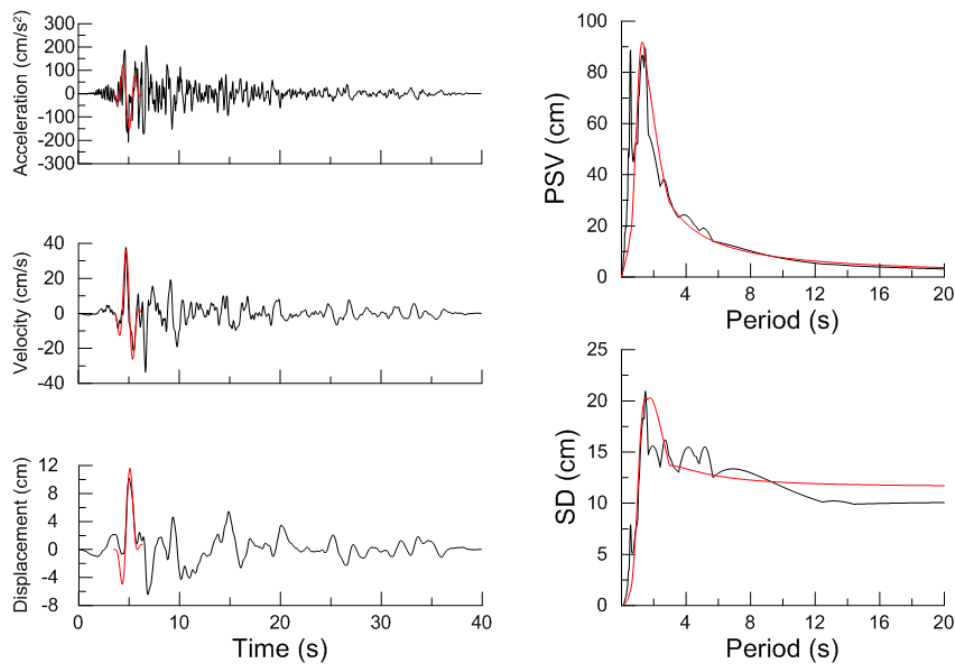
6.5 Χρονοϊστορίες και φάσματα της παλμικής σεισμικής καταγραφής 1009T της βάσης NGA

Αντίθετα, μια καταγραφή με χαμηλό συντελεστή συσχέτισης όπως η 1495L (A/A:425) με $cc=0.433$ μπορεί να αναπαρίσταται καλά ένα τμήμα της χρονοϊστορίας και να δίνεται μια ικανοποιητική περιβάλλουσα στα φάσματα, που επιβεβαιώνει την ορθότητα της μεθόδου, ωστόσο είναι εμφανές ότι δεν πρόκειται για περιγραφή παλμού αλλά μιας απλής καταγραφής, μη παλμικής:



6.6 Χρονοϊστορίες και φάσματα της μη παλμικής σεισμικής καταγραφής 1495L της βάσης NGA

Είναι προφανές βέβαια ότι δε μπορεί να υπάρξει μια συγκεκριμένη τιμή κάτω από την οποία οι καταγραφές είναι μη παλμικές και συνεπώς υπάρχει μια περιοχή τιμών που άλλοτε είναι παλμικές και άλλοτε όχι ή δεν είναι ευκρινές σε ποια κατηγορία ανήκει. Έτσι, για τιμές του συντελεστή συσχέτισης μεταξύ 0.5 και 0.6 θεωρούμε τις καταγραφές αμφιλεγόμενες. Ακολουθεί ένα παράδειγμα μιας τέτοιας καταγραφής 768T (A/A:337) με $cc=0.546$. Μπορεί να θεωρήσουμε ότι το κομμάτι που προσομοιώνεται με τον τεχνητό παλμό είναι παλμικό, όμως το πιθανότερο είναι να είναι απλά μέρος της απλής χρονοϊστορίας της καταγραφής που λανθασμένα εντοπίζεται ως παλμός.



6.7 Χρονοϊστορίες και φάσματα της αμφιλεγόμενης καταγραφής 768T της βάσης NGA

Συμπερασματικά, διαμορφώνεται το κριτήριο κατάταξης καταγραφών που δίνεται στην εξίσωση (7), σύμφωνα με το οποίο οι **285** καταγραφές είναι **παλμικές**, οι **73** μη **παλμικές** και οι **96** **αμφιλεγόμενες**.

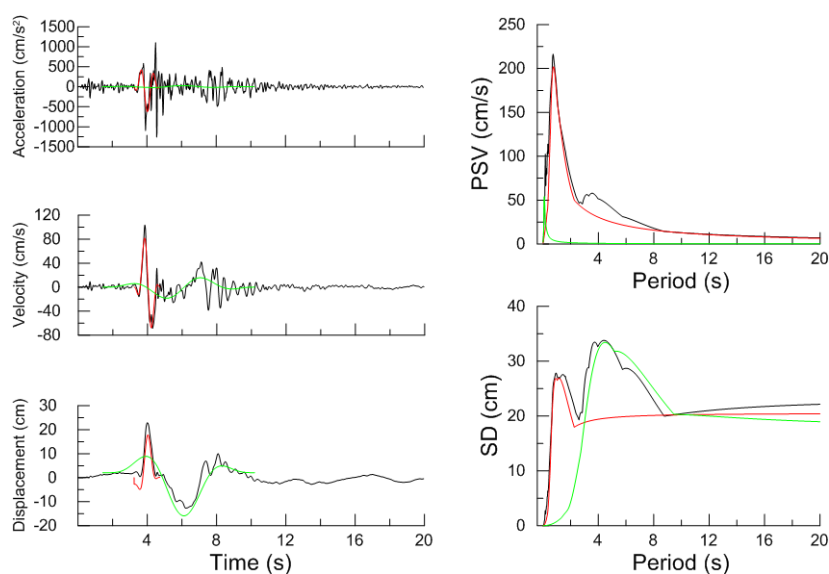
6.5.2 Τεχνητός παλμός για τη μετατόπιση $T_{p,2}$

Ο μοναδικός σημαντικός παλμός είναι στο μεγαλύτερο αριθμό περιπτώσεων ο τεχνητός με περίοδο $T_{p,1}$. Σαρώνοντας ωστόσο τα γραφήματα του Παραρτήματος Β', διαπιστώνεται ότι υπάρχουν αρκετές περιπτώσεις όπου ο παλμός αυτός ενώ είναι συνήθως ικανοποιητικός στην ταχύτητα, τόσο στην χρονοϊστορία όσο και στο φάσμα, αποτυγχάνει να προσομοιάσει την μεγαλύτερη αιχμή του φάσματος μετατόπισης ή το σημαντικότερο οπτικά παλμό που διακρίνεται στη χρονοϊστορία μετατόπισης. Αυτό συμβαίνει στην περίπτωση ύπαρξης παραπάνω του ενός παλμού, όταν κατά τη διάρκεια υπολογισμού του φάσματος συνέλιξης, έχουμε μια σημαντική αιχμή στο φάσμα μετατόπισης η οποία πολλαπλασιάζεται με μια περιοχή χαμηλών τιμών ταχύτητας και ως αποτέλεσμα η αιχμή εξαλείφεται ή τουλάχιστον μειώνεται. Ανάμεσα στο σύνολο των 454 καταγραφών οι **115** (25%) παρουσιάζουν αυτό το φαινόμενο, και δίνονται στον **Πίνακα 3** του Παραρτήματος Α'. Τονίζεται όμως ότι μόνο οι πρώτες **44** ανήκουν στις παλμικές καταγραφές, δηλαδή πρόκειται για το 15% των παλμικών καταγραφών.

Στο σημείο αυτό γίνεται χρήση των τεσσάρων παλμών που προκύπτουν από τη μέθοδο rainflow. Από την ανάλυση έχουν προκύψει οι χρονοϊστορίες και τα φάσματα τους, συνεπώς αντιπαραβάλλουμε γραφικά τους παλμούς με τους αντίστοιχους αρχικούς και επιλέγουμε αυτόν που αντιπροσωπεύει καλύτερα την περιβάλλουσα της μεγαλύτερης αιχμής του φάσματος μετατόπισης ή και τον μεγαλύτερο παλμό στην αντίστοιχη χρονοϊστορία. Στο

μεγαλύτερο αριθμό των περιπτώσεων ο παλμός αυτός είναι ο πρώτος δεξιά από τον πρώτο τεχνητό παλμό στα φάσματα. Ο αντίστοιχος συντελεστής συσχέτισης αρχικού και δεύτερου τεχνητού παλμού μπορεί και για παλμικές καταγραφές να είναι χαμηλός, διότι πρόκειται για το συντελεστή συσχέτισης στην ταχύτητα, ενώ ο δεύτερος παλμός υπολογίζεται για τη μετατόπιση. Συνεπώς θα μπορούσε να εισαχθεί ένα αντίστοιχο κριτήριο με τον συντελεστή συσχέτισης της μετακίνησης όπου για τις παλμικές καταγραφές των 115 περιπτώσεων θα εκτιμάται ότι θα ήταν υψηλός.

Από τις παραπάνω περιπτώσεις, προκύπτουν 5 διαγράμματα για κάθε περίπτωση, στα οποία διατηρείται ο πρώτος τεχνητός παλμός περιόδου $T_{p,1}$ με κόκκινο χρώμα, αλλά επιπλέον απεικονίζεται με πράσινο χρώμα ο καταλληλότερος για εκ των τεσσάρων τεχνητών παλμών της ανάλυσης rainflow. Τα 109*5 διαγράμματα δίνονται με φθίνουσα σειρά του συντελεστή συσχέτισης στο **Παράρτημα Γ'**. Για λόγους κατανόησης δίνεται ως παράδειγμα η καταγραφή 1051T που έχει χαρακτηριστεί παλμική ($cc=0.77$).



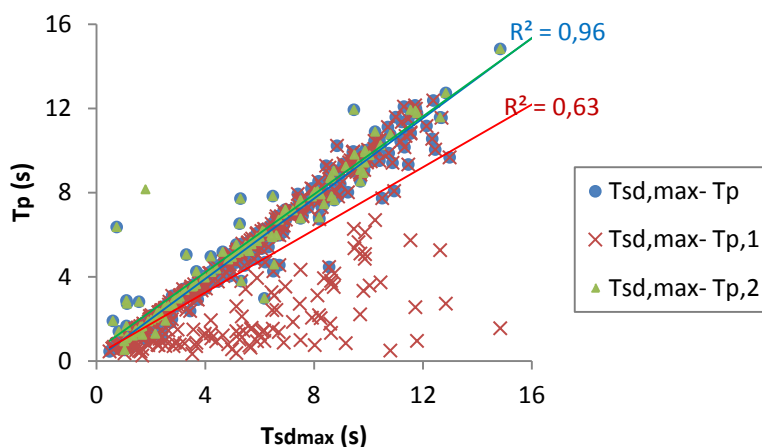
6.8 Χρονοϊστορίες και φάσματα της παλμικής σεισμικής καταγραφής 1051T της βάσης NGA

Από τα γραφήματα είναι εμφανές ότι ο πρώτος τεχνητός παλμός -με κόκκινο χρώμα- προσομοιάζει με πολύ ικανοποιητικό τρόπο τον μεγαλύτερο παλμό στην χρονοϊστορία ταχύτητας και επιτάχυνσης. Επιπλέον, σχεδόν περιβάλλει όλο το φάσμα ταχύτητας, καλύπτοντας την κορυφή και το πλάτος της μεγάλης καμπύλης. Από την άλλη μεριά, όσο αφορά στη χρονοϊστορία και στο φάσμα μετατόπισης, περιγράφεται ο μικρότερος παλμός και η χαμηλότερη καμπύλη αντίστοιχα. Αντίθετα, ο παλμός με πράσινο χρώμα, που προκύπτει μετά το πέρας της εφαρμογής της μεθόδου rainflow, μπορεί να μη δίνει το επιθυμητό αποτέλεσμα στα γραφήματα ταχύτητας όπως ο προηγούμενος, περιγράφει όμως επιτυχώς το μεγαλύτερο παλμό μετατόπισης όπως παρατηρούμε στα αντίστοιχα διαγράμματα, συνεπώς η εύρεση και αυτού του παλμού κρίνεται απαραίτητη.

7 Συμπεράσματα

Αρχικά, καταλήγουμε ότι η τιμή του συντελεστή συσχέτισης αρχικού και τεχνητού παλμού, ο οποίος προκύπτει από την προτεινόμενη μέθοδο και έχει περίοδο που αντιστοιχεί στην μεγαλύτερη αιχμή κωδωνοειδούς μορφής του φάσματος συνέλιξης $S_{d,5\%} \times S_{v,5\%}$, είναι ικανή να προσφέρει ένα κριτήριο με βάση το οποίο δίνεται τη δυνατότητα κατάταξης μιας δεδομένης σεισμικής καταγραφής σε παλμική ή μη, ανεξάρτητα της αιτίας παλμικότητας. Συγκεκριμένα, για τιμές του συντελεστή μεγαλύτερες από **0.60**, μια καταγραφή θεωρείται παλμική, σε αντίθεση με τιμές κάτω του **0.50** για τις οποίες η καταγραφή ταξινομείται στις μη παλμικές. Για τις ενδιάμεσες τιμές του συντελεστή συσχέτισης, δηλαδή από 0.50 έως 0.60 η καταγραφή δεν είναι ξεκάθαρο σε ποια κατηγορία ανήκει οπότε κατατάσσεται ως αμφιλεγόμενη.

Επιπλέον, διαπιστώνουμε ότι σε κάποιες περιπτώσεις, ο πρώτος τεχνητός παλμός δεν είναι και ο κατάλληλος για την προσομοίωση κυρίως του παλμού μετατόπισης. Τότε, γίνεται η επιλογή ενός δεύτερου παλμού μέσω της μεθόδου rainflow, ο οποίος αποδεικνύεται ότι δίνει ικανοποιητικότερα αποτελέσματα για τη μετατόπιση. Στη συνέχεια, συμπεραίνουμε ότι η περίοδος T_p που προκύπτει από τον πρώτο ή το δεύτερο παλμό για τις περιπτώσεις που μόλις αναφέρθηκαν, δίνει καλή συσχέτιση με την περίοδο που αντιστοιχεί στην αιχμή του φάσματος μετατόπισης ($T_{sd,max}$), όπως φαίνεται στο ακόλουθο σχήμα.



7.1 Σύγκριση περιόδων T_p , T_1 , T_2 και $T_{sd,max}$

Παρατηρούμε την αύξηση συσχέτισης περιόδου του τεχνητού παλμού με την αντίστοιχη περίοδο του μεγαλύτερου παλμού μετατόπισης μόλις ληφθεί υπόψη η περίπτωση όπου δεν είναι κατάλληλος για τη μετατόπιση ο πρώτος παλμός περιόδου T_{p1} και αντικατασταθεί από τον δεύτερο περιόδου T_{p2} . Ως αποτέλεσμα, ο συντελεστής συσχέτισης λαμβάνει την τιμή **0.96**, δηλαδή αρκετά υψηλή. Σημειώνεται ότι συμπεριλαμβάνεται το σύνολο των καταγραφών, σε όποια κατηγορία και αν ανήκουν, για αντικειμενικότερο αποτέλεσμα. Στις λίγες περιπτώσεις εξ' αιτίας των οποίων αποκλίνει ο συντελεστής συσχέτισης από τη μονάδα είτε έχουμε καλύτερα αποτελέσματα με τον δεύτερο παλμό μόνο στη χρονοϊστορία ταχύτητας, ενώ στο φάσμα έχει ήδη προσομοιωθεί από τον πρώτο παλμό, είτε ο παλμός έχει

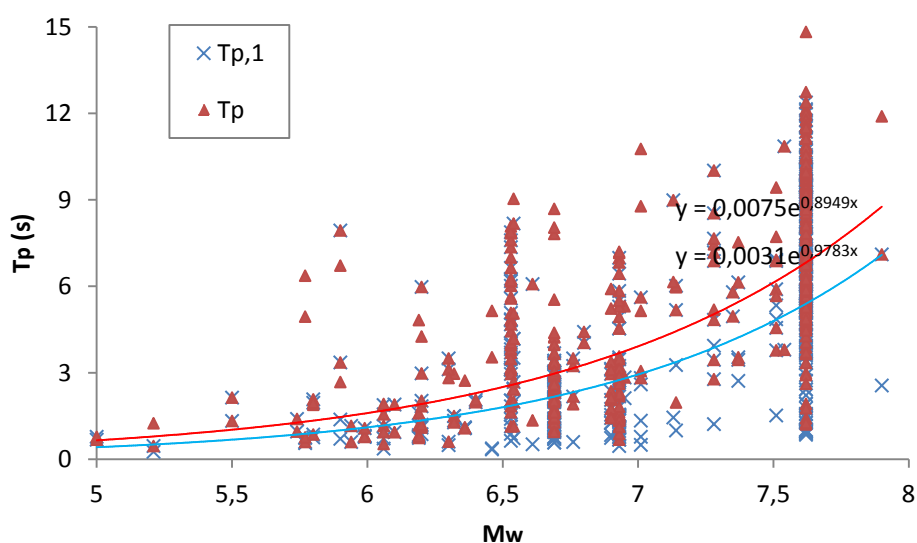
προσομοιάσει μια διπλανή παραπλήσιου ύψους σε σχέση με την καμπύλη με τη μέγιστη αιχμή προκαλώντας μια διαφορά στις περιόδους.

Τέλος, από τα αποτελέσματα προκύπτει μια σύνδεση της περιόδου του παλμού και του μεγέθους της σεισμικής ροπής του σεισμού, όπως αντιλαμβανόμαστε από το σχήμα 7.2. Από τον πρώτο τεχνητό παλμό $T_{p,1}$ παράγεται η παρακάτω σχέση:

$$\ln(T_{p,1}) = -5.78 + 0.98 M_w \quad 7.1$$

η οποία σχεδόν ταυτίζεται με τη σχέση που προτείνει ο Baker (2007), ενώ η αντίστοιχη σχέση για περίοδο παλμού ίση με αυτή του δεύτερου τεχνητού όταν ο πρώτος δεν κρίνεται ορθότερος για τη μετατόπιση είναι:

$$\ln(T_p) = -4.89 + 0.90 M_w \quad 7.2$$



7.2 Σχέση T_p και M_w

Παράρτημα Α

ΠΙΝΑΚΑΣ 1

A/A	Καταγραφή NGA	Συντελεστής Συσχέτισης	A/A	Καταγραφή NGA	Συντελεστής Συσχέτισης	A/A	Καταγραφή NGA	Συντελεστής Συσχέτισης
1	181T	0.946	41	2627T	0.837	81	459T	0.795
2	1634T	0.944	42	1489L	0.837	82	3548L	0.794
3	2495T	0.944	43	527L	0.837	83	1634L	0.793
4	1505T	0.931	44	1479L	0.837	84	1493L	0.791
5	179T	0.928	45	183T	0.837	85	508T	0.790
6	1045L	0.913	46	143T	0.836	86	1484T	0.787
7	1502T	0.912	47	1482L	0.834	87	2495L	0.786
8	180T	0.910	48	1244T	0.832	88	1063L	0.785
9	182T	0.897	49	171L	0.831	89	1481T	0.785
10	150L	0.897	50	1485L	0.830	90	1523L	0.785
11	1476T	0.893	51	1528L	0.830	91	900L	0.782
12	171T	0.887	52	982L	0.829	92	1548T	0.782
13	879L	0.886	53	1475L	0.828	93	418T	0.781
14	451T	0.885	54	338L	0.827	94	159T	0.780
15	1548L	0.883	55	1492L	0.827	95	1176L	0.778
16	1161T	0.883	56	529L	0.825	96	1491L	0.777
17	185L	0.882	57	1471L	0.824	97	316L	0.776
18	292T	0.877	58	1475T	0.824	98	1472T	0.775
19	821L	0.873	59	1752T	0.823	99	1494L	0.775
20	1505L	0.871	60	1605T	0.821	100	1472L	0.773
21	1483L	0.866	61	1486T	0.819	101	767T	0.771
22	1483T	0.864	62	758L	0.817	102	1051T	0.770
23	527T	0.863	63	645L	0.816	103	806L	0.770
24	1403L	0.862	64	178T	0.815	104	159L	0.770
25	1519L	0.855	65	415L	0.814	105	1119T	0.768
26	1550T	0.854	66	1492T	0.814	106	1063T	0.768
27	181L	0.851	67	1478L	0.811	107	879T	0.767
28	569T	0.850	68	1054T	0.810	108	569L	0.766
29	508L	0.849	69	1853L	0.809	109	1502L	0.765
30	1482T	0.848	70	764L	0.808	110	1526L	0.765
31	766T	0.848	71	185T	0.806	111	1476L	0.762
32	1486L	0.848	72	1510L	0.805	112	1499L	0.761
33	1161L	0.847	73	1403T	0.804	113	803T	0.760
34	1595T	0.847	74	1515L	0.803	114	1523T	0.758
35	615L	0.847	75	1519T	0.802	115	1595L	0.758
36	1195T	0.846	76	1180L	0.802	116	1193T	0.755
37	1054L	0.845	77	2457T	0.802	117	1013T	0.754
38	1530L	0.842	78	170T	0.799	118	1498L	0.752
39	983L	0.841	79	1480T	0.797	119	184L	0.748
40	723L	0.838	80	1484L	0.796	120	3548T	0.748

A/A	Καταγραφή NGA	Συντελεστής Συσχέτισης	A/A	Καταγραφή NGA	Συντελεστής Συσχέτισης	A/A	Καταγραφή NGA	Συντελεστής Συσχέτισης
121	1496T	0.746	161	806T	0.706	201	292L	0.672
122	1004T	0.746	162	1501L	0.705	202	1471T	0.672
123	1497T	0.746	163	828T	0.704	203	758T	0.670
124	802T	0.744	164	1180T	0.698	204	1231T	0.670
125	615T	0.743	165	1546T	0.698	205	1158L	0.665
126	2457L	0.742	166	1490T	0.698	206	1480L	0.665
127	1463L	0.741	167	1602T	0.697	207	173L	0.664
128	178L	0.739	168	1529L	0.697	208	2114T	0.663
129	126L	0.738	169	173T	0.696	209	585L	0.662
130	1487L	0.737	170	1085L	0.696	210	721T	0.661
131	1481L	0.737	171	960L	0.696	211	825L	0.661
132	1514T	0.735	172	1462L	0.696	212	1246L	0.660
133	1086T	0.731	173	1499T	0.696	213	180L	0.659
134	1542L	0.729	174	250T	0.693	214	1535L	0.659
135	1086L	0.728	175	1531L	0.691	215	1013L	0.658
136	1231L	0.726	176	1527L	0.691	216	1477T	0.658
137	1119L	0.725	177	2114L	0.691	217	1045T	0.658
138	1490L	0.725	178	1527T	0.690	218	900T	0.657
139	1084L	0.723	179	783T	0.690	219	319T	0.656
140	1244L	0.722	180	1106T	0.690	220	1543L	0.654
141	1553T	0.721	181	1085T	0.689	221	1193L	0.653
142	1550L	0.721	182	126T	0.688	222	1477L	0.653
143	1488T	0.719	183	821T	0.688	223	1158T	0.652
144	1514L	0.719	184	783L	0.687	224	1202L	0.652
145	738L	0.718	185	1496L	0.686	225	250L	0.652
146	738T	0.718	186	1479T	0.684	226	540L	0.651
147	158L	0.717	187	407L	0.683	227	1120L	0.651
148	161L	0.716	188	1543T	0.682	228	787T	0.650
149	1491T	0.716	189	779L	0.682	229	1493T	0.647
150	319L	0.715	190	1497L	0.680	230	1487T	0.647
151	1503L	0.714	191	1605L	0.679	231	150T	0.646
152	953L	0.714	192	1203T	0.678	232	1629T	0.644
153	503L	0.710	193	451L	0.678	233	1501T	0.642
154	1238L	0.710	194	1532T	0.678	234	802L	0.641
155	1246T	0.709	195	1531T	0.676	235	1195L	0.638
156	1176T	0.709	196	1533L	0.674	236	1530T	0.637
157	558T	0.709	197	415T	0.673	237	1633T	0.634
158	1198T	0.708	198	1084T	0.673	238	585T	0.634
159	2734L	0.708	199	174T	0.673	239	848L	0.632
160	838L	0.707	200	1077L	0.672	240	1504L	0.631

A/A	Καταγραφή NGA	Συντελεστής Συσχέτισης	A/A	Καταγραφή NGA	Συντελεστής Συσχέτισης	A/A	Καταγραφή NGA	Συντελεστής Συσχέτισης
241	1787L	0.630	281	1549T	0.606	321	1012L	0.563
242	1506T	0.629	282	765T	0.606	322	1203L	0.562
243	2627L	0.629	283	1540T	0.605	323	161T	0.560
244	759T	0.628	284	143L	0.601	324	752T	0.559
245	1495T	0.627	285	1494T	0.600	325	1197T	0.559
246	1506L	0.626	286	568T	0.599	326	953T	0.559
247	1528T	0.626	287	1182T	0.597	327	3317L	0.557
248	1080L	0.626	288	1532L	0.597	328	1106L	0.557
249	184T	0.622	289	182L	0.597	329	1044T	0.556
250	764T	0.622	290	1077T	0.596	330	776L	0.555
251	1488L	0.620	291	338T	0.592	331	1537L	0.554
252	982T	0.620	292	1529T	0.590	332	158T	0.552
253	776T	0.619	293	645T	0.589	333	721L	0.551
254	1489T	0.618	294	1504T	0.587	334	1535T	0.551
255	828L	0.618	295	1534L	0.586	335	170L	0.550
256	1752L	0.618	296	1120T	0.584	336	1050L	0.547
257	803L	0.618	297	753T	0.584	337	768T	0.546
258	1009T	0.617	298	959T	0.582	338	1508T	0.546
259	1147L	0.617	299	1238T	0.580	339	316T	0.545
260	1463T	0.617	300	1004L	0.580	340	959L	0.545
261	1853T	0.617	301	1511L	0.580	341	949T	0.544
262	1012T	0.617	302	3317T	0.579	342	568L	0.544
263	829L	0.616	303	1052L	0.577	343	77L	0.542
264	723T	0.615	304	459L	0.574	344	1536L	0.540
265	1540L	0.614	305	725L	0.574	345	179L	0.540
266	1500L	0.613	306	1051L	0.573	346	1048T	0.540
267	407T	0.613	307	558L	0.572	347	901L	0.537
268	811L	0.612	308	1533T	0.571	348	1526T	0.537
269	952L	0.612	309	174L	0.571	349	1545T	0.535
270	725T	0.610	310	766L	0.570	350	949L	0.534
271	1517L	0.610	311	1503T	0.569	351	1410L	0.534
272	983T	0.610	312	1510T	0.569	352	540T	0.532
273	1201L	0.609	313	829T	0.569	353	1410T	0.531
274	1787T	0.609	314	1194T	0.568	354	838T	0.531
275	752L	0.608	315	503T	0.567	355	787L	0.530
276	1546L	0.608	316	1538T	0.566	356	418L	0.529
277	1498T	0.607	317	1507T	0.565	357	1462T	0.527
278	825T	0.607	318	496T	0.565	358	2734T	0.526
279	777L	0.606	319	1541L	0.565	359	1044L	0.525
280	1515T	0.606	320	963T	0.564	360	729T	0.525

A/A	Καταγραφή NGA	Συντελεστής Συσχέτισης	A/A	Καταγραφή NGA	Συντελεστής Συσχέτισης	A/A	Καταγραφή NGA	Συντελεστής Συσχέτισης
361	496L	0.524	396	753L	0.484	431	777T	0.420
362	3474T	0.523	397	960T	0.481	432	160T	0.419
363	1141L	0.522	398	741L	0.481	433	1538L	0.419
364	1521L	0.521	399	1048L	0.479	434	1050T	0.418
365	3474L	0.521	400	1500T	0.478	435	1602L	0.418
366	1485T	0.520	401	864L	0.478	436	1536T	0.415
367	183L	0.519	402	77T	0.476	437	1517T	0.414
368	1478T	0.518	403	952T	0.474	438	160L	0.413
369	1521T	0.516	404	495T	0.474	439	1082L	0.411
370	1509L	0.514	405	1512L	0.474	440	1596L	0.410
371	1596T	0.512	406	741T	0.473	441	1009L	0.408
372	1201T	0.512	407	778L	0.471	442	864T	0.402
373	1541T	0.512	408	1003T	0.470	443	727L	0.401
374	1629L	0.511	409	529T	0.468	444	1111T	0.399
375	1511T	0.509	410	727T	0.467	445	1147T	0.391
376	1116L	0.508	411	1509T	0.466	446	767L	0.390
377	6T	0.506	412	1116T	0.466	447	1534T	0.385
378	1003L	0.506	413	1182L	0.464	448	901T	0.381
379	1537T	0.505	414	1551L	0.459	449	368T	0.379
380	963L	0.503	415	1082T	0.459	450	1513L	0.378
381	1197L	0.500	416	1198L	0.458	451	1512T	0.368
382	765L	0.499	417	1547T	0.457	452	1087T	0.365
383	768L	0.498	418	779T	0.456	453	1507L	0.357
384	1080T	0.497	419	1547L	0.453	454	1052T	0.357
385	1545L	0.494	420	1549L	0.453			
386	1111L	0.493	421	811T	0.452			
387	1551T	0.493	422	6L	0.447			
388	1141T	0.492	423	778T	0.442			
389	848T	0.490	424	1513T	0.433			
390	1542T	0.490	425	1495L	0.433			
391	759L	0.490	426	1633L	0.430			
392	729L	0.489	427	1087L	0.424			
393	1508L	0.489	428	495L	0.423			
394	1194L	0.486	429	1202T	0.423			
395	368L	0.484	430	1553L	0.421			

ΠΙΝΑΚΑΣ 2

Καταγραφή NGA	Αρ.κατάταξης πίνακα 1	Συντελεστής Συσχέτισης	Καταγραφή NGA	Αρ.κατάταξης πίνακα 1	Συντελεστής Συσχέτισης
6L	422	0.447	185L	17	0.882
6T	377	0.506	185T	71	0.806
77L	343	0.542	250L	225	0.652
77T	402	0.476	250T	174	0.693
126L	129	0.738	292L	201	0.672
126T	182	0.688	292T	18	0.877
143L	284	0.601	316L	97	0.776
143T	46	0.836	316T	339	0.545
150L	10	0.897	319L	150	0.715
150T	231	0.646	319T	219	0.656
158L	147	0.717	338L	54	0.827
158T	332	0.552	338T	291	0.592
159L	104	0.770	368L	395	0.484
159T	94	0.780	368T	449	0.379
160L	438	0.413	407L	187	0.683
160T	432	0.419	407T	267	0.613
161L	148	0.716	415L	65	0.814
161T	323	0.560	415T	197	0.673
170L	335	0.550	418L	356	0.529
170T	78	0.799	418T	93	0.781
171L	49	0.831	451L	193	0.678
171T	12	0.887	451T	14	0.885
173L	207	0.664	459L	304	0.574
173T	169	0.696	459T	81	0.795
174L	309	0.571	495L	428	0.423
174T	199	0.673	495T	404	0.474
178L	128	0.739	496L	361	0.524
178T	64	0.815	496T	318	0.565
179L	345	0.540	503L	153	0.710
179T	5	0.928	503T	315	0.567
180L	213	0.659	508L	29	0.849
180T	8	0.910	508T	85	0.790
181L	27	0.851	527L	43	0.837
181T	1	0.946	527T	23	0.863
182L	289	0.597	529L	56	0.825
182T	9	0.897	529T	409	0.468
183L	367	0.519	540L	226	0.651
183T	45	0.837	540T	352	0.532
184L	119	0.748	558L	307	0.572
184T	249	0.622	558T	157	0.709

568L	342	0.544		768L	383	0.498
568T	286	0.599		768T	337	0.546
569L	108	0.766		776L	330	0.555
569T	28	0.850		776T	253	0.619
585L	209	0.662		777L	279	0.606
585T	238	0.634		777T	431	0.420
615L	35	0.847		778L	407	0.471
615T	125	0.743		778T	423	0.442
645L	63	0.816		779L	189	0.682
645T	293	0.589		779T	418	0.456
721L	333	0.551		783L	184	0.687
721T	210	0.661		783T	179	0.690
723L	40	0.838		787L	355	0.530
723T	264	0.615		787T	228	0.650
725L	305	0.574		802L	234	0.641
725T	270	0.610		802T	124	0.744
727L	443	0.401		803L	257	0.618
727T	410	0.467		803T	113	0.760
729L	392	0.489		806L	103	0.770
729T	360	0.525		806T	161	0.706
738L	145	0.718		811L	268	0.612
738T	146	0.718		811T	421	0.452
741L	398	0.481		821L	19	0.873
741T	406	0.473		821T	183	0.688
752L	275	0.608		825L	211	0.661
752T	324	0.559		825T	278	0.607
753L	396	0.484		828L	255	0.618
753T	297	0.584		828T	163	0.704
758L	62	0.817		829L	263	0.616
758T	203	0.670		829T	313	0.569
759L	391	0.490		838L	160	0.707
759T	244	0.628		838T	354	0.531
764L	70	0.808		848L	239	0.632
764T	250	0.622		848T	389	0.490
765L	382	0.499		864L	401	0.478
765T	282	0.606		864T	442	0.402
766L	310	0.570		879L	13	0.886
766T	31	0.848		879T	107	0.767
767L	446	0.390		900L	91	0.782
767T	101	0.771		900T	218	0.657

901L	347	0.537		1054L	37	0.845
901T	448	0.381		1054T	68	0.810
949L	350	0.534		1063L	88	0.785
949T	341	0.544		1063T	106	0.768
952L	269	0.612		1077L	200	0.672
952T	403	0.474		1077T	290	0.596
953L	152	0.714		1080L	248	0.626
953T	326	0.559		1080T	384	0.497
959L	340	0.545		1082L	439	0.411
959T	298	0.582		1082T	415	0.459
960L	171	0.696		1084L	139	0.723
960T	397	0.481		1084T	198	0.673
963L	380	0.503		1085L	170	0.696
963T	320	0.564		1085T	181	0.689
982L	52	0.829		1086L	135	0.728
982T	252	0.620		1086T	133	0.731
983L	39	0.841		1087L	427	0.424
983T	272	0.610		1087T	452	0.365
1003L	378	0.506		1106L	328	0.557
1003T	408	0.470		1106T	180	0.690
1004L	300	0.580		1111L	386	0.493
1004T	122	0.746		1111T	444	0.399
1009L	441	0.408		1116L	376	0.508
1009T	258	0.617		1116T	412	0.466
1012L	321	0.563		1119L	137	0.725
1012T	262	0.617		1119T	105	0.768
1013L	215	0.658		1120L	227	0.651
1013T	117	0.754		1120T	296	0.584
1044L	359	0.525		1141L	363	0.522
1044T	329	0.556		1141T	388	0.492
1045L	6	0.913		1147L	259	0.617
1045T	217	0.658		1147T	445	0.391
1048L	399	0.479		1158L	205	0.665
1048T	346	0.540		1158T	223	0.652
1050L	336	0.547		1161L	33	0.847
1050T	434	0.418		1161T	16	0.883
1051L	306	0.573		1176L	95	0.778
1051T	102	0.770		1176T	156	0.709
1052L	303	0.577		1180L	76	0.802
1052T	454	0.357		1180T	164	0.698

1182L	413	0.464		1476L	111	0.762
1182T	287	0.597		1476T	11	0.893
1193L	221	0.653		1477L	222	0.653
1193T	116	0.755		1477T	216	0.658
1194L	394	0.486		1478L	67	0.811
1194T	314	0.568		1478T	368	0.518
1195L	235	0.638		1479L	44	0.837
1195T	36	0.846		1479T	186	0.684
1197L	381	0.500		1480L	206	0.665
1197T	325	0.559		1480T	79	0.797
1198L	416	0.458		1481L	131	0.737
1198T	158	0.708		1481T	89	0.785
1201L	273	0.609		1482L	47	0.834
1201T	372	0.512		1482T	30	0.848
1202L	224	0.652		1483L	21	0.866
1202T	429	0.423		1483T	22	0.864
1203L	322	0.562		1484L	80	0.796
1203T	192	0.678		1484T	86	0.787
1231L	136	0.726		1485L	50	0.830
1231T	204	0.670		1485T	366	0.520
1238L	154	0.710		1486L	32	0.848
1238T	299	0.580		1486T	61	0.819
1244L	140	0.722		1487L	130	0.737
1244T	48	0.832		1487T	230	0.647
1246L	212	0.660		1488L	251	0.620
1246T	155	0.709		1488T	143	0.719
1403L	24	0.862		1489L	42	0.837
1403T	73	0.804		1489T	254	0.618
1410L	351	0.534		1490L	138	0.725
1410T	353	0.531		1490T	166	0.698
1462L	172	0.696		1491L	96	0.777
1462T	357	0.527		1491T	149	0.716
1463L	127	0.741		1492L	55	0.827
1463T	260	0.617		1492T	66	0.814
1471L	57	0.824		1493L	84	0.791
1471T	202	0.672		1493T	229	0.647
1472L	100	0.773		1494L	99	0.775
1472T	98	0.775		1494T	285	0.600
1475L	53	0.828		1495L	425	0.433
1475T	58	0.824		1495T	245	0.627

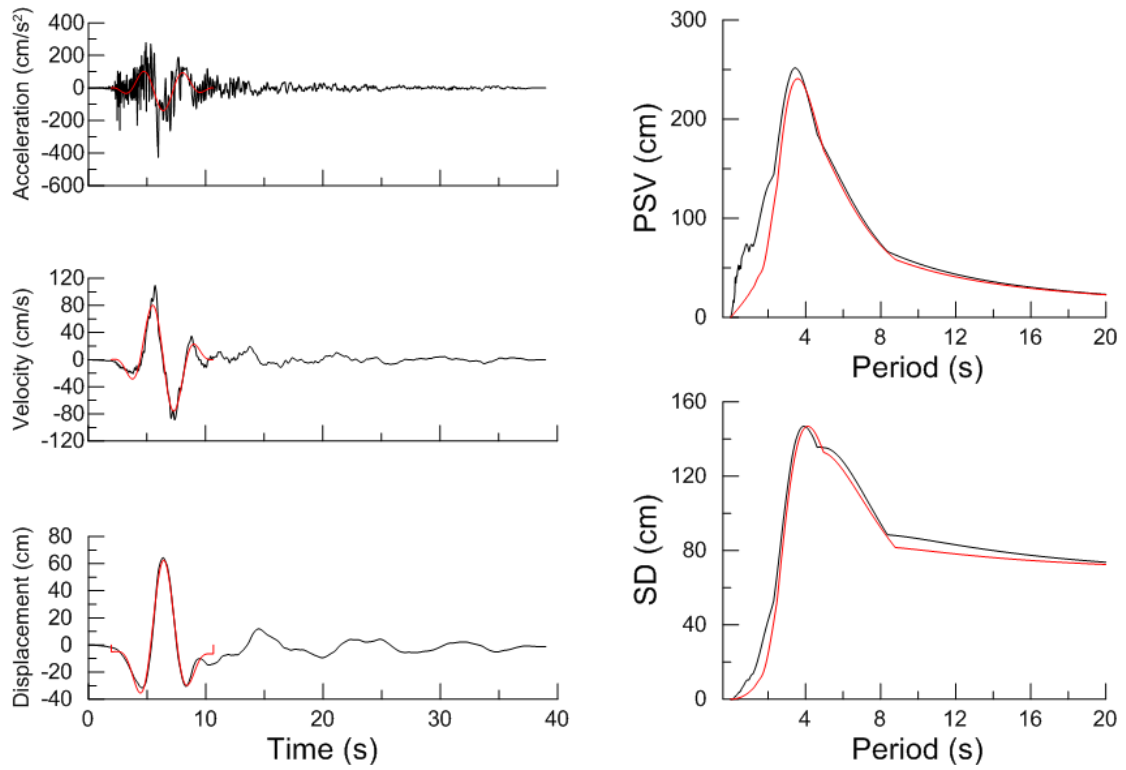
1496L	185	0.686		1517L	271	0.610
1496T	121	0.746		1517T	437	0.414
1497L	190	0.680		1519L	25	0.855
1497T	123	0.746		1519T	75	0.802
1498L	118	0.752		1521L	364	0.521
1498T	277	0.607		1521T	369	0.516
1499L	112	0.761		1523L	90	0.785
1499T	173	0.696		1523T	114	0.758
1500L	266	0.613		1526L	110	0.765
1500T	400	0.478		1526T	348	0.537
1501L	162	0.705		1527L	176	0.691
1501T	233	0.642		1527T	178	0.690
1502L	109	0.765		1528L	51	0.830
1502T	7	0.912		1528T	247	0.626
1503L	151	0.714		1529L	168	0.697
1503T	311	0.569		1529T	292	0.590
1504L	240	0.631		1530L	38	0.842
1504T	294	0.587		1530T	236	0.637
1505L	20	0.871		1531L	175	0.691
1505T	4	0.931		1531T	195	0.676
1506L	246	0.626		1532L	288	0.597
1506T	242	0.629		1532T	194	0.678
1507L	453	0.357		1533L	196	0.674
1507T	317	0.565		1533T	308	0.571
1508L	393	0.489		1534L	295	0.586
1508T	338	0.546		1534T	447	0.385
1509L	370	0.514		1535L	214	0.659
1509T	411	0.466		1535T	334	0.551
1510L	72	0.805		1536L	344	0.540
1510T	312	0.569		1536T	436	0.415
1511L	301	0.580		1537L	331	0.554
1511T	375	0.509		1537T	379	0.505
1512L	405	0.474		1538L	433	0.419
1512T	451	0.368		1538T	316	0.566
1513L	450	0.378		1540L	265	0.614
1513T	424	0.433		1540T	283	0.605
1514L	144	0.719		1541L	319	0.565
1514T	132	0.735		1541T	373	0.512
1515L	74	0.803		1542L	134	0.729
1515T	280	0.606		1542T	390	0.490

1543L	220	0.654		1629T	232	0.644
1543T	188	0.682		1633L	426	0.430
1545L	385	0.494		1633T	237	0.634
1545T	349	0.535		1634L	83	0.793
1546L	276	0.608		1634T	2	0.944
1546T	165	0.698		1752L	256	0.618
1547L	419	0.453		1752T	59	0.823
1547T	417	0.457		1787L	241	0.630
1548L	15	0.883		1787T	274	0.609
1548T	92	0.782		1853L	69	0.809
1549L	420	0.453		1853T	261	0.617
1549T	281	0.606		2114L	177	0.691
1550L	142	0.721		2114T	208	0.663
1550T	26	0.854		2457L	126	0.742
1551L	414	0.459		2457T	77	0.802
1551T	387	0.493		2495L	87	0.786
1553L	430	0.421		2495T	3	0.944
1553T	141	0.721		2627L	243	0.629
1595L	115	0.758		2627T	41	0.837
1595T	34	0.847		2734L	159	0.708
1596L	440	0.410		2734T	358	0.526
1596T	371	0.512		3317L	327	0.557
1602L	435	0.418		3317T	302	0.579
1602T	167	0.697		3474L	365	0.521
1605L	191	0.679		3474T	362	0.523
1605T	60	0.821		3548L	82	0.794
1629L	374	0.511		3548T	120	0.748

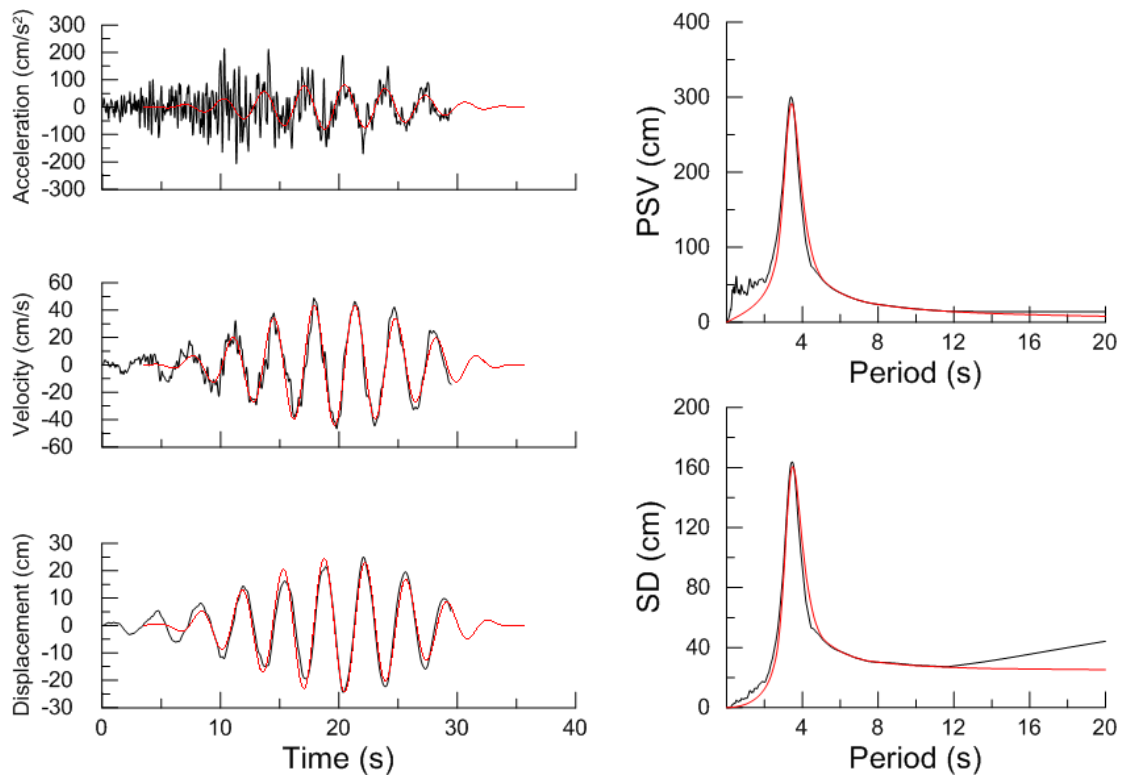
ΠΙΝΑΚΑΣ 3

A/A	Αρ. κατάταξης πίνακα 1	Καταγραφή NGA	A/A	Αρ. κατάταξης πίνακα 1	Καταγραφή NGA	A/A	Αρ. κατάταξης πίνακα 1	Καταγραφή NGA
1	21	1483L	41	273	1201L	81	377	6T
2	33	1161L	42	274	1787T	82	378	1003L
3	55	1492L	43	278	825T	83	379	1537T
4	82	3548L	44	282	765T	84	383	768L
5	102	1051T	45	286	568T	85	387	1551T
6	128	178L	46	287	1182T	86	393	1508L
7	136	1231L	47	292	1529T	87	395	368L
8	140	1244L	48	296	1120T	88	396	753L
9	150	319L	49	297	753T	89	397	960T
10	152	953L	50	306	1051L	90	398	741L
11	153	503L	51	308	1533T	91	399	1048L
12	157	558T	52	313	829T	92	401	864L
13	167	1602T	53	317	1507T	93	402	77T
14	169	173T	54	319	1541L	94	403	952T
15	177	2114L	55	320	963T	95	409	529T
16	180	1106T	56	321	1012L	96	410	727T
17	184	783L	57	324	752T	97	411	1509T
18	186	1479T	58	325	1197T	98	412	1116T
19	187	407L	59	329	1044T	99	413	1182L
20	195	1531T	60	330	776L	100	414	1551L
21	197	415T	61	331	1537L	101	417	1547T
22	198	1084T	62	344	1536L	102	423	778T
23	204	1231T	63	345	179L	103	424	1513T
24	215	1013L	64	347	901L	104	427	1087L
25	216	1477T	65	350	949L	105	429	1202T
26	219	319T	66	352	540T	106	432	160T
27	221	1193L	67	353	1410T	107	435	1602L
28	223	1158T	68	354	838T	108	437	1517T
29	226	540L	69	356	418L	109	438	160L
30	237	1633T	70	357	1462T	110	441	1009L
31	246	1506L	71	358	2734T	111	444	1111T
32	248	1080L	72	359	1044L	112	445	1147T
33	249	184T	73	360	729T	113	448	901T
34	254	1489T	74	361	496L	114	451	1512T
35	255	828L	75	365	3474L	115	452	1087T
36	257	803L	76	368	1478T			
37	262	1012T	77	370	1509L			
38	263	829L	78	372	1201T			
39	269	952L	79	373	1541T			
40	270	725T	80	374	1629L			

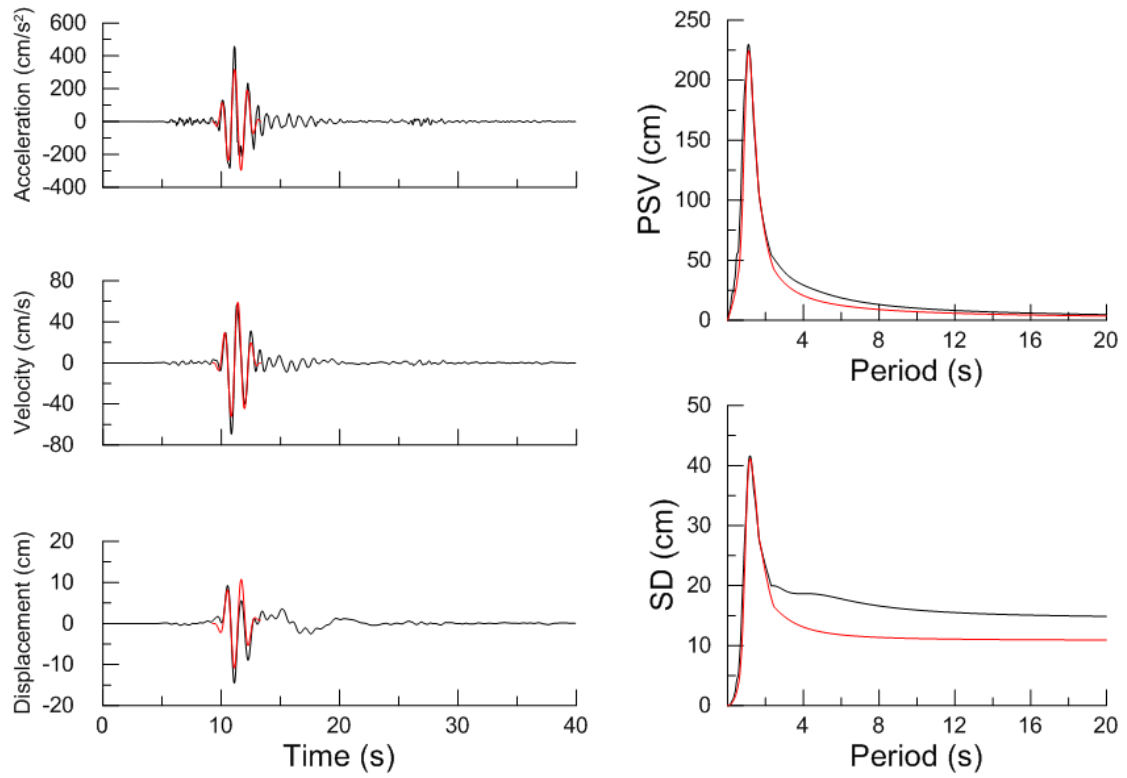
Παράρτημα Β



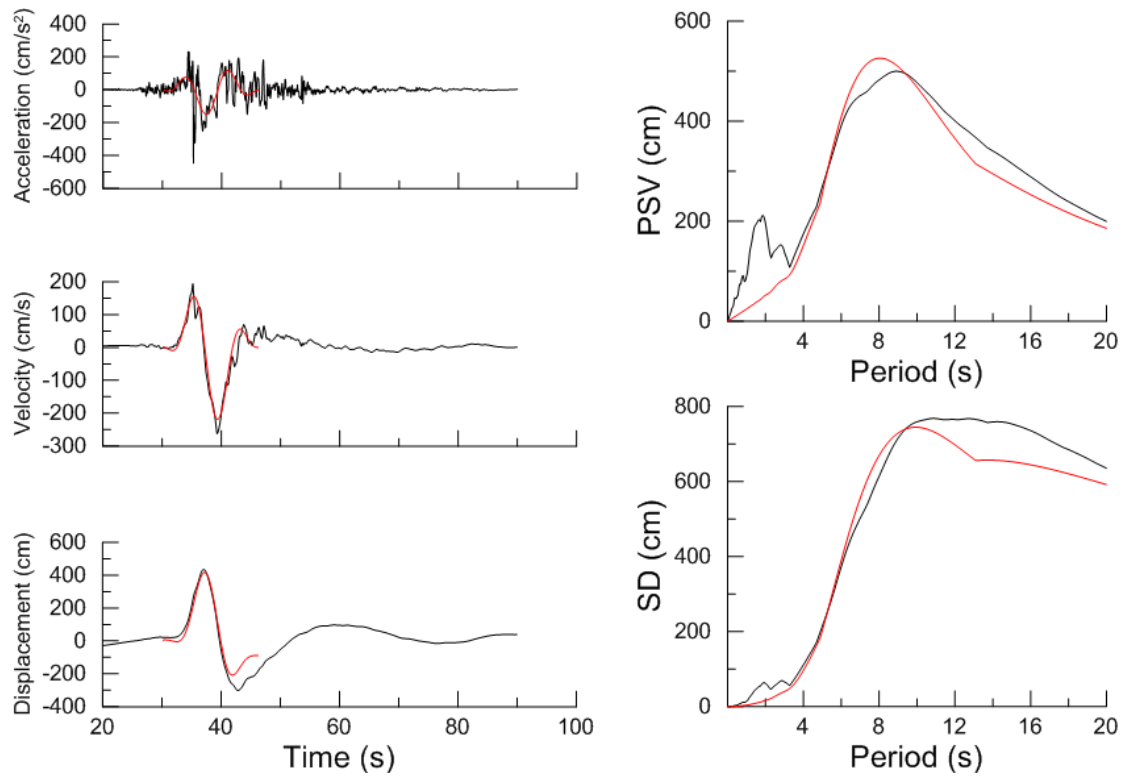
Χρονοϊστορίες και φάσματα της σεισμικής καταγραφής 181T της βάσης NGA



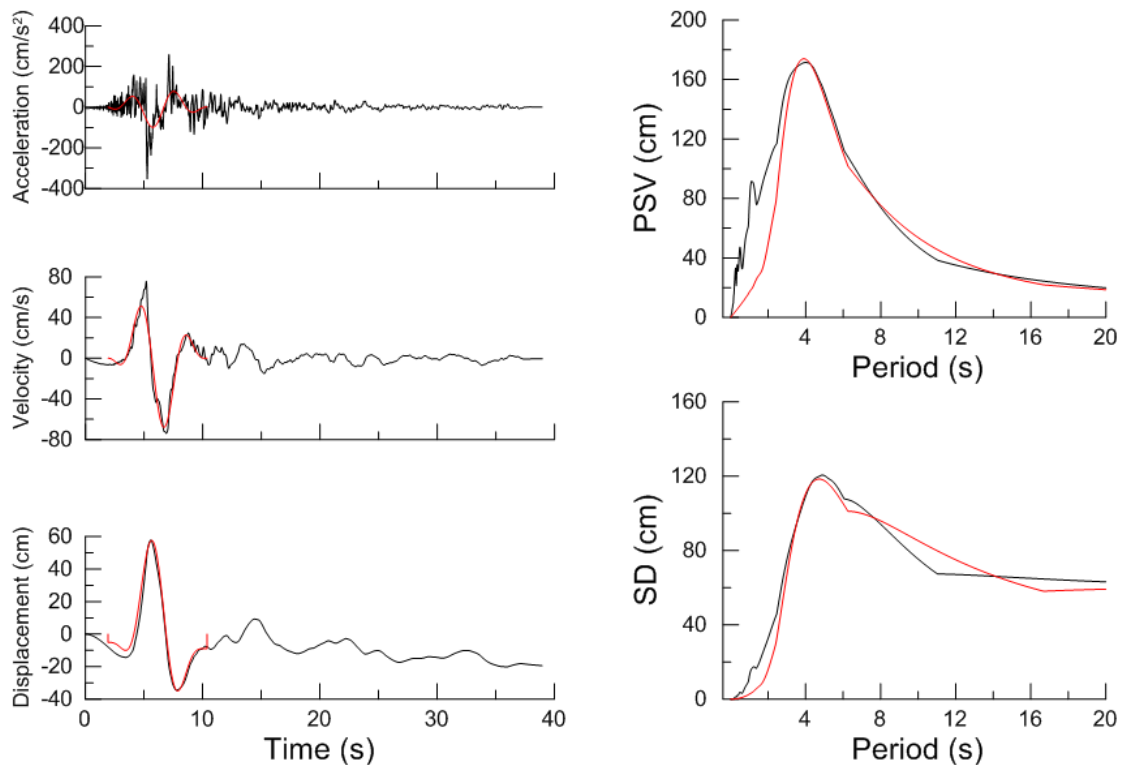
Χρονοϊστορίες και φάσματα της σεισμικής καταγραφής 1634T της βάσης NGA



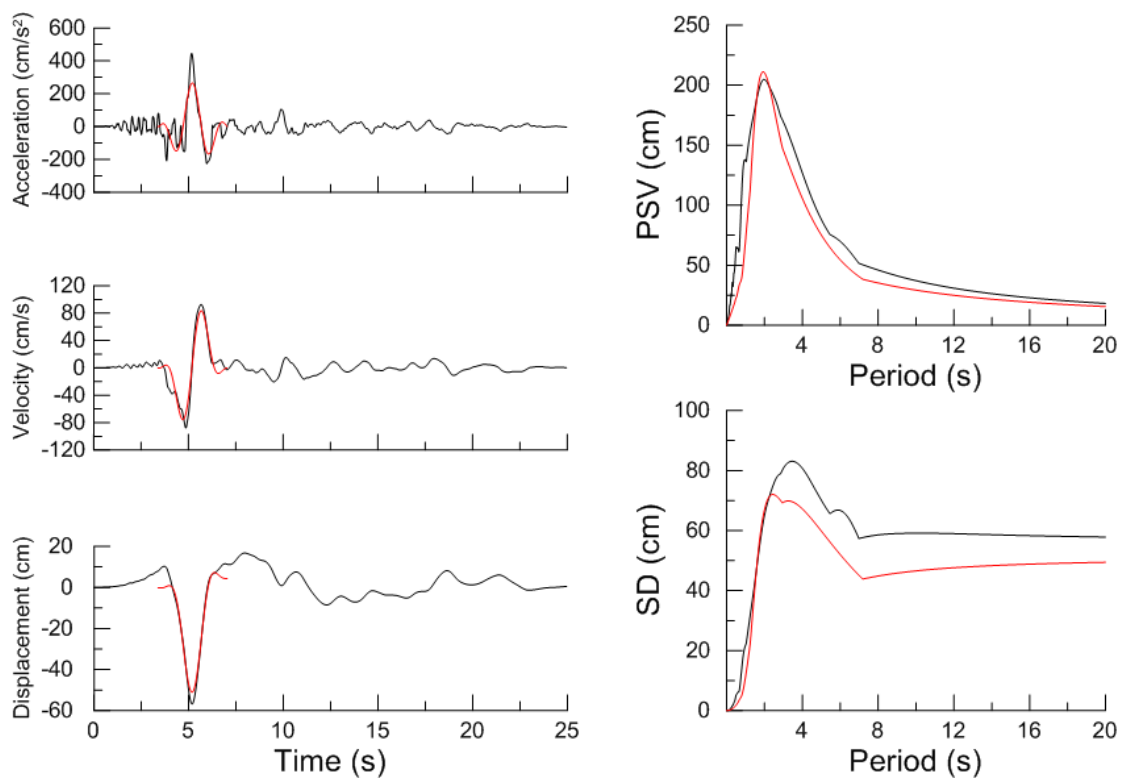
Χρονοϊστορίες και φάσματα της σεισμικής καταγραφής 2495T της βάσης NGA



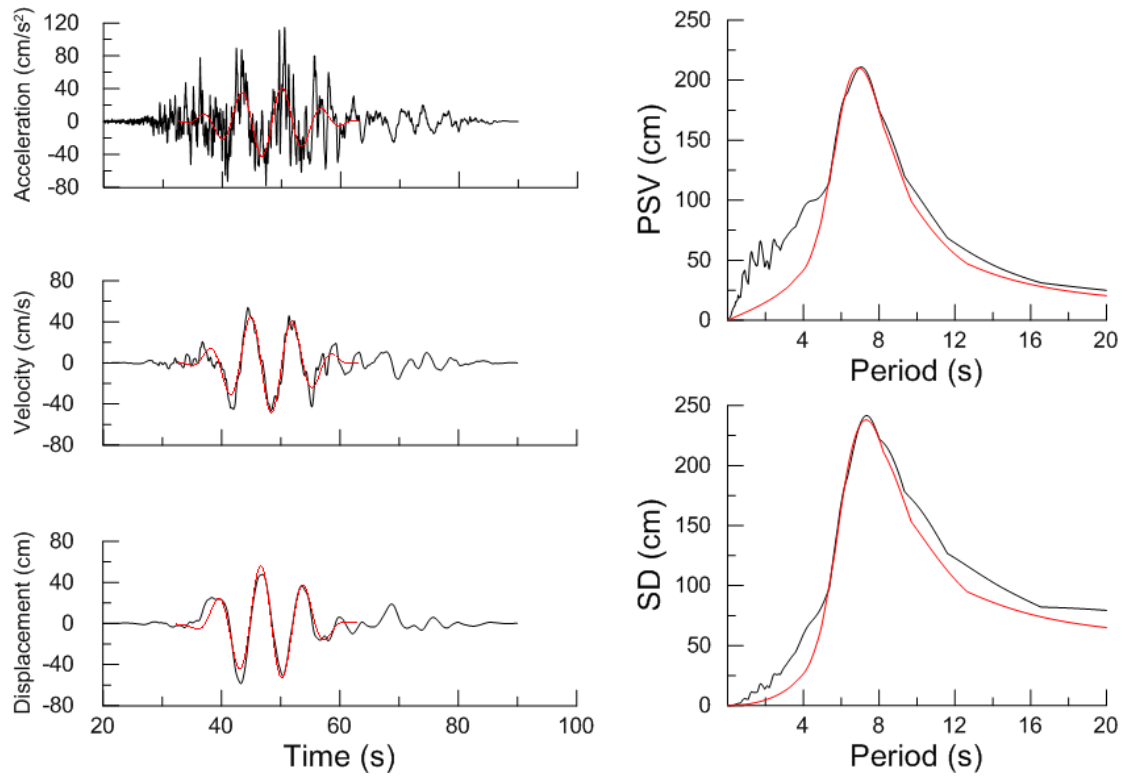
Χρονοϊστορίες και φάσματα της σεισμικής καταγραφής 1505T της βάσης NGA



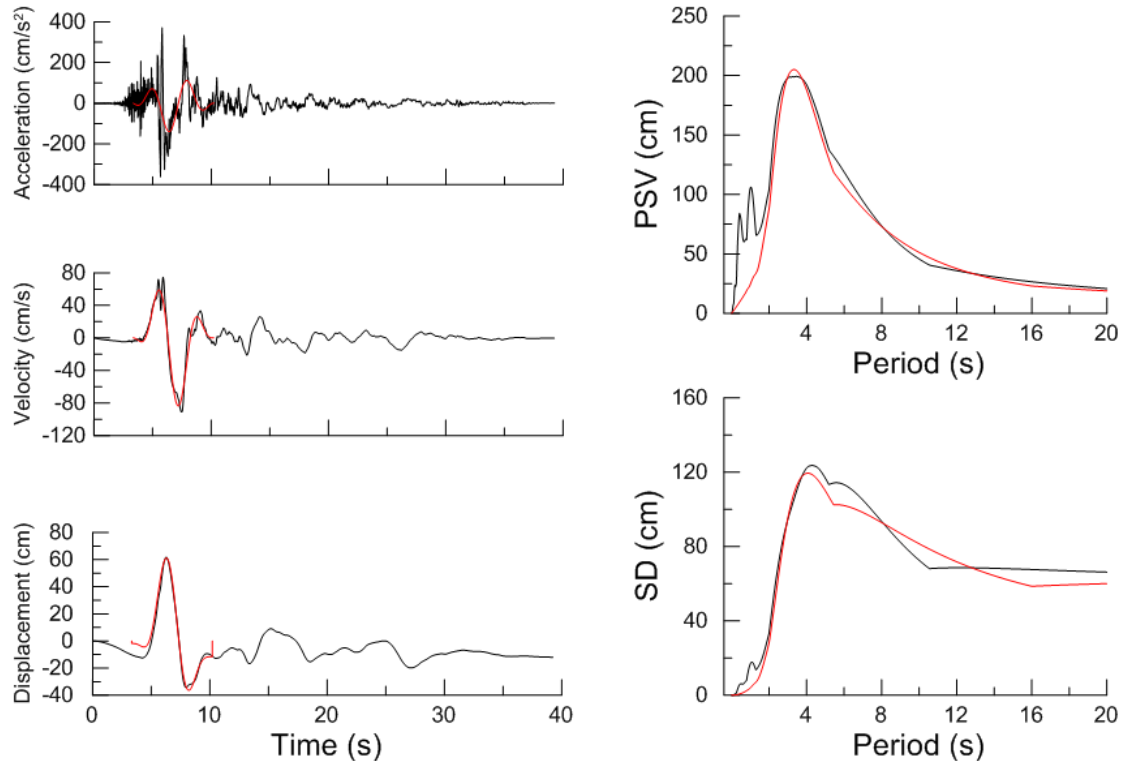
Χρονοϊστορίες και φάσματα της σεισμικής καταγραφής 179T της βάσης NGA



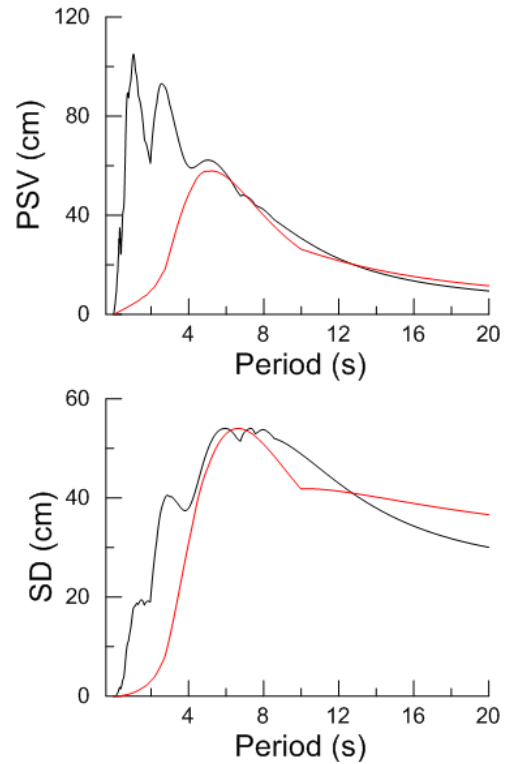
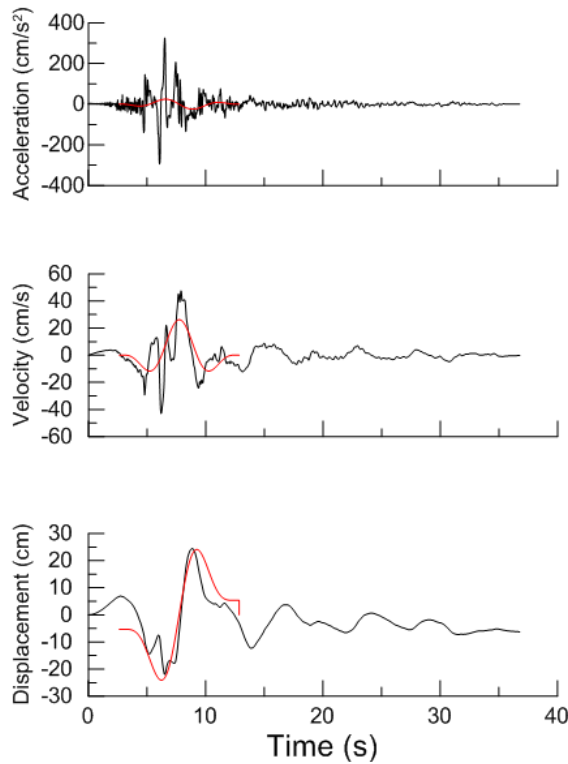
Χρονοϊστορίες και φάσματα της σεισμικής καταγραφής 1045L της βάσης NGA



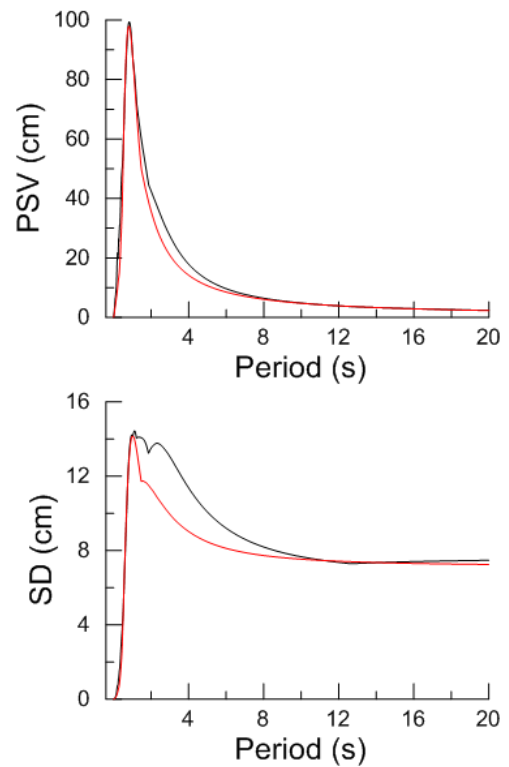
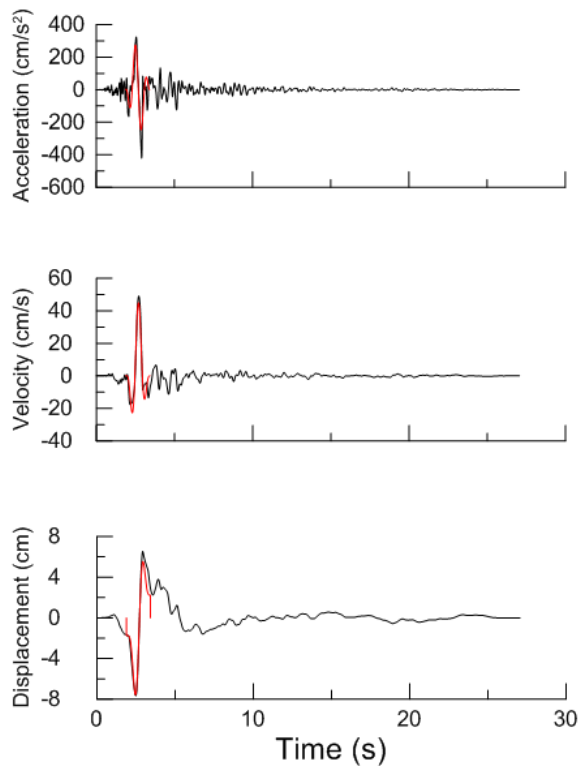
Χρονοϊστορίες και φάσματα της σεισμικής καταγραφής 1502T της βάσης NGA



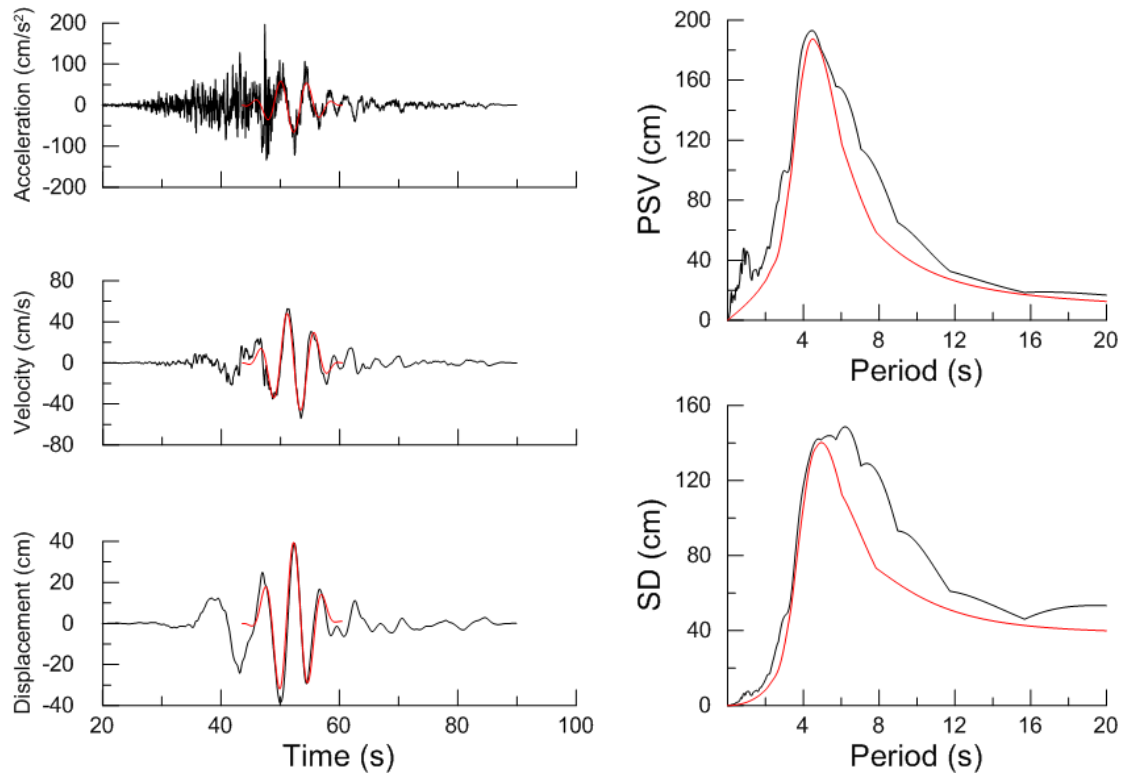
Χρονοϊστορίες και φάσματα της σεισμικής καταγραφής 180T της βάσης NGA



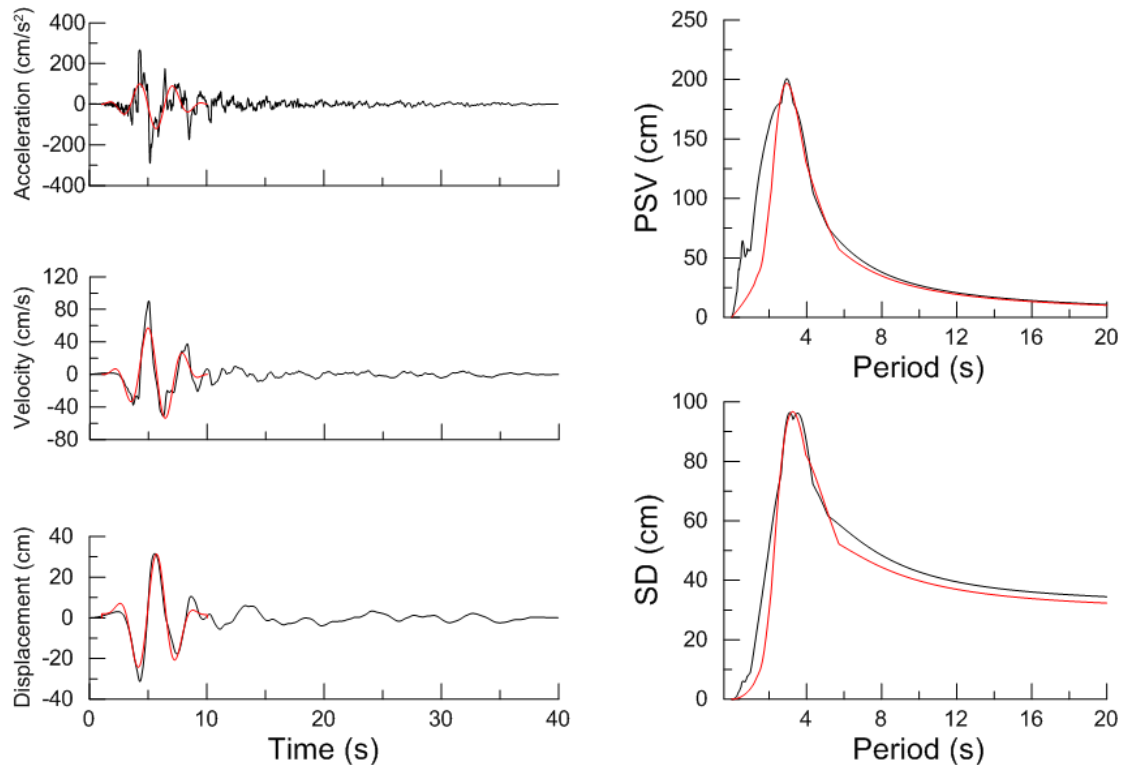
Χρονοϊστορίες και φάσματα της σεισμικής καταγραφής 182T της βάσης NGA



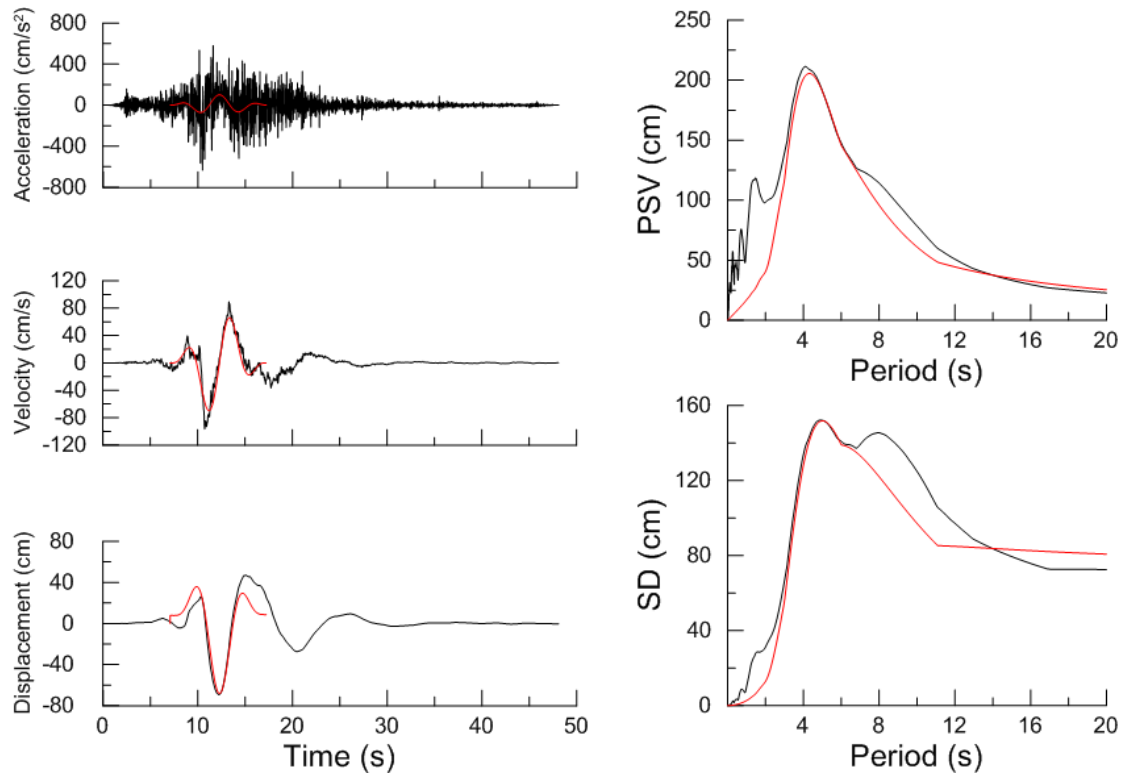
Χρονοϊστορίες και φάσματα της σεισμικής καταγραφής 150L της βάσης NGA



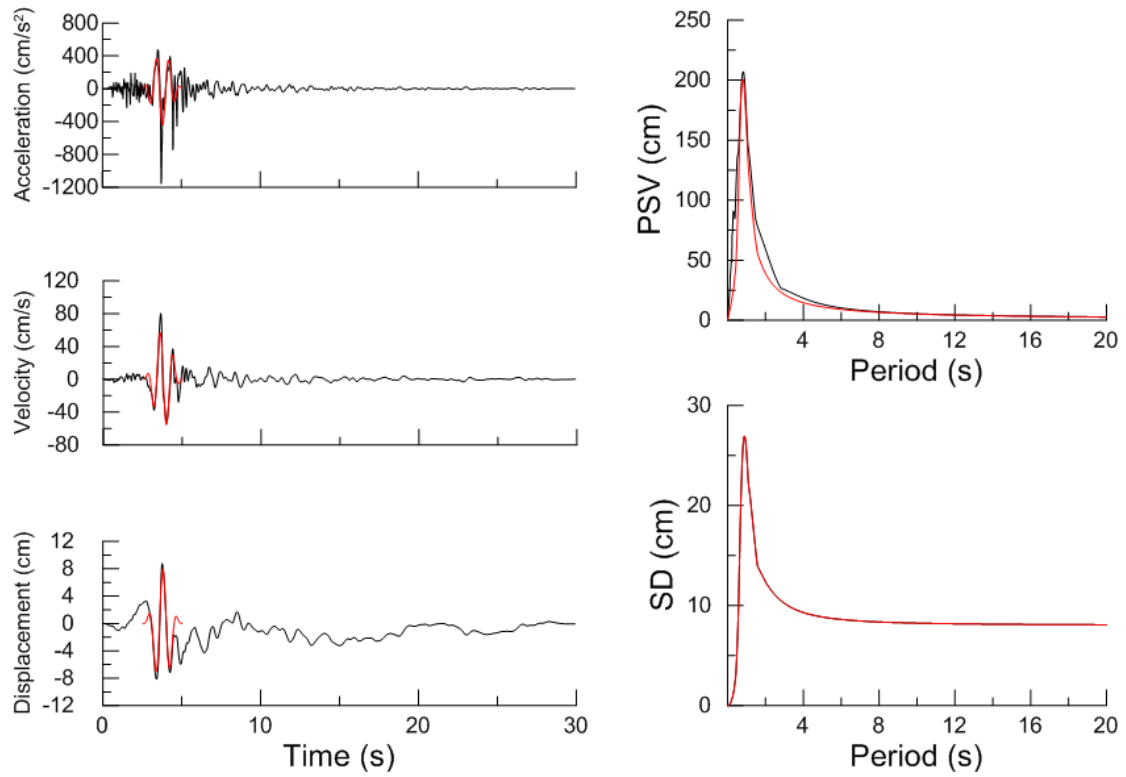
Χρονοϊστορίες και φάσματα της σεισμικής καταγραφής 1476T της βάσης NGA



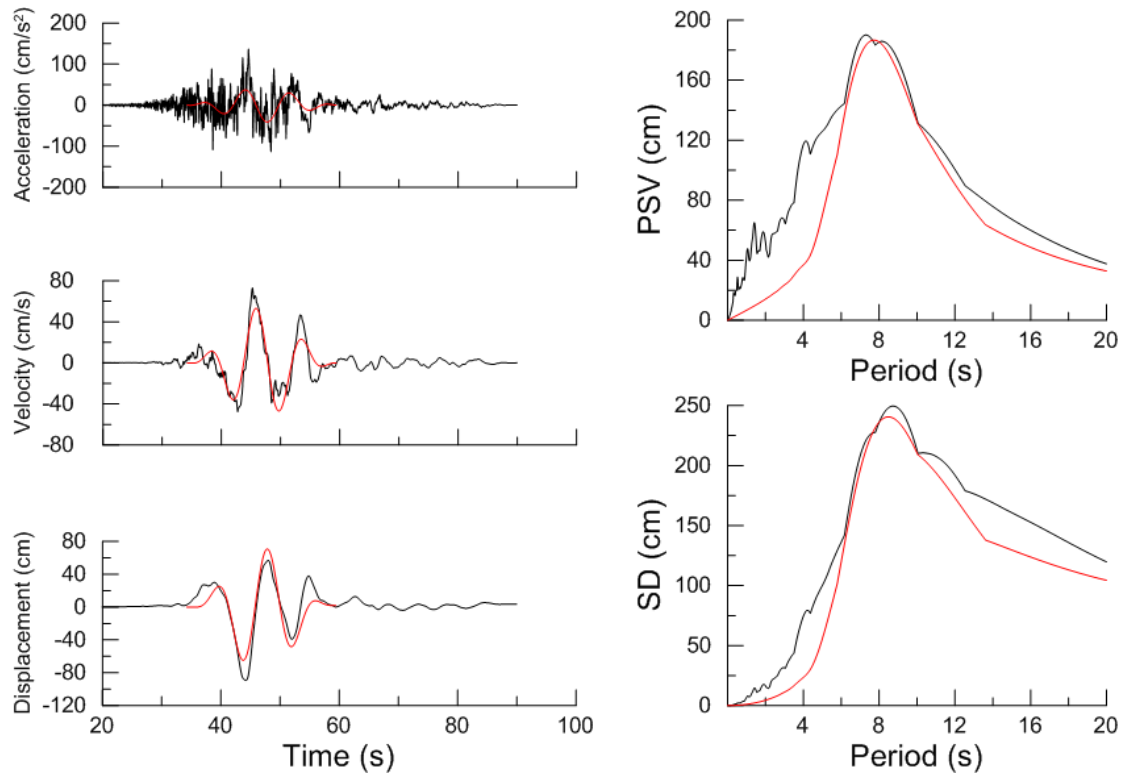
Χρονοϊστορίες και φάσματα της σεισμικής καταγραφής 171T της βάσης NGA



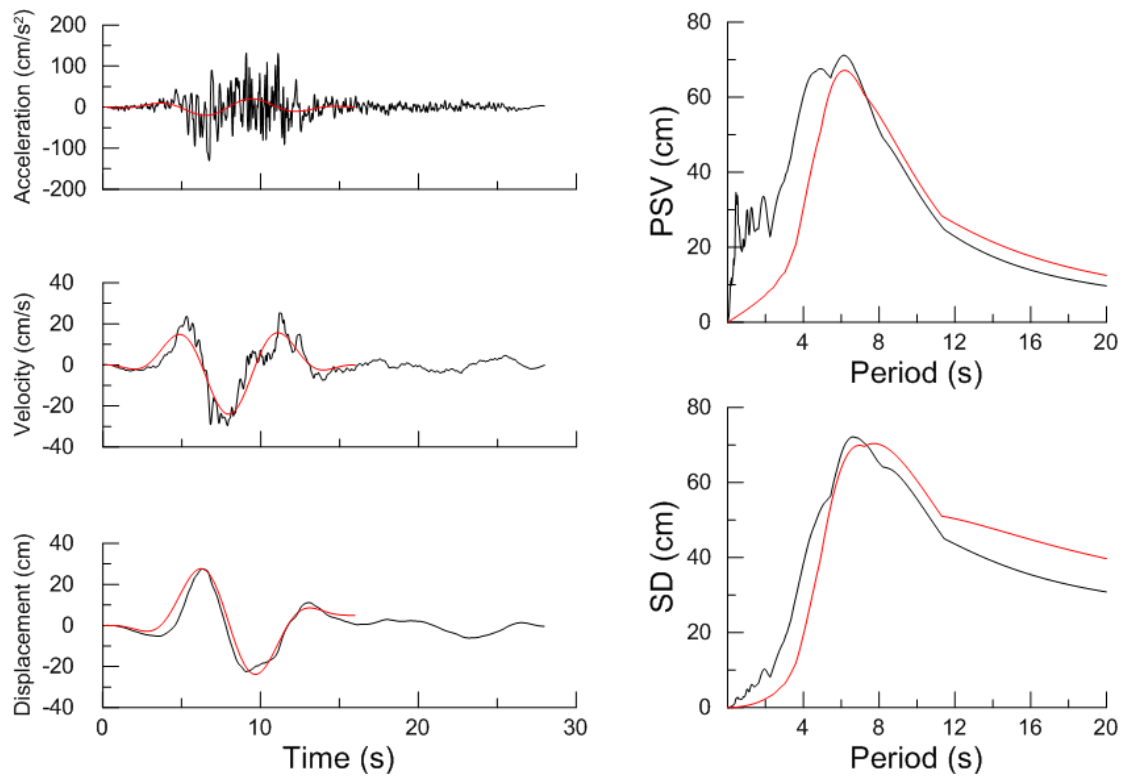
Χρονοϊστορίες και φάσματα της σεισμικής καταγραφής 879L της βάσης NGA



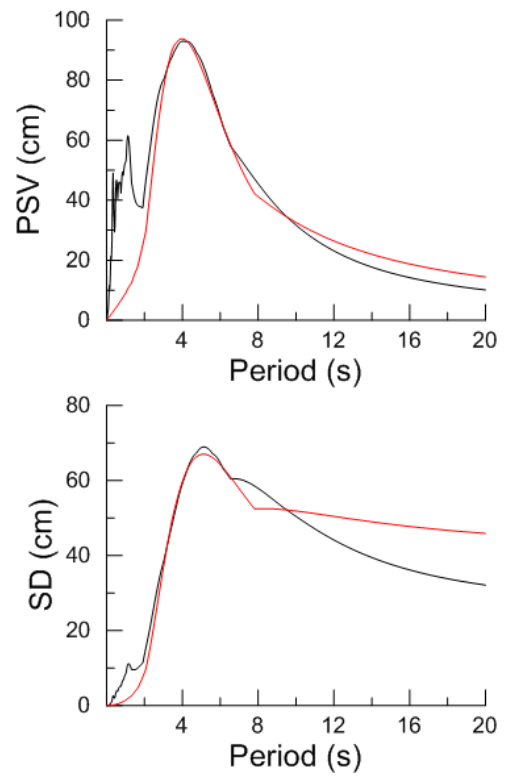
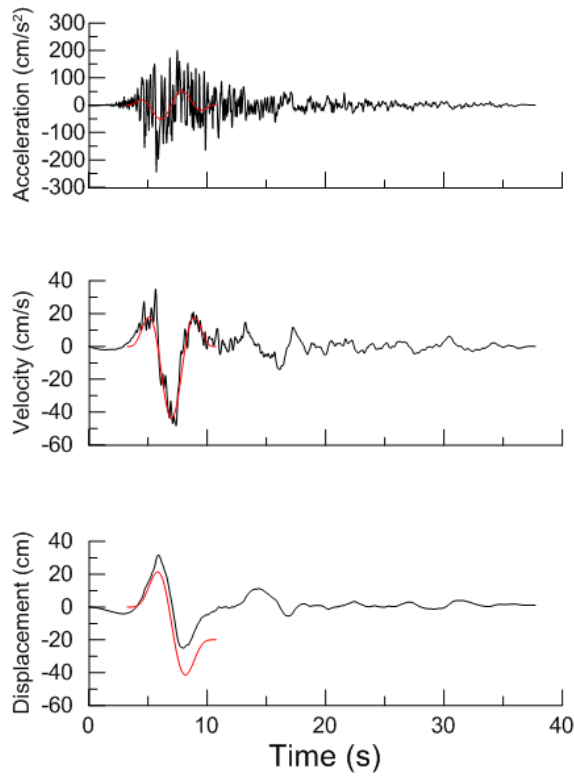
Χρονοϊστορίες και φάσματα της σεισμικής καταγραφής 451T της βάσης NGA



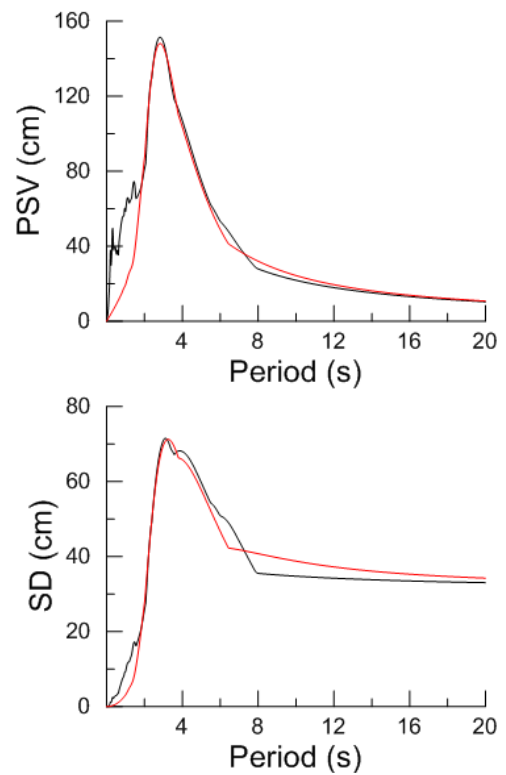
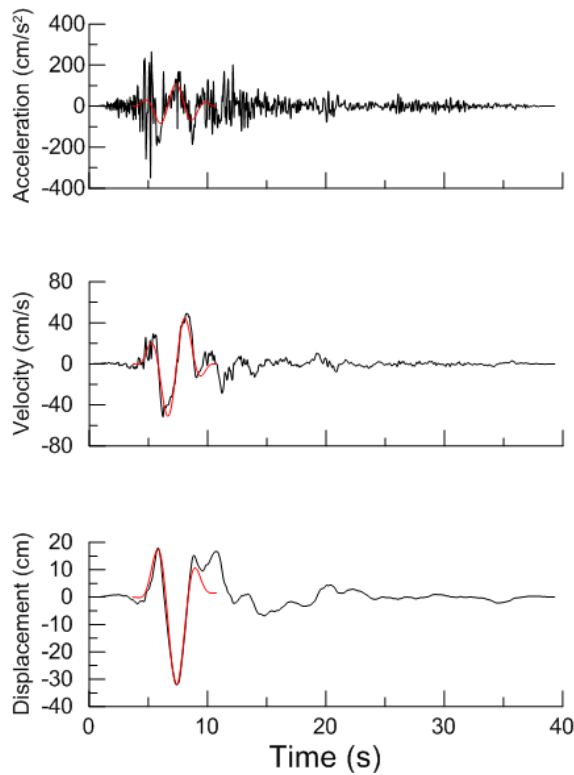
Χρονοϊστορίες και φάσματα της σεισμικής καταγραφής 1548L της βάσης NGA



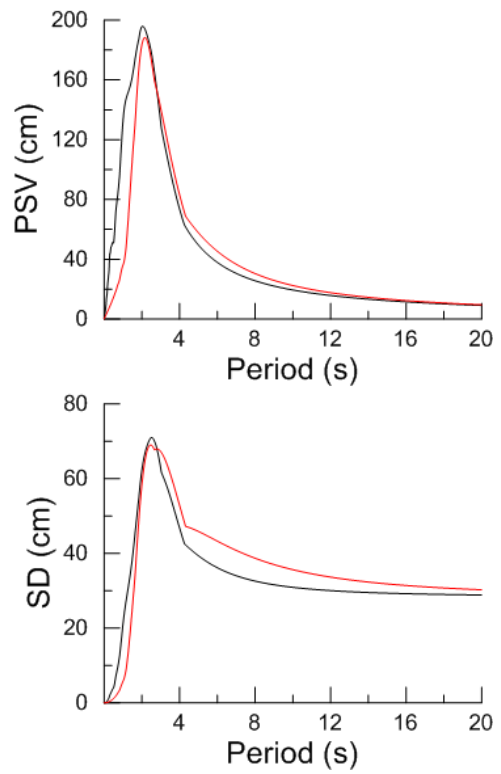
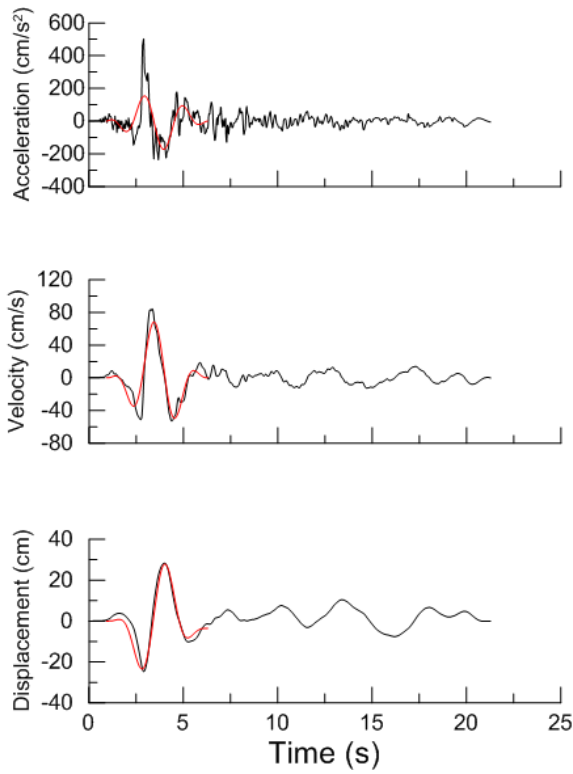
Χρονοϊστορίες και φάσματα της σεισμικής καταγραφής 1161T της βάσης NGA



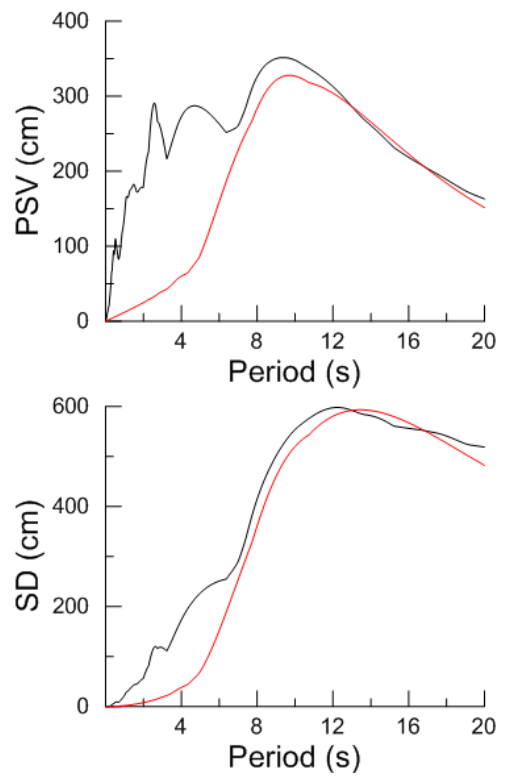
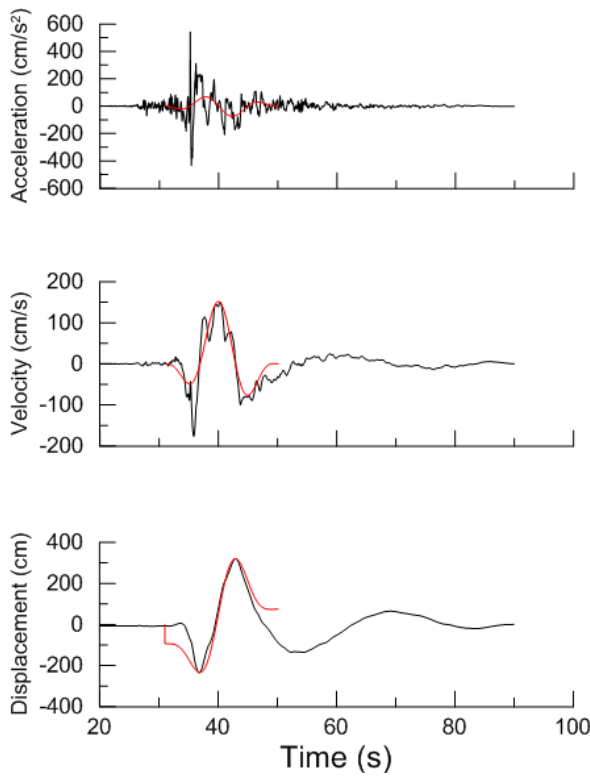
Χρονοϊστορίες και φάσματα της σεισμικής καταγραφής 185L της βάσης NGA



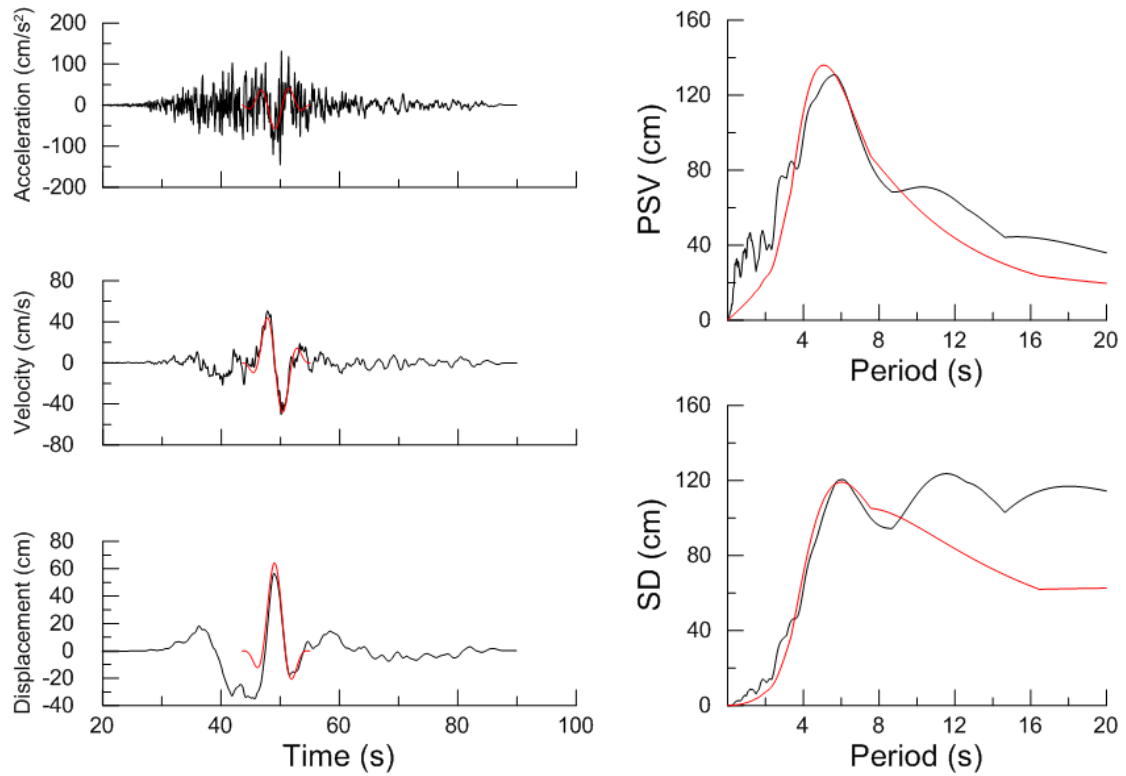
Χρονοϊστορίες και φάσματα της σεισμικής καταγραφής 292T της βάσης NGA



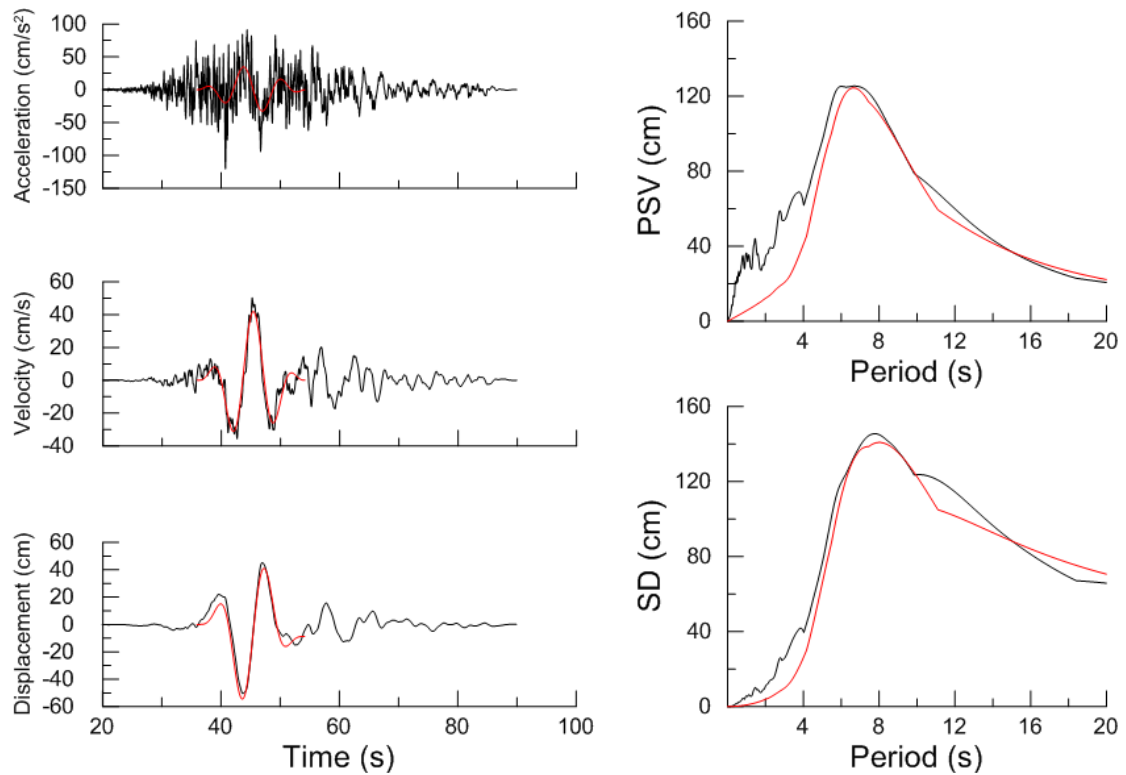
Χρονοϊστορίες και φάσματα της σεισμικής καταγραφής 821L της βάσης NGA



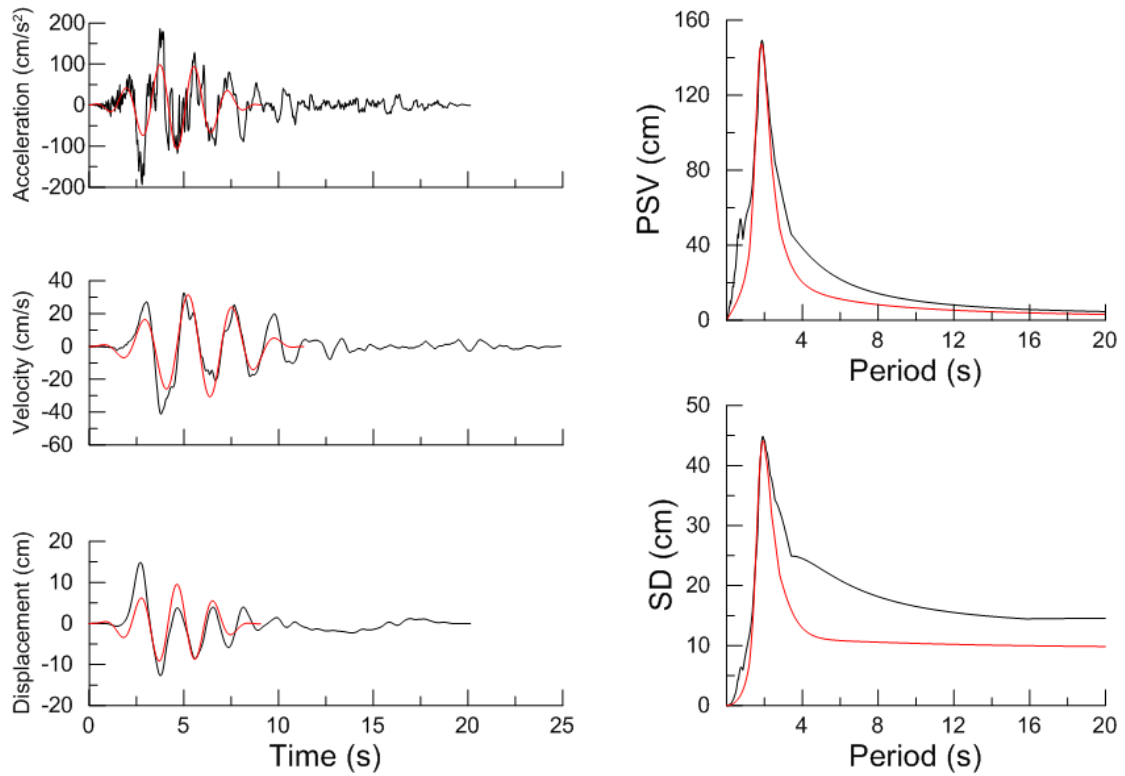
Χρονοϊστορίες και φάσματα της σεισμικής καταγραφής 1505L της βάσης NGA



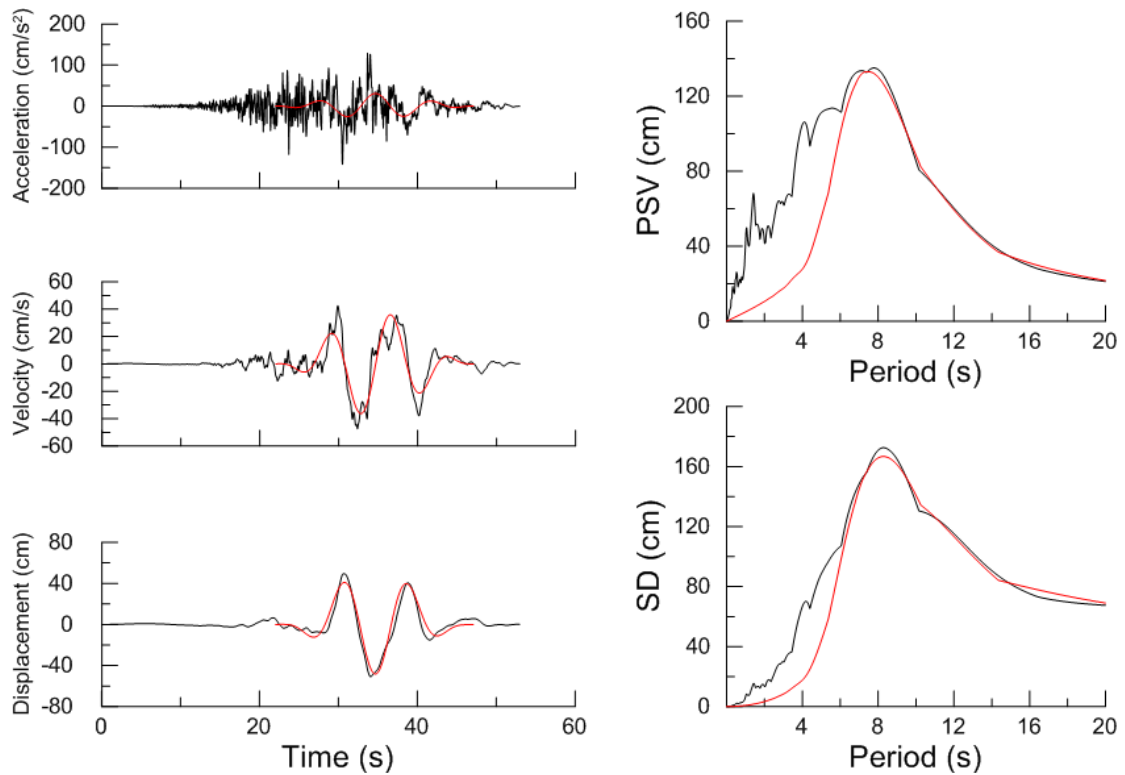
Χρονοϊστορίες και φάσματα της σεισμικής καταγραφής 1483L της βάσης NGA



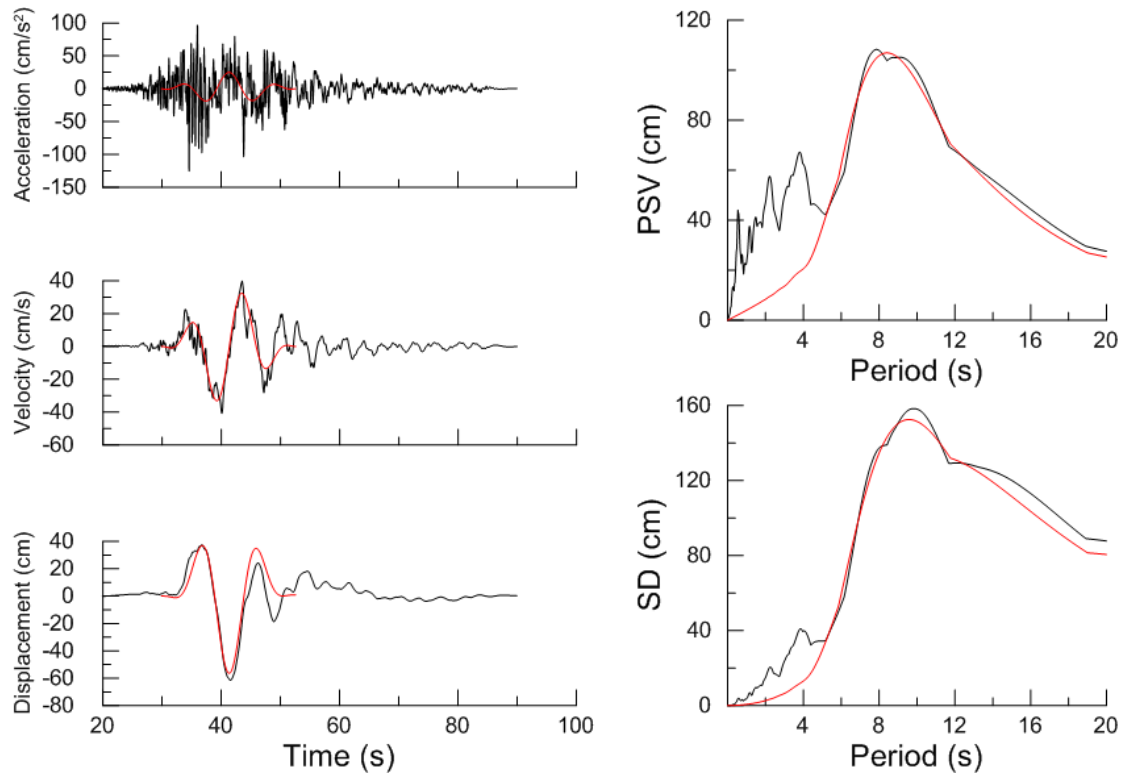
Χρονοϊστορίες και φάσματα της σεισμικής καταγραφής 1483T της βάσης NGA



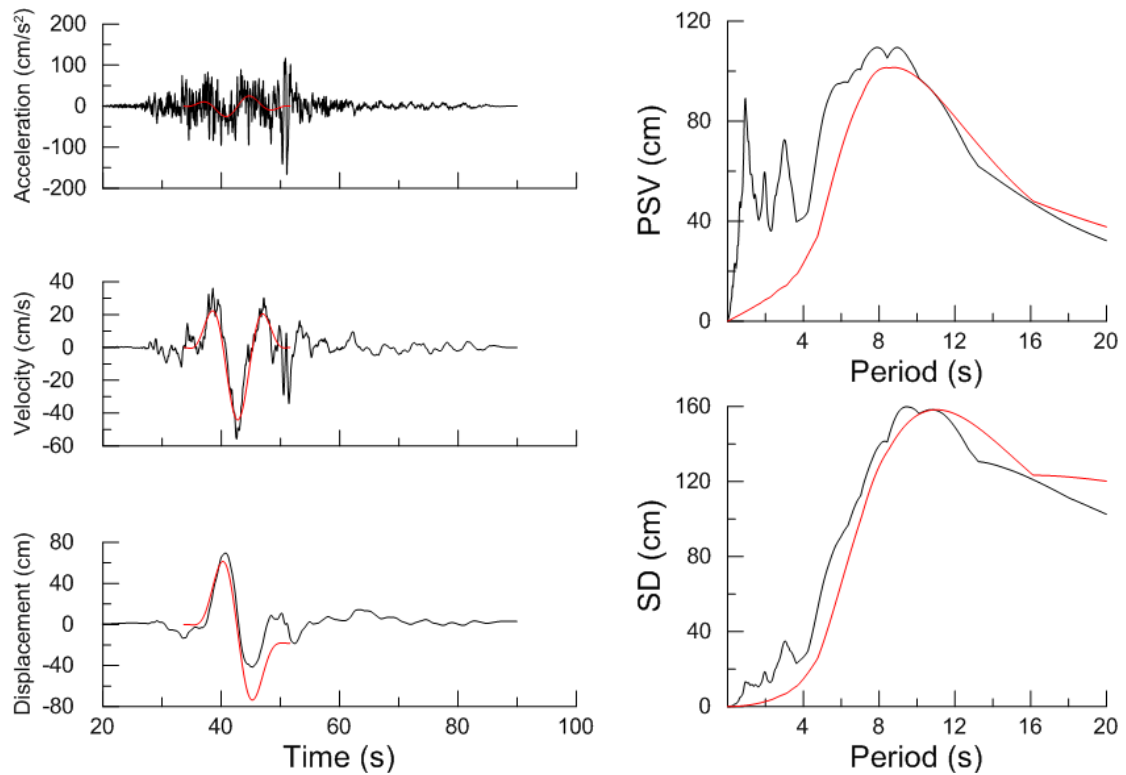
Χρονοϊστορίες και φάσματα της σεισμικής καταγραφής 527T της βάσης NGA



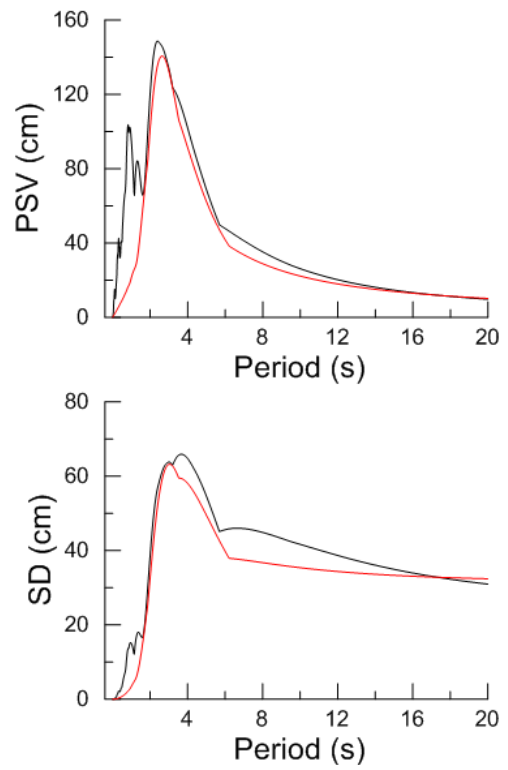
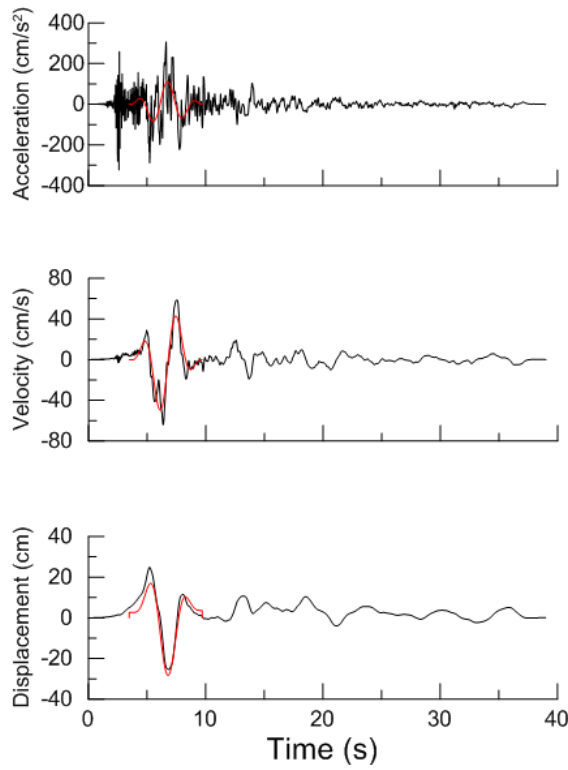
Χρονοϊστορίες και φάσματα της σεισμικής καταγραφής 1403L της βάσης NGA



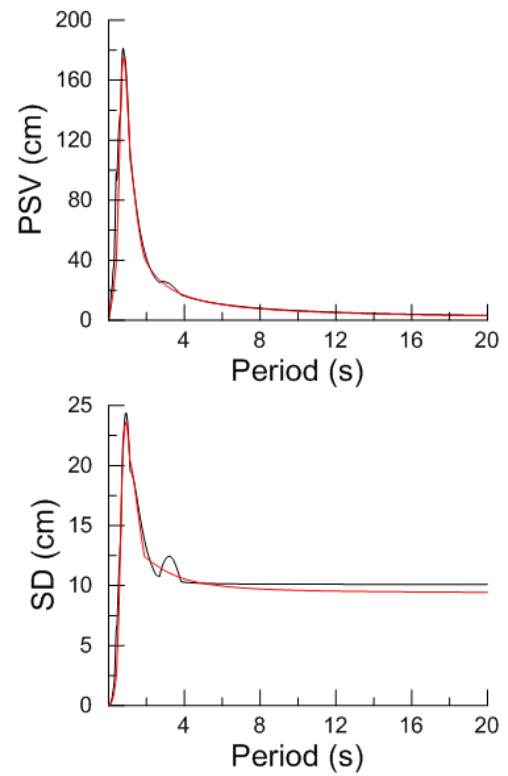
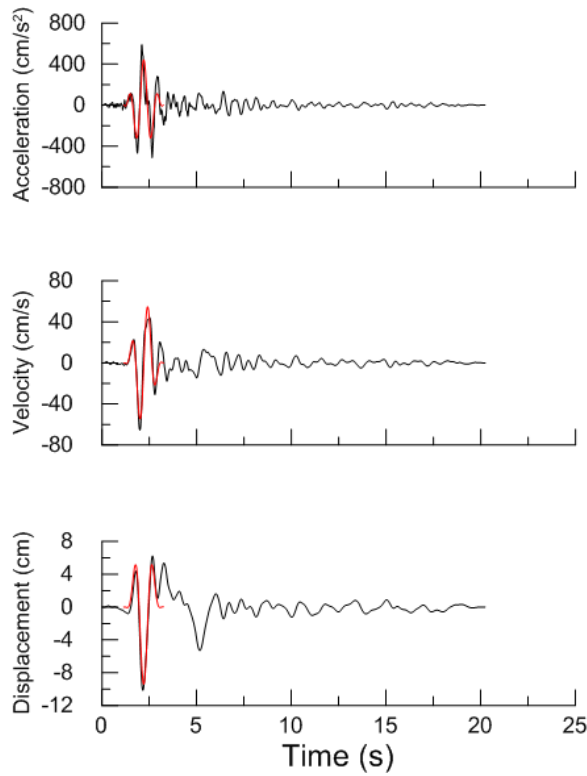
Χρονοϊστορίες και φάσματα της σεισμικής καταγραφής 1519L της βάσης NGA



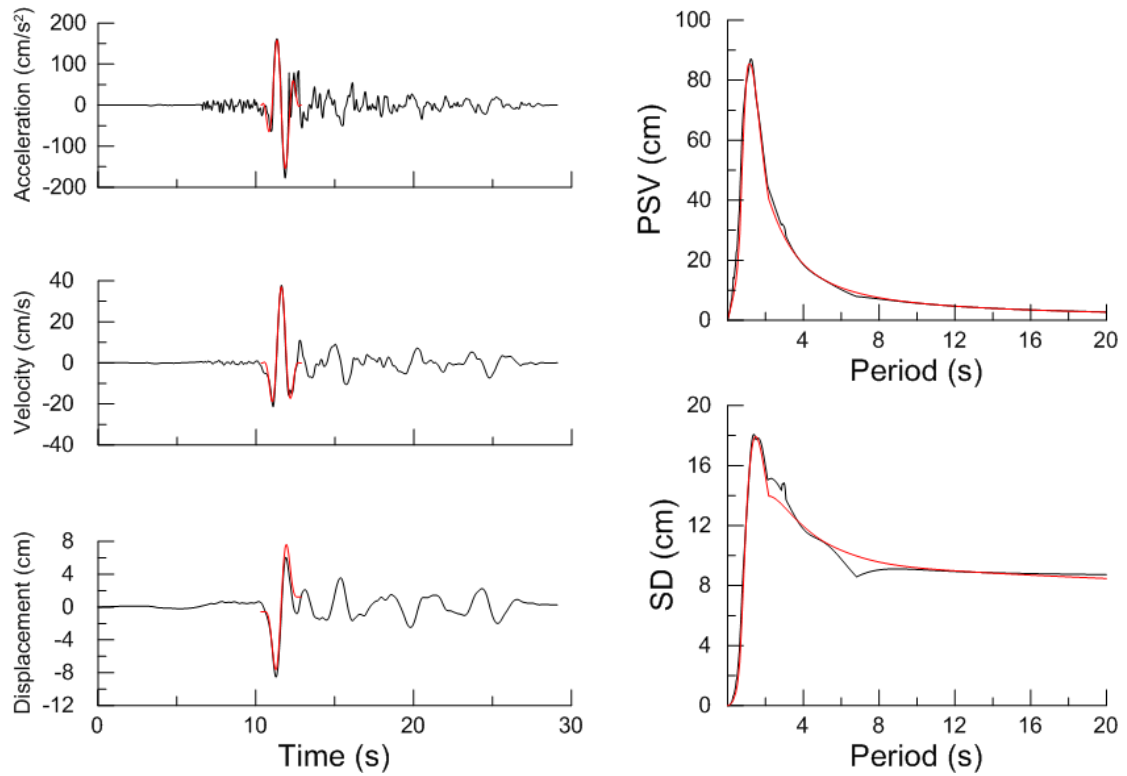
Χρονοϊστορίες και φάσματα της σεισμικής καταγραφής 1550T της βάσης NGA



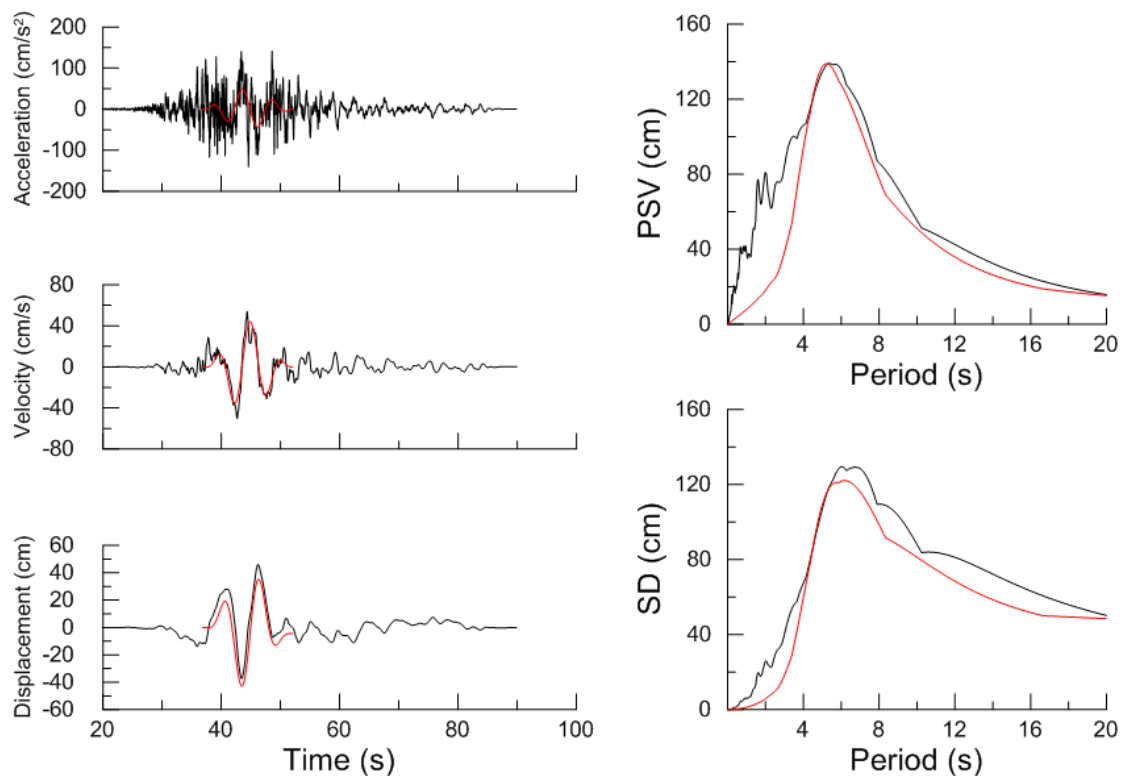
Χρονοϊστορίες και φάσματα της σεισμικής καταγραφής 181L της βάσης NGA



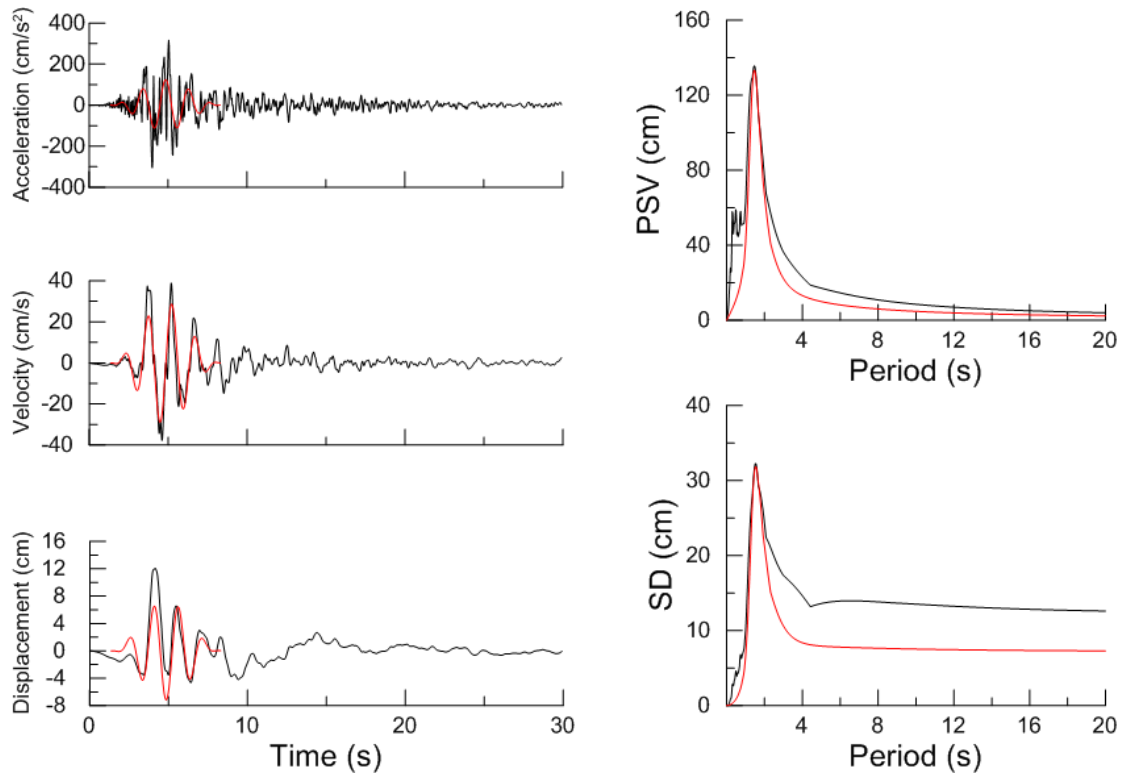
Χρονοϊστορίες και φάσματα της σεισμικής καταγραφής 569T της βάσης NGA



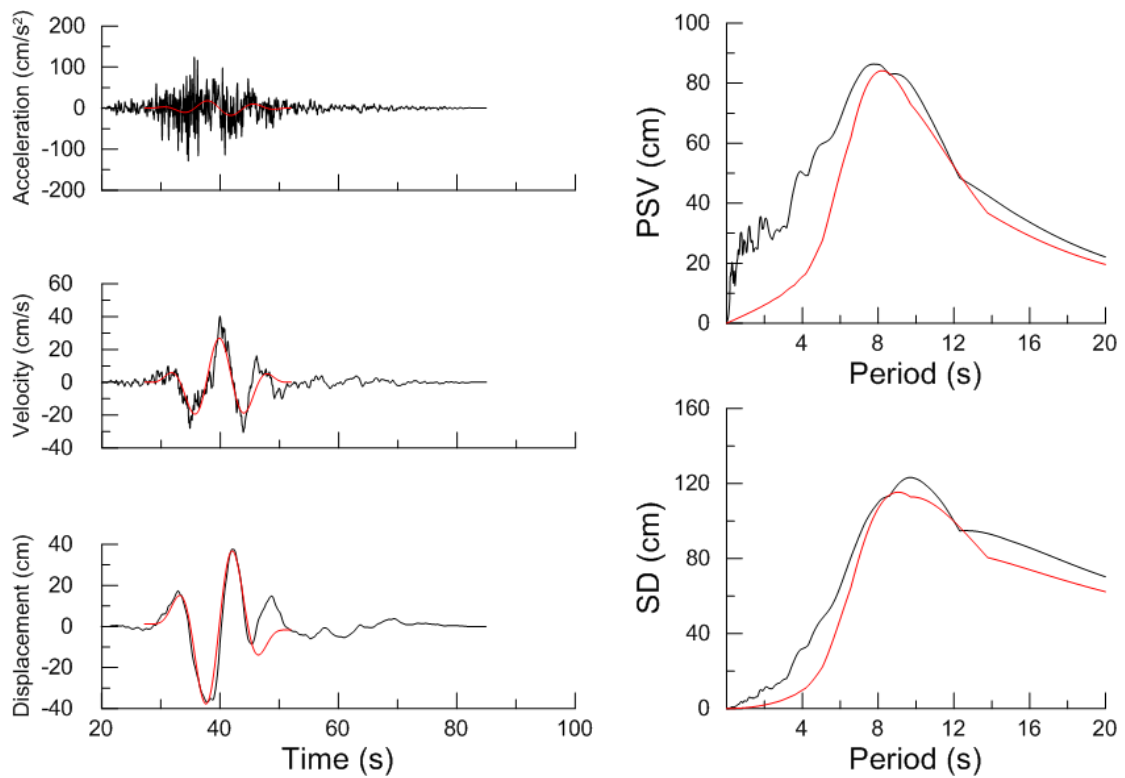
Χρονοϊστορίες και φάσματα της σεισμικής καταγραφής 508L της βάσης NGA



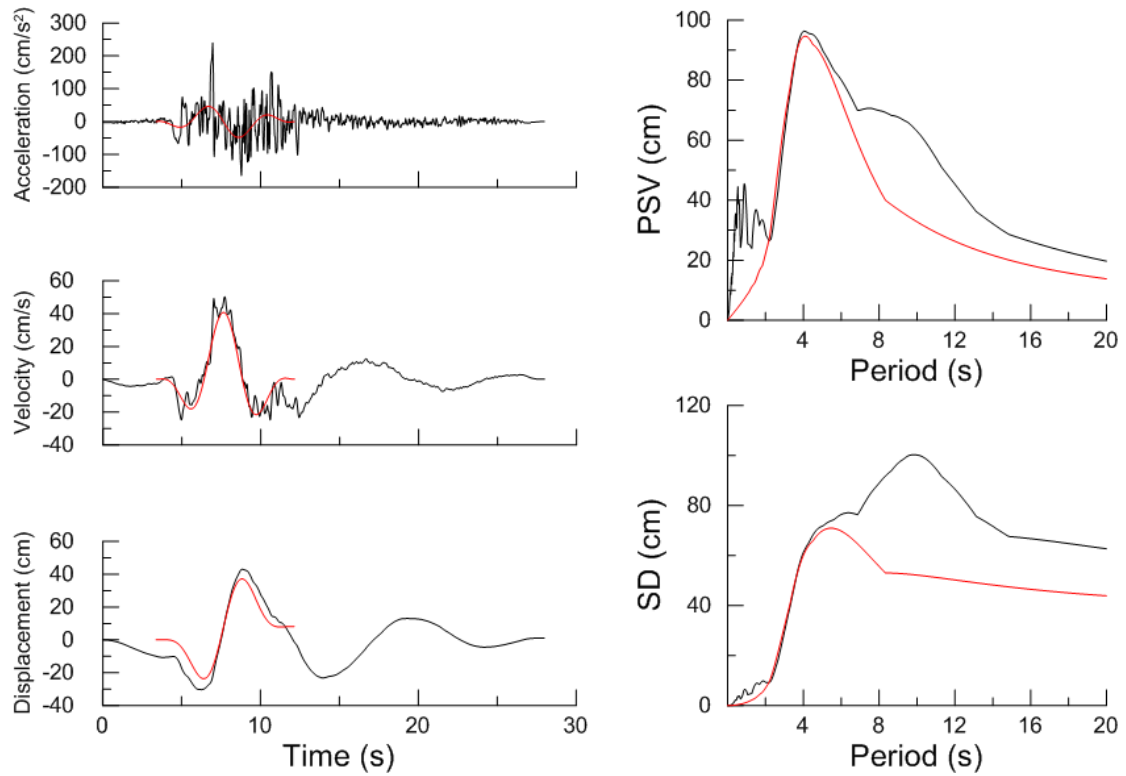
Χρονοϊστορίες και φάσματα της σεισμικής καταγραφής 1482T της βάσης NGA



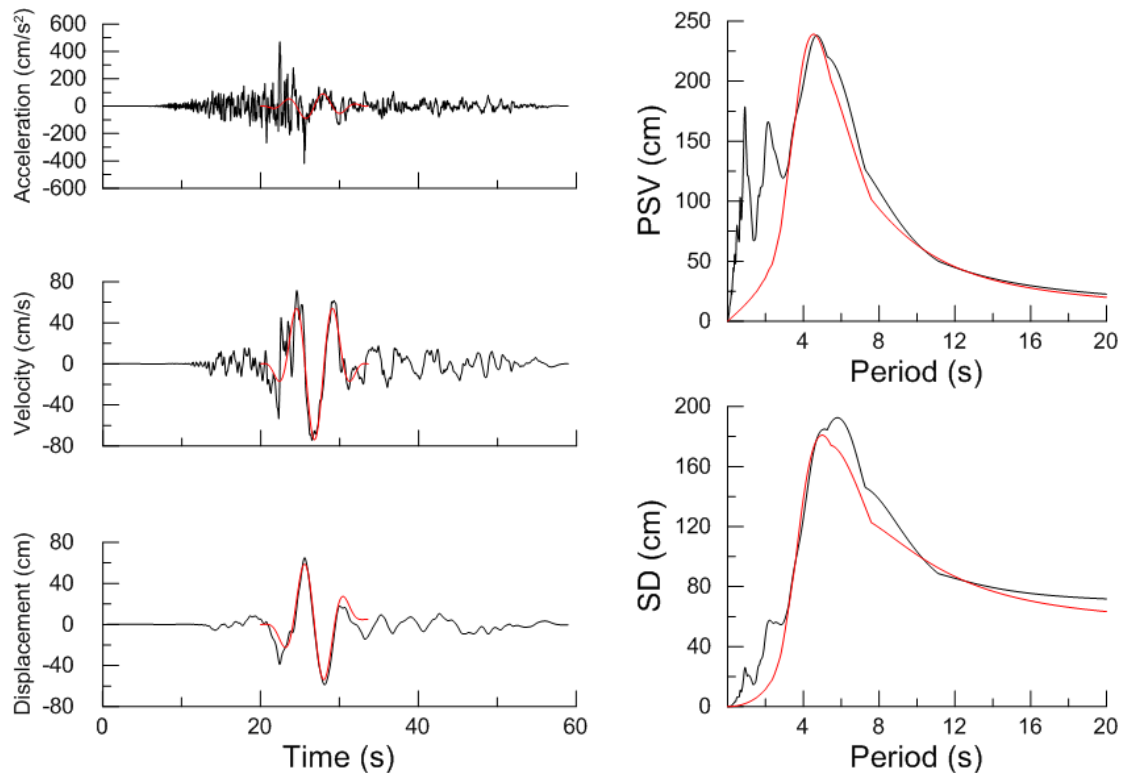
Χρονοϊστορίες και φάσματα της σεισμικής καταγραφής 766T της βάσης NGA



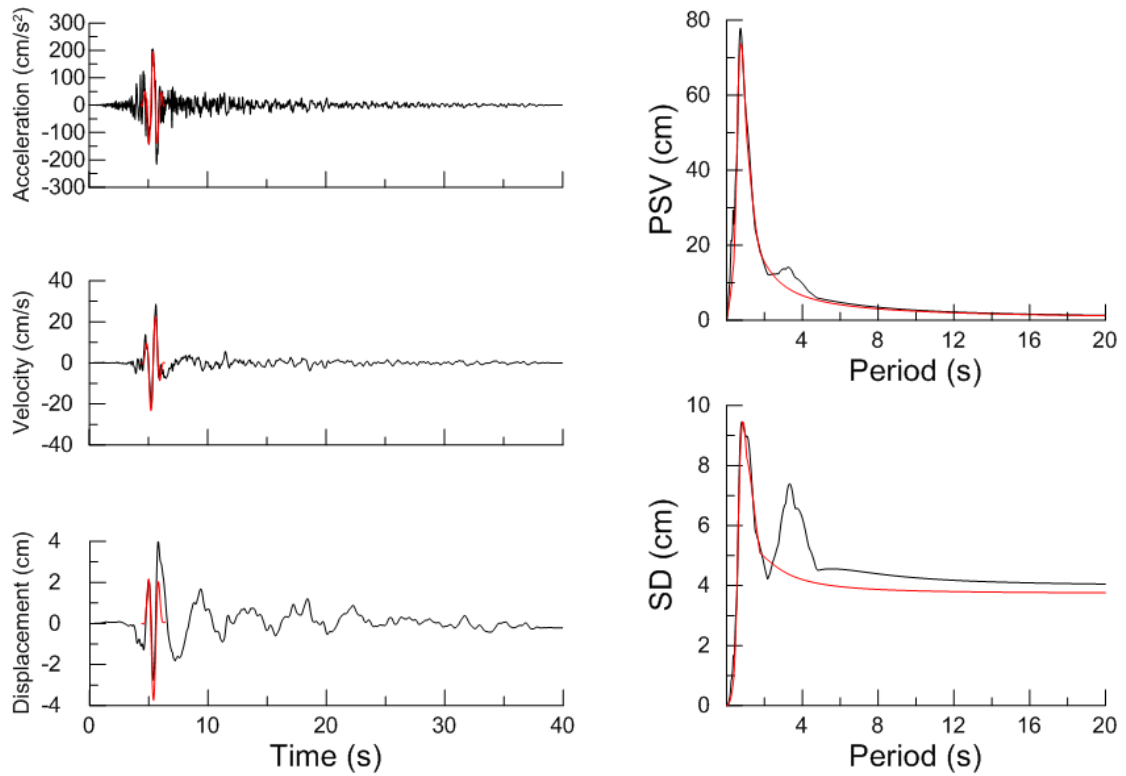
Χρονοϊστορίες και φάσματα της σεισμικής καταγραφής 1486L της βάσης NGA



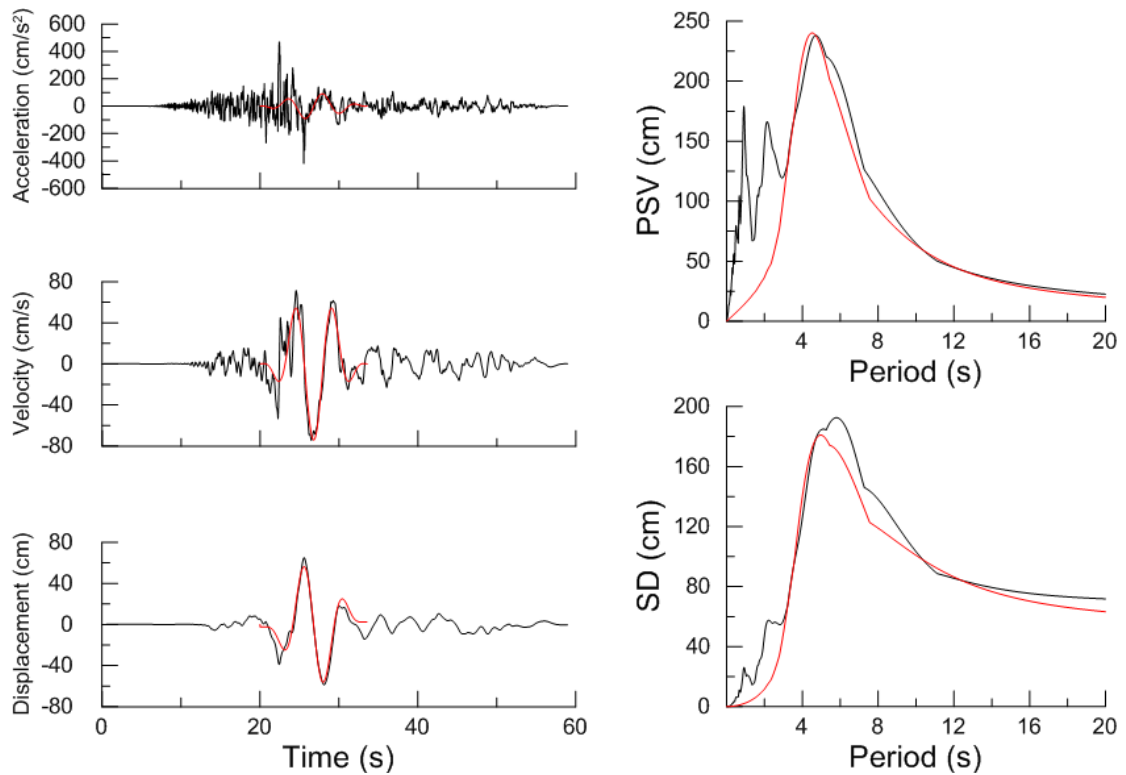
Χρονοϊστορίες και φάσματα της σεισμικής καταγραφής 1161L της βάσης NGA



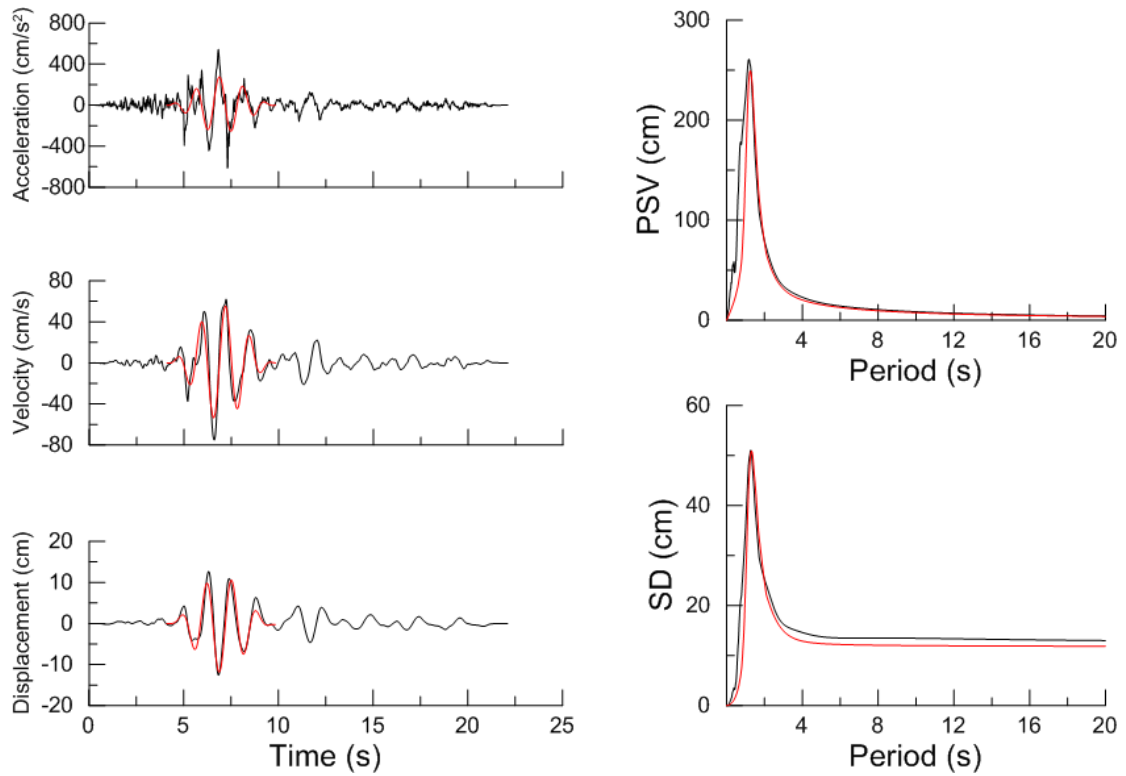
Χρονοϊστορίες και φάσματα της σεισμικής καταγραφής 1595T της βάσης NGA



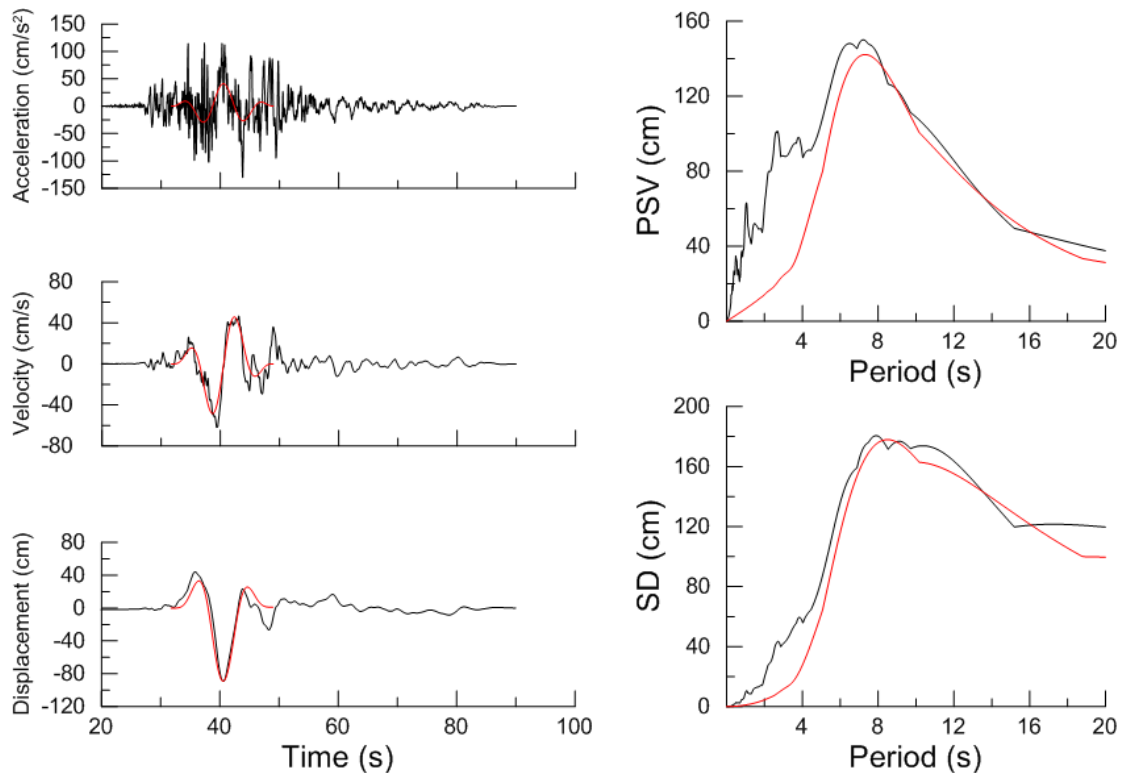
Χρονοϊστορίες και φάσματα της σεισμικής καταγραφής 615L της βάσης NGA



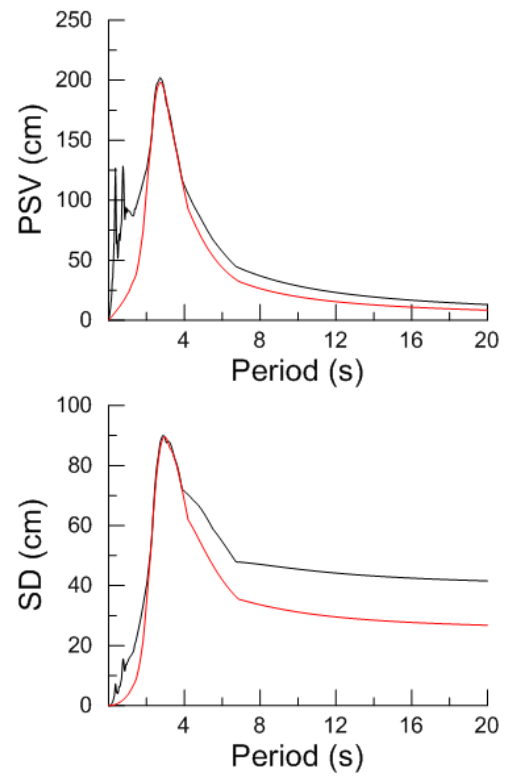
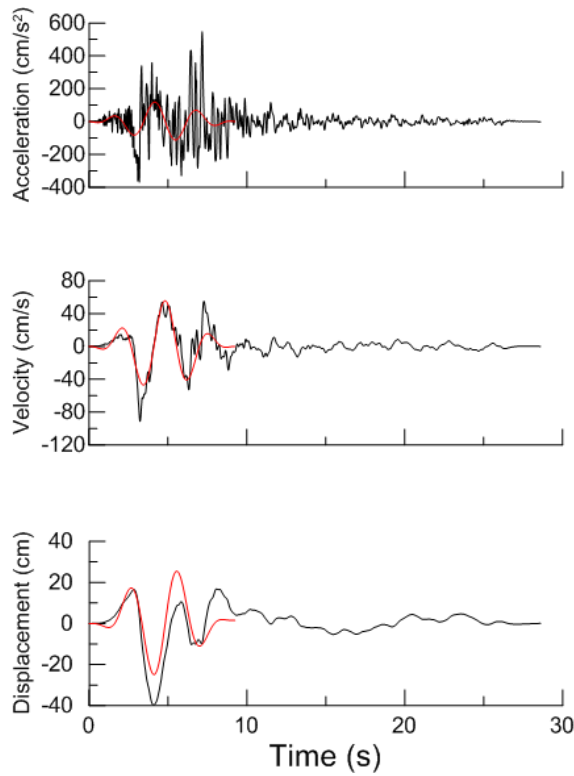
Χρονοϊστορίες και φάσματα της σεισμικής καταγραφής 1195T της βάσης NGA



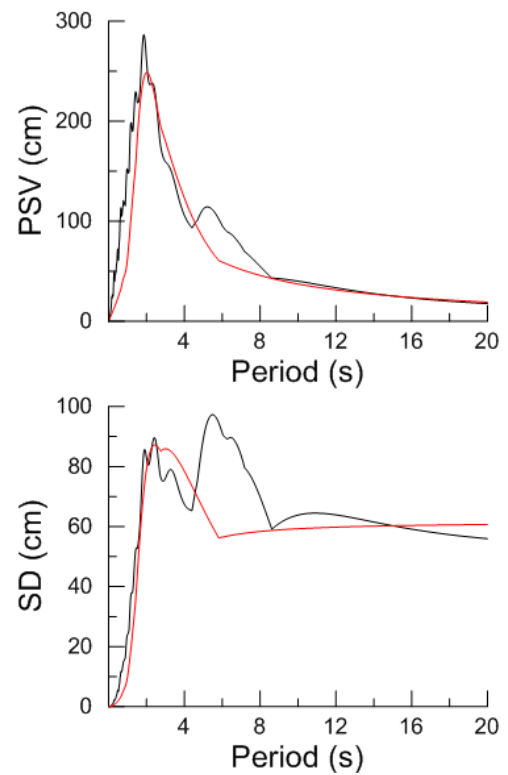
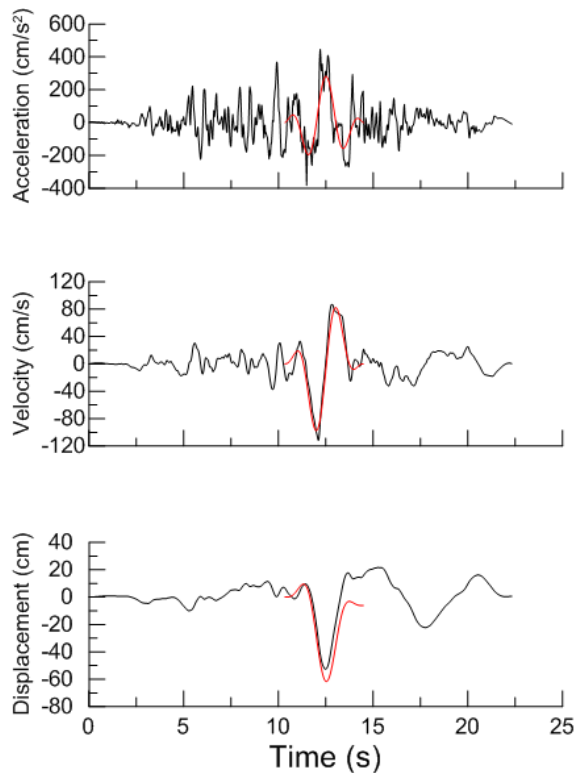
Χρονοϊστορίες και φάσματα της σεισμικής καταγραφής 1054L της βάσης NGA



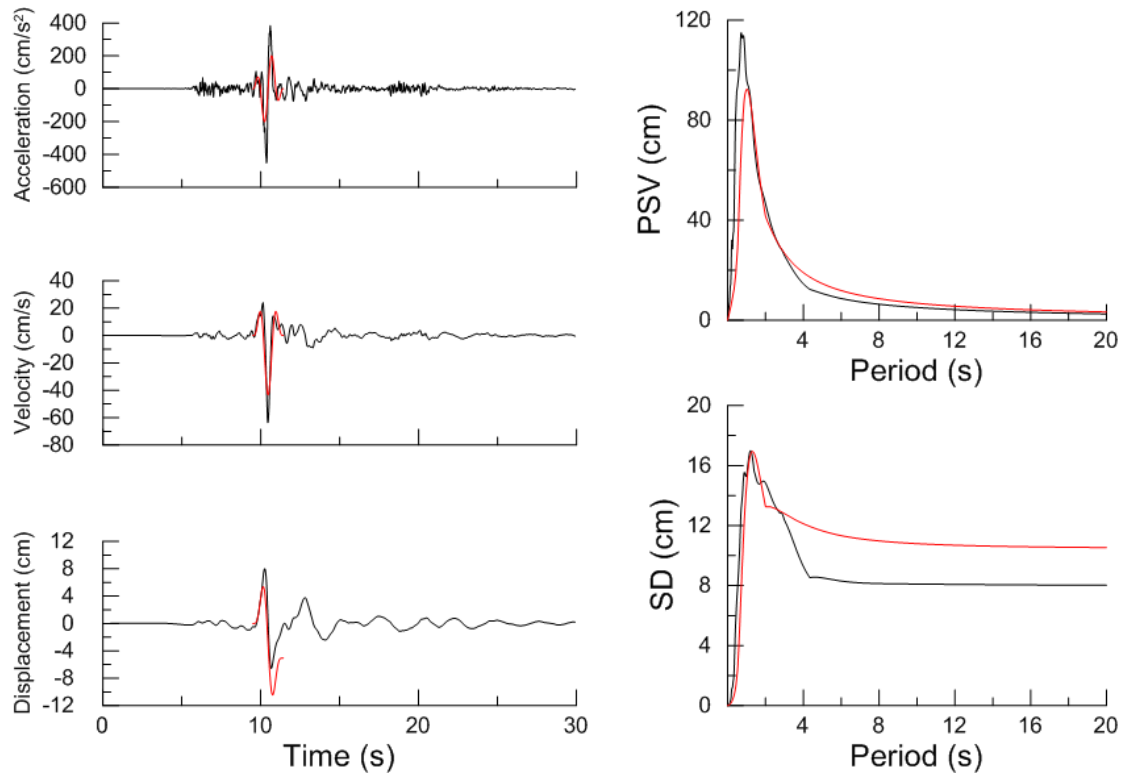
Χρονοϊστορίες και φάσματα της σεισμικής καταγραφής 1530L της βάσης NGA



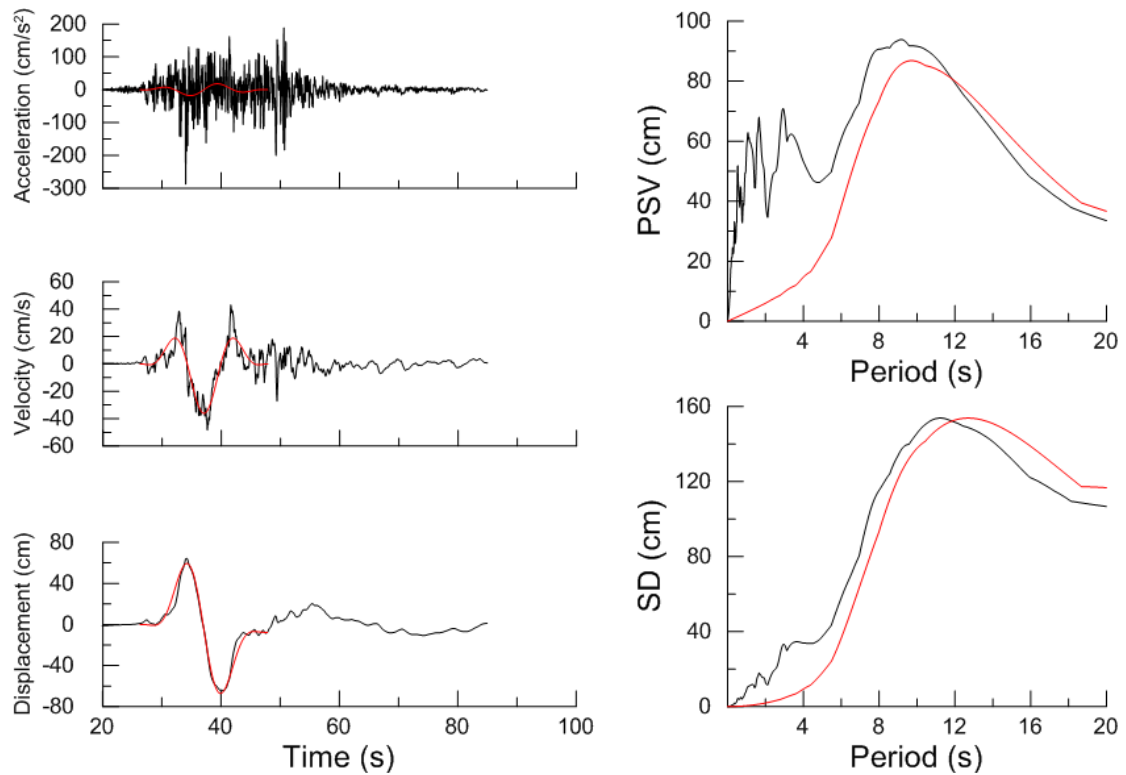
Χρονοϊστορίες και φάσματα της σεισμικής καταγραφής 983L της βάσης NGA



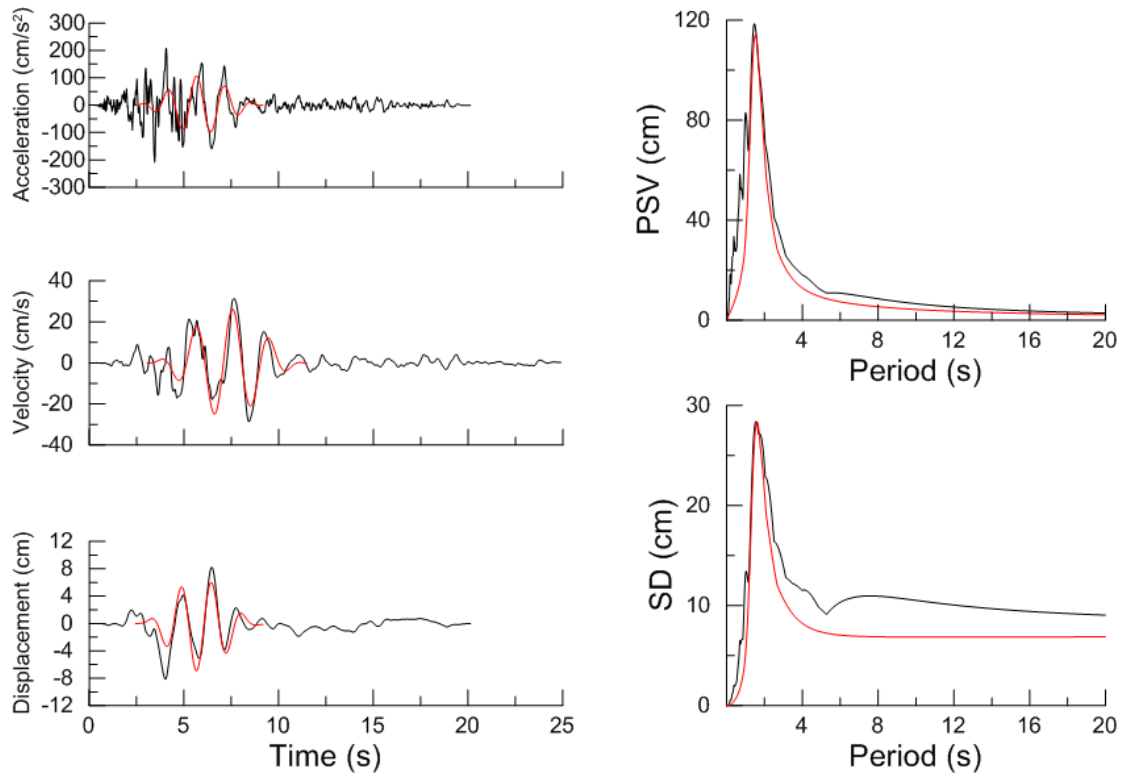
Χρονοϊστορίες και φάσματα της σεισμικής καταγραφής 723L της βάσης NGA



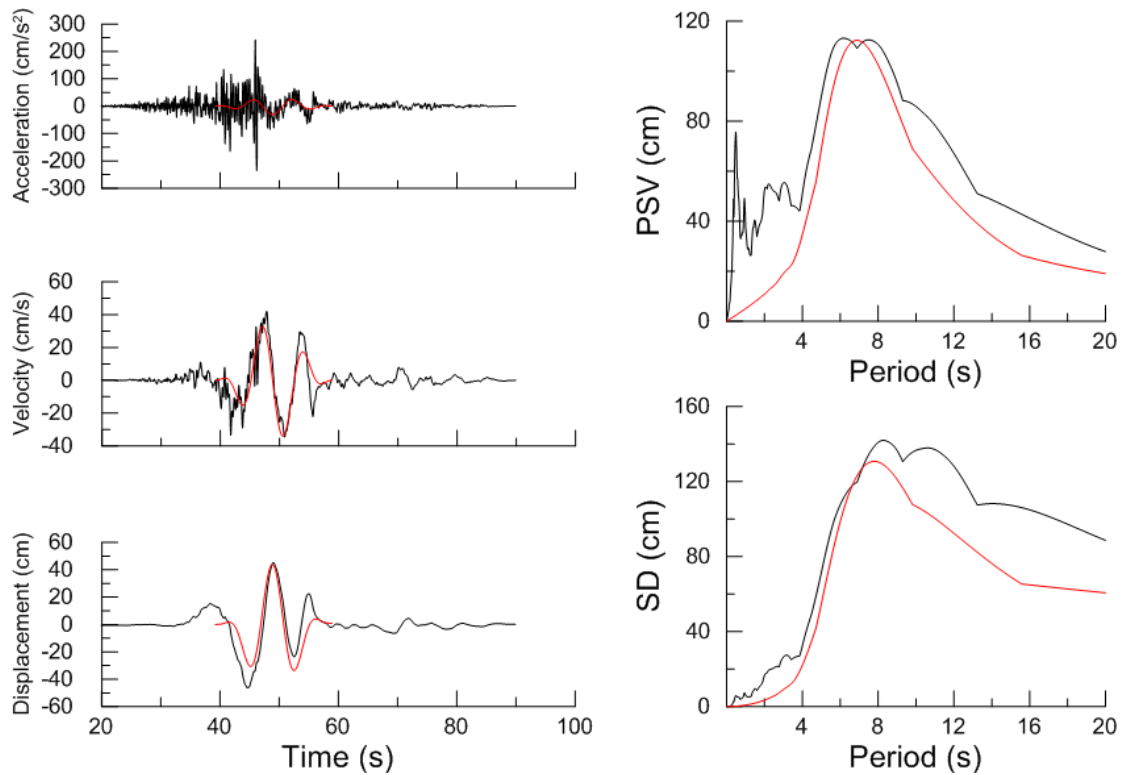
Χρονοϊστορίες και φάσματα της σεισμικής καταγραφής 2627T της βάσης NGA



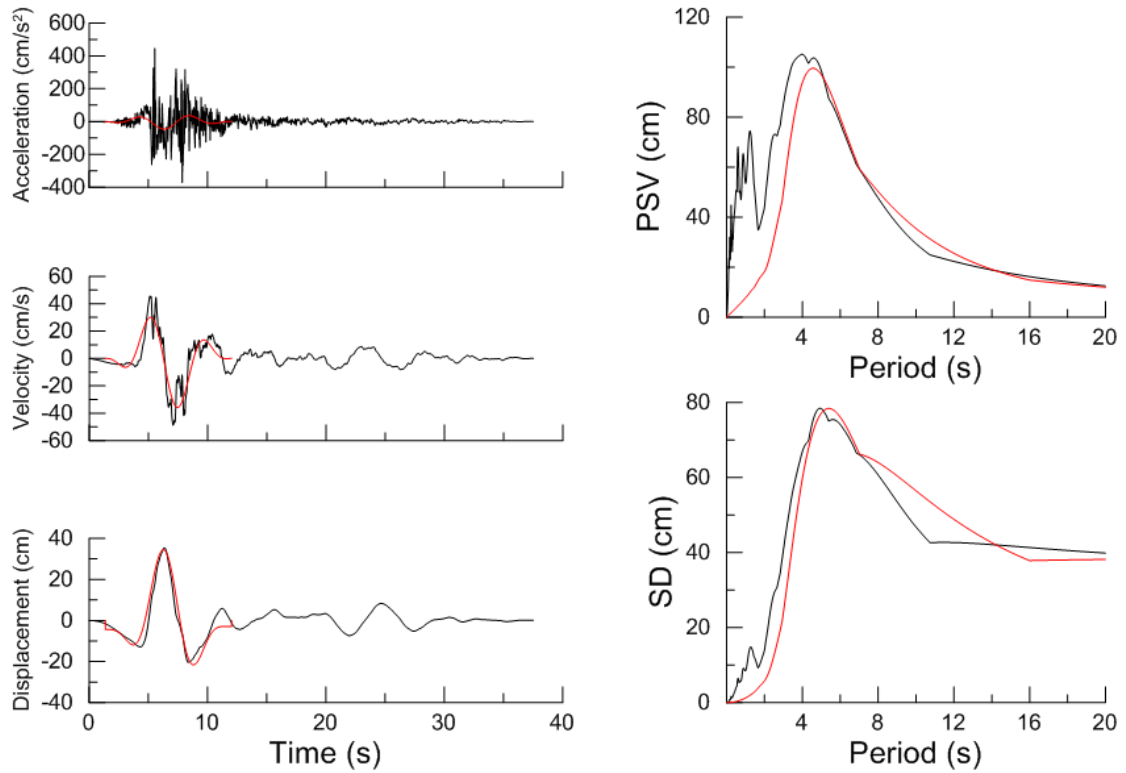
Χρονοϊστορίες και φάσματα της σεισμικής καταγραφής 1489L της βάσης NGA



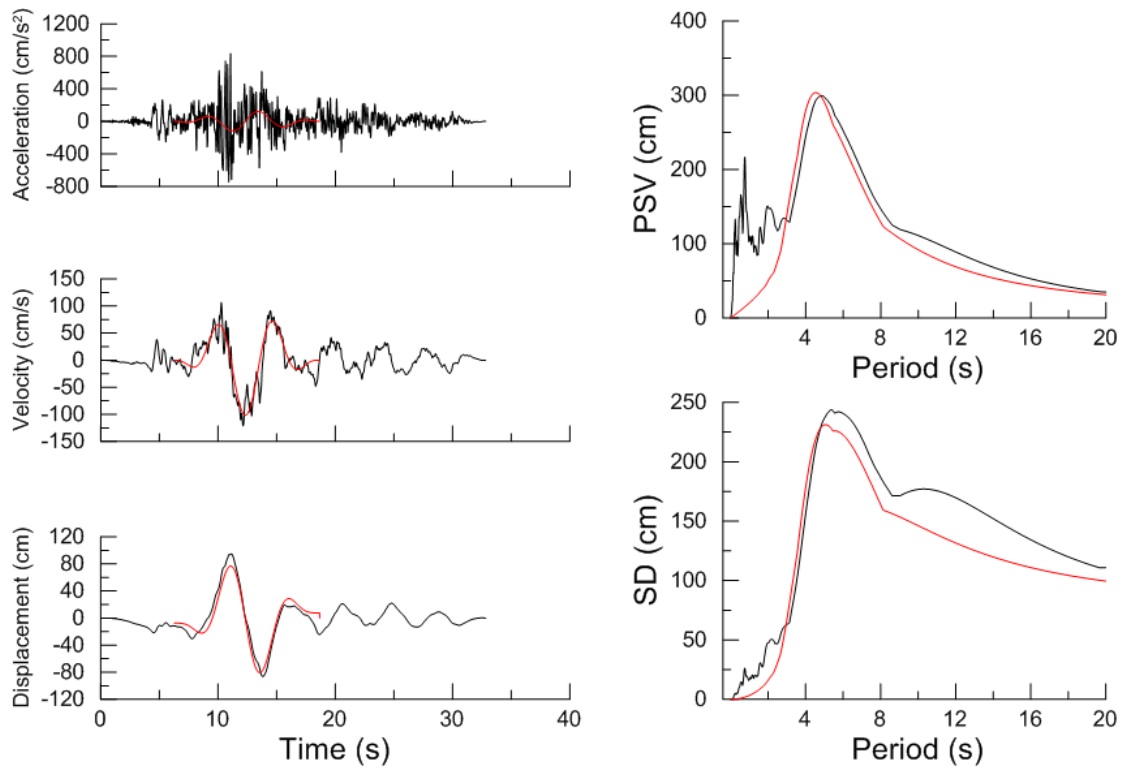
Χρονοϊστορίες και φάσματα της σεισμικής καταγραφής 527L της βάσης NGA



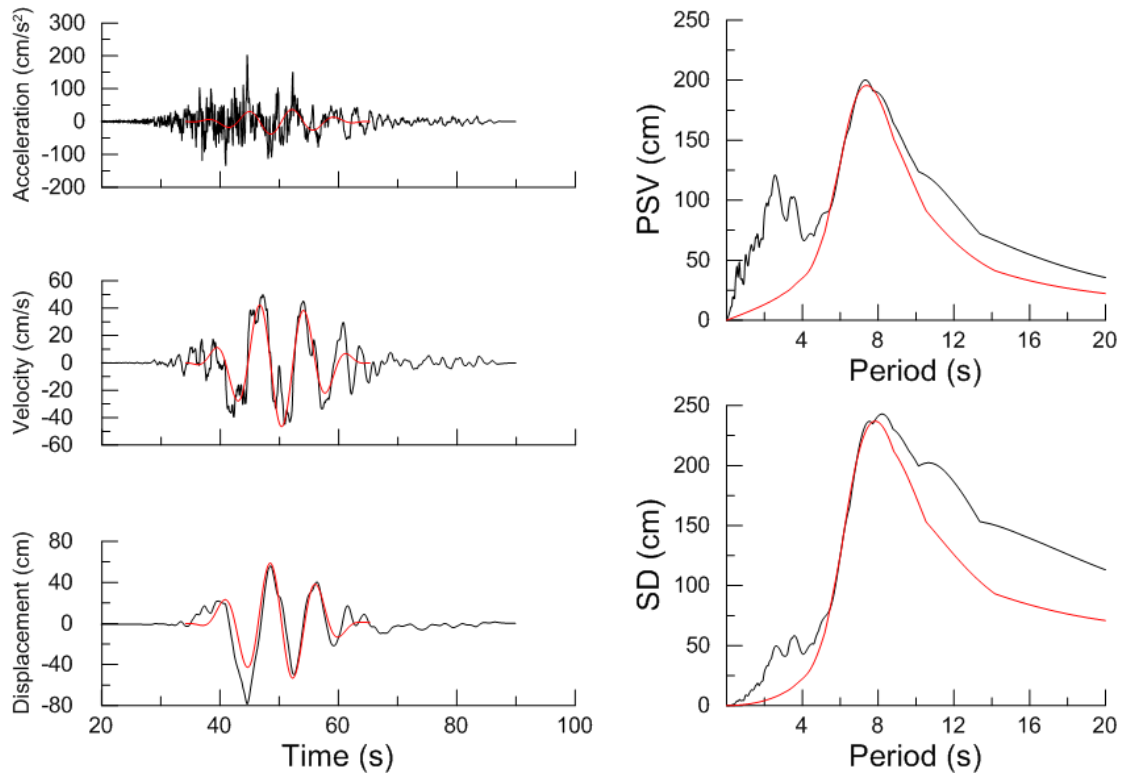
Χρονοϊστορίες και φάσματα της σεισμικής καταγραφής 1479L της βάσης NGA



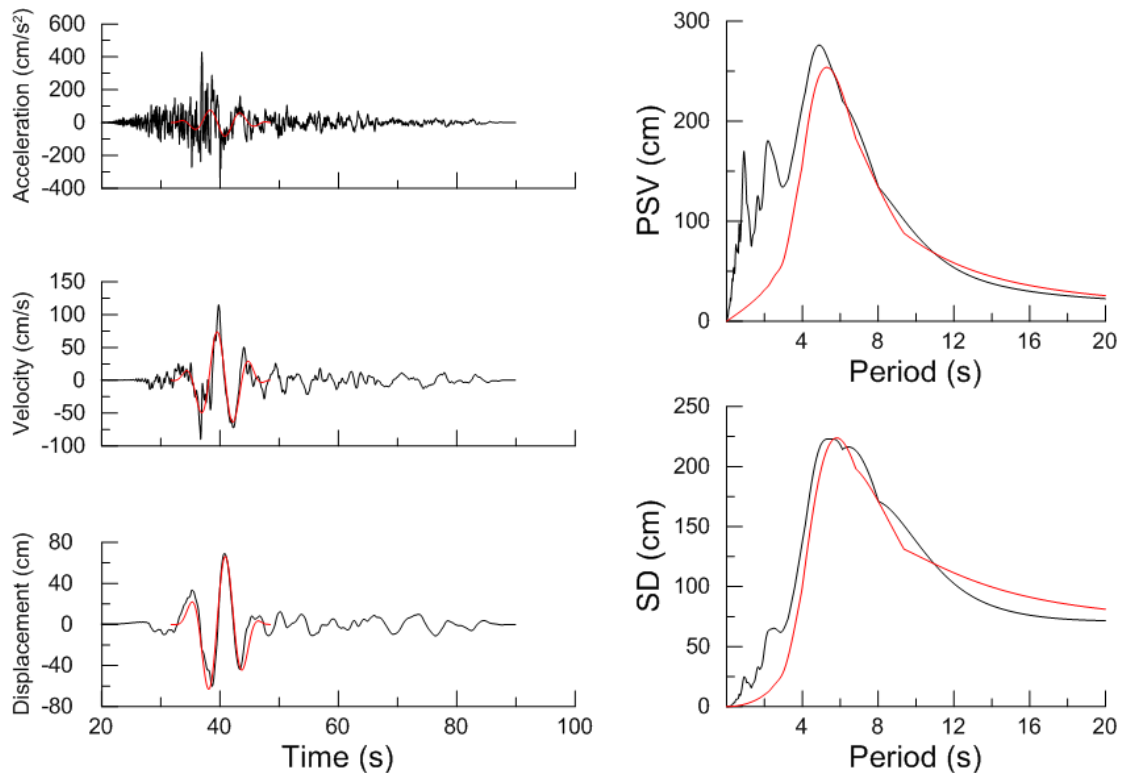
Χρονοϊστορίες και φάσματα της σεισμικής καταγραφής 183T της βάσης NGA



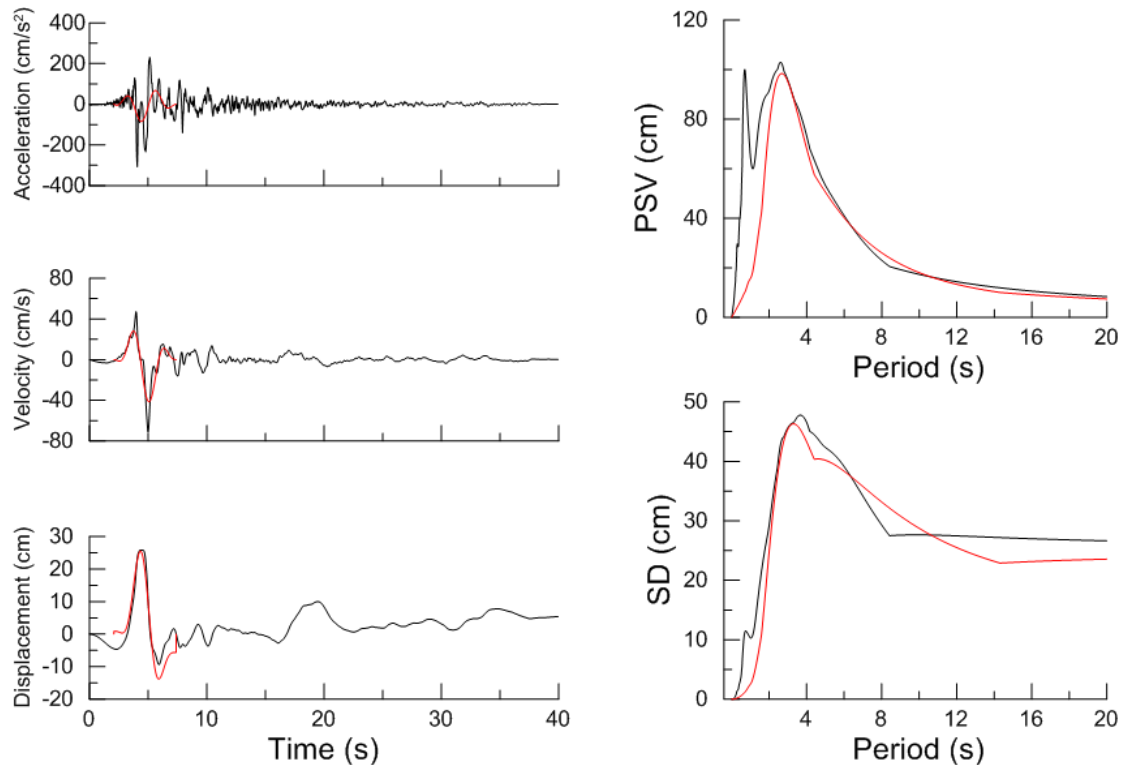
Χρονοϊστορίες και φάσματα της σεισμικής καταγραφής 143T της βάσης NGA



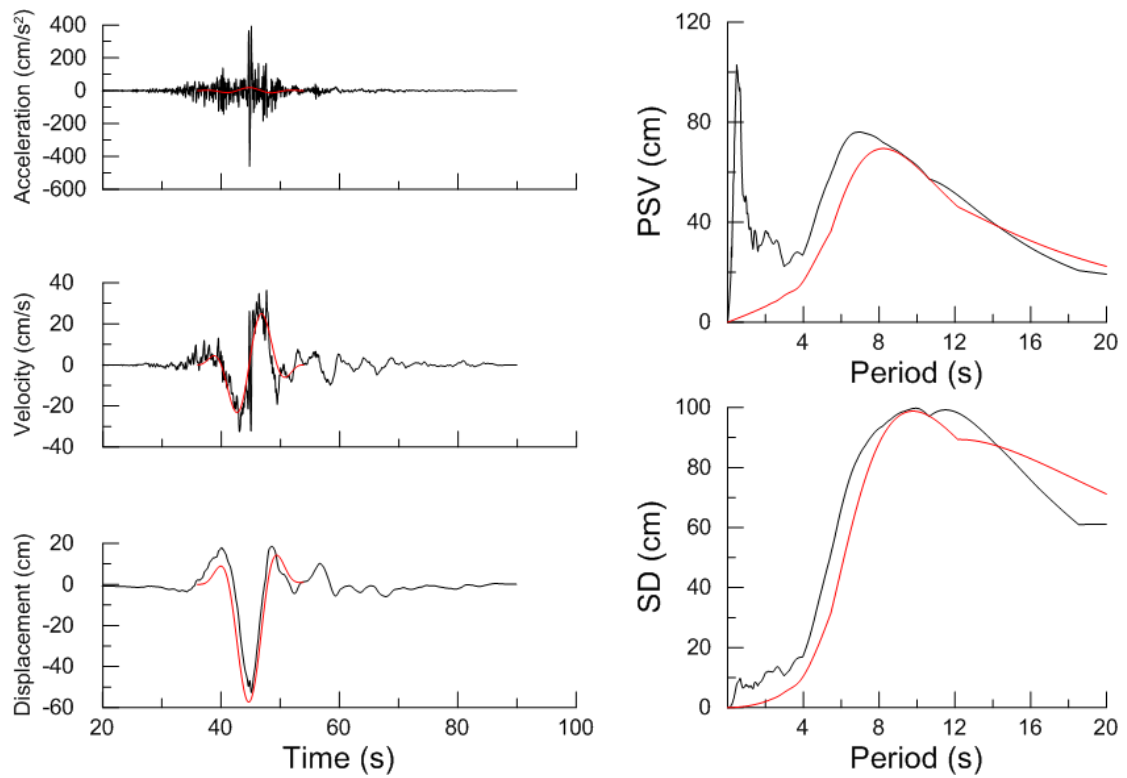
Χρονοϊστορίες και φάσματα της σεισμικής καταγραφής 1482L της βάσης NGA



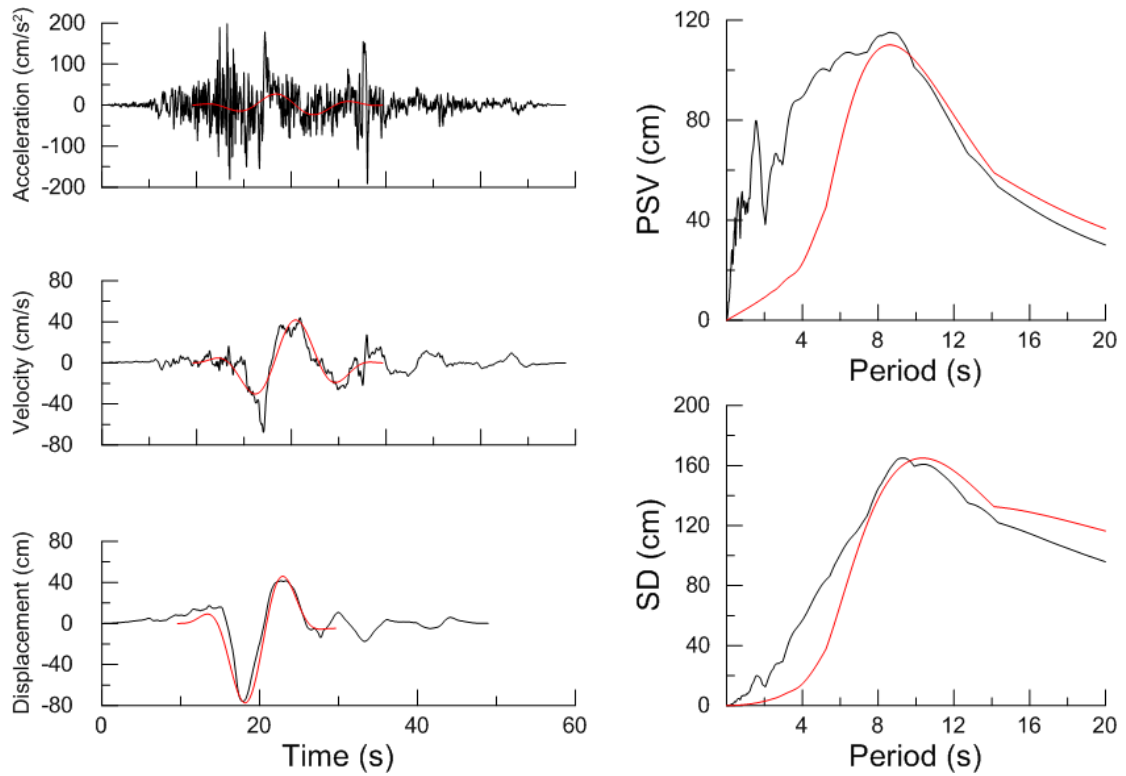
Χρονοϊστορίες και φάσματα της σεισμικής καταγραφής 1244T της βάσης NGA



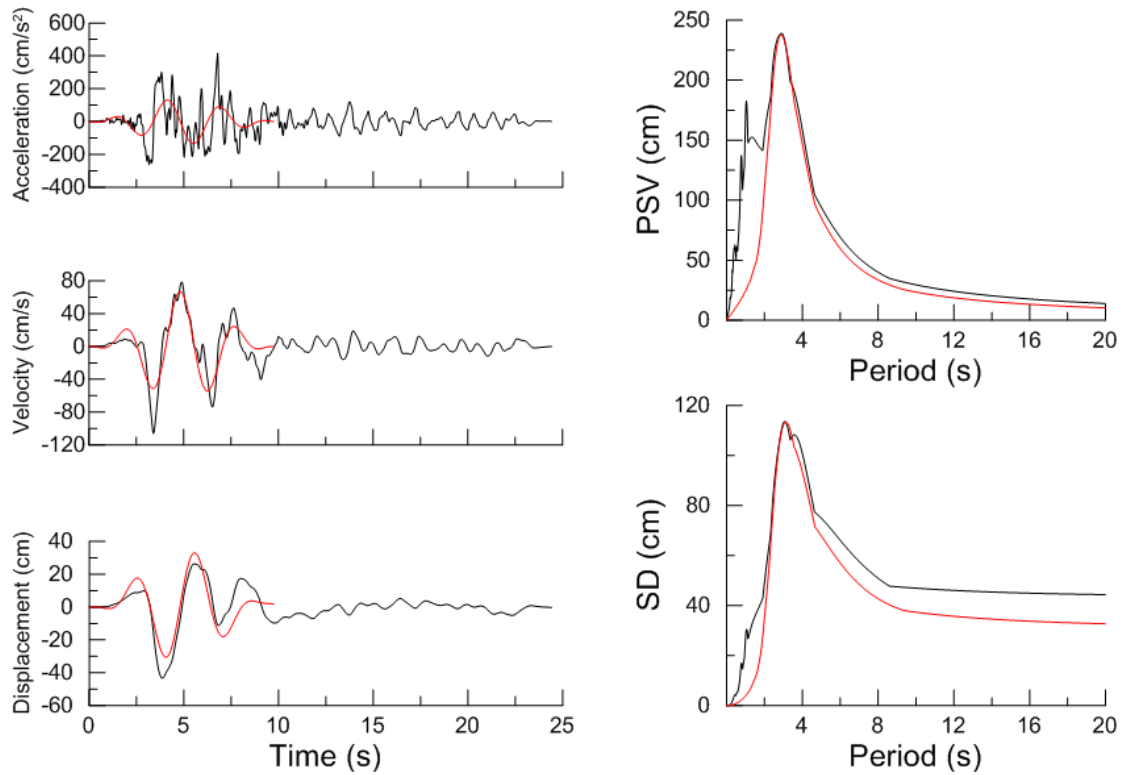
Χρονοϊστορίες και φάσματα της σεισμικής καταγραφής 171L της βάσης NGA



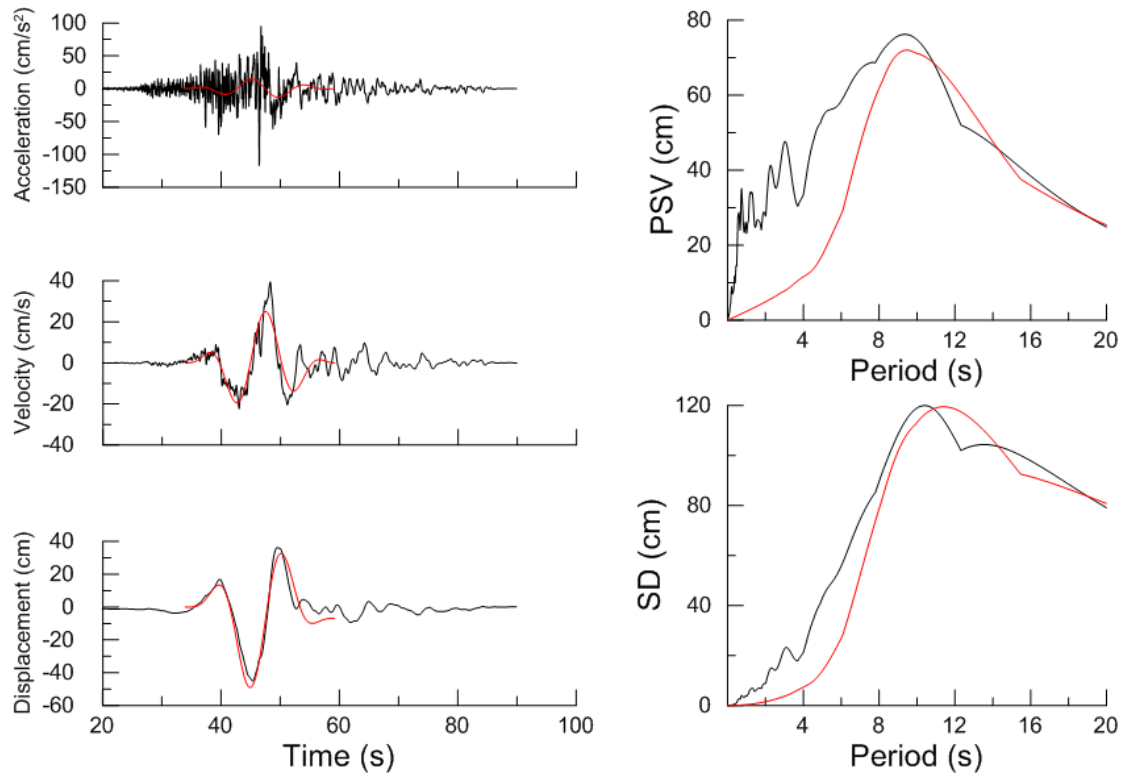
Χρονοϊστορίες και φάσματα της σεισμικής καταγραφής 1485L της βάσης NGA



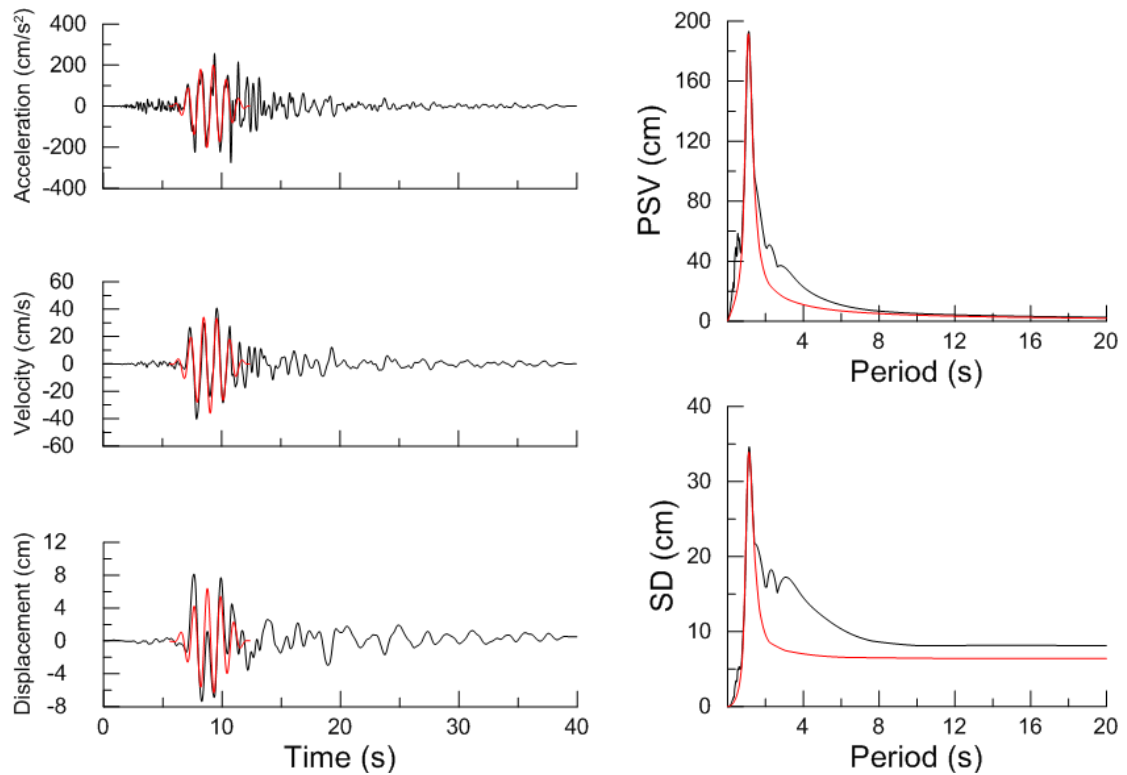
Χρονοϊστορίες και φάσματα της σεισμικής καταγραφής 1528L της βάσης NGA



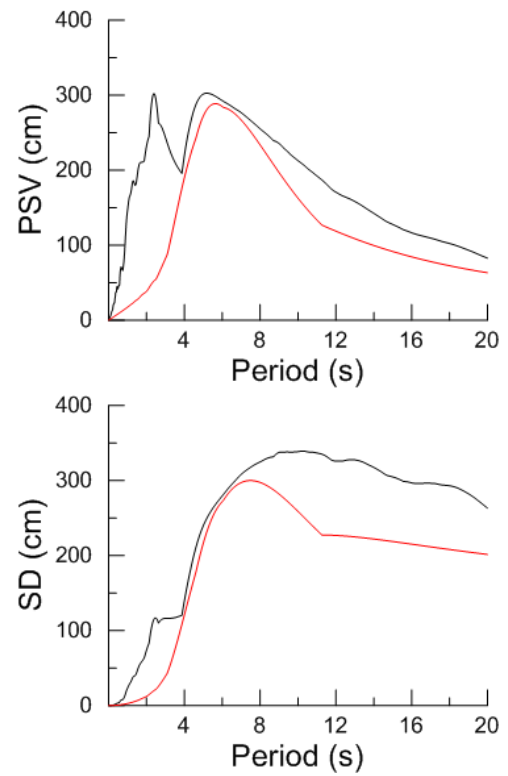
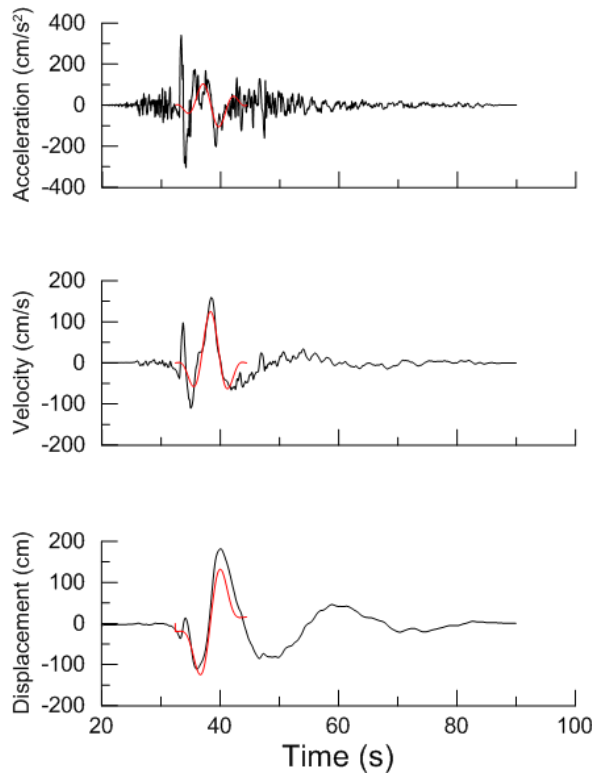
Χρονοϊστορίες και φάσματα της σεισμικής καταγραφής 982L της βάσης NGA



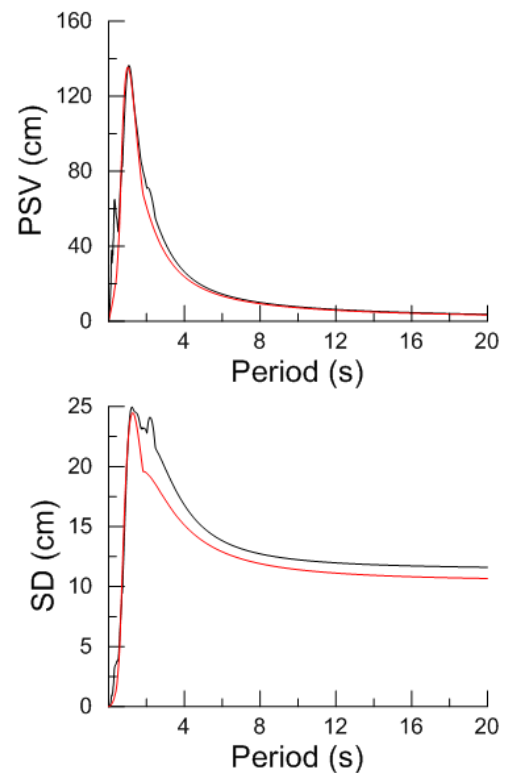
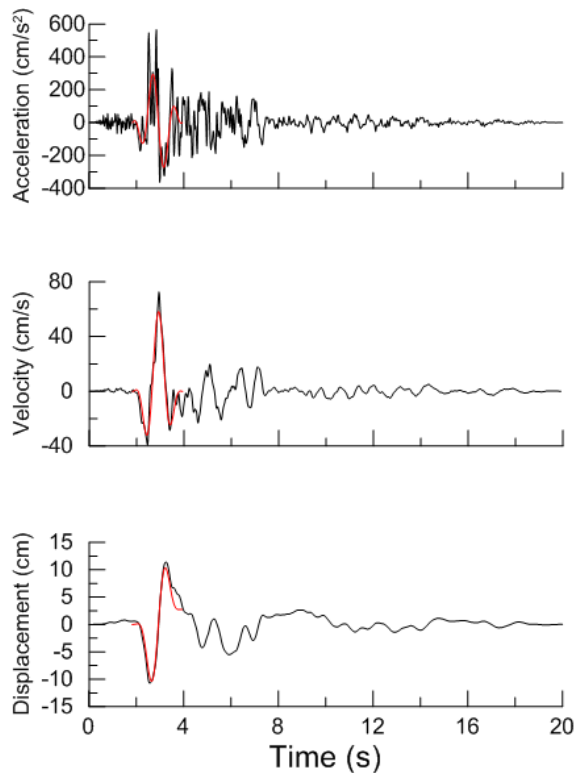
Χρονοϊστορίες και φάσματα της σεισμικής καταγραφής 1475L της βάσης NGA



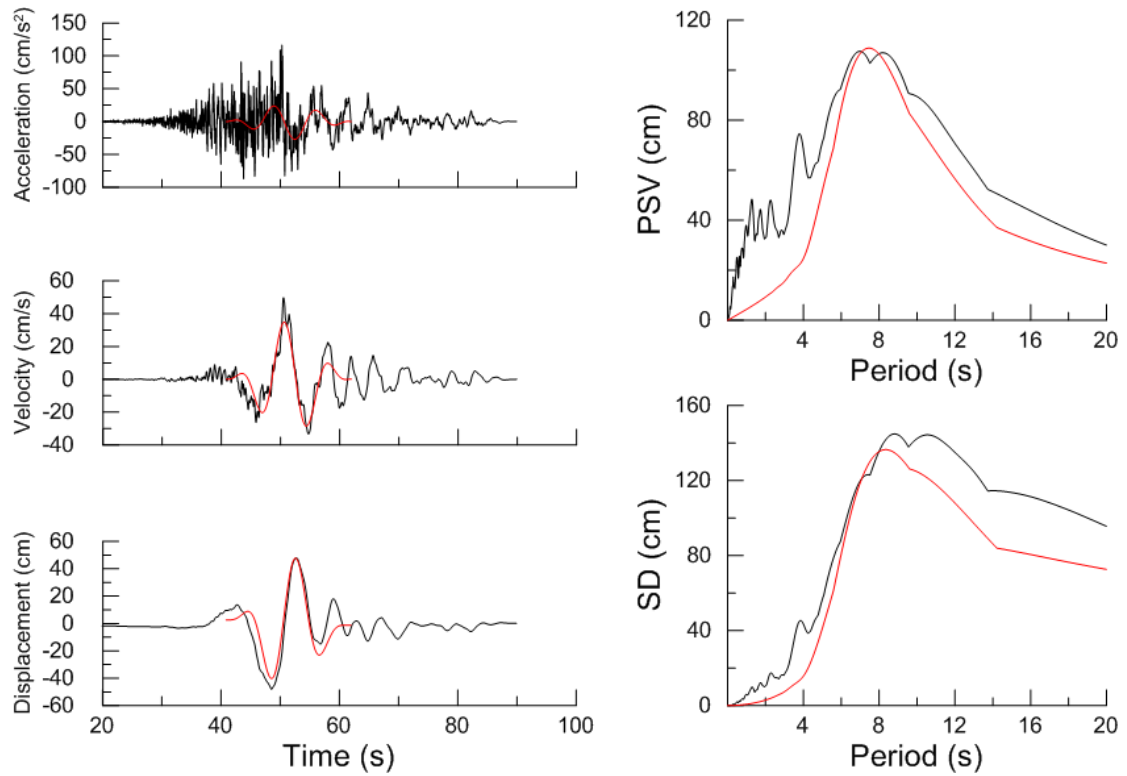
Χρονοϊστορίες και φάσματα της σεισμικής καταγραφής 338L της βάσης NGA



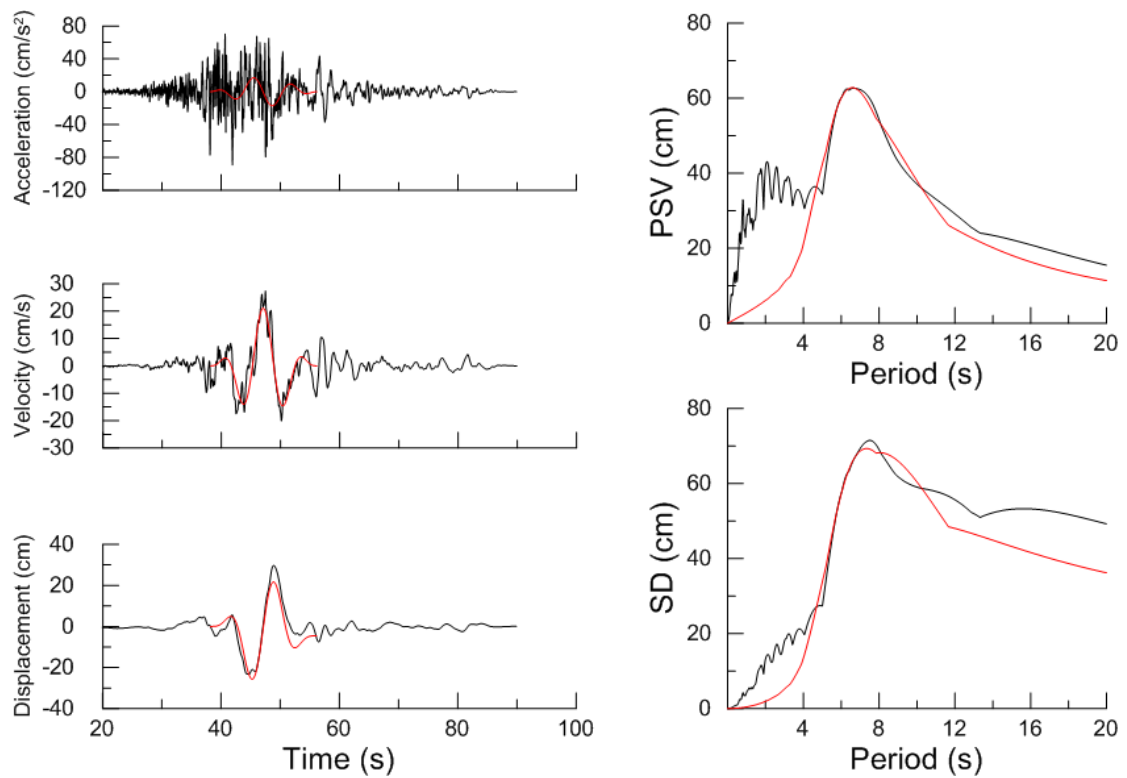
Χρονοϊστορίες και φάσματα της σεισμικής καταγραφής 492L της βάσης NGA



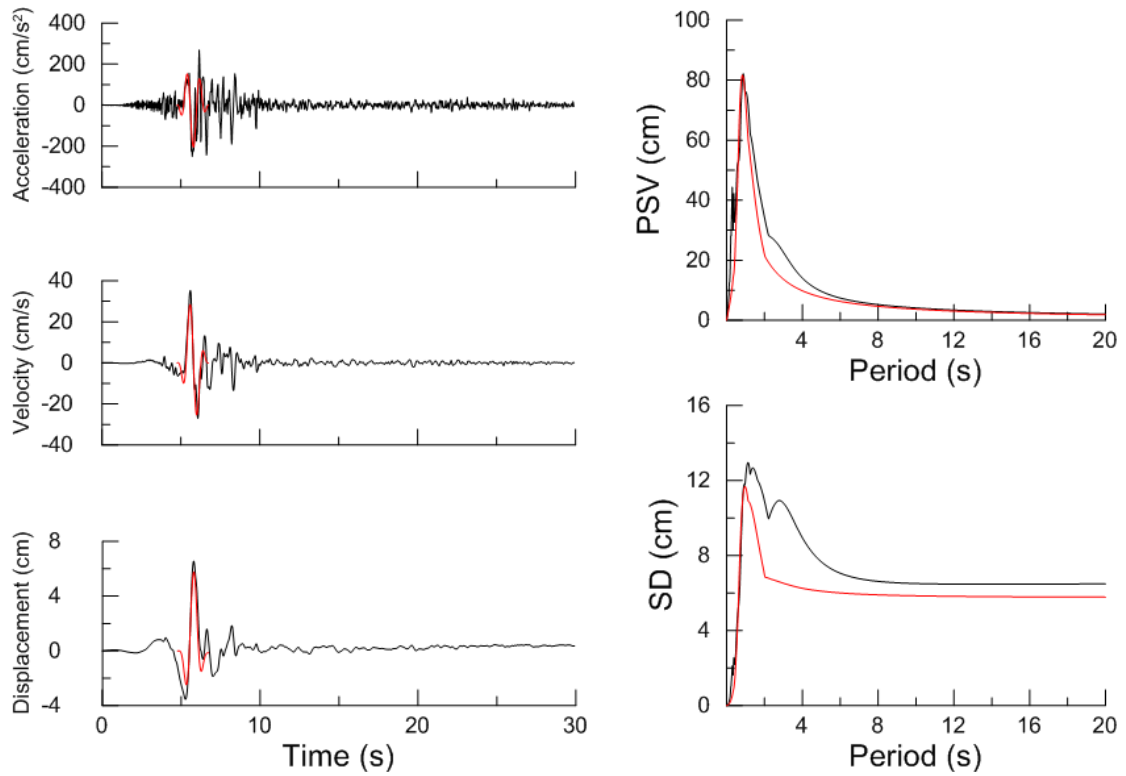
Χρονοϊστορίες και φάσματα της σεισμικής καταγραφής 529L της βάσης NGA



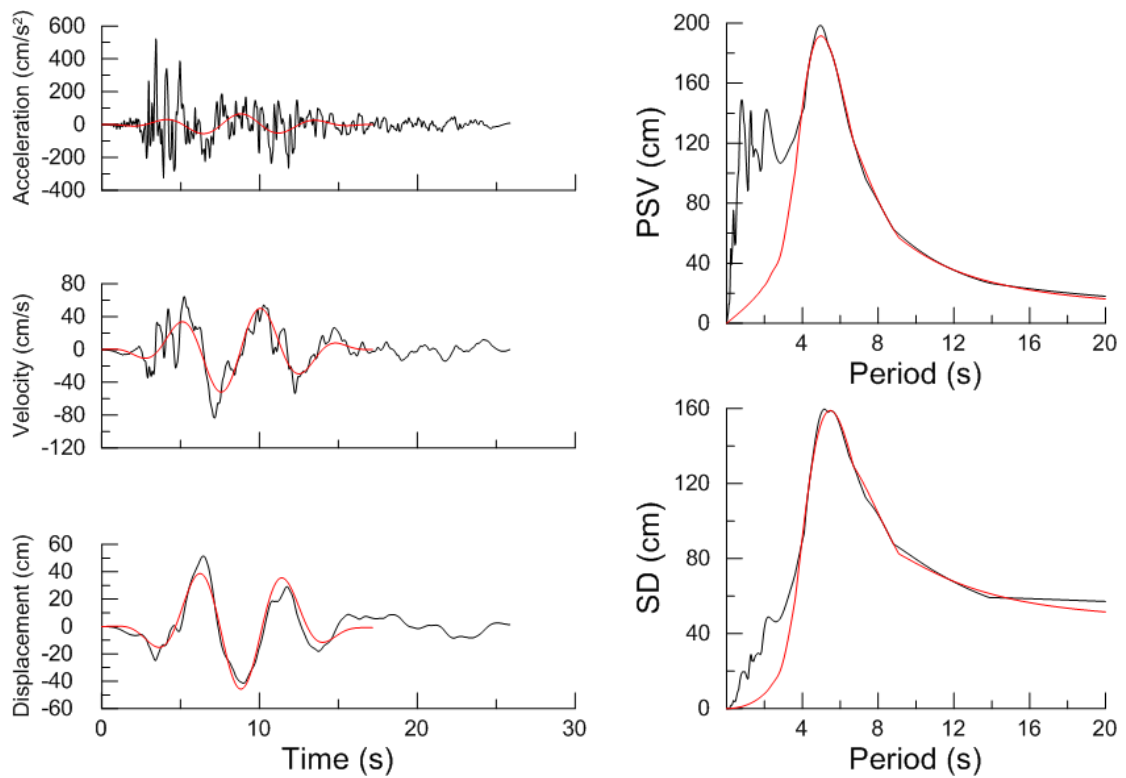
Χρονοϊστορίες και φάσματα της σεισμικής καταγραφής 1471L της βάσης NGA



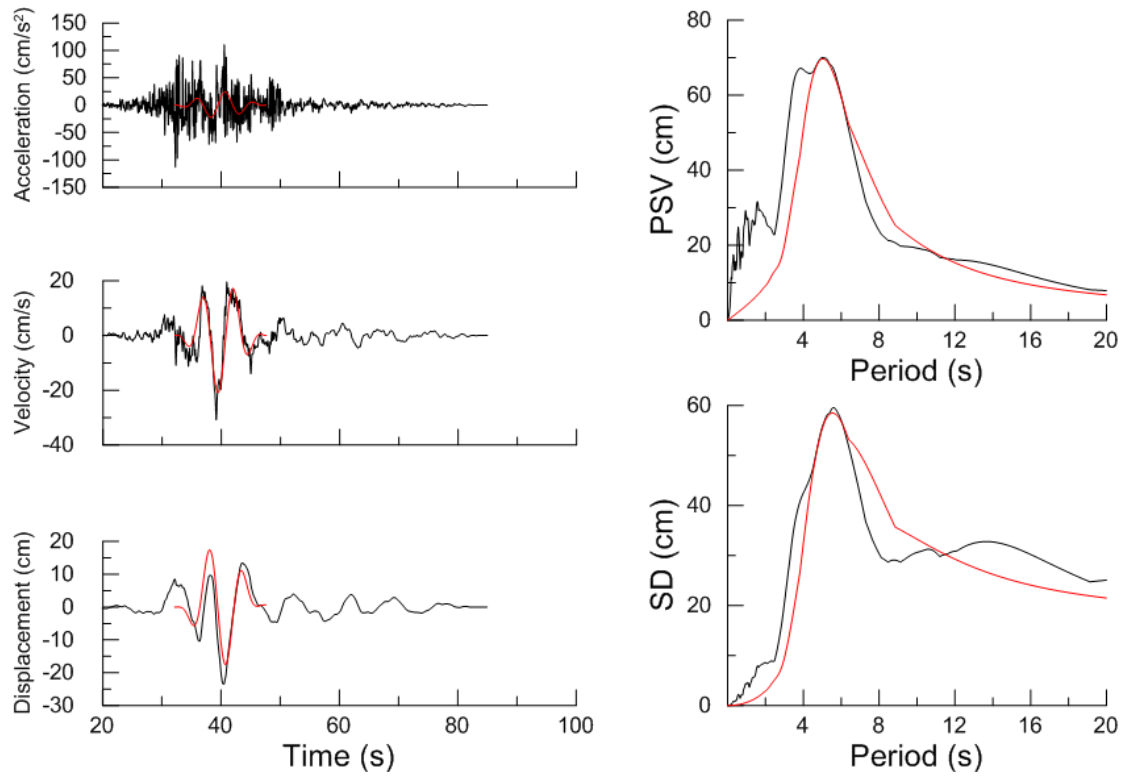
Χρονοϊστορίες και φάσματα της σεισμικής καταγραφής 1475T της βάσης NGA



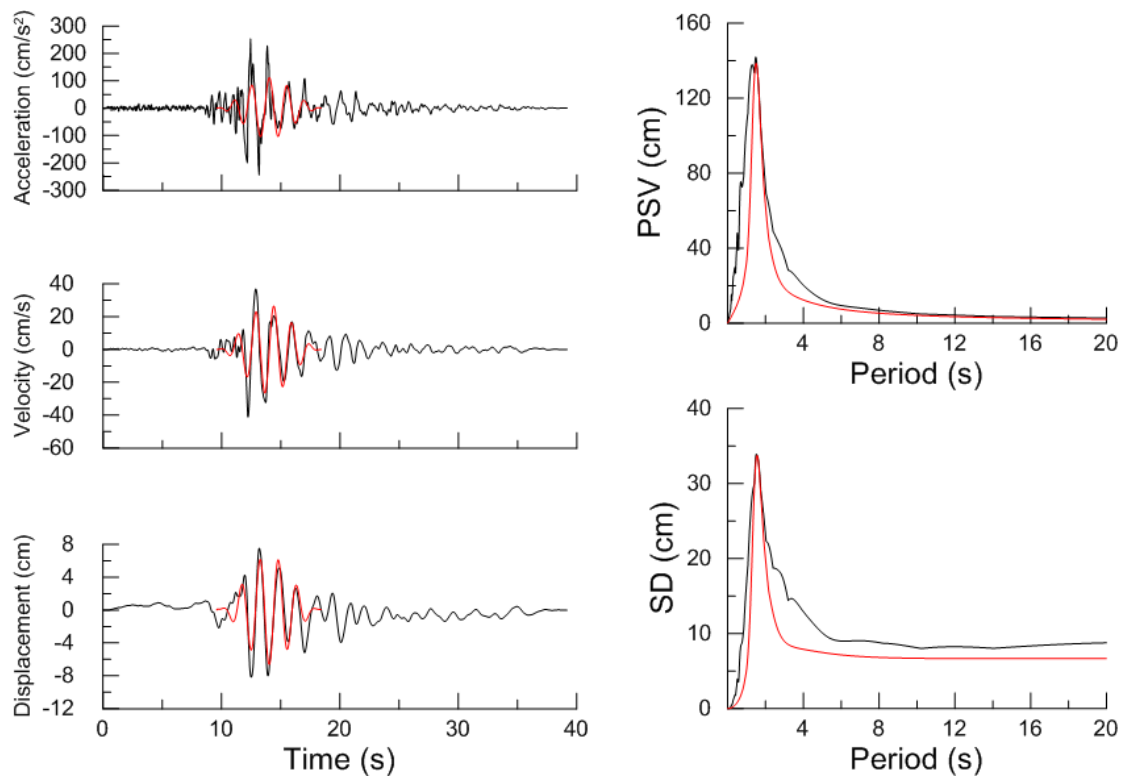
Χρονοϊστορίες και φάσματα της σεισμικής καταγραφής 1752T της βάσης NGA



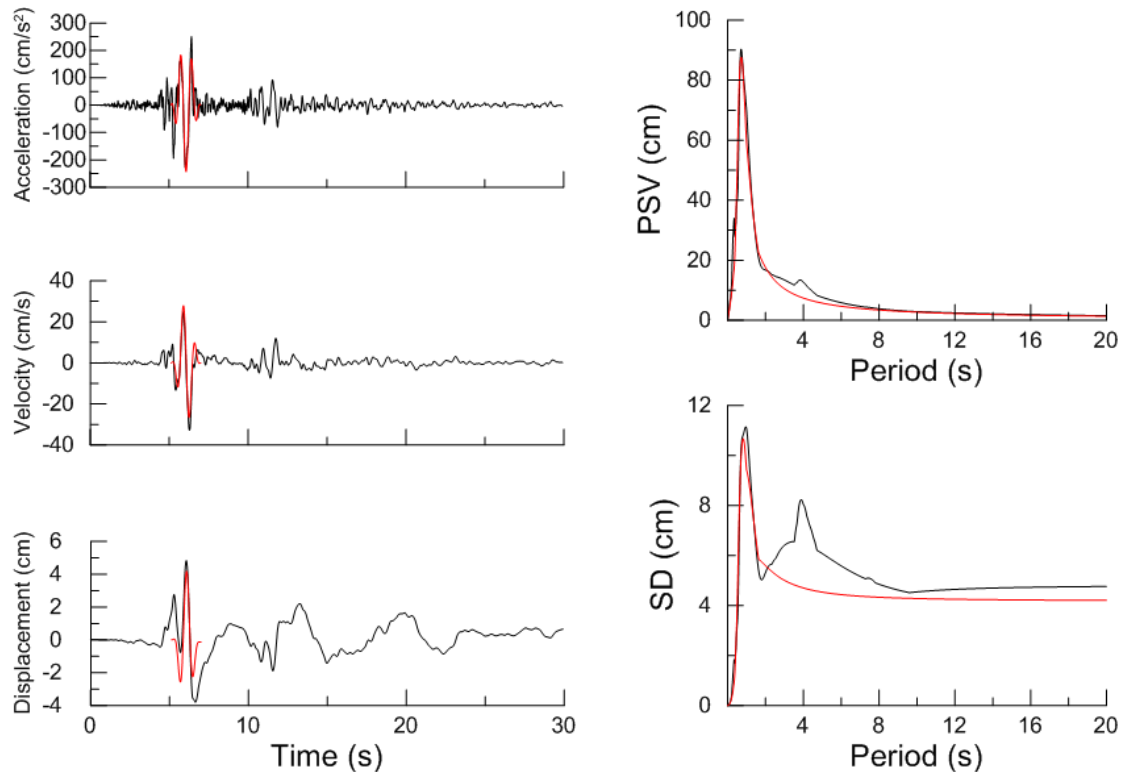
Χρονοϊστορίες και φάσματα της σεισμικής καταγραφής 1605T της βάσης NGA



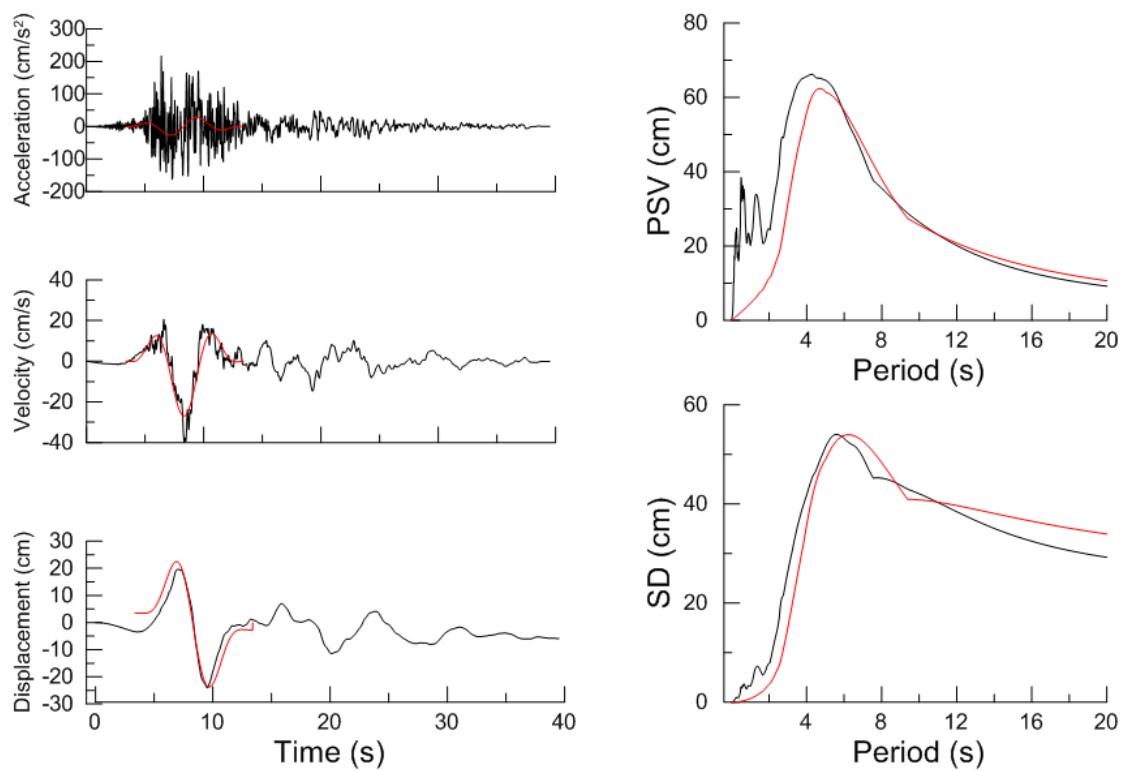
Χρονοϊστορίες και φάσματα της σεισμικής καταγραφής 1486T της βάσης NGA



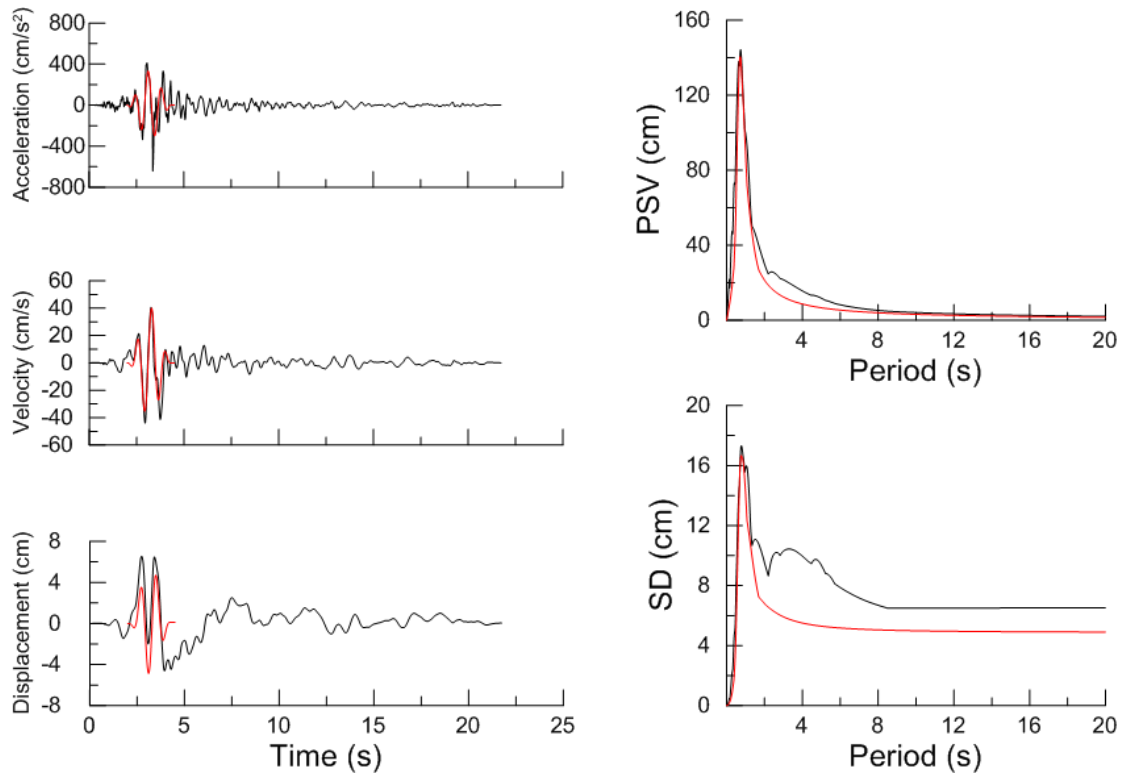
Χρονοϊστορίες και φάσματα της σεισμικής καταγραφής 758L της βάσης NGA



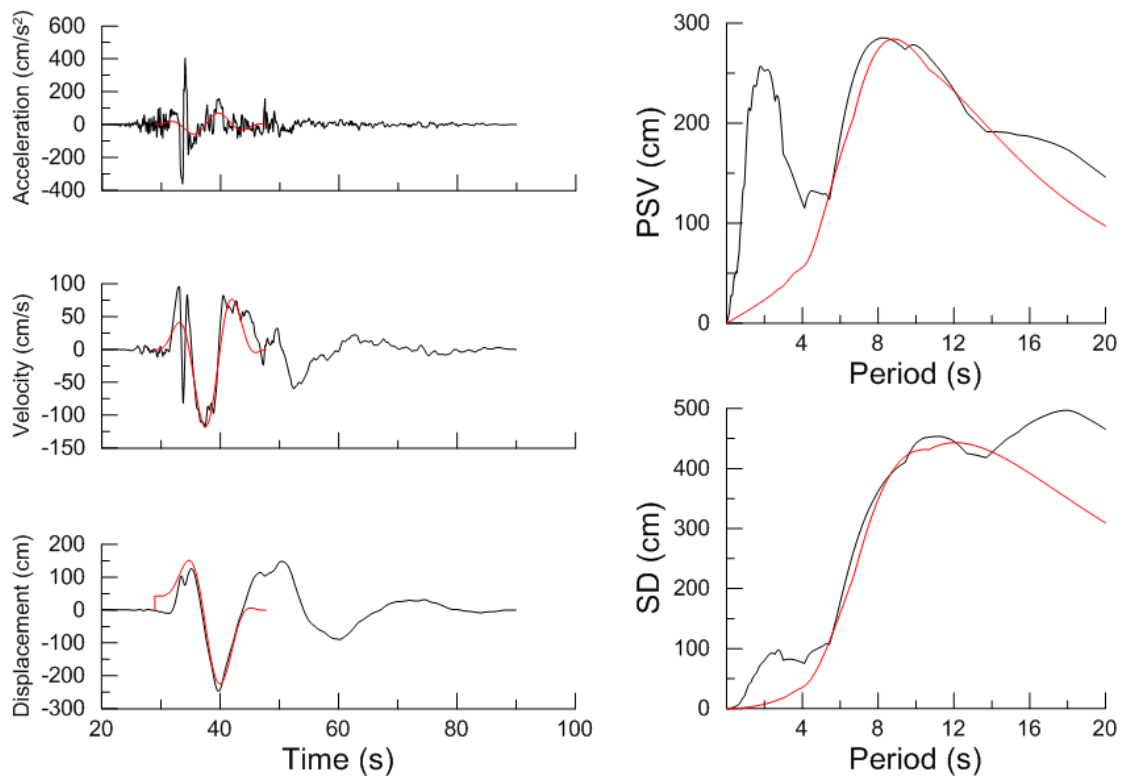
Χρονοϊστορίες και φάσματα της σεισμικής καταγραφής 645L της βάσης NGA



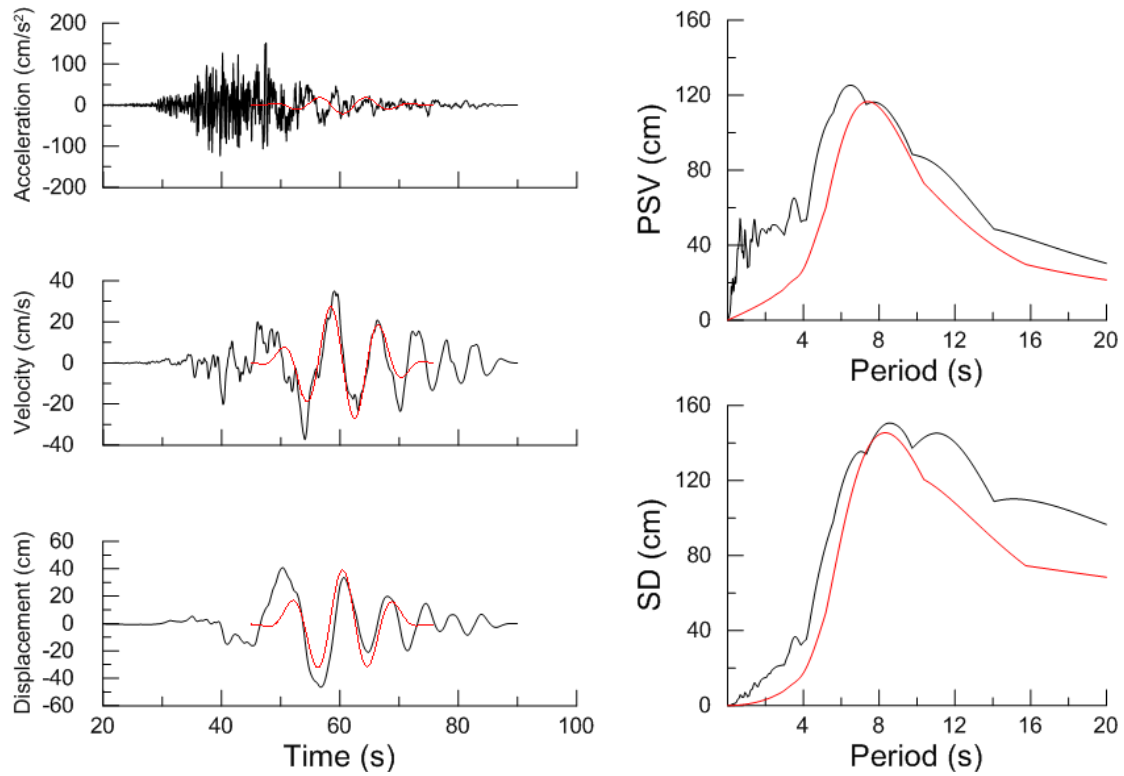
Χρονοϊστορίες και φάσματα της σεισμικής καταγραφής 178T της βάσης NGA



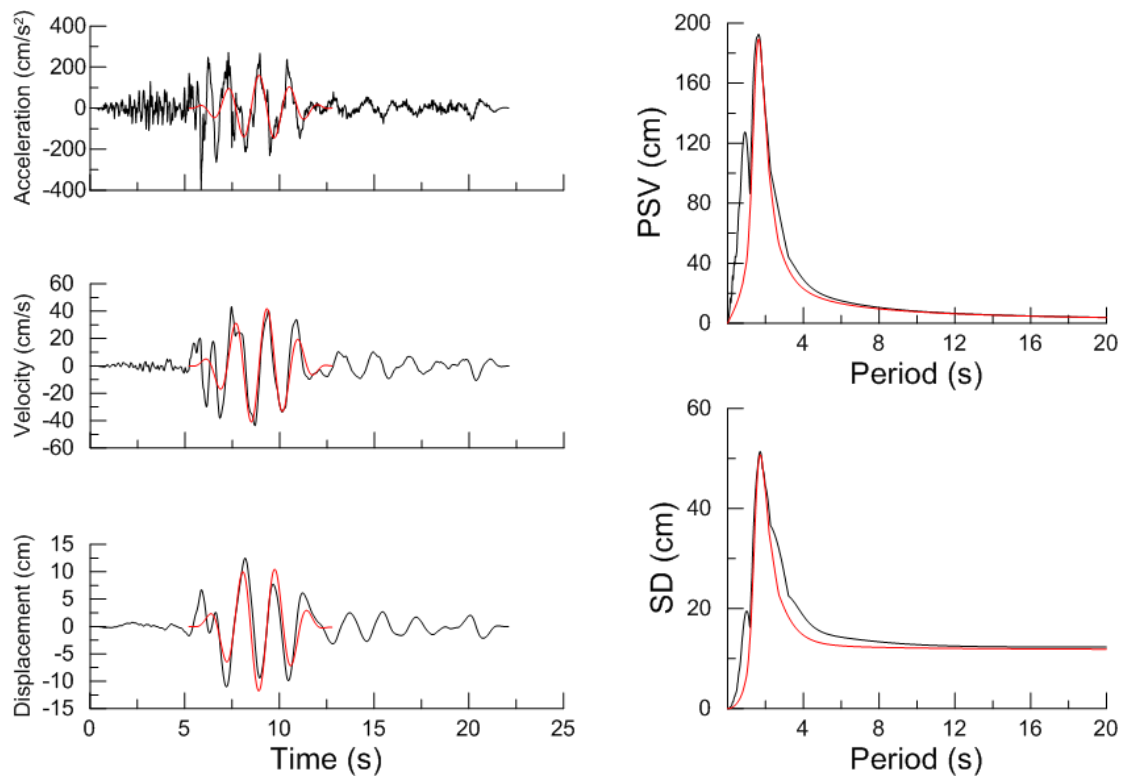
Χρονοϊστορίες και φάσματα της σεισμικής καταγραφής 415L της βάσης NGA



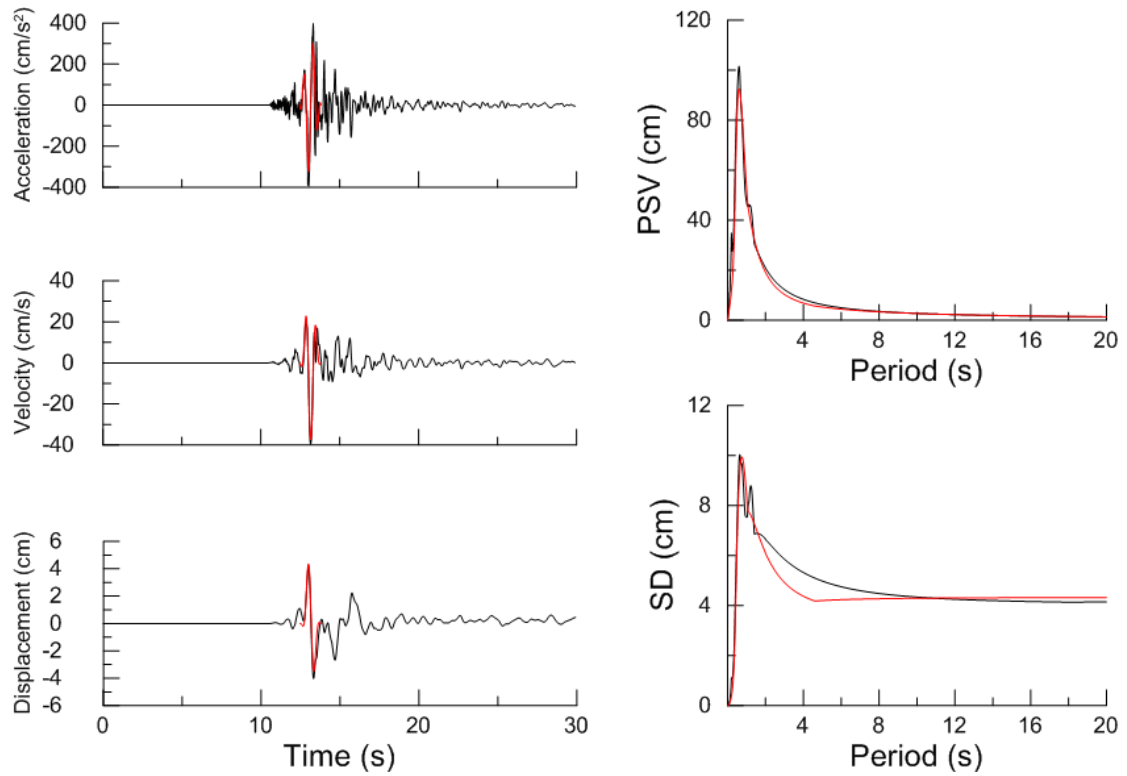
Χρονοϊστορίες και φάσματα της σεισμικής καταγραφής 1492T της βάσης NGA



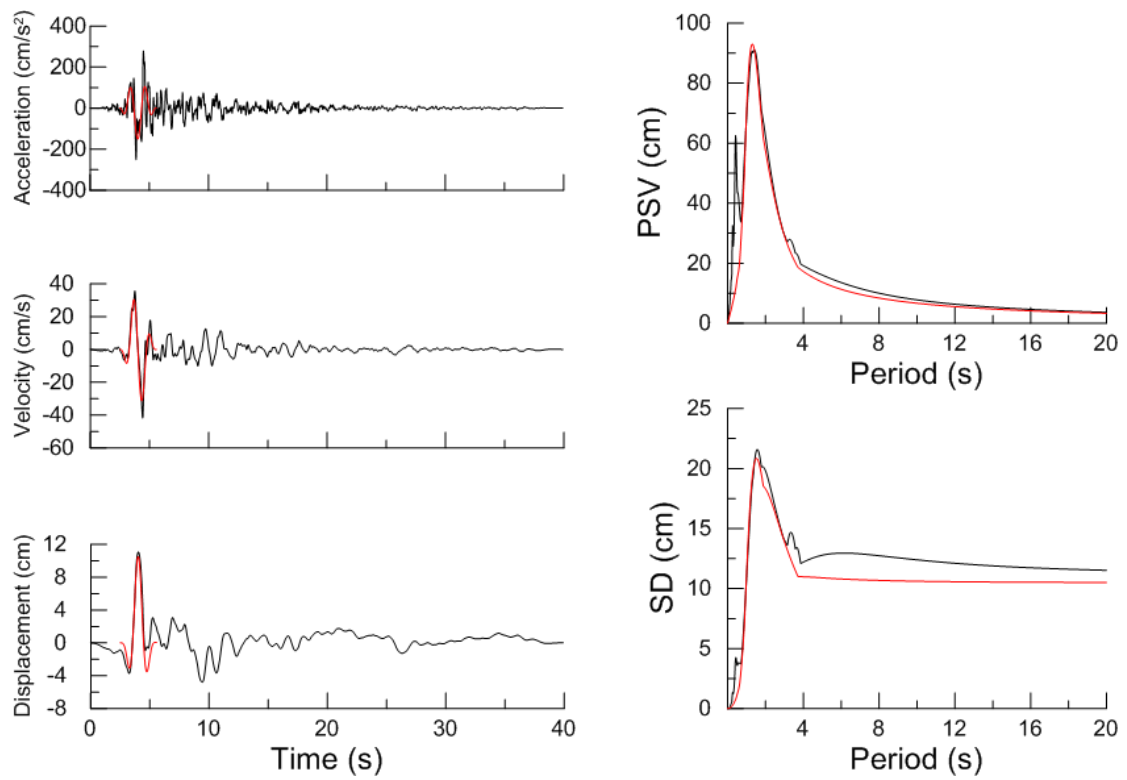
Χρονοϊστορίες και φάσματα της σεισμικής καταγραφής 1478L της βάσης NGA



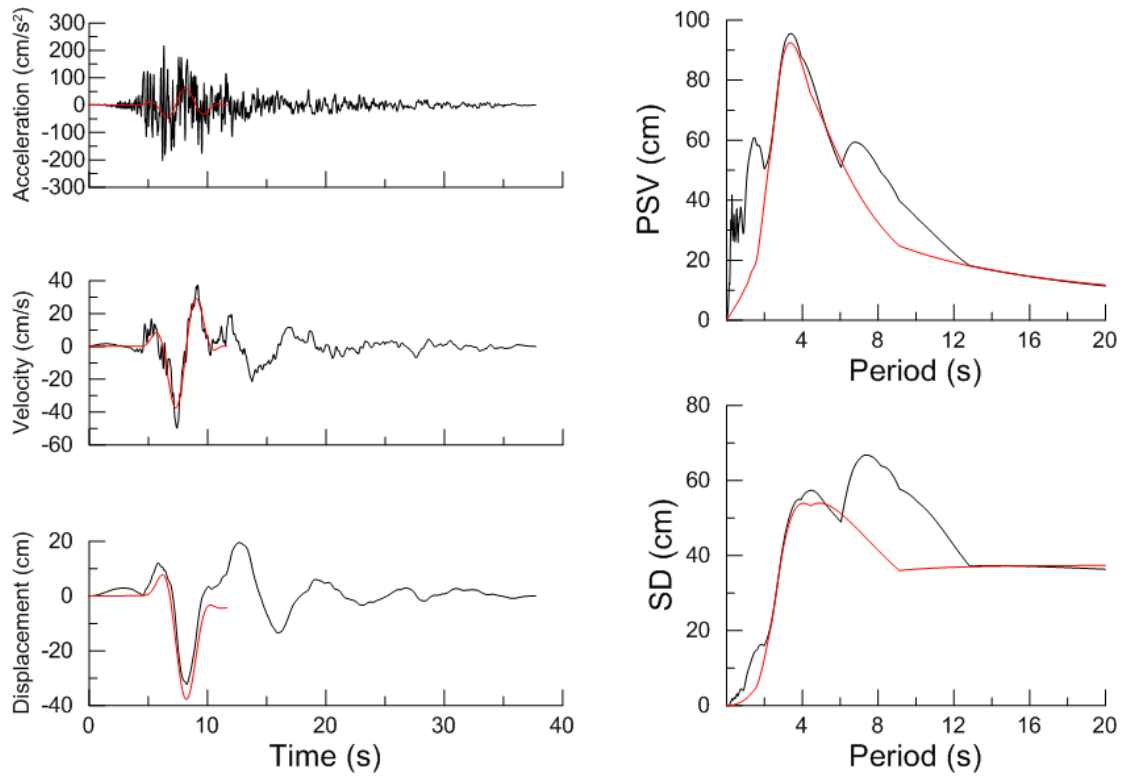
Χρονοϊστορίες και φάσματα της σεισμικής καταγραφής 1054T της βάσης NGA



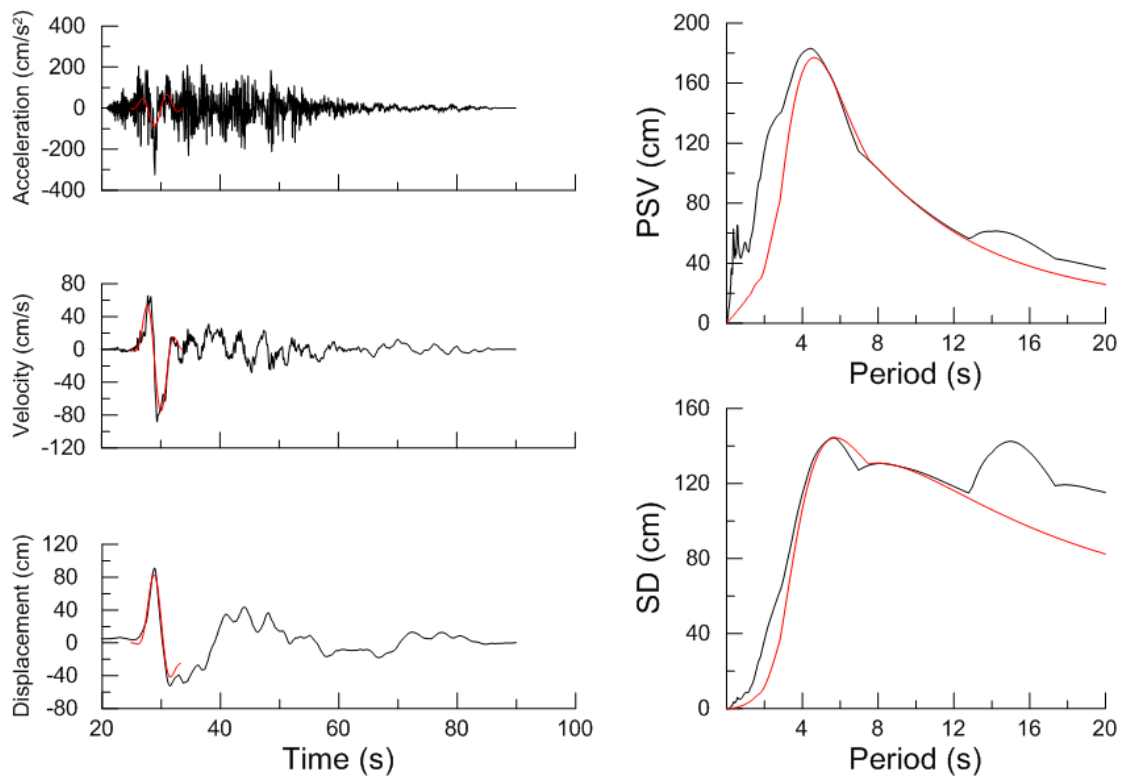
Χρονοϊστορίες και φάσματα της σεισμικής καταγραφής 1853L της βάσης NGA



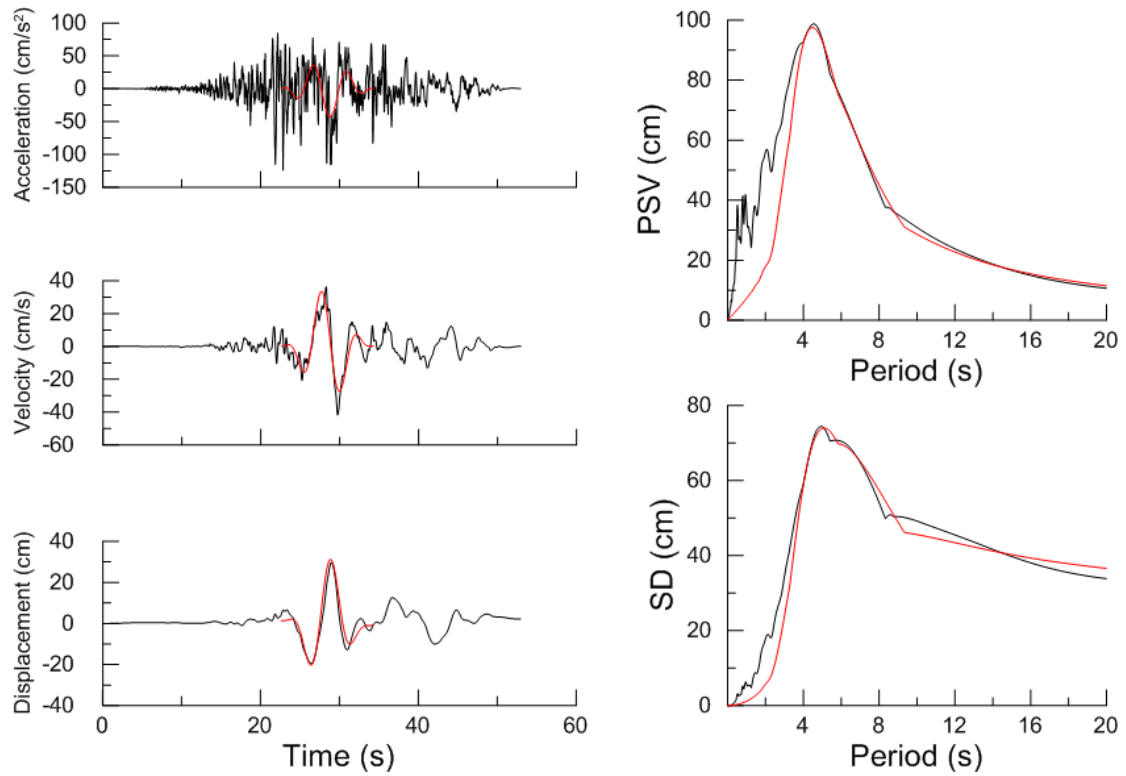
Χρονοϊστορίες και φάσματα της σεισμικής καταγραφής 764L της βάσης NGA



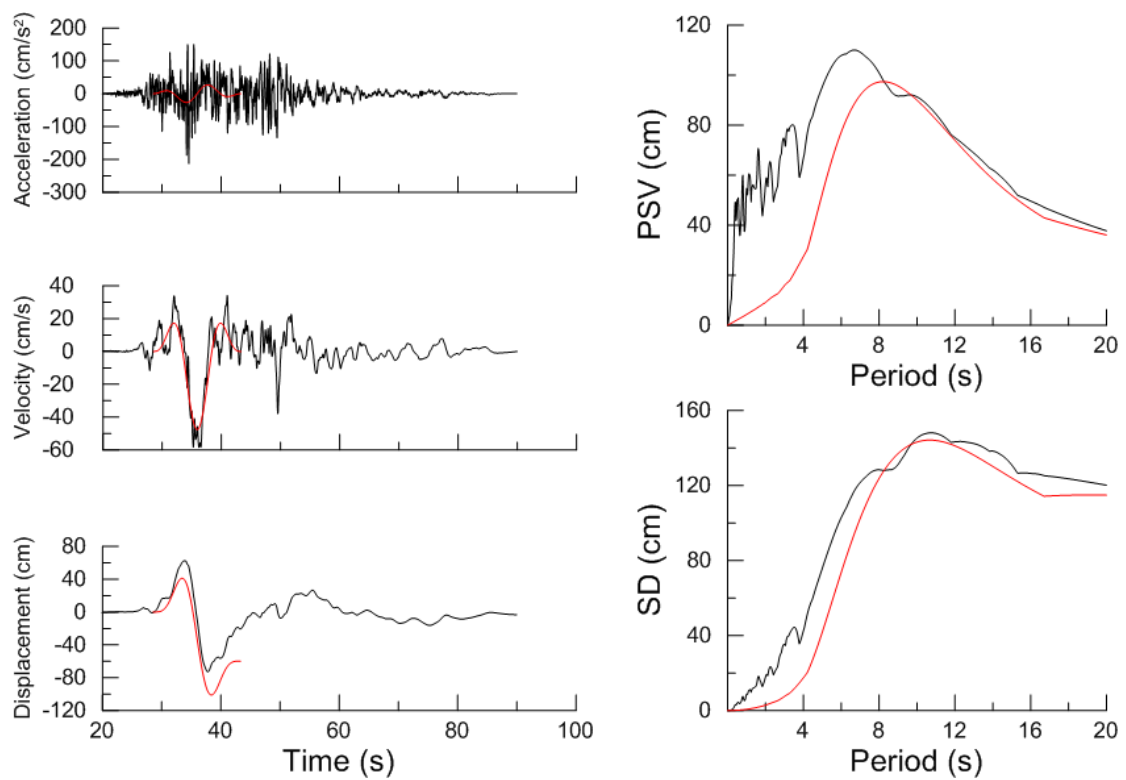
Χρονοϊστορίες και φάσματα της σεισμικής καταγραφής 185T της βάσης NGA



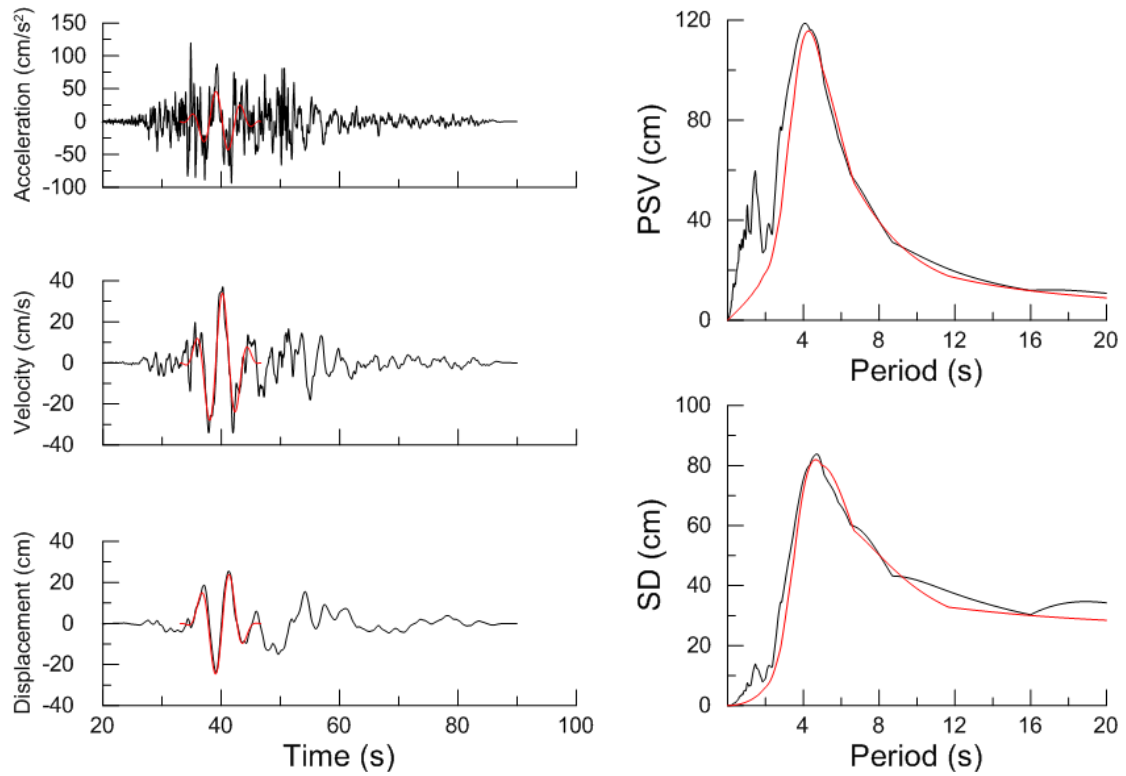
Χρονοϊστορίες και φάσματα της σεισμικής καταγραφής 1510L της βάσης NGA



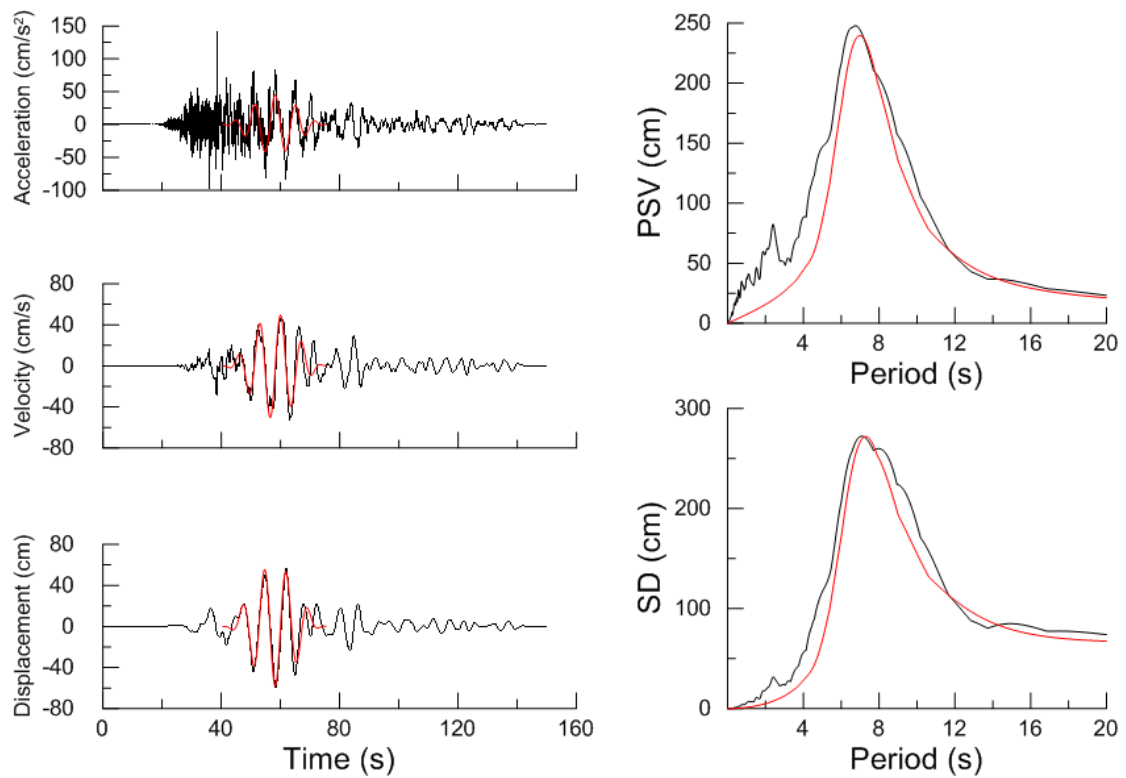
Χρονοϊστορίες και φάσματα της σεισμικής καταγραφής 1403T της βάσης NGA



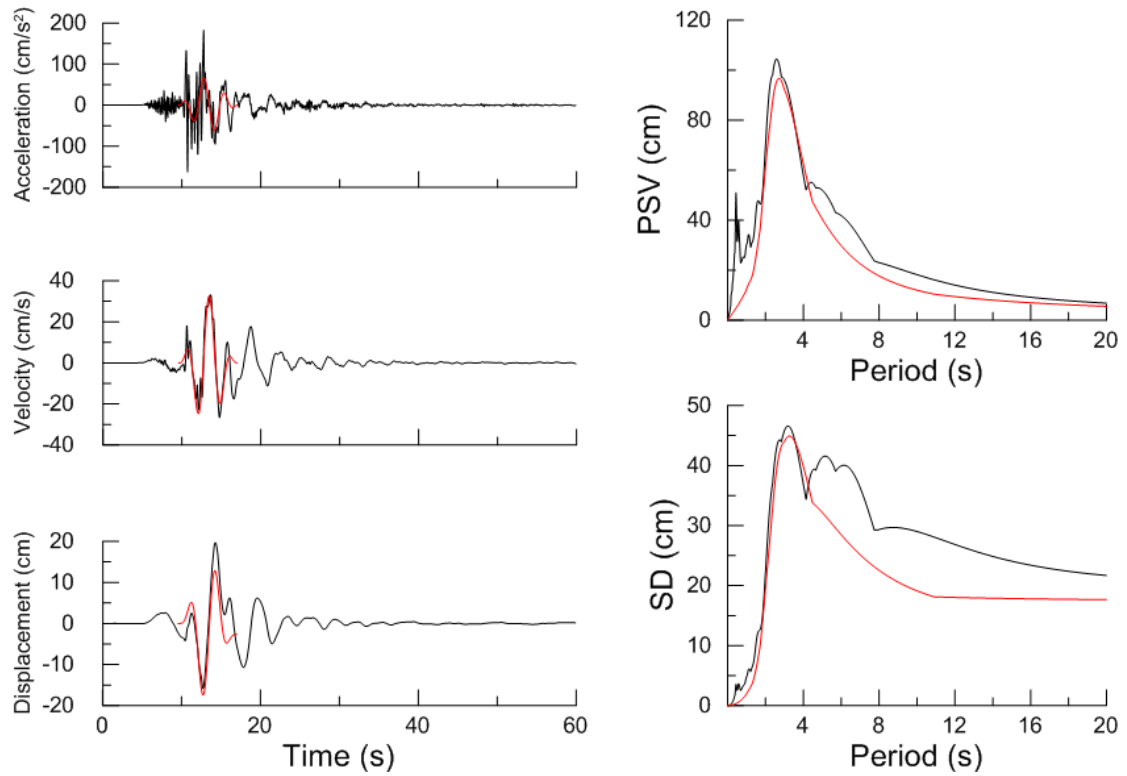
Χρονοϊστορίες και φάσματα της σεισμικής καταγραφής 1515L της βάσης NGA



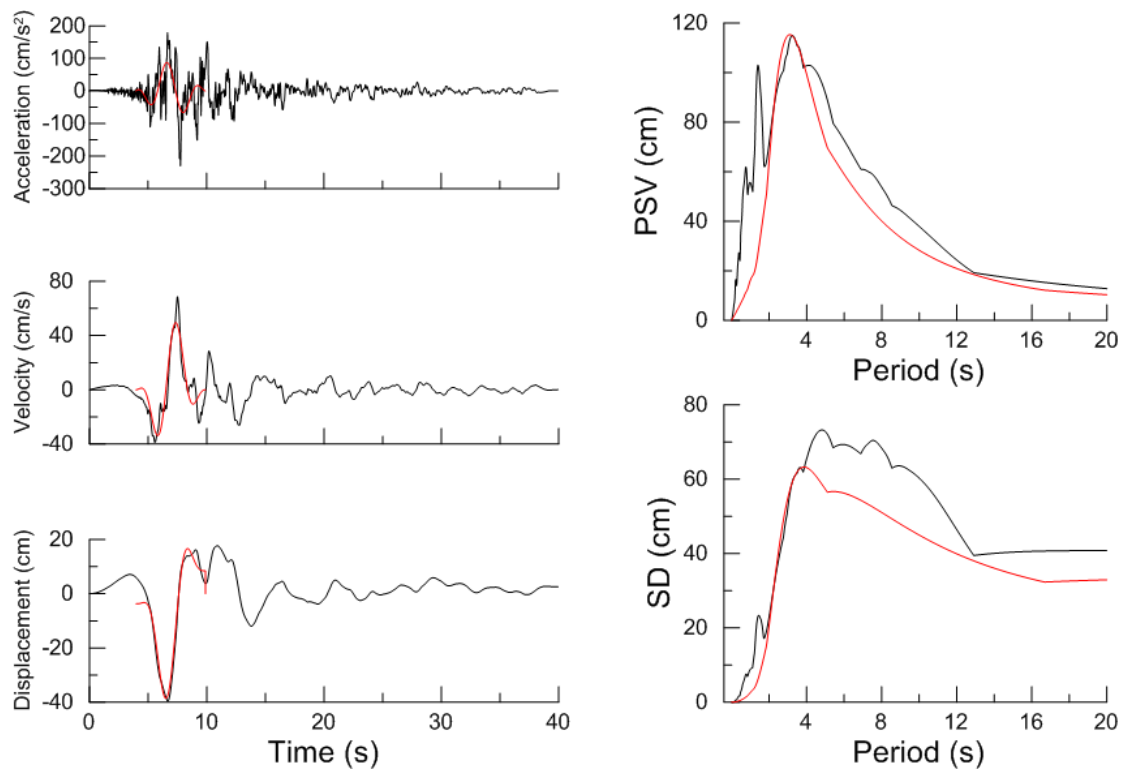
Χρονοϊστορίες και φάσματα της σεισμικής καταγραφής 1519T της βάσης NGA



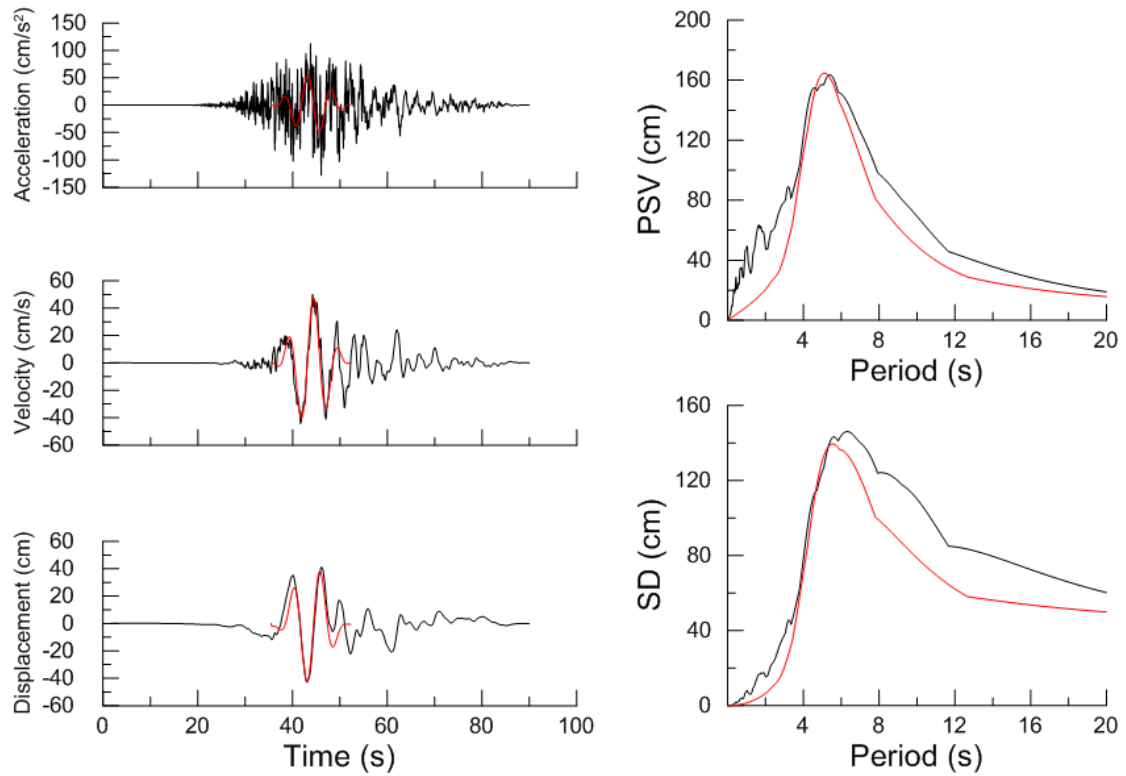
Χρονοϊστορίες και φάσματα της σεισμικής καταγραφής 1180L της βάσης NGA



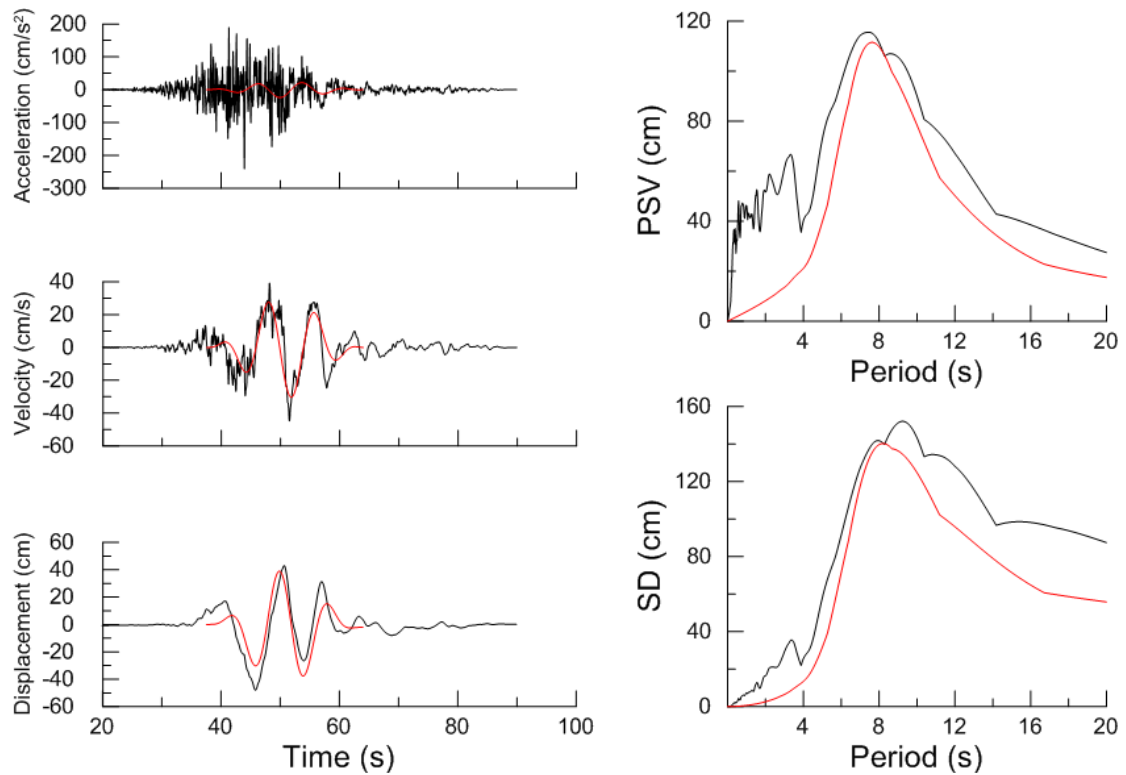
Χρονοϊστορίες και φάσματα της σεισμικής καταγραφής 2457T της βάσης NGA



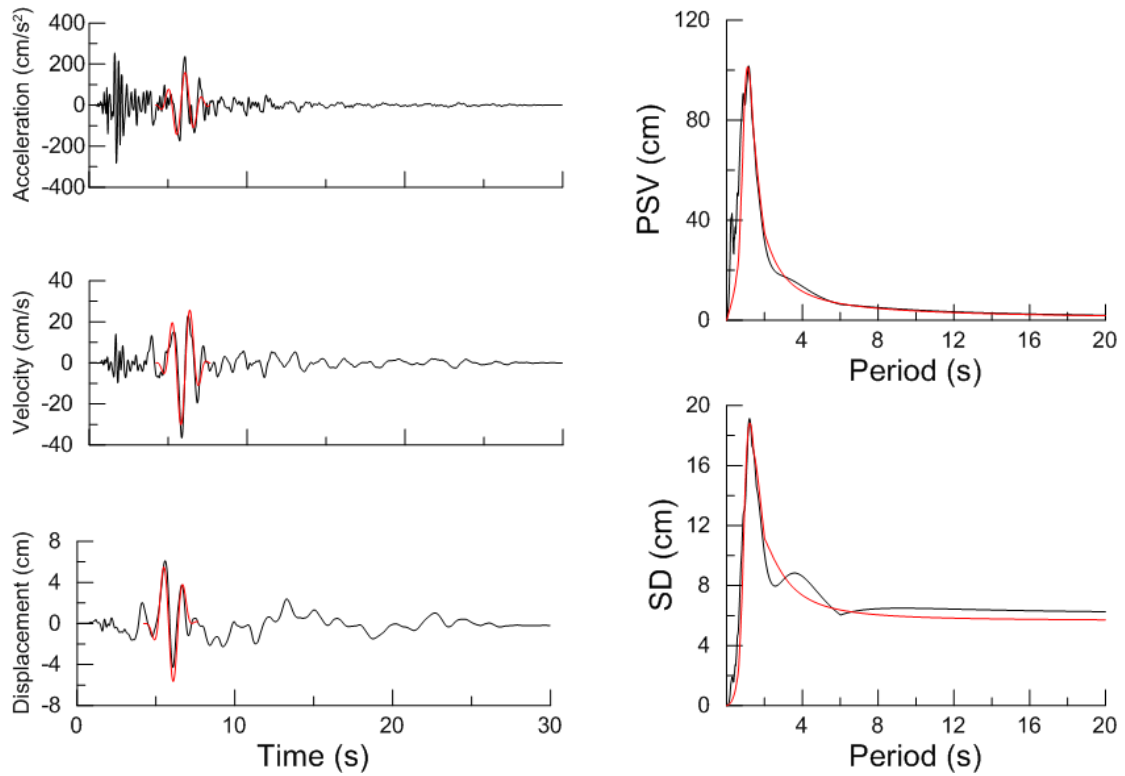
Χρονοϊστορίες και φάσματα της σεισμικής καταγραφής 170T της βάσης NGA



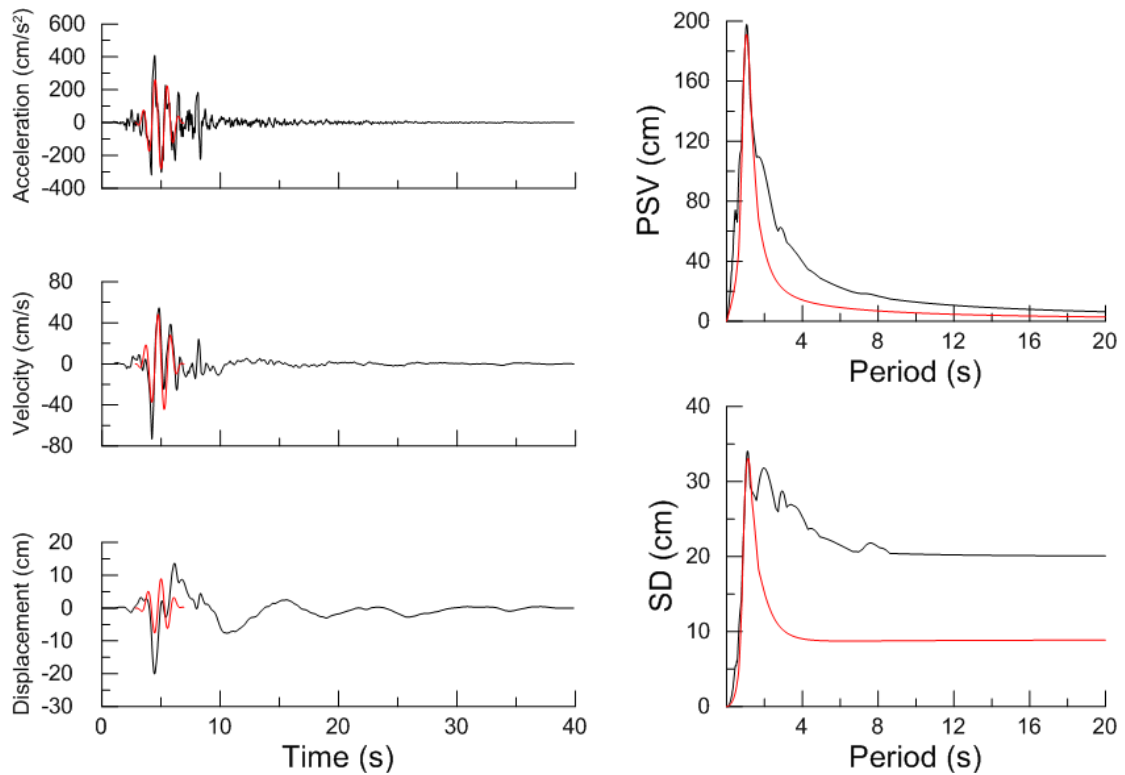
Χρονοϊστορίες και φάσματα της σεισμικής καταγραφής 1480T της βάσης NGA



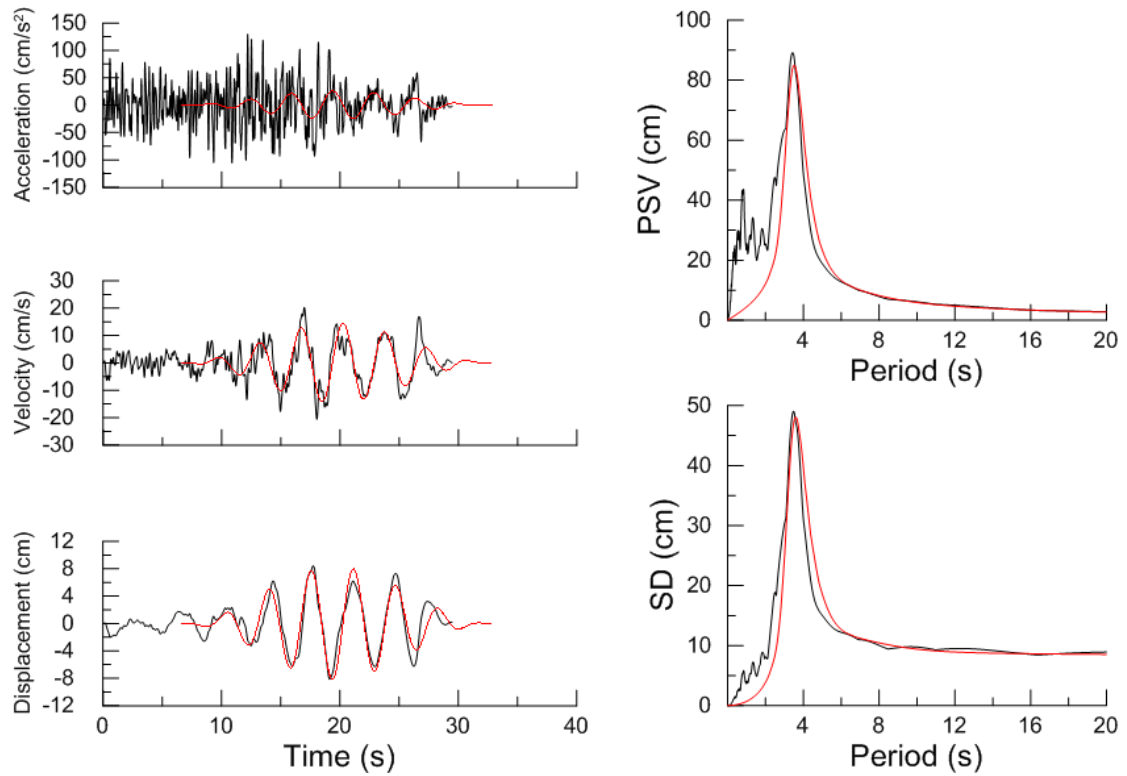
Χρονοϊστορίες και φάσματα της σεισμικής καταγραφής 1484L της βάσης NGA



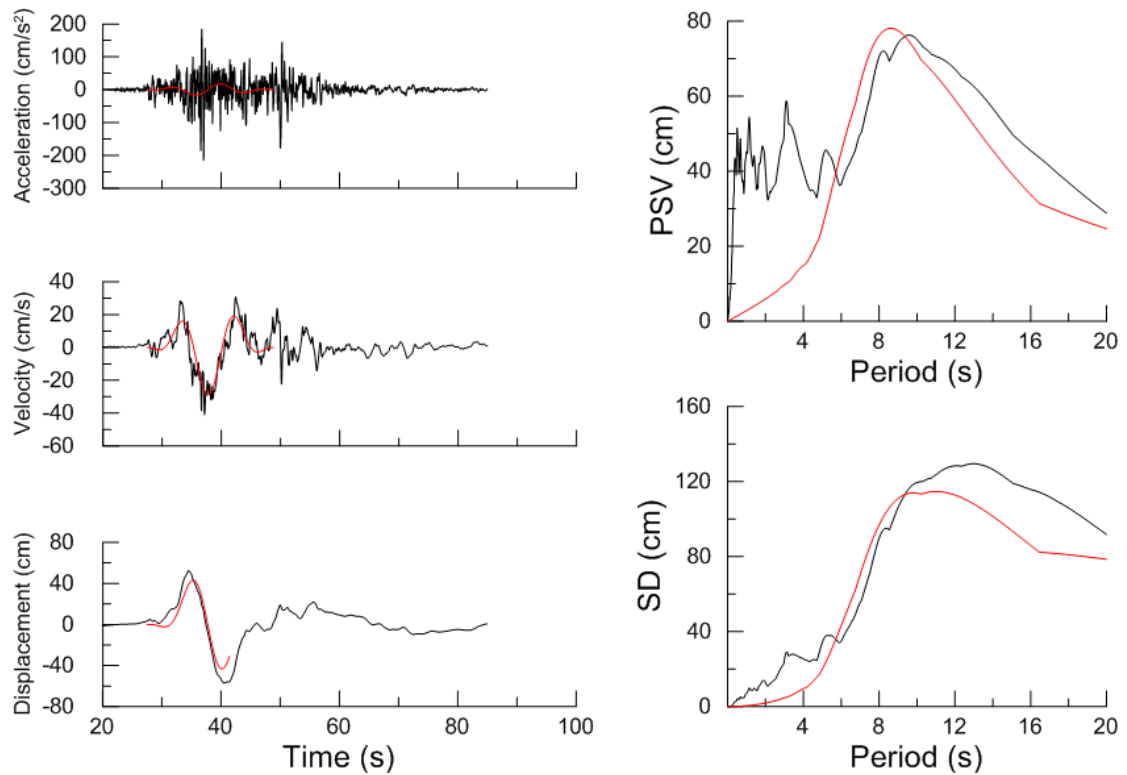
Χρονοϊστορίες και φάσματα της σεισμικής καταγραφής 459T της βάσης NGA



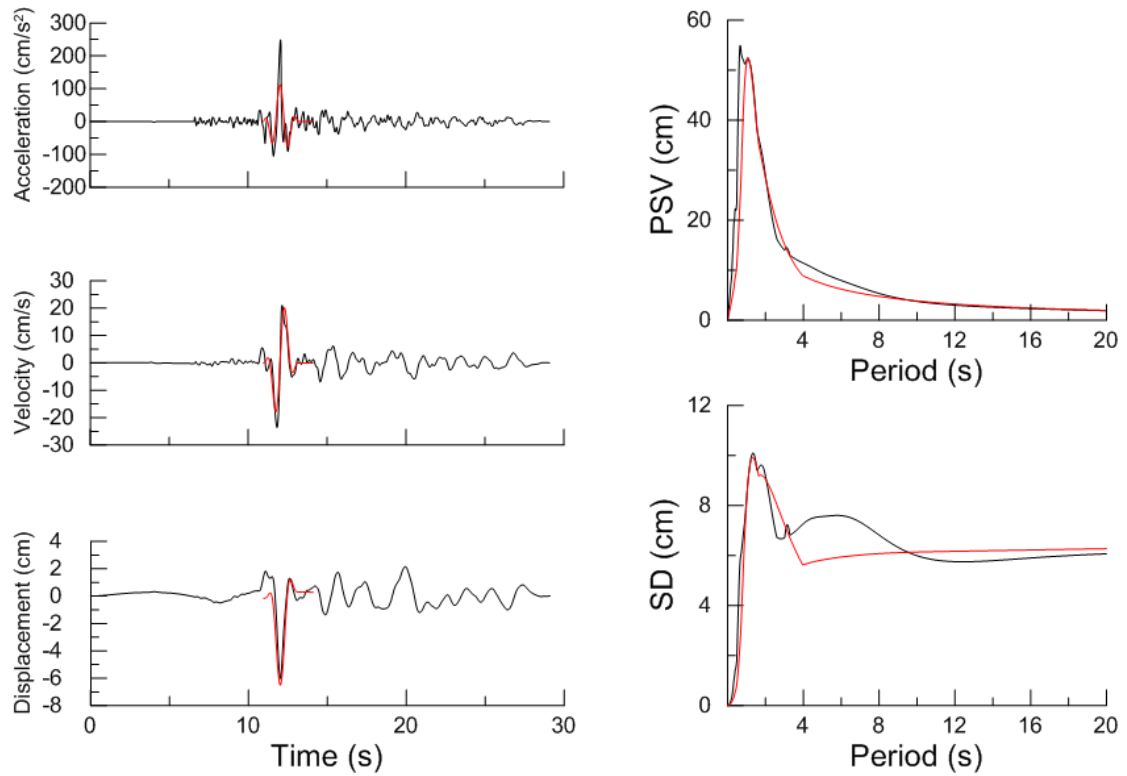
Χρονοϊστορίες και φάσματα της σεισμικής καταγραφής 3548L της βάσης NGA



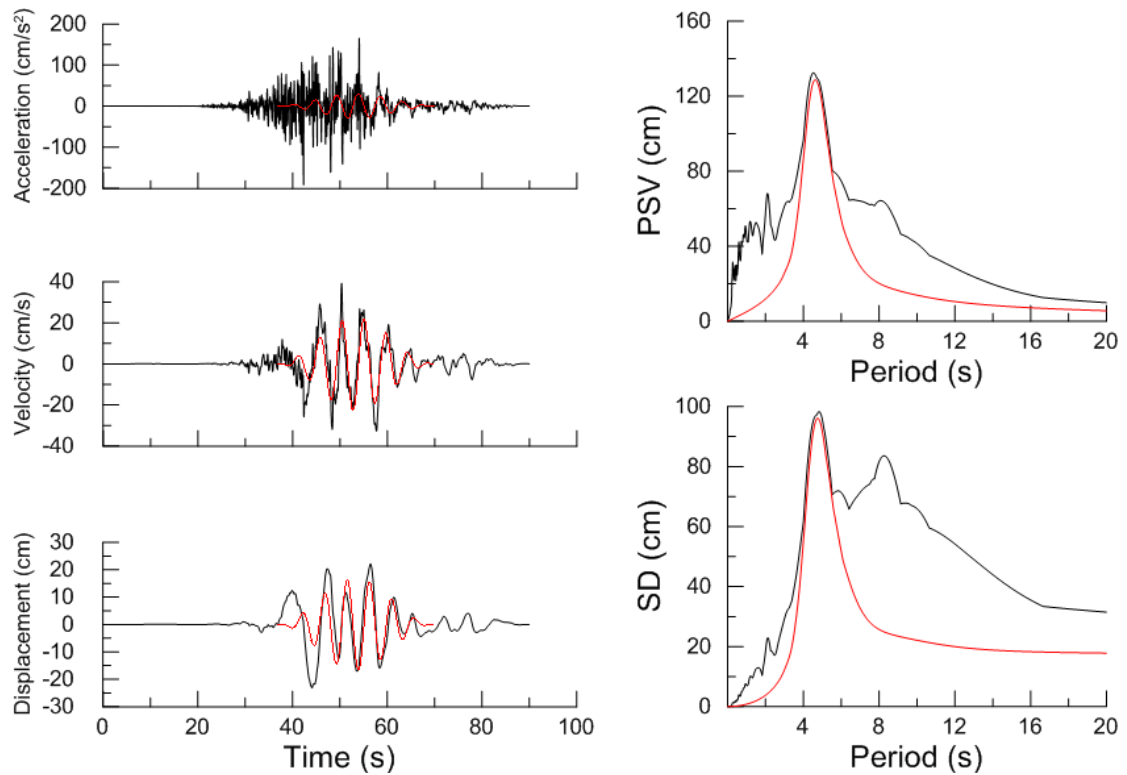
Χρονοϊστορίες και φάσματα της σεισμικής καταγραφής 1634L της βάσης NGA



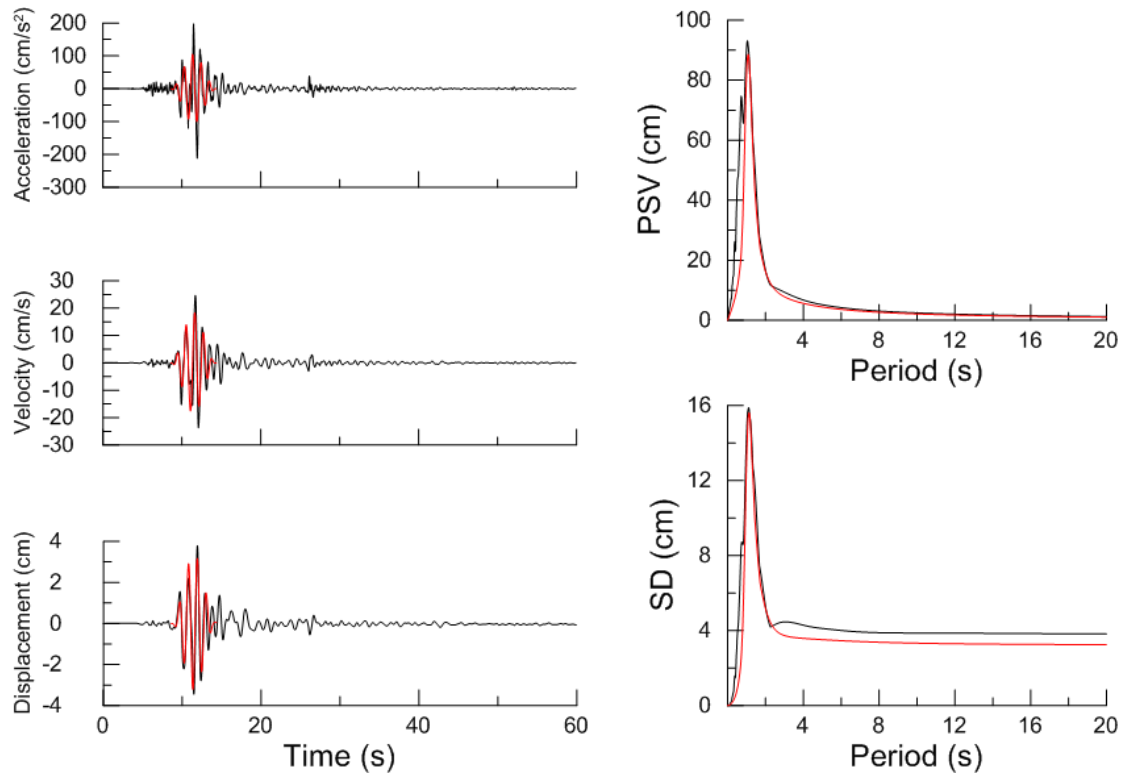
Χρονοϊστορίες και φάσματα της σεισμικής καταγραφής 1493L της βάσης NGA



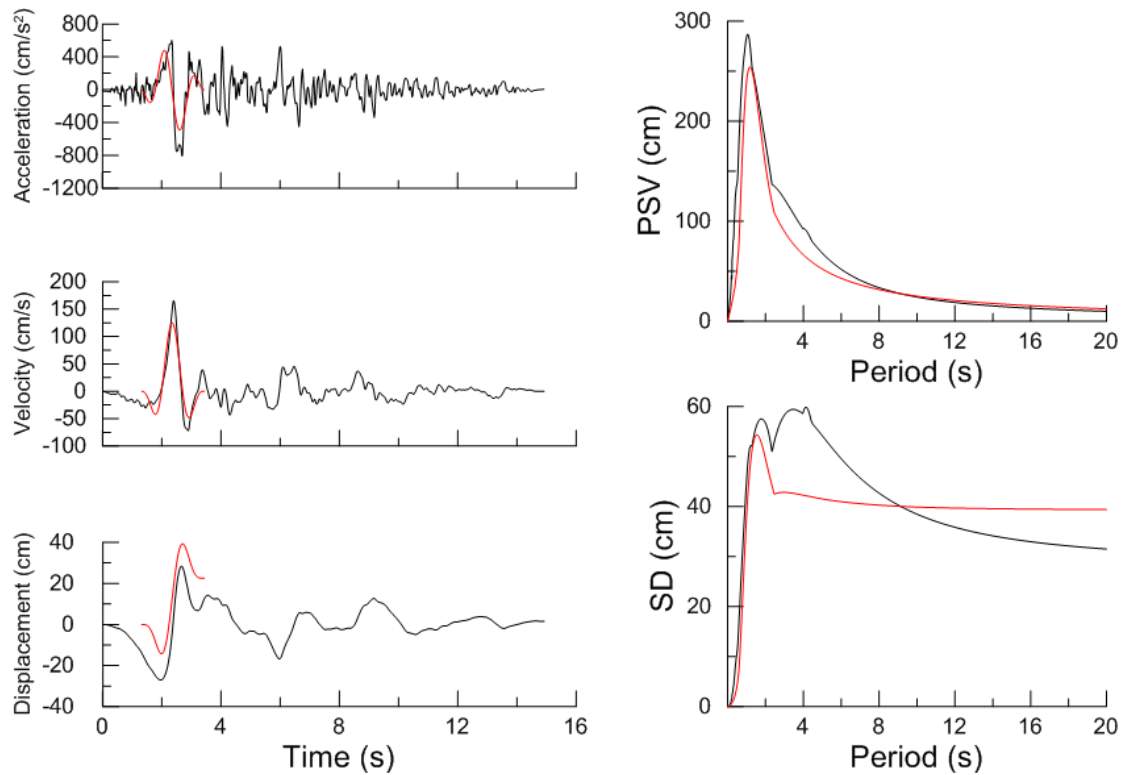
Χρονοϊστορίες και φάσματα της σεισμικής καταγραφής 508T της βάσης NGA



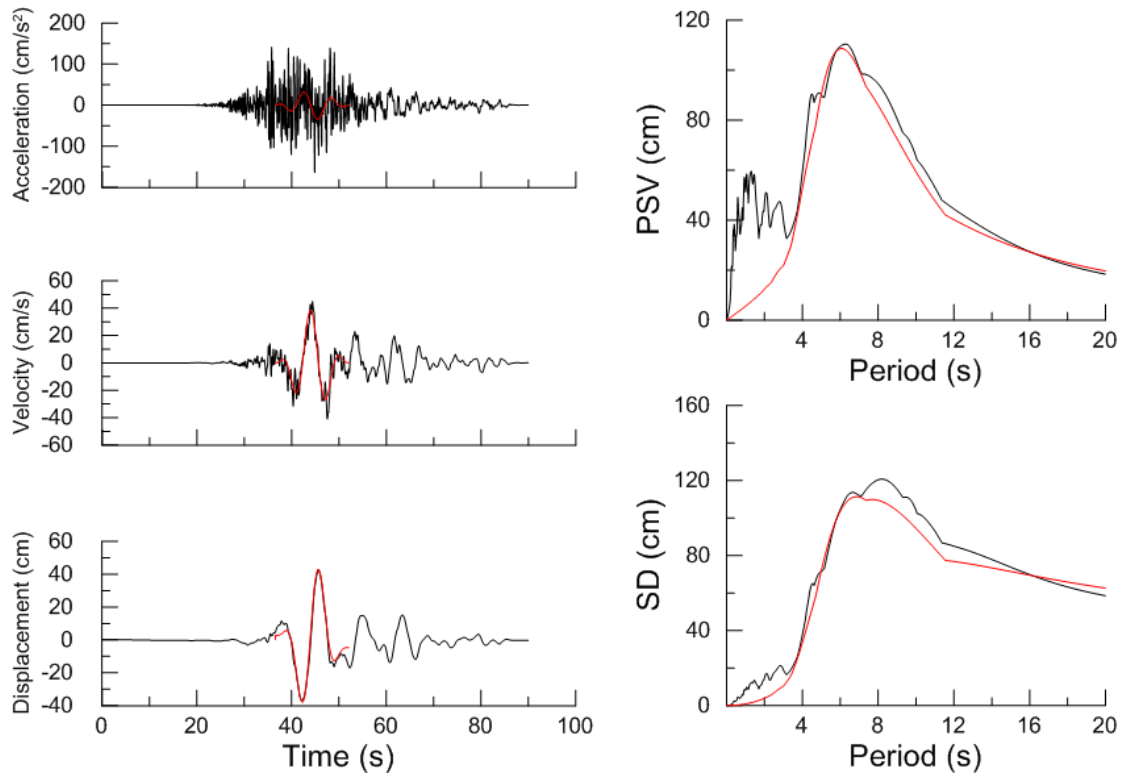
Χρονοϊστορίες και φάσματα της σεισμικής καταγραφής 1484T της βάσης NGA



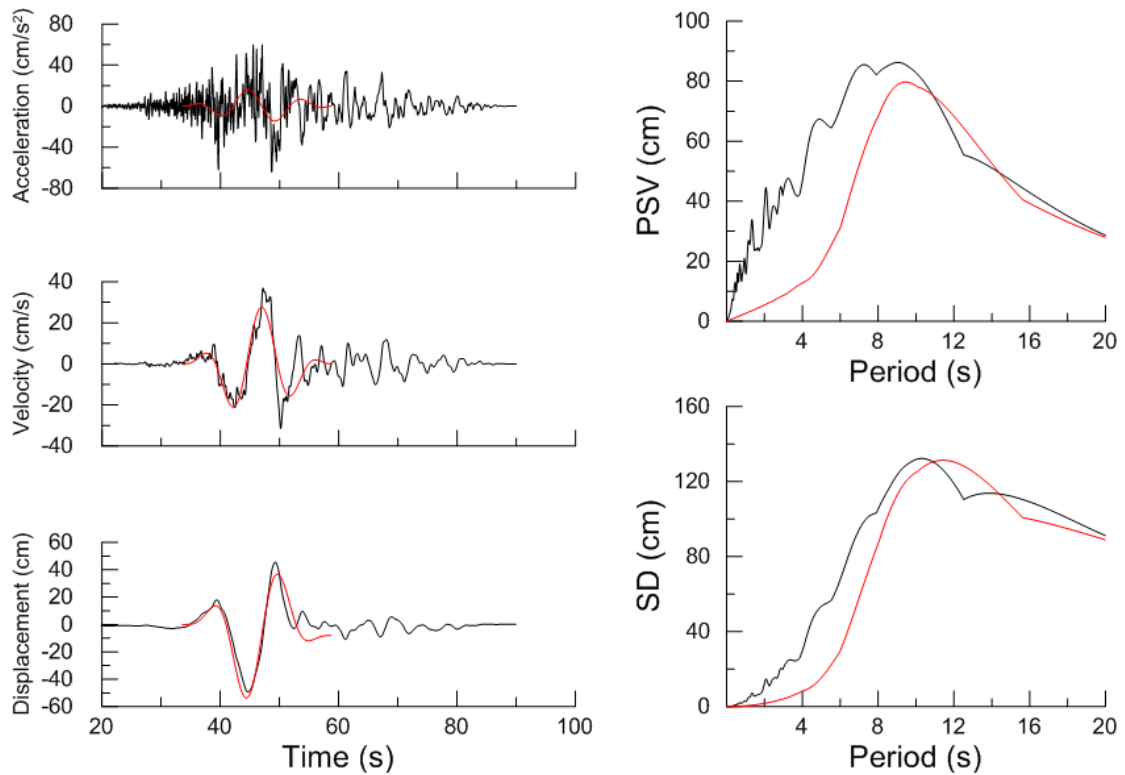
Χρονοϊστορίες και φάσματα της σεισμικής καταγραφής 2495L της βάσης NGA



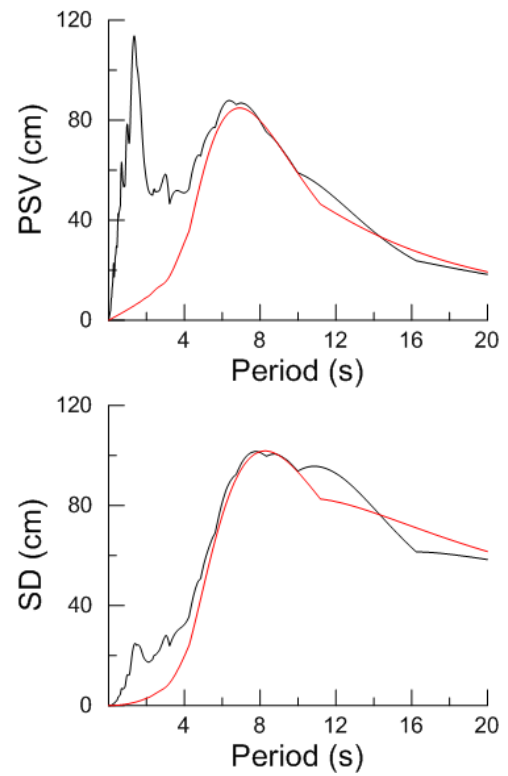
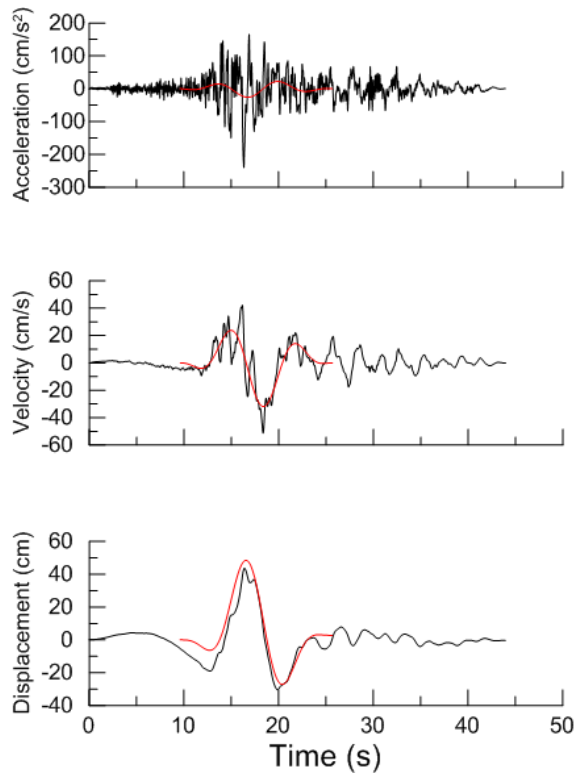
Χρονοϊστορίες και φάσματα της σεισμικής καταγραφής 1063L της βάσης NGA



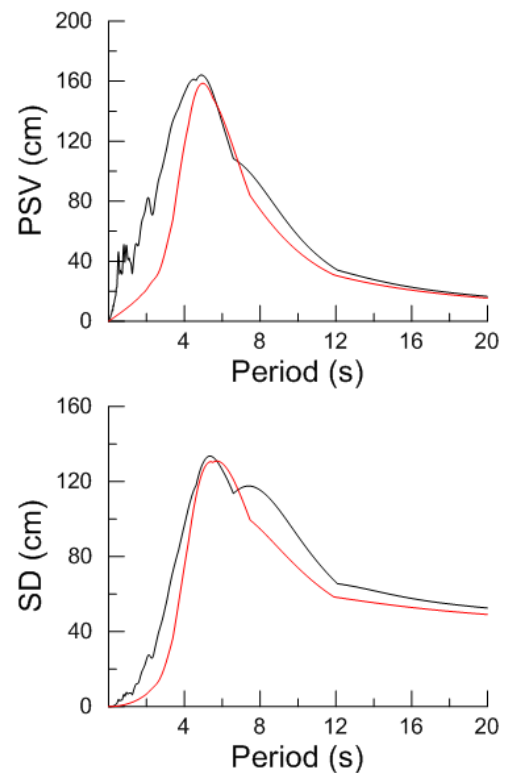
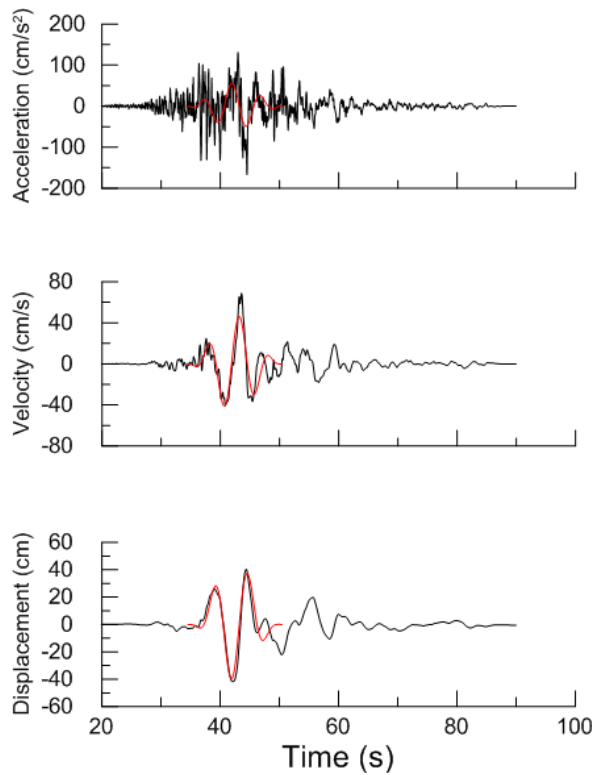
Χρονοϊστορίες και φάσματα της σεισμικής καταγραφής 1481T της βάσης NGA



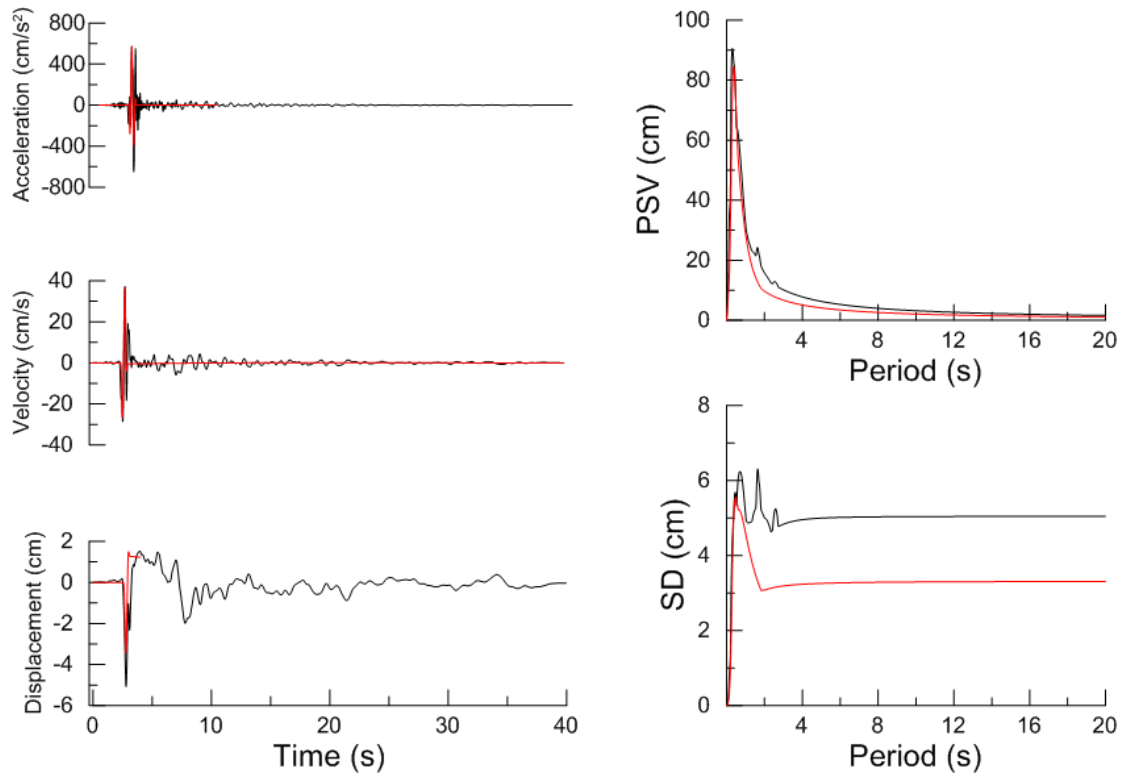
Χρονοϊστορίες και φάσματα της σεισμικής καταγραφής 1523L της βάσης NGA



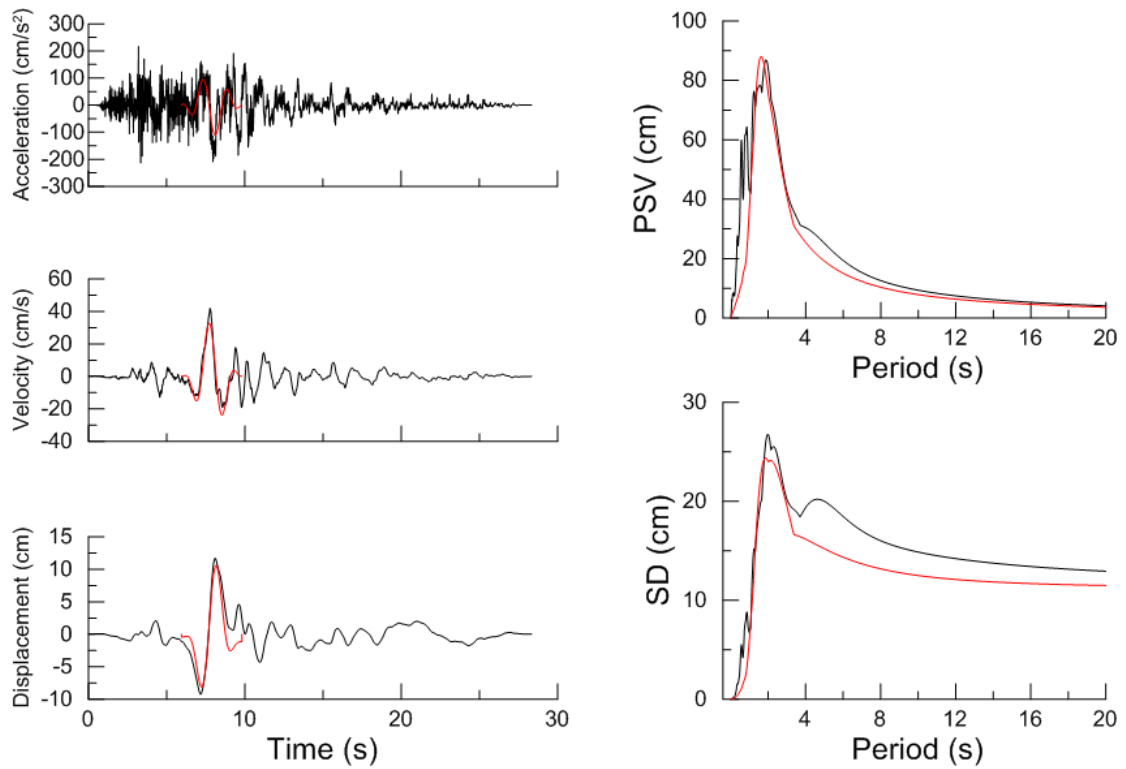
Χρονοϊστορίες και φάσματα της σεισμικής καταγραφής 900L της βάσης NGA



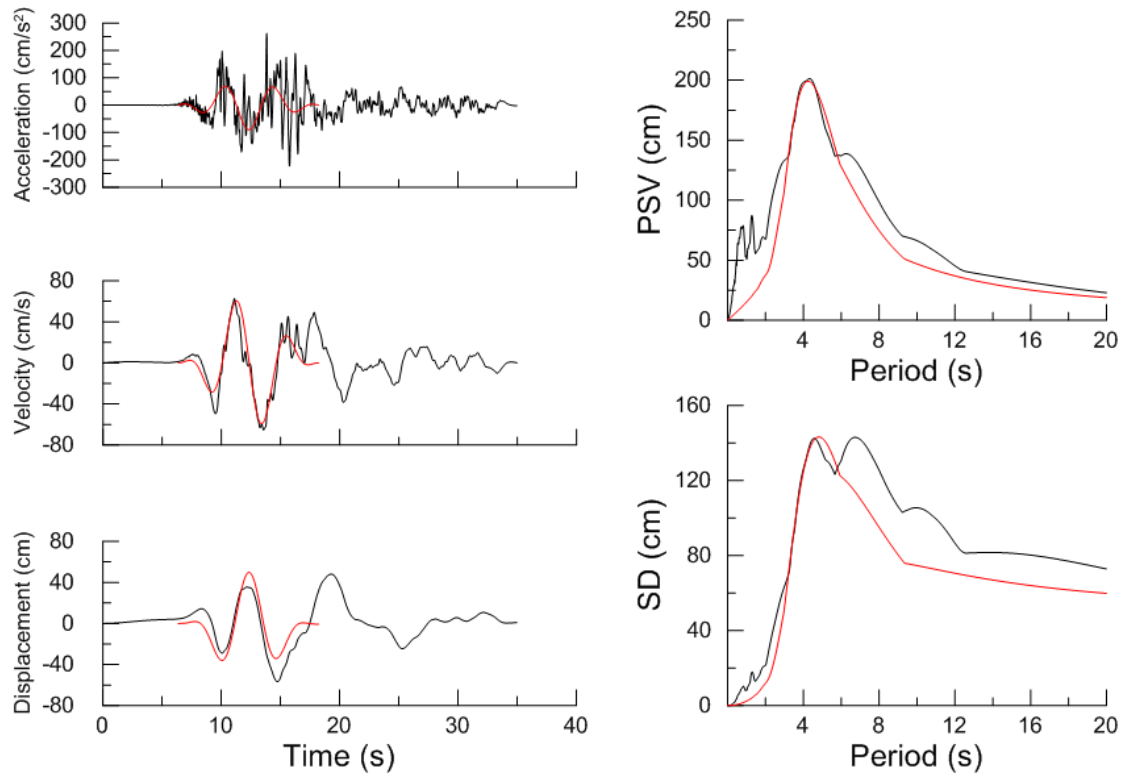
Χρονοϊστορίες και φάσματα της σεισμικής καταγραφής 1548T της βάσης NGA



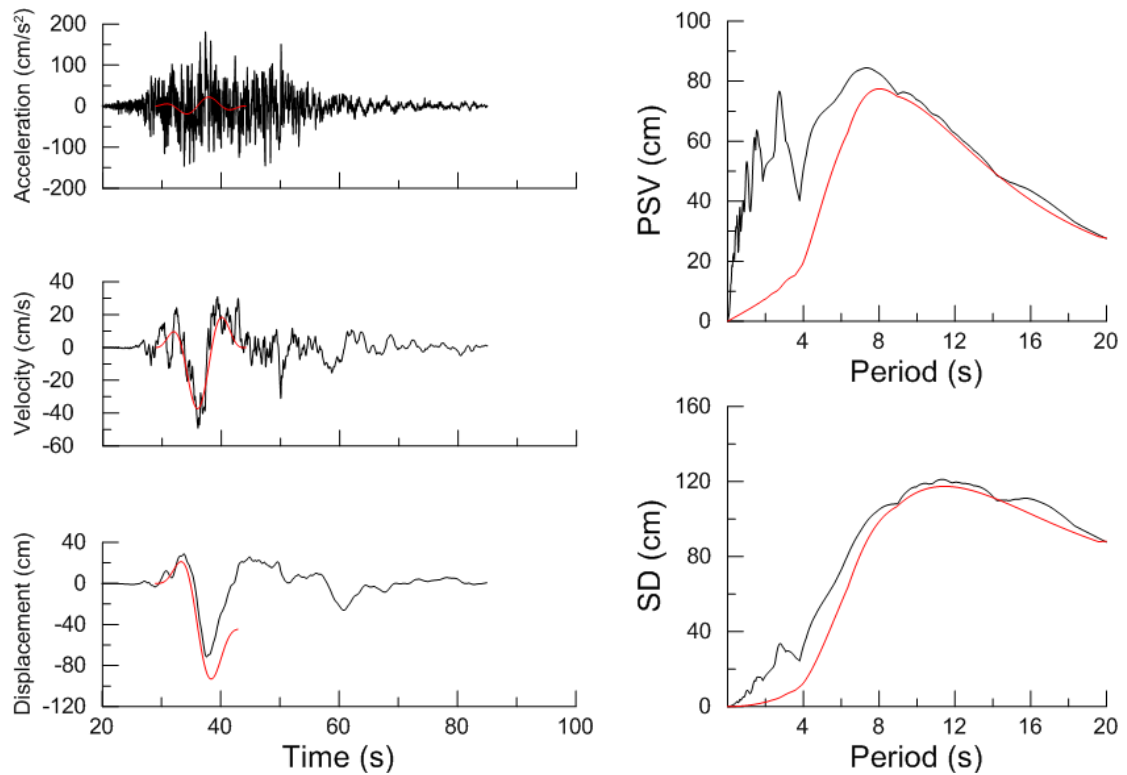
Χρονοϊστορίες και φάσματα της σεισμικής καταγραφής 418T της βάσης NGA



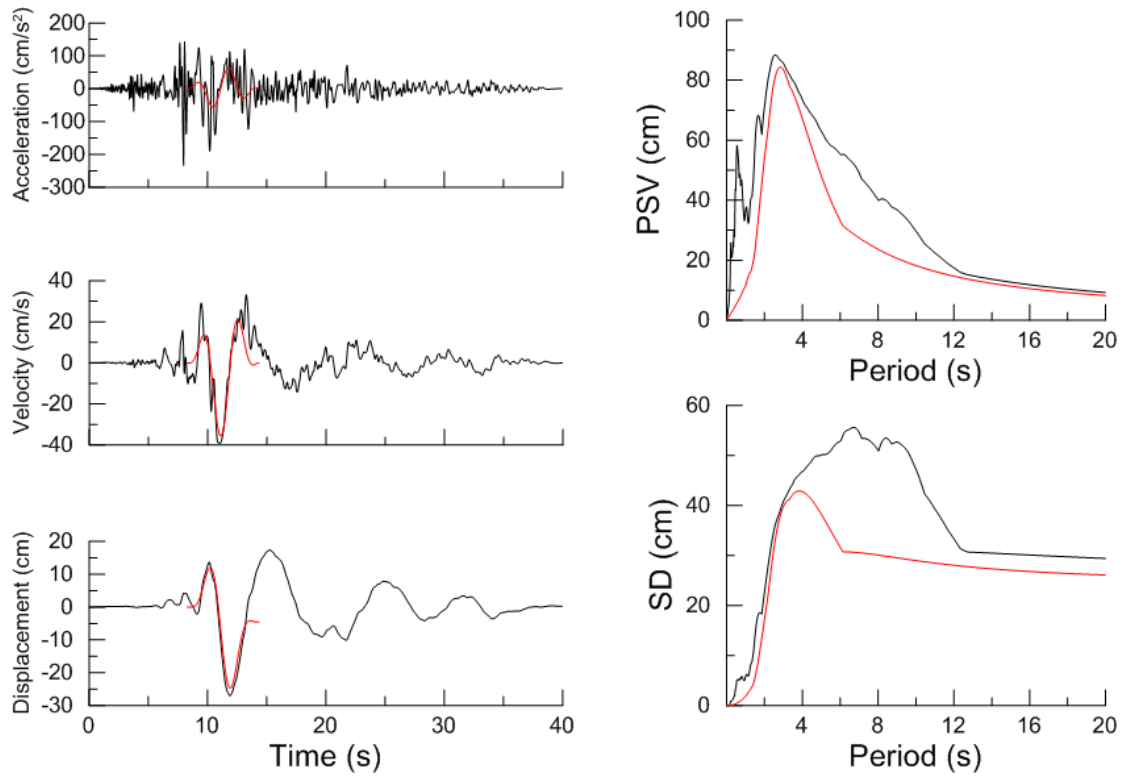
Χρονοϊστορίες και φάσματα της σεισμικής καταγραφής 159T της βάσης NGA



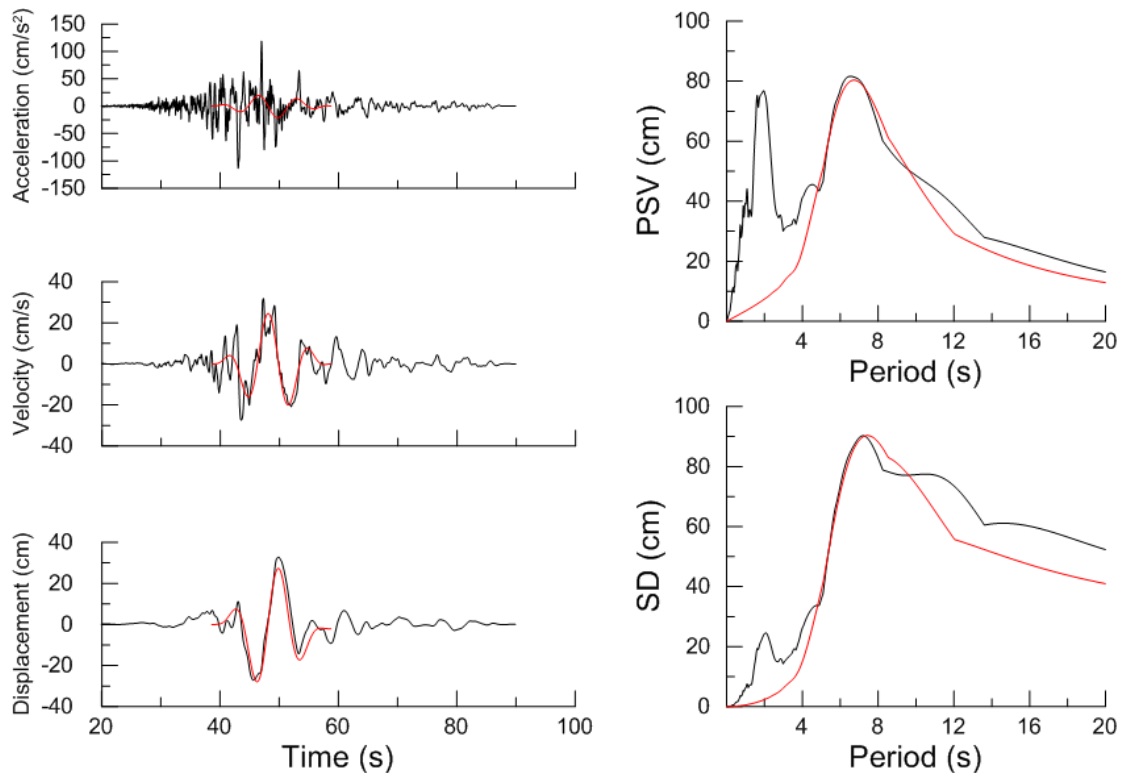
Χρονοϊστορίες και φάσματα της σεισμικής καταγραφής 1176L της βάσης NGA



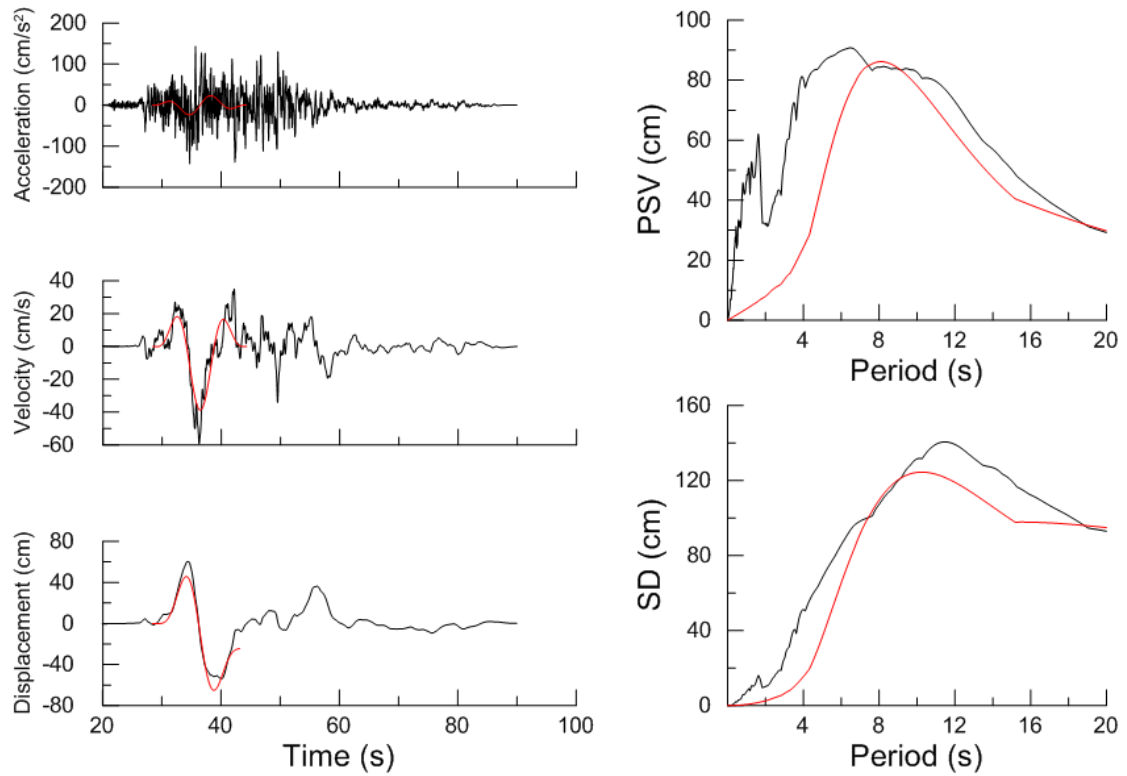
Χρονοϊστορίες και φάσματα της σεισμικής καταγραφής 1491L της βάσης NGA



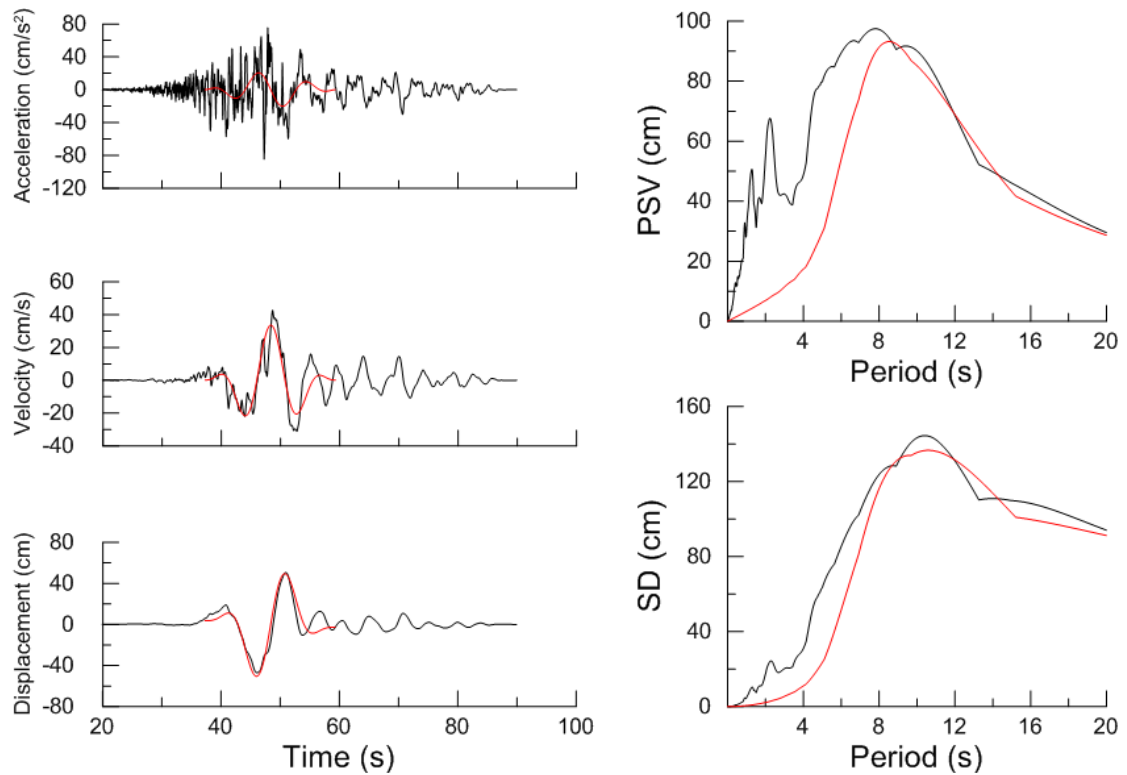
Χρονοϊστορίες και φάσματα της σεισμικής καταγραφής 316L της βάσης NGA



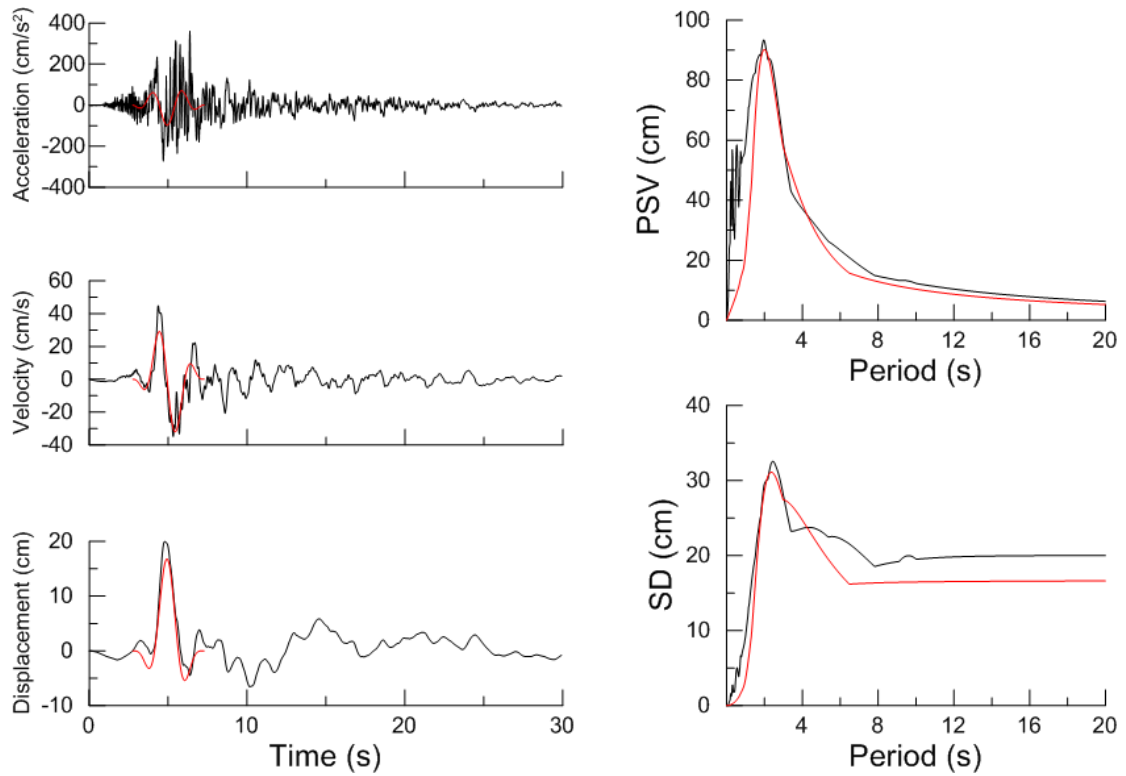
Χρονοϊστορίες και φάσματα της σεισμικής καταγραφής 1472T της βάσης NGA



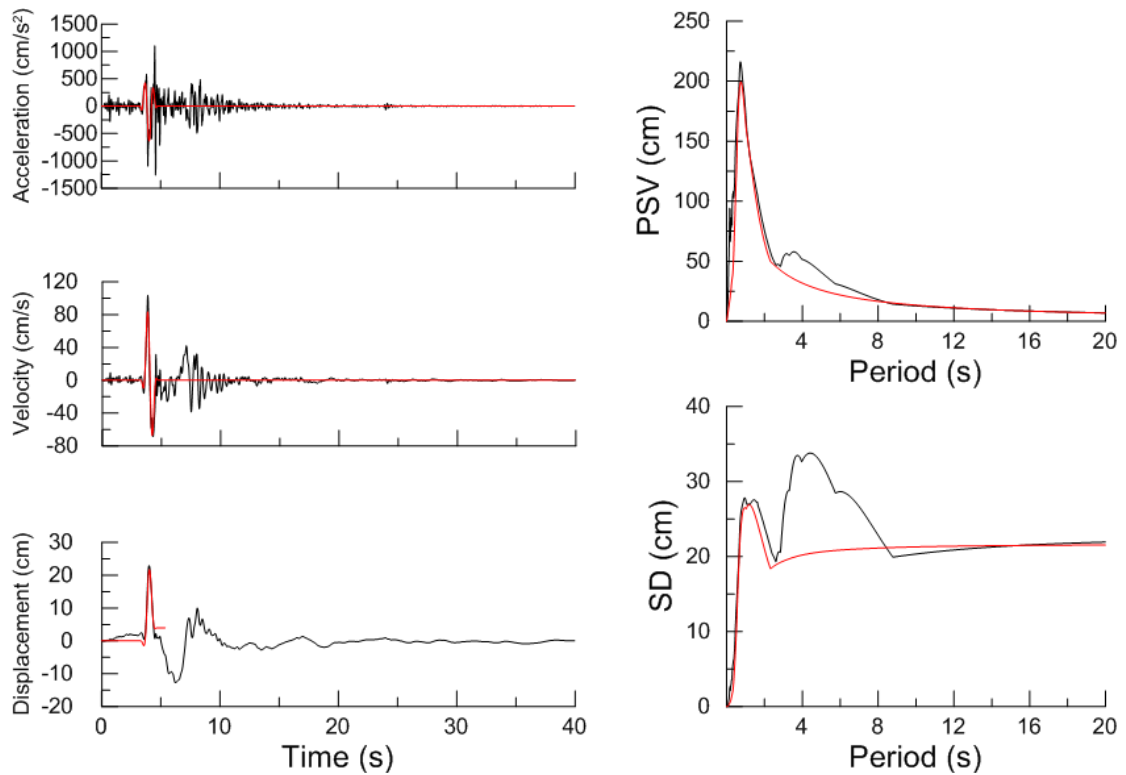
Χρονοϊστορίες και φάσματα της σεισμικής καταγραφής 1494L της βάσης NGA



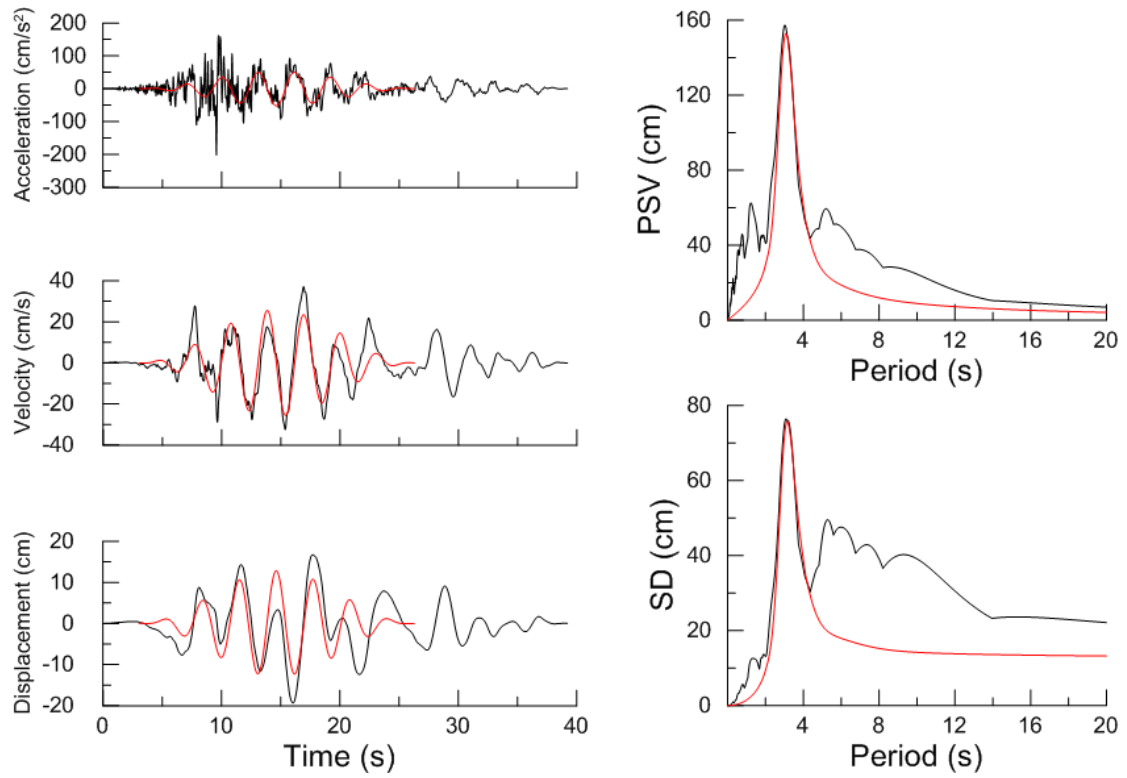
Χρονοϊστορίες και φάσματα της σεισμικής καταγραφής 1472L της βάσης NGA



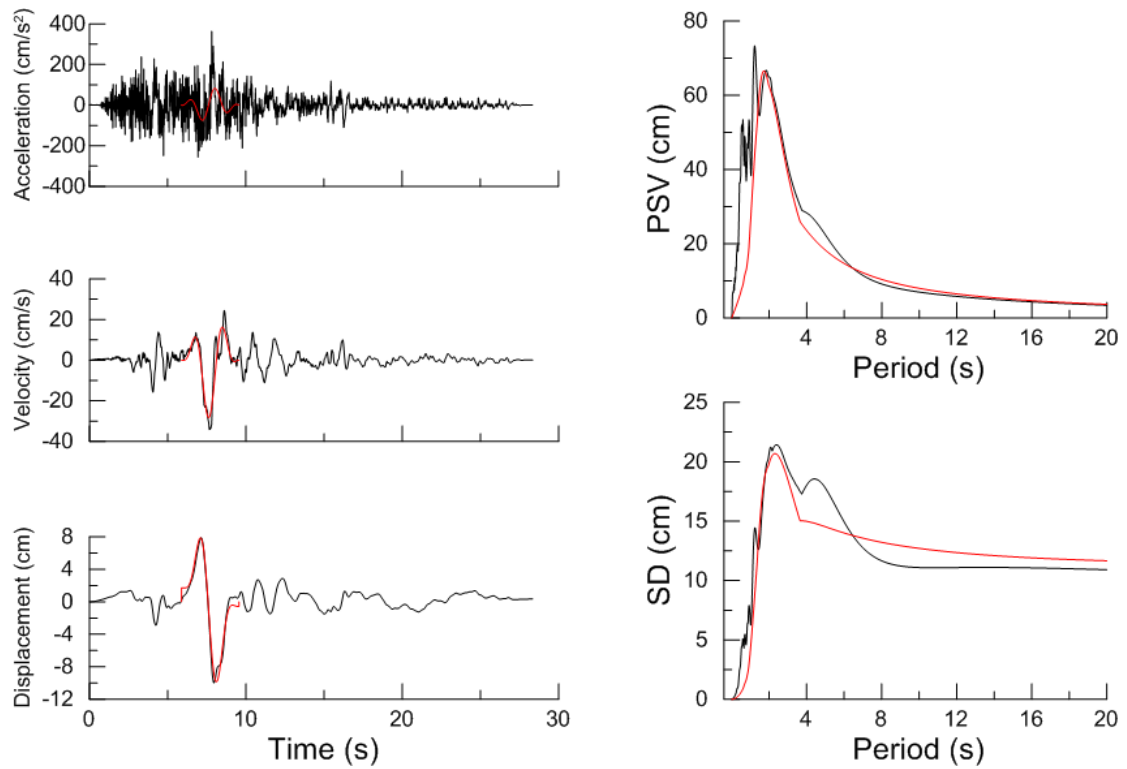
Χρονοϊστορίες και φάσματα της σεισμικής καταγραφής 767T της βάσης NGA



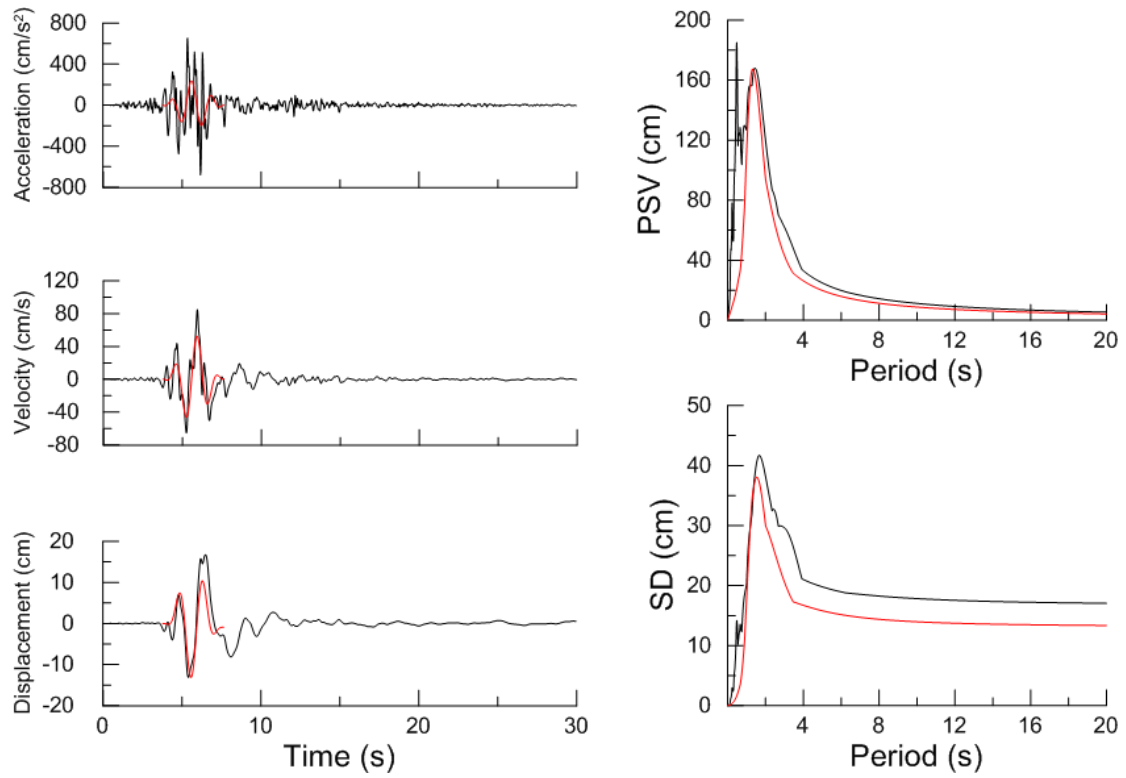
Χρονοϊστορίες και φάσματα της σεισμικής καταγραφής 1051T της βάσης NGA



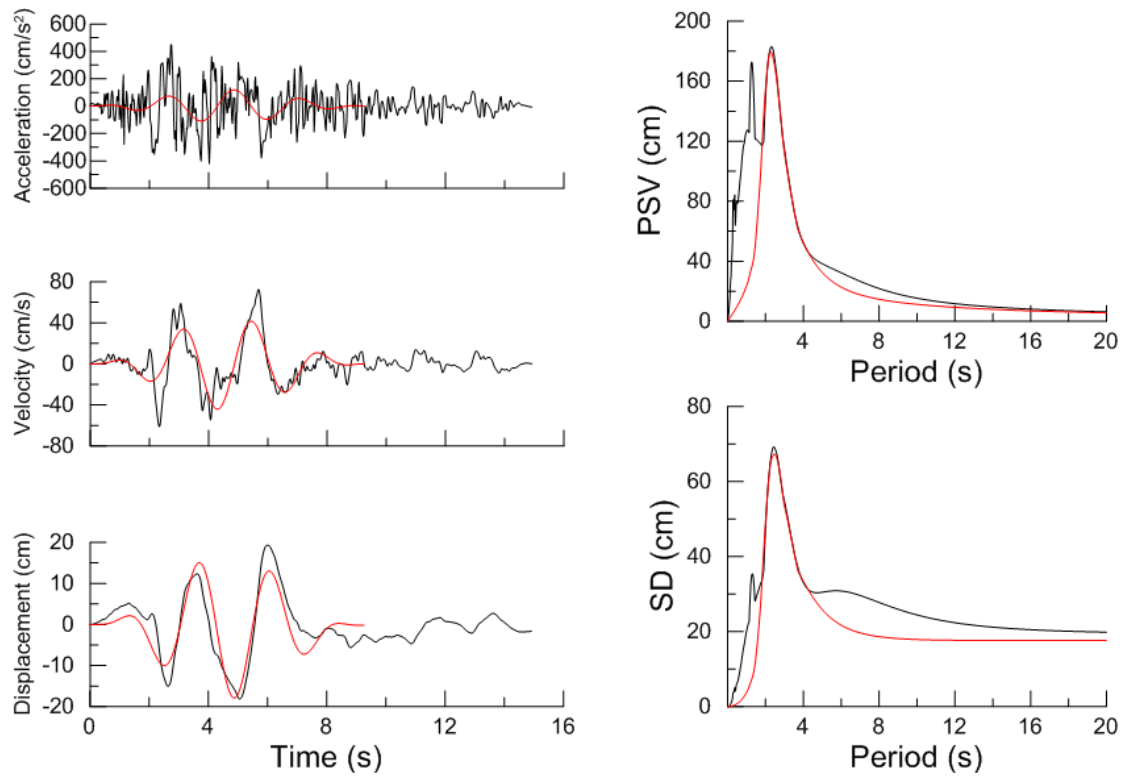
Χρονοϊστορίες και φάσματα της σεισμικής καταγραφής 806L της βάσης NGA



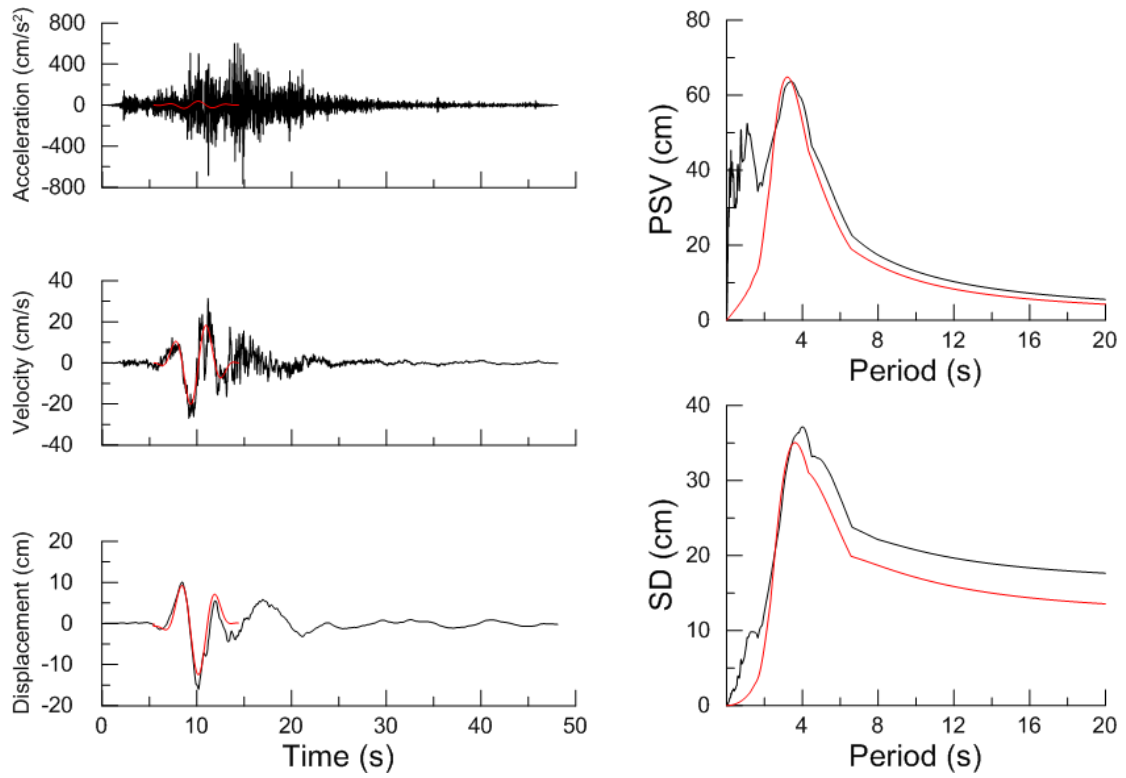
Χρονοϊστορίες και φάσματα της σεισμικής καταγραφής 159L της βάσης NGA



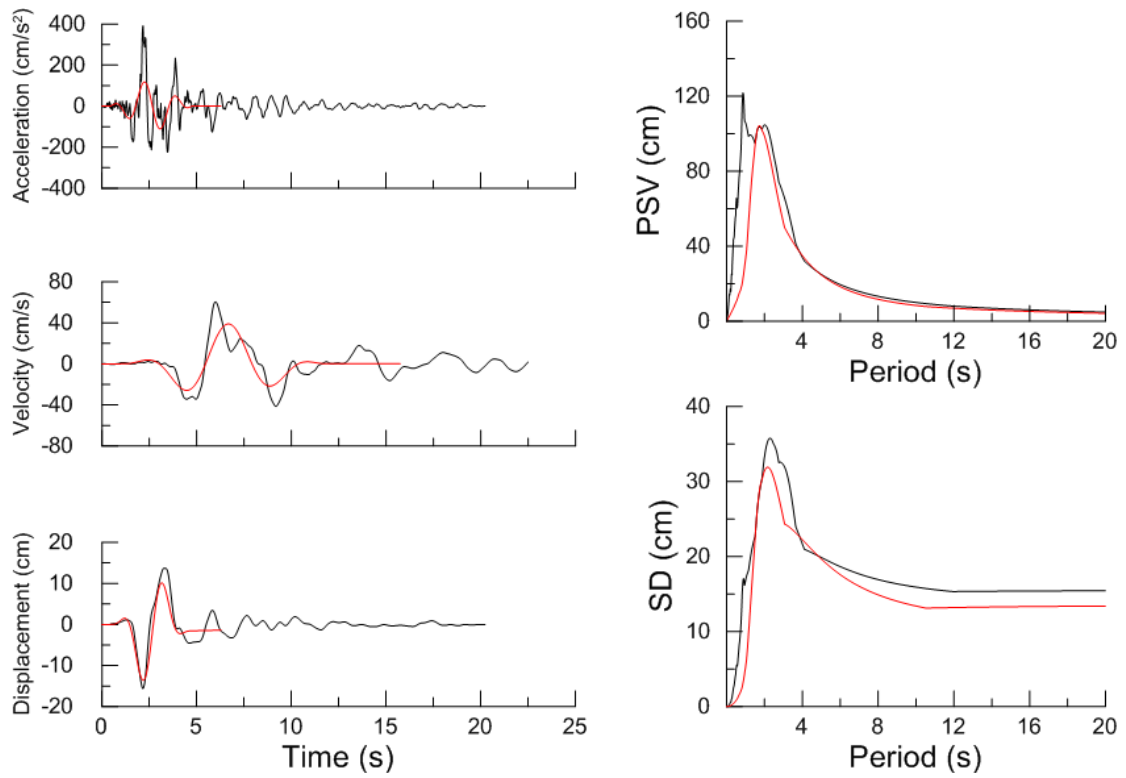
Χρονοϊστορίες και φάσματα της σεισμικής καταγραφής 1119T της βάσης NGA



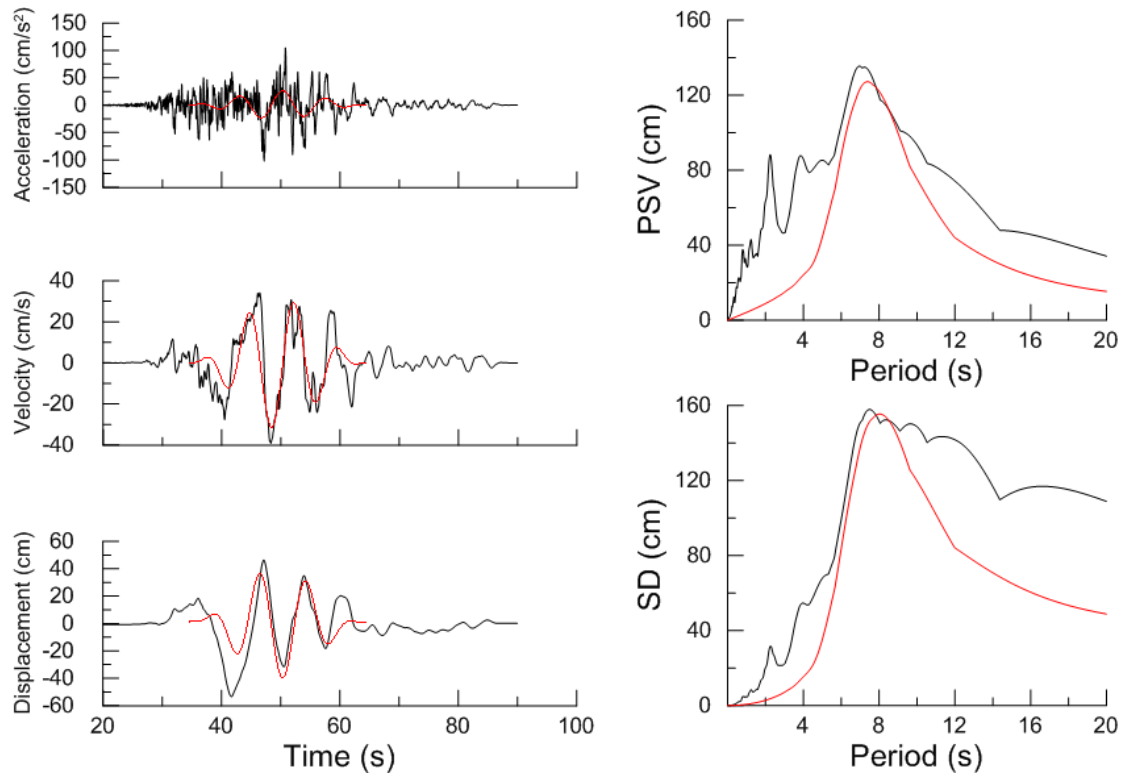
Χρονοϊστορίες και φάσματα της σεισμικής καταγραφής 1063T της βάσης NGA



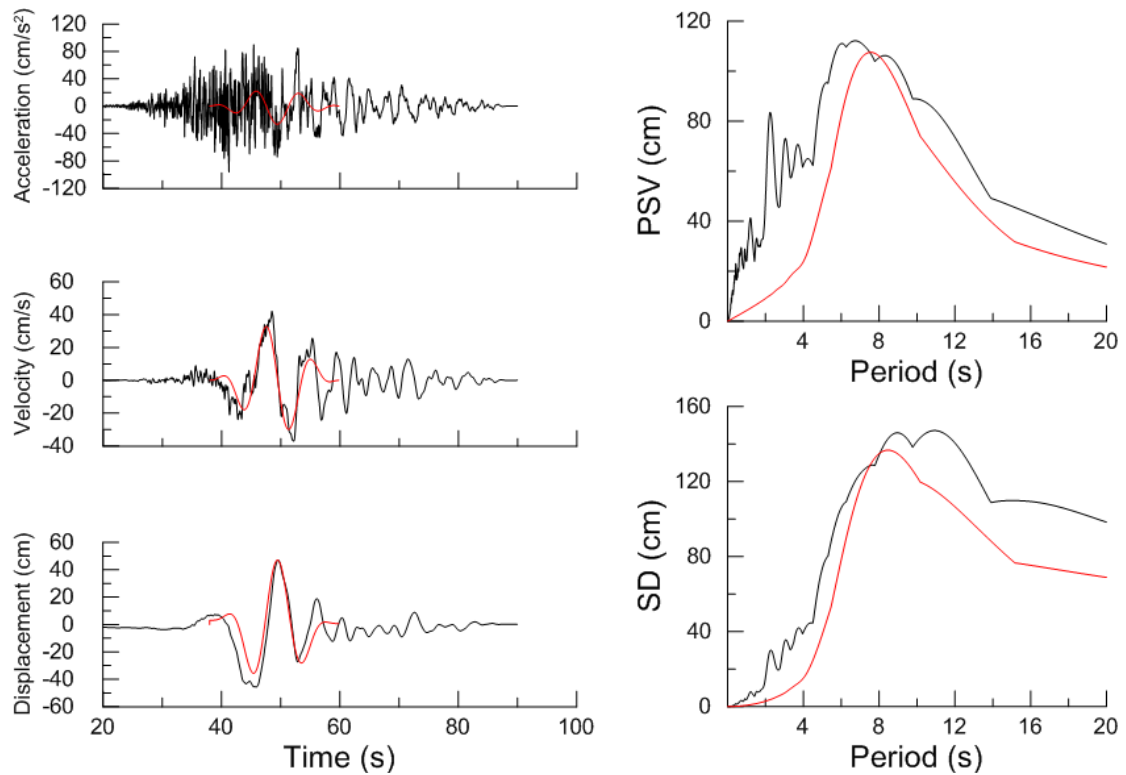
Χρονοϊστορίες και φάσματα της σεισμικής καταγραφής 879T της βάσης NGA



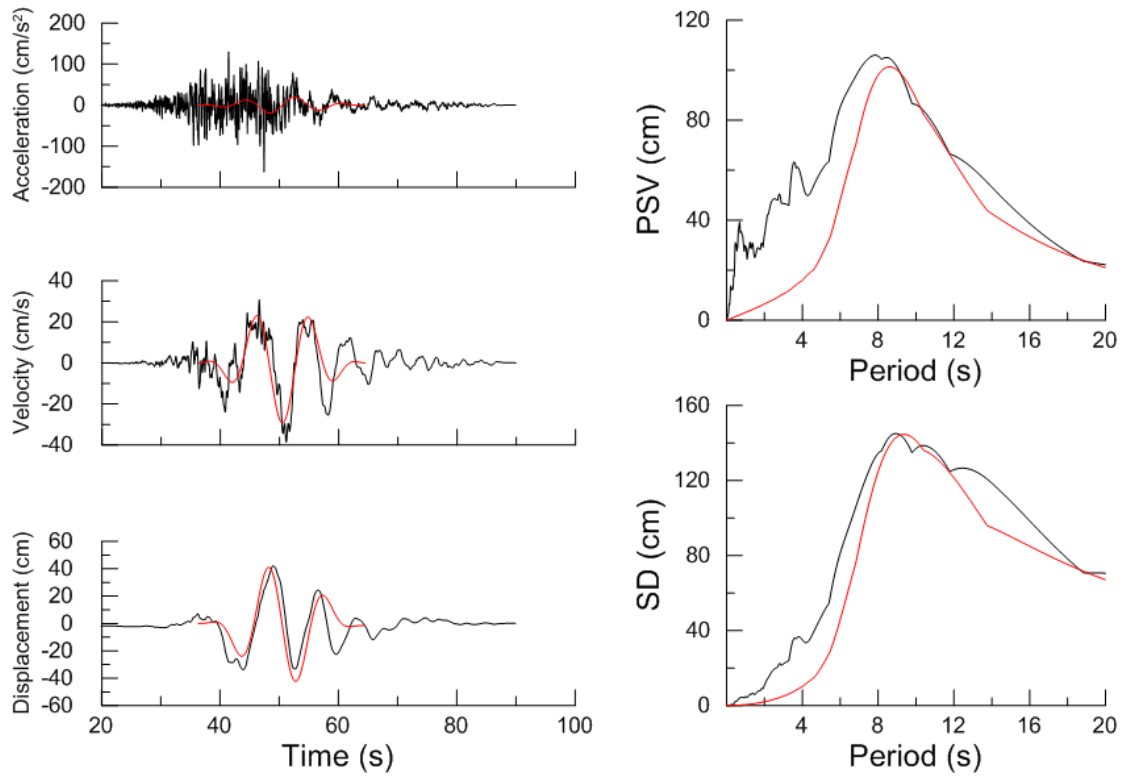
Χρονοϊστορίες και φάσματα της σεισμικής καταγραφής 569L της βάσης NGA



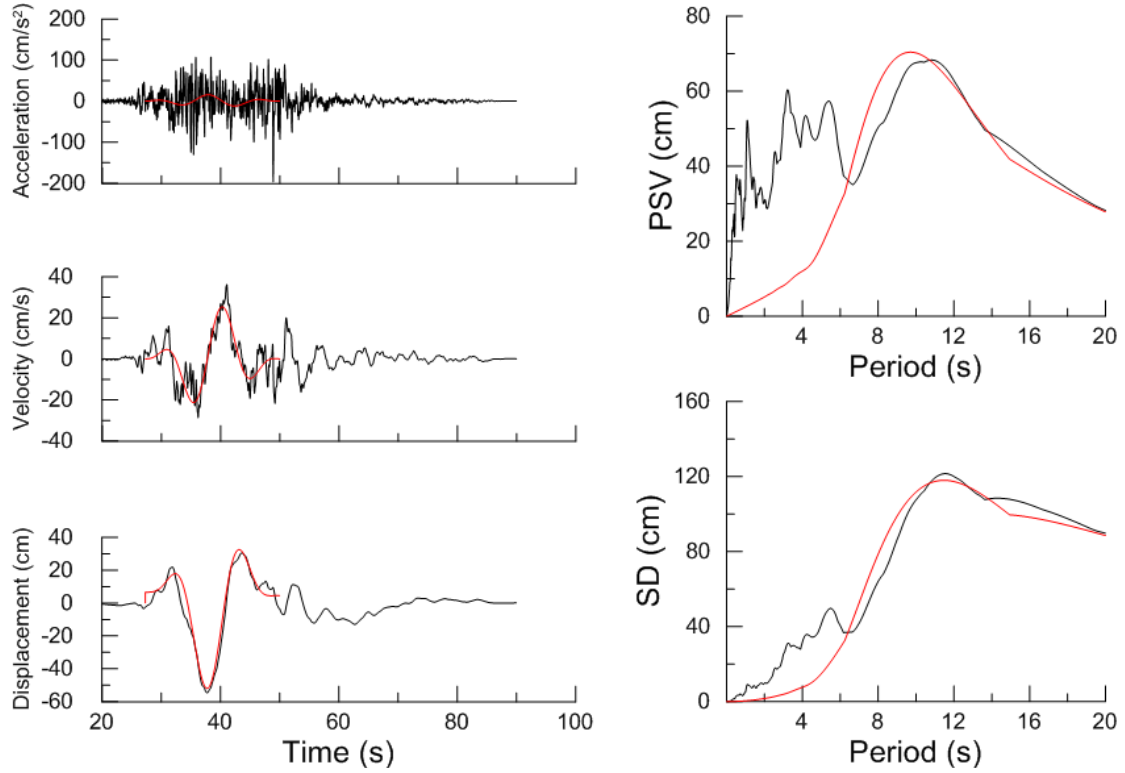
Χρονοϊστορίες και φάσματα της σεισμικής καταγραφής 1502L της βάσης NGA



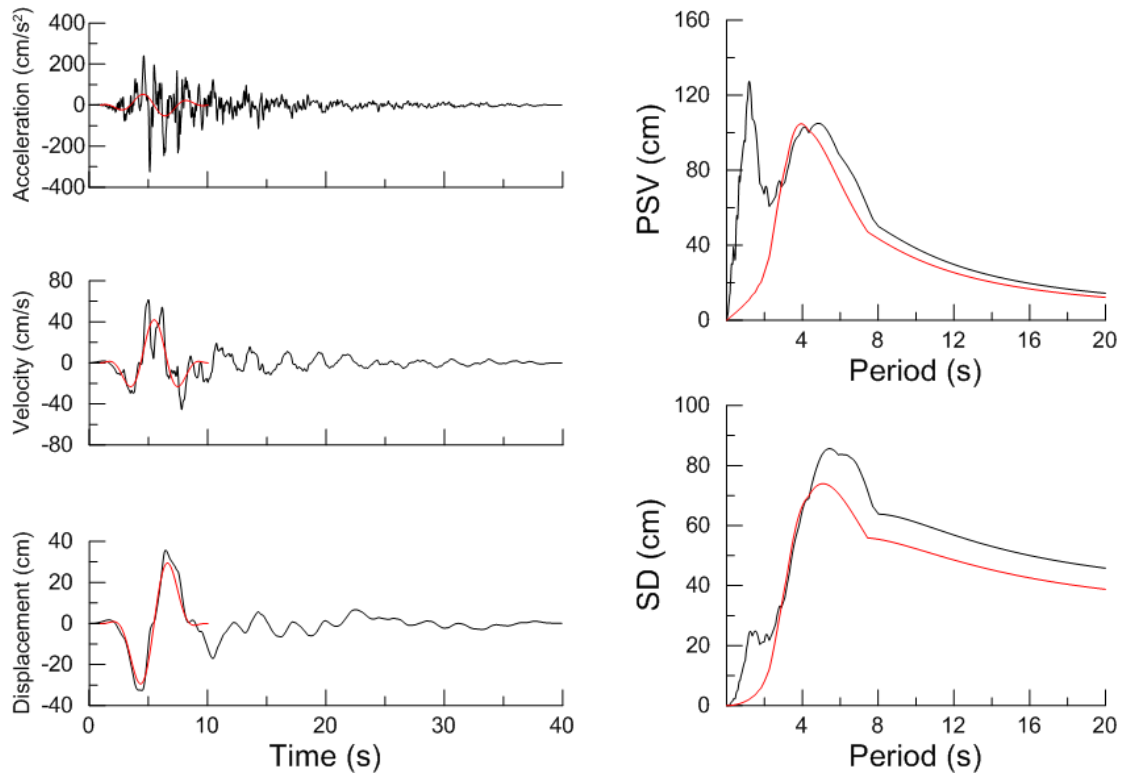
Χρονοϊστορίες και φάσματα της σεισμικής καταγραφής 1526L της βάσης NGA



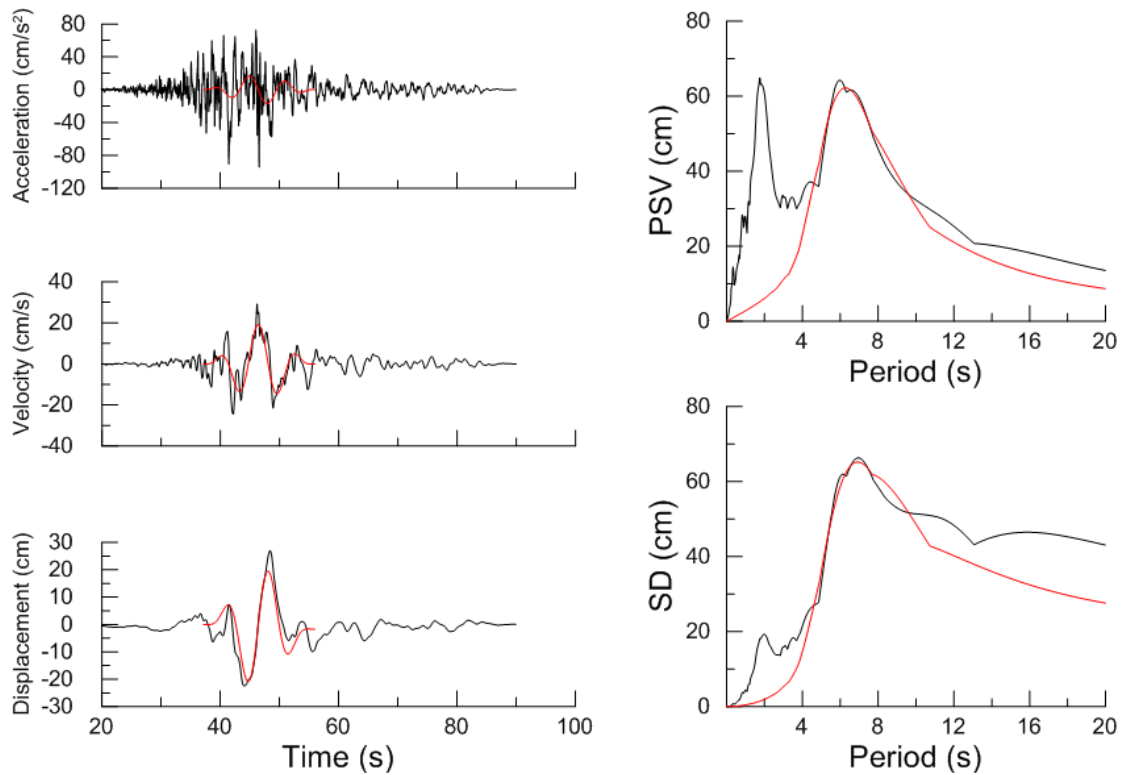
Χρονοϊστορίες και φάσματα της σεισμικής καταγραφής 1476L της βάσης NGA



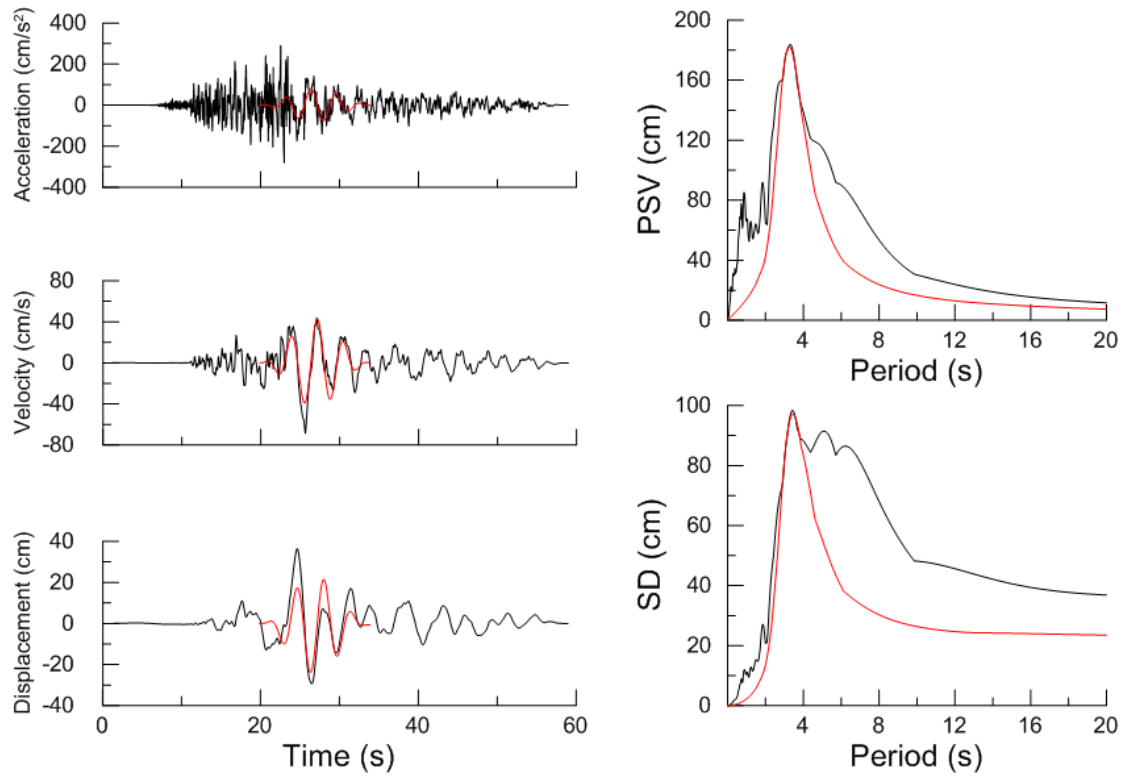
Χρονοϊστορίες και φάσματα της σεισμικής καταγραφής 1499L της βάσης NGA



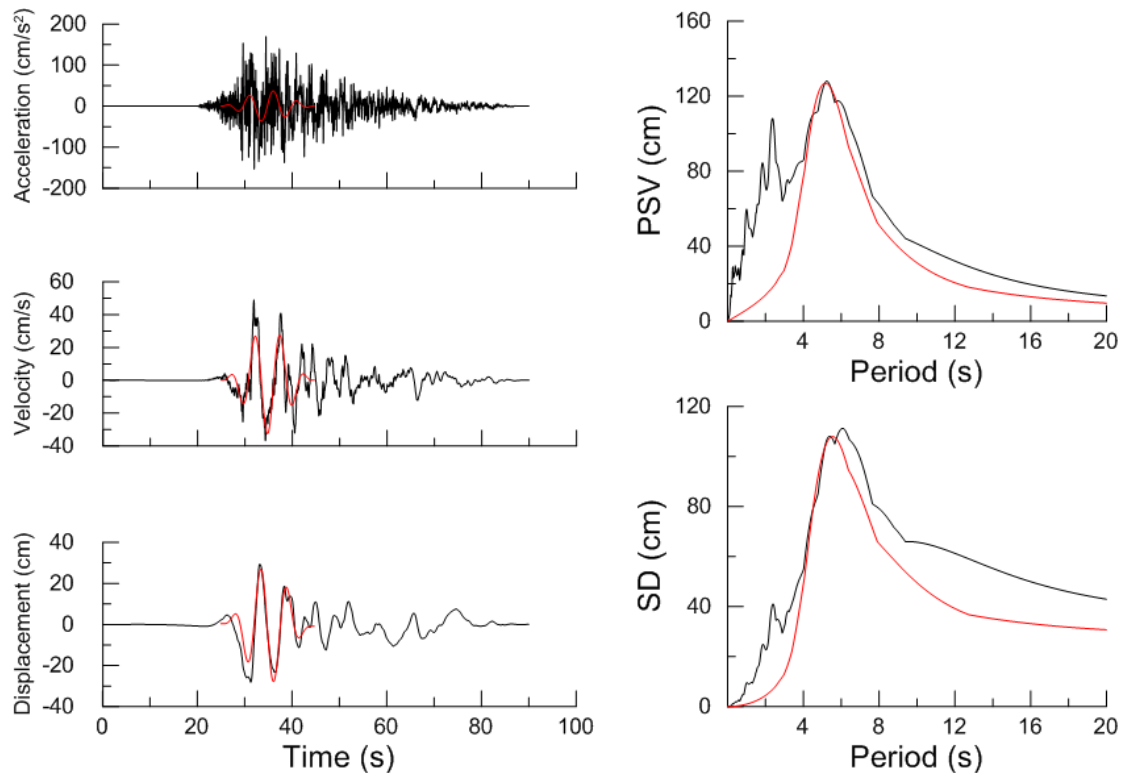
Χρονοϊστορίες και φάσματα της σεισμικής καταγραφής 803T της βάσης NGA



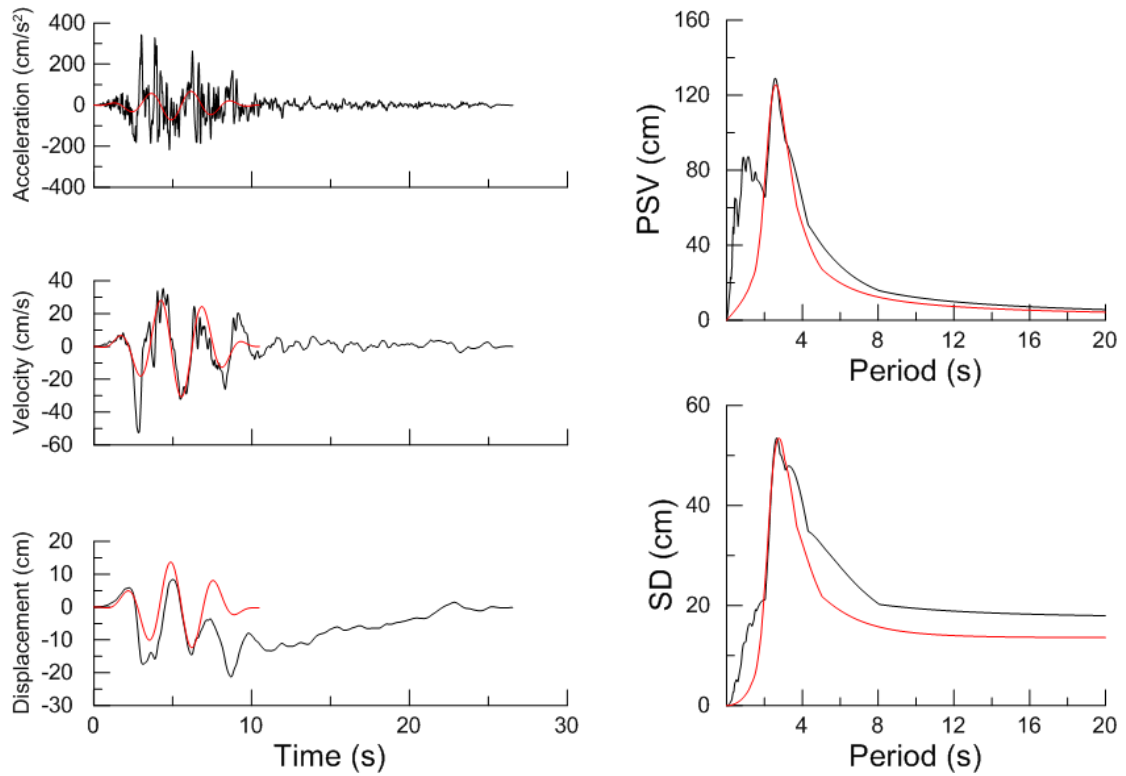
Χρονοϊστορίες και φάσματα της σεισμικής καταγραφής 1523T της βάσης NGA



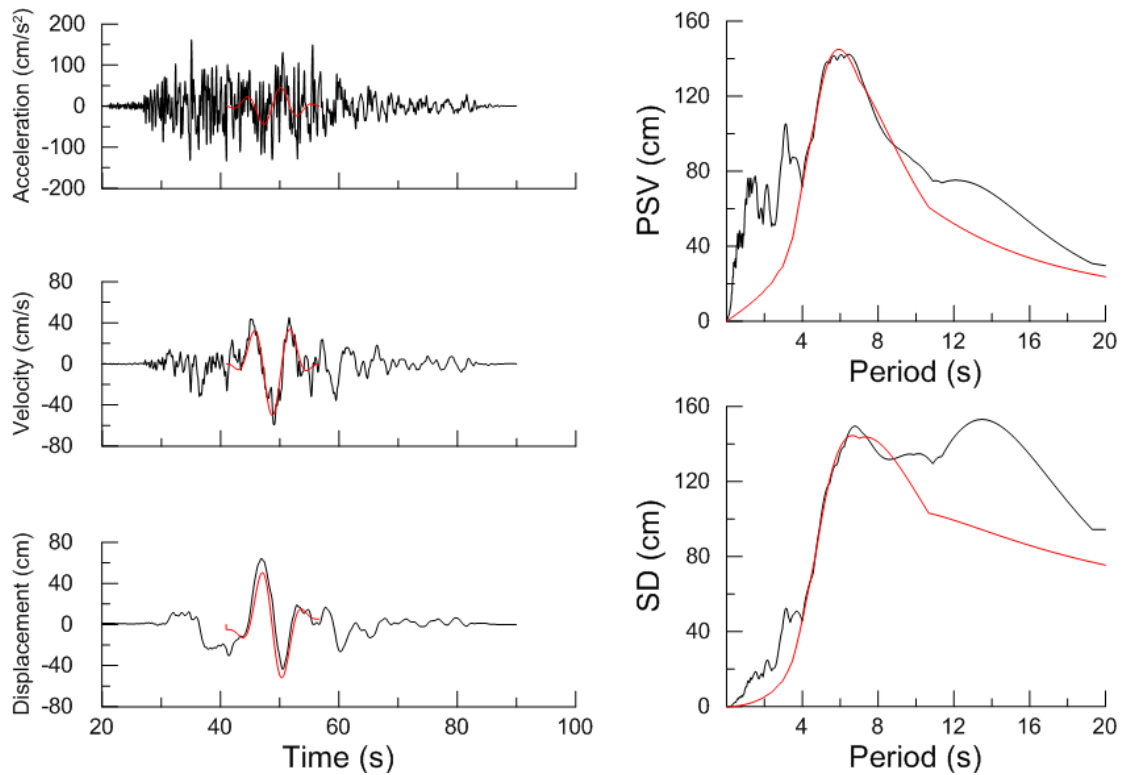
Χρονοϊστορίες και φάσματα της σεισμικής καταγραφής 1595L της βάσης NGA



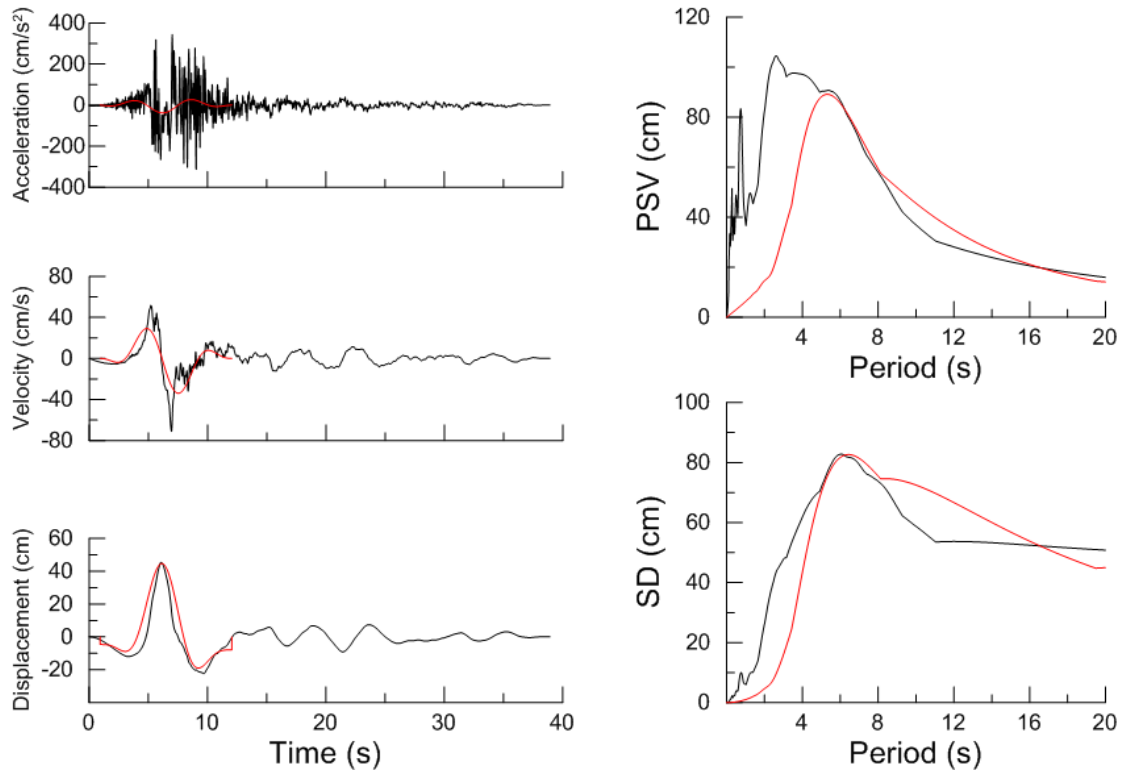
Χρονοϊστορίες και φάσματα της σεισμικής καταγραφής 1193T της βάσης NGA



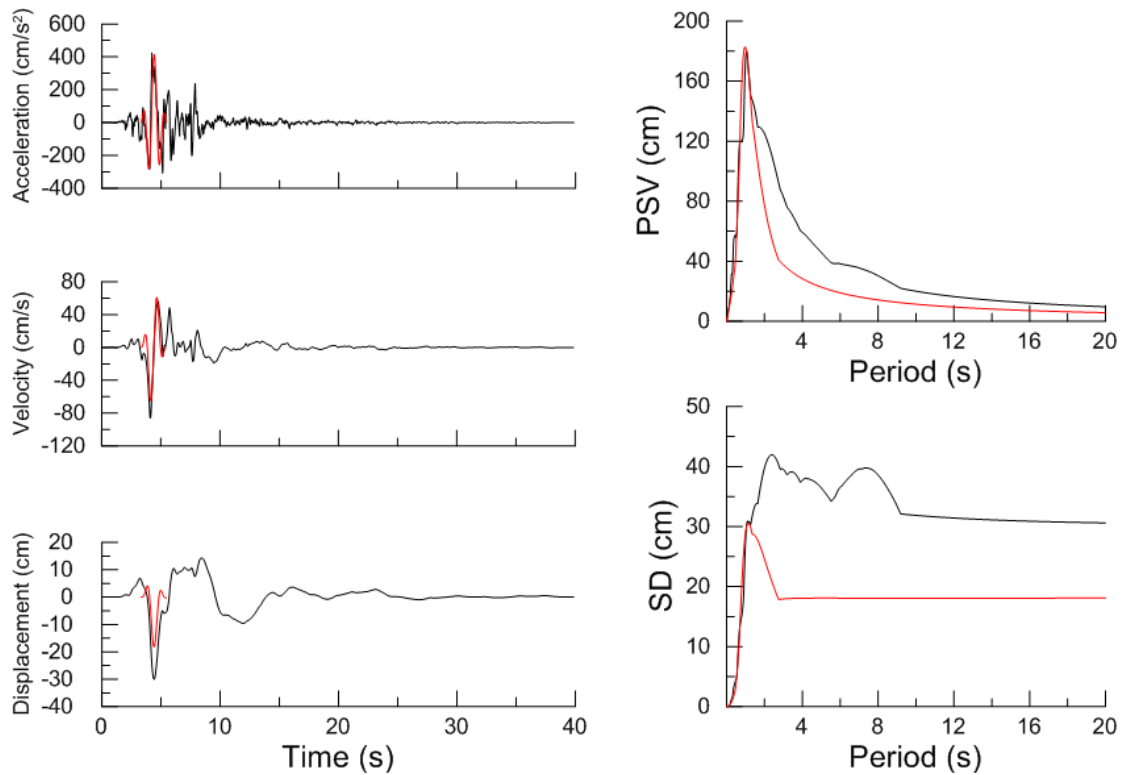
Χρονοϊστορίες και φάσματα της σεισμικής καταγραφής 1013T της βάσης NGA



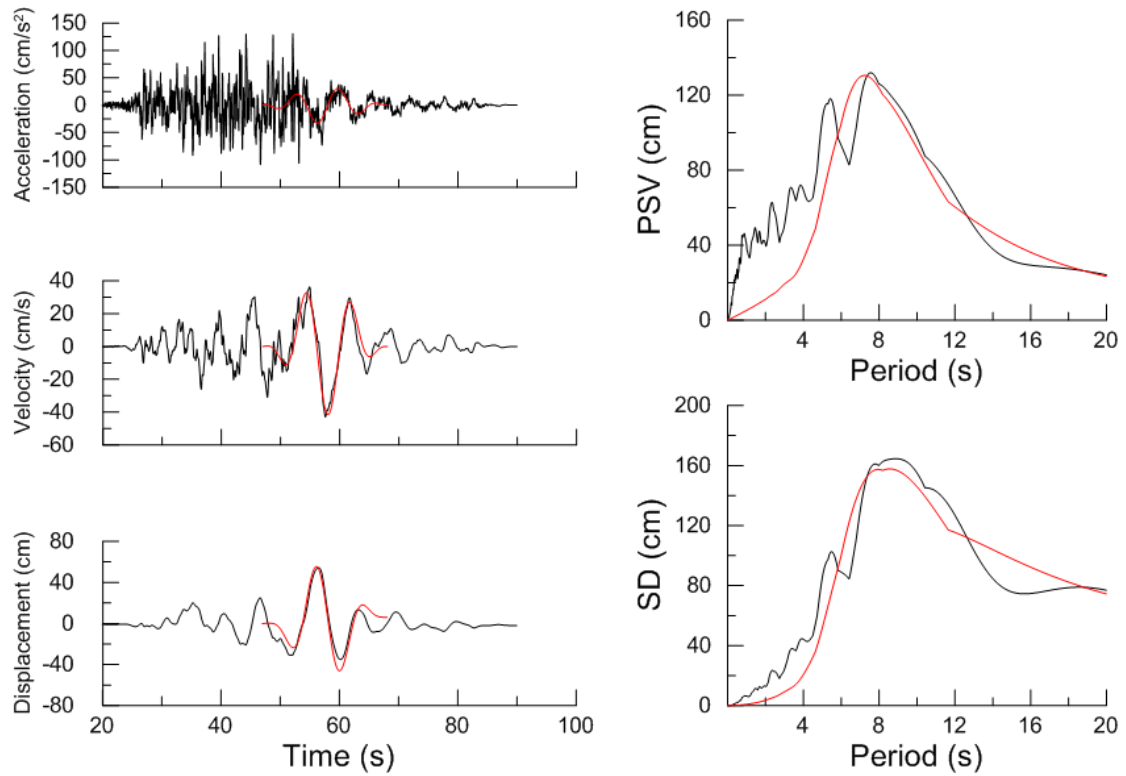
Χρονοϊστορίες και φάσματα της σεισμικής καταγραφής 1498L της βάσης NGA



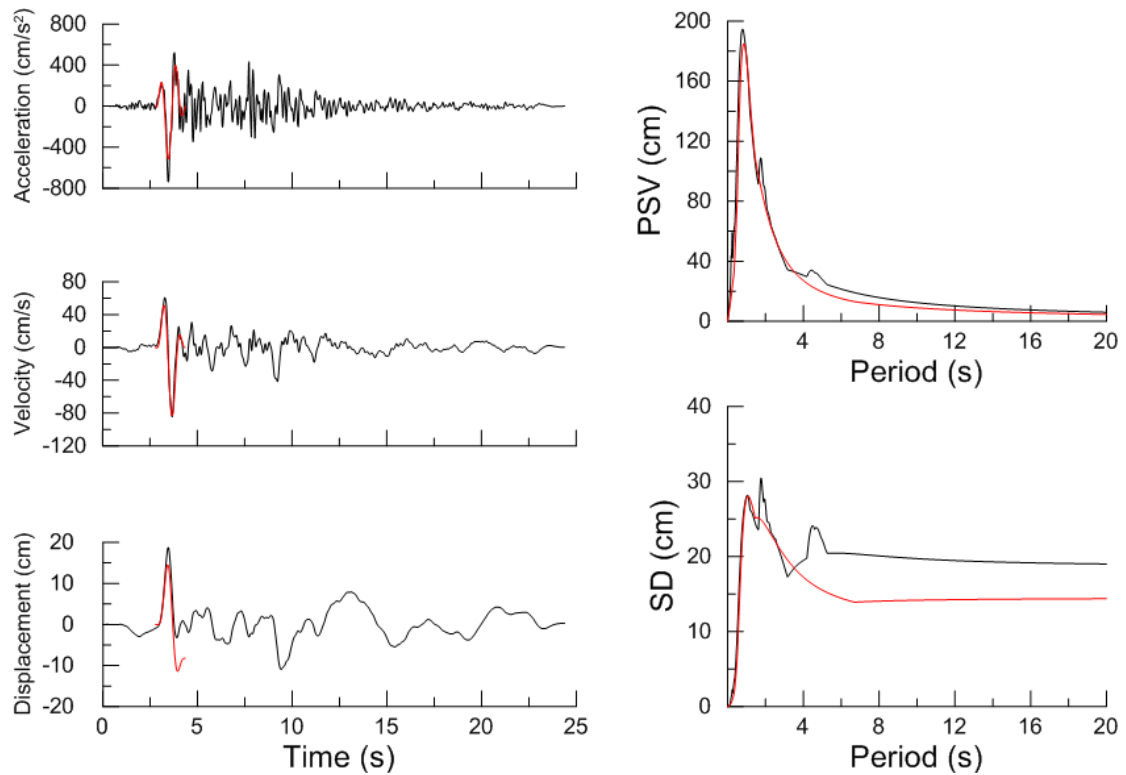
Χρονοϊστορίες και φάσματα της σεισμικής καταγραφής 184L της βάσης NGA



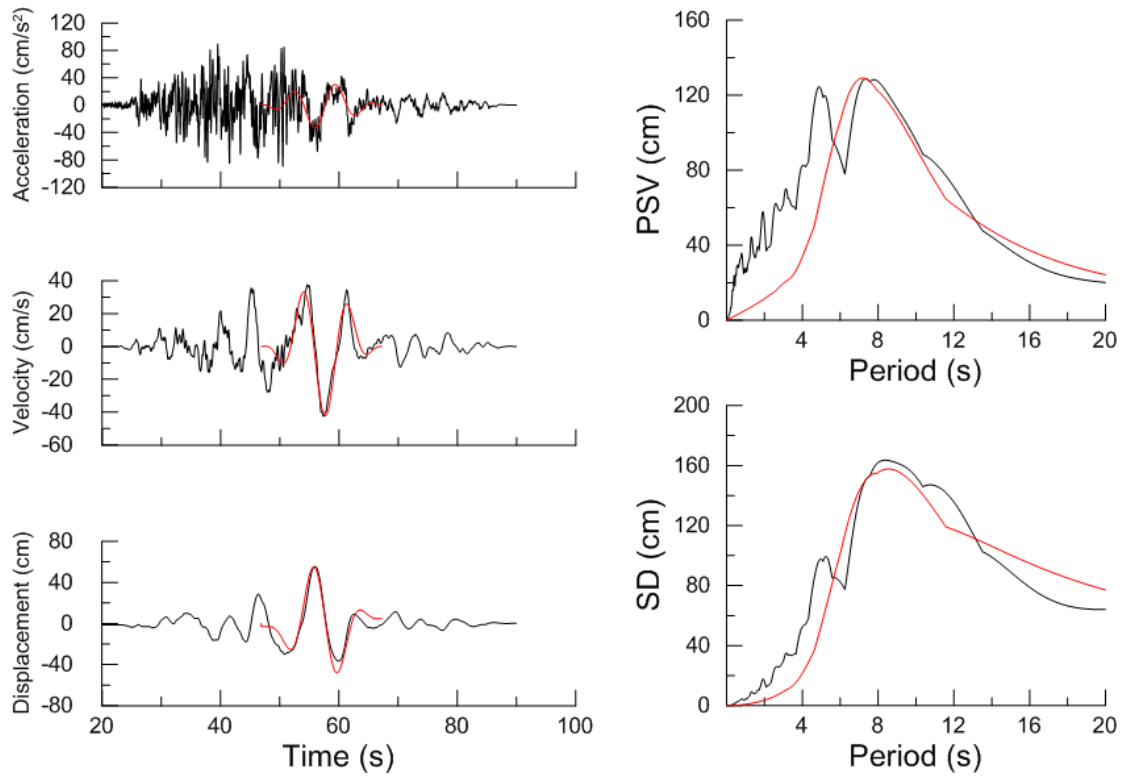
Χρονοϊστορίες και φάσματα της σεισμικής καταγραφής 3548T της βάσης NGA



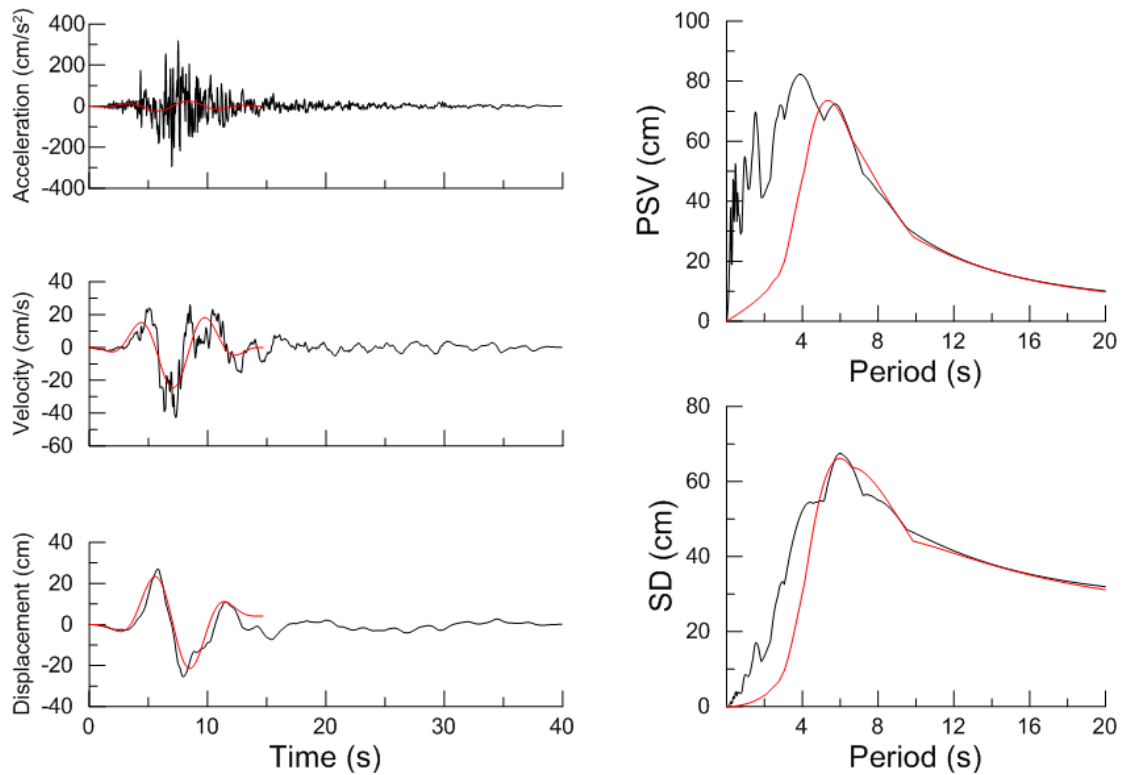
Χρονοϊστορίες και φάσματα της σεισμικής καταγραφής 1496T της βάσης NGA



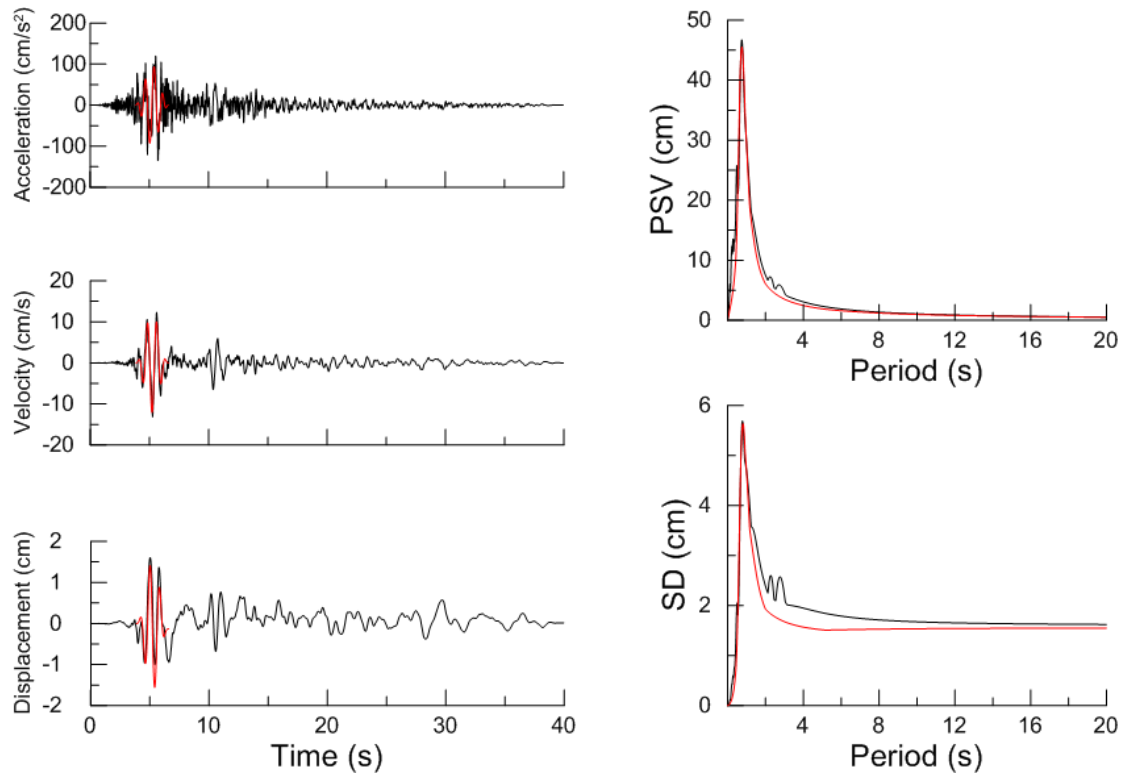
Χρονοϊστορίες και φάσματα της σεισμικής καταγραφής 1004T της βάσης NGA



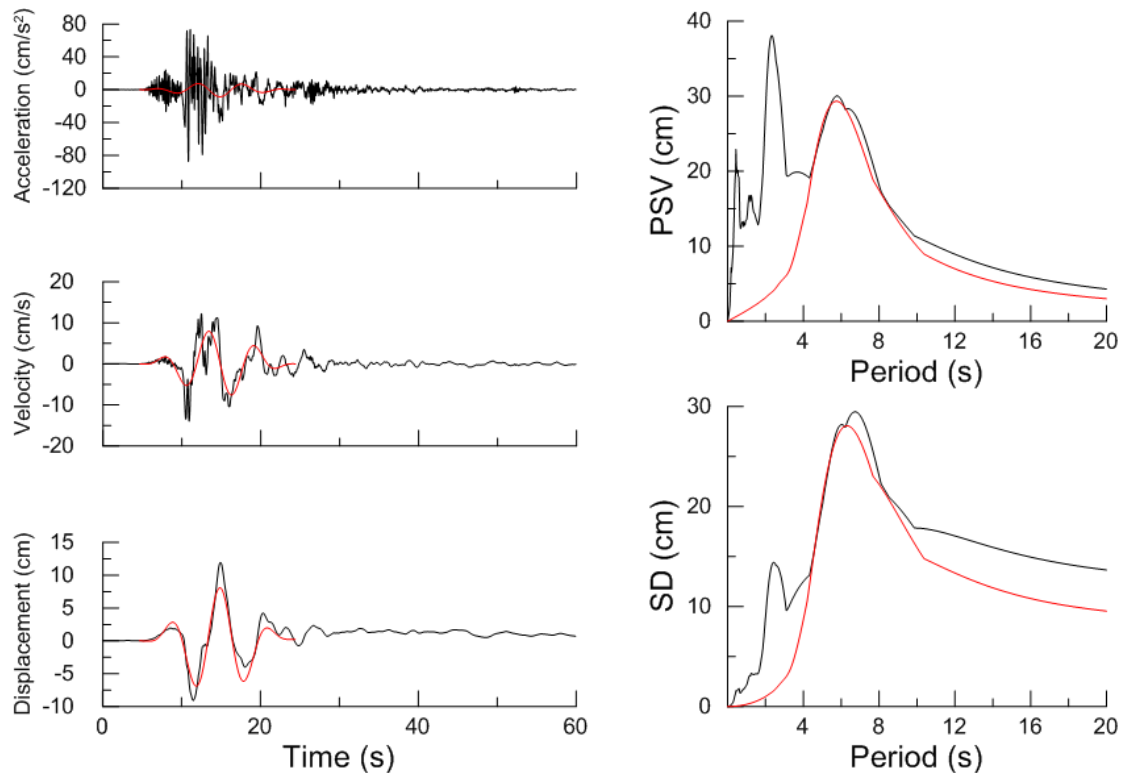
Χρονοϊστορίες και φάσματα της σεισμικής καταγραφής 1497T της βάσης NGA



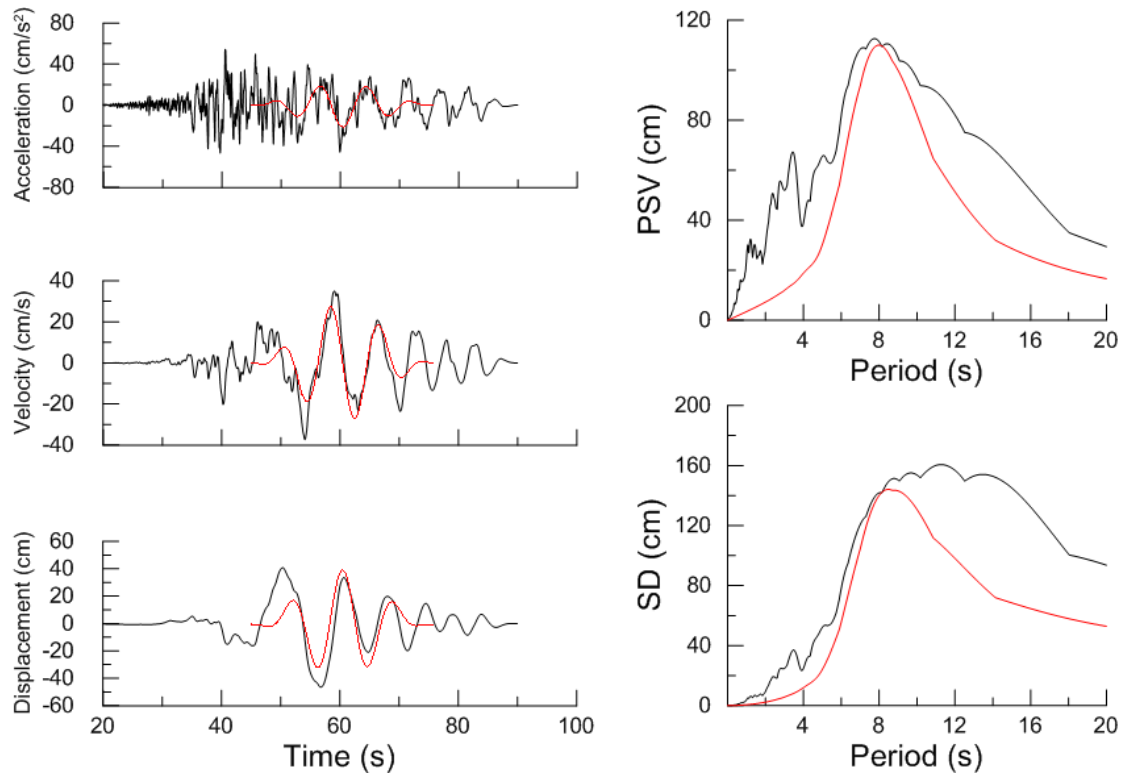
Χρονοϊστορίες και φάσματα της σεισμικής καταγραφής 802T της βάσης NGA



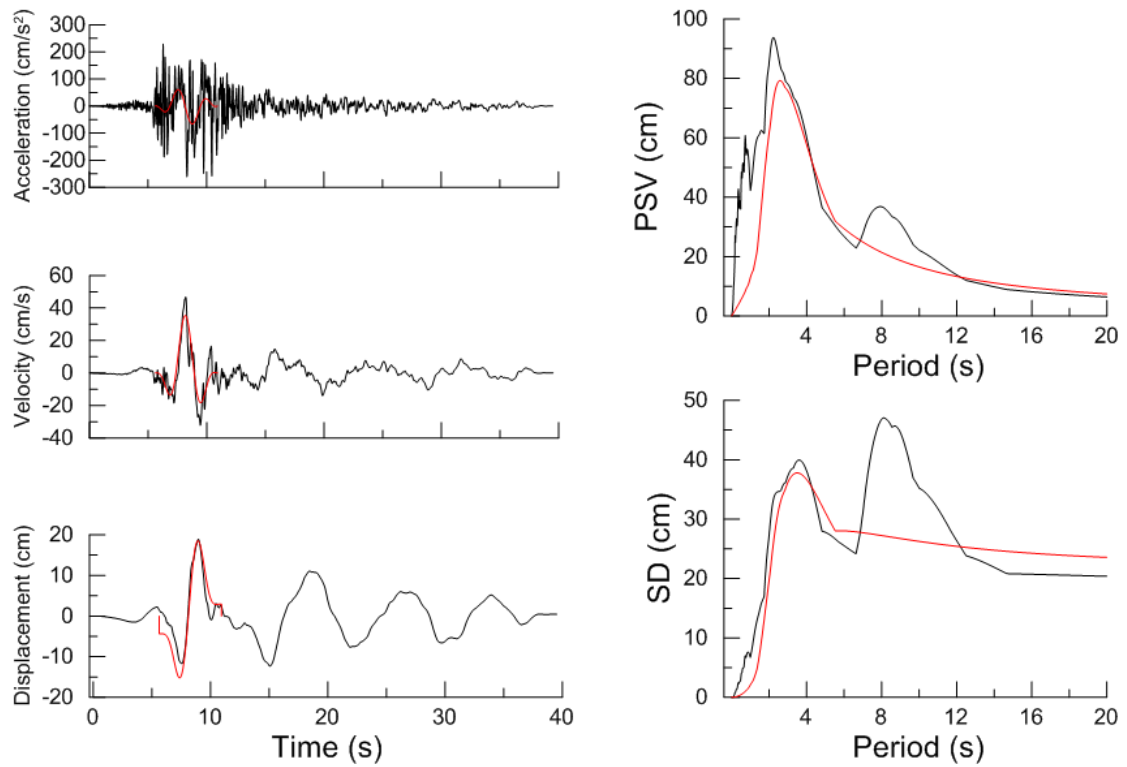
Χρονοϊστορίες και φάσματα της σεισμικής καταγραφής 615T της βάσης NGA



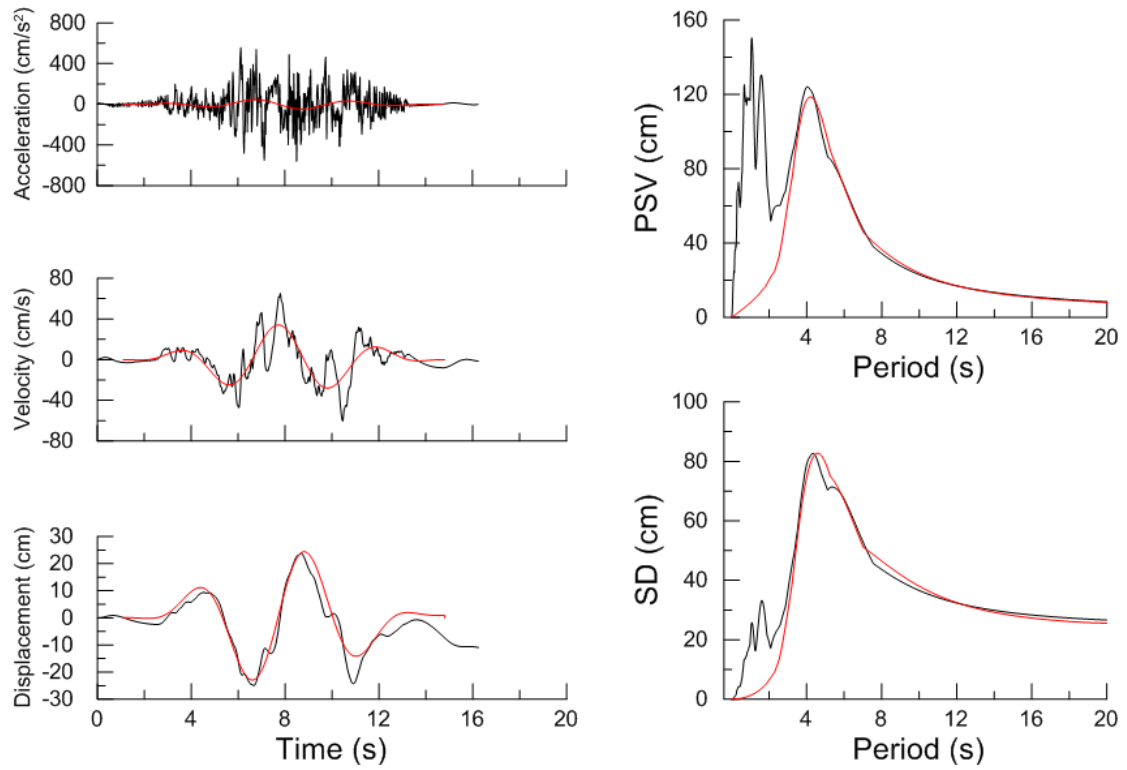
Χρονοϊστορίες και φάσματα της σεισμικής καταγραφής 2457L της βάσης NGA



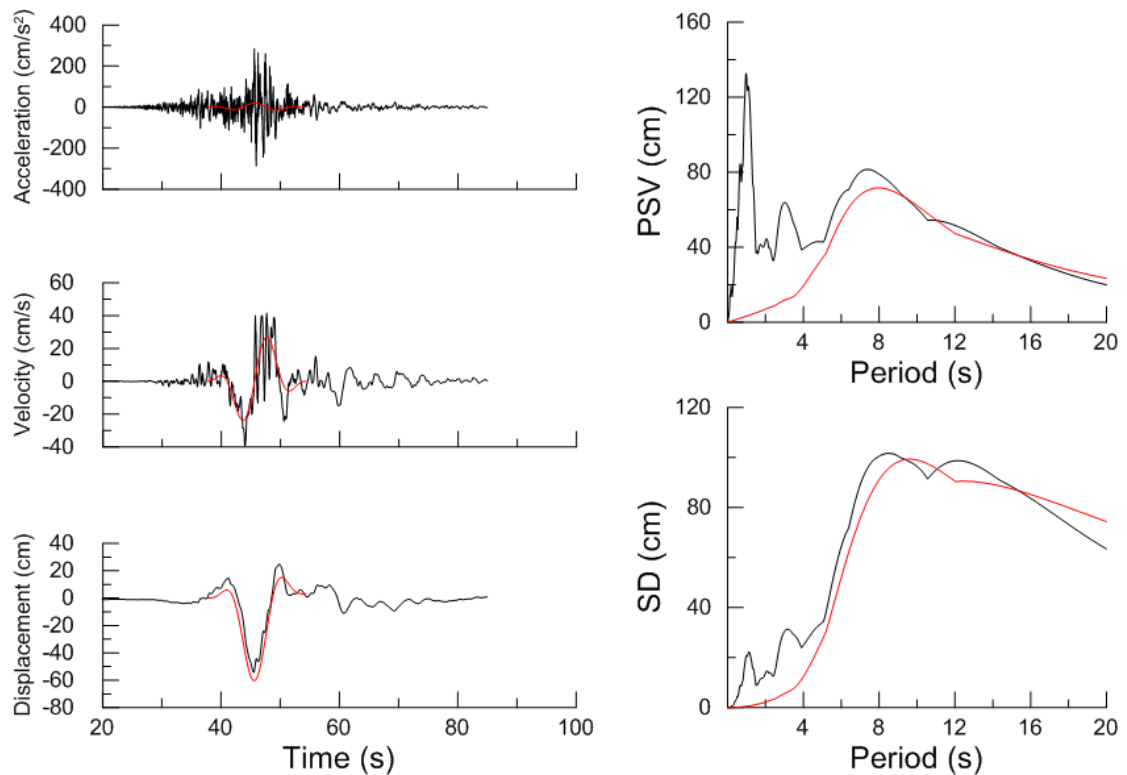
Χρονοϊστορίες και φάσματα της σεισμικής καταγραφής 1463L της βάσης NGA



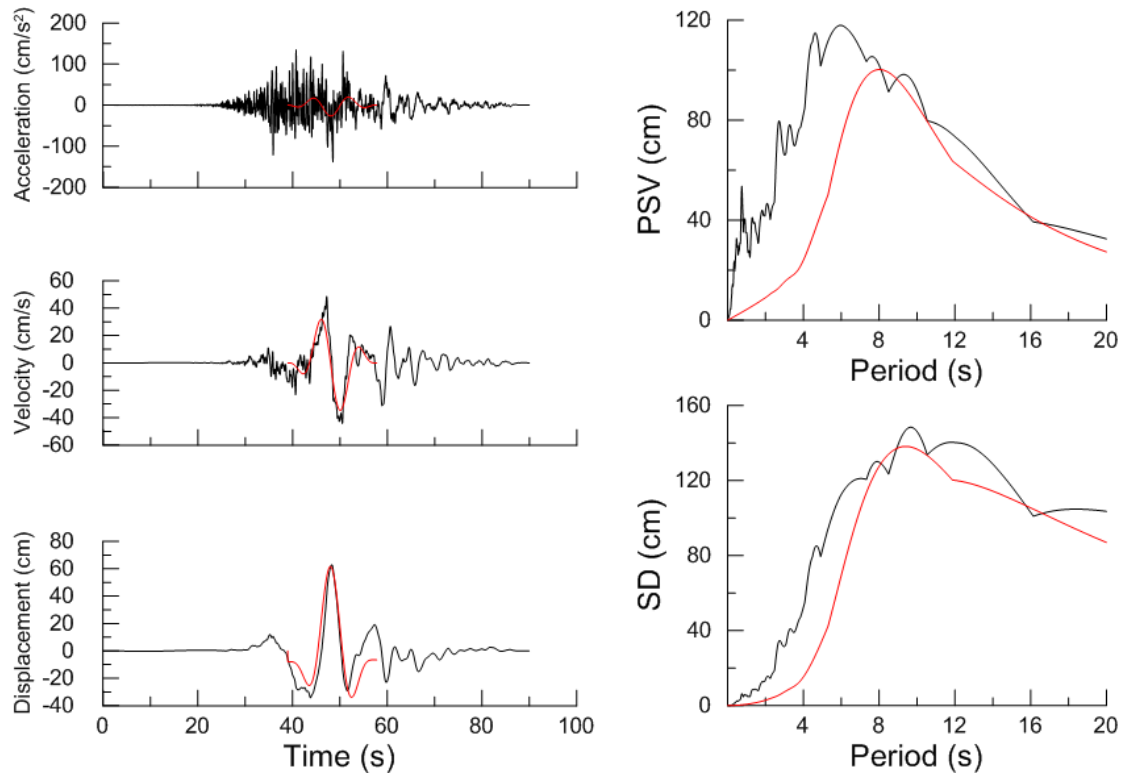
Χρονοϊστορίες και φάσματα της σεισμικής καταγραφής 178L της βάσης NGA



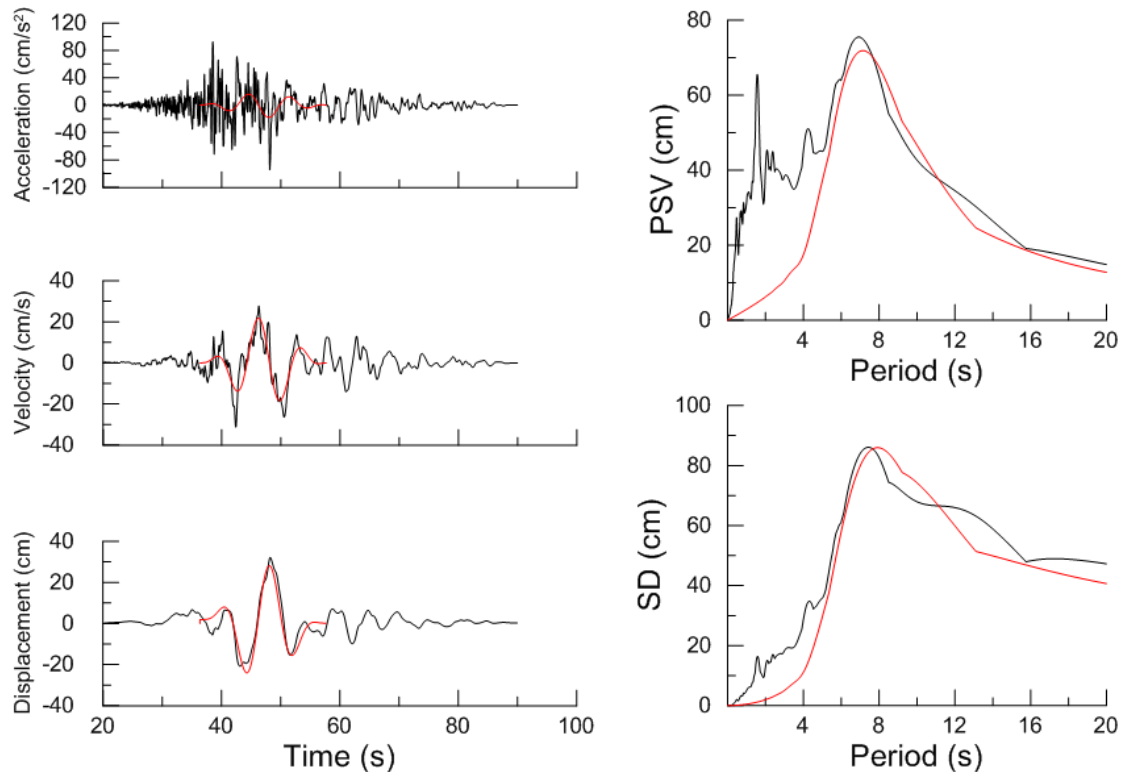
Χρονοϊστορίες και φάσματα της σεισμικής καταγραφής 126L της βάσης NGA



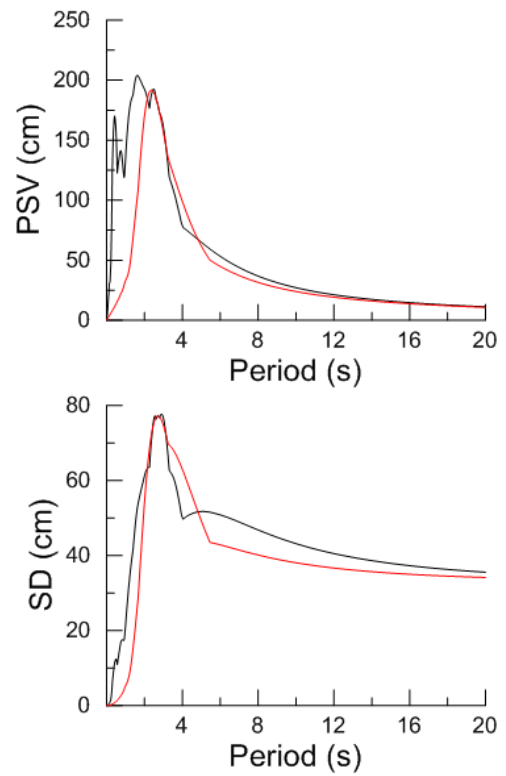
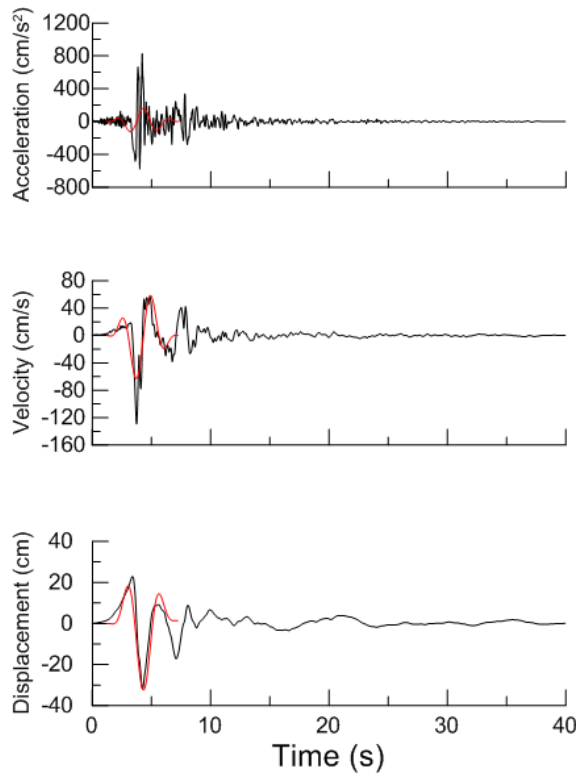
Χρονοϊστορίες και φάσματα της σεισμικής καταγραφής 1487L της βάσης NGA



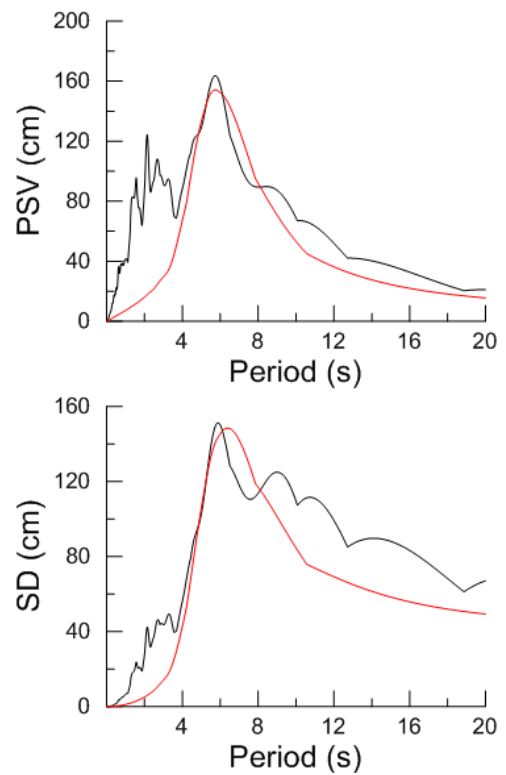
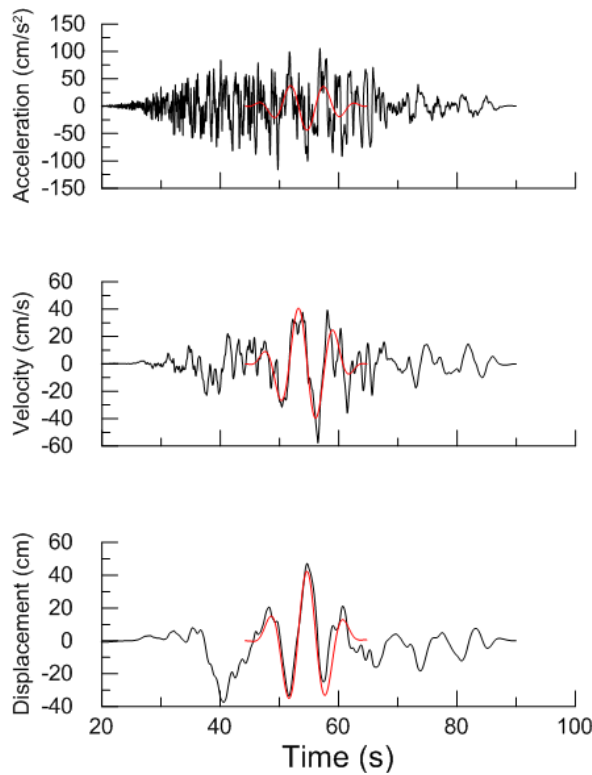
Χρονοϊστορίες και φάσματα της σεισμικής καταγραφής 1481L της βάσης NGA



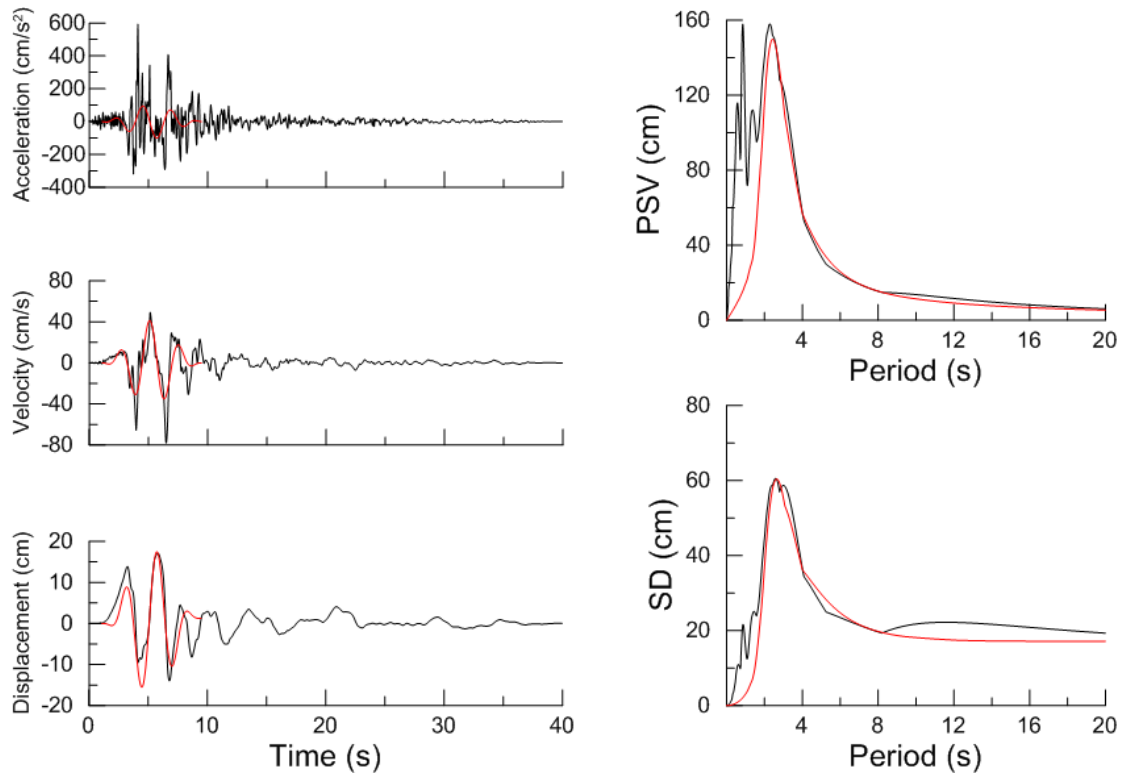
Χρονοϊστορίες και φάσματα της σεισμικής καταγραφής 1514T της βάσης NGA



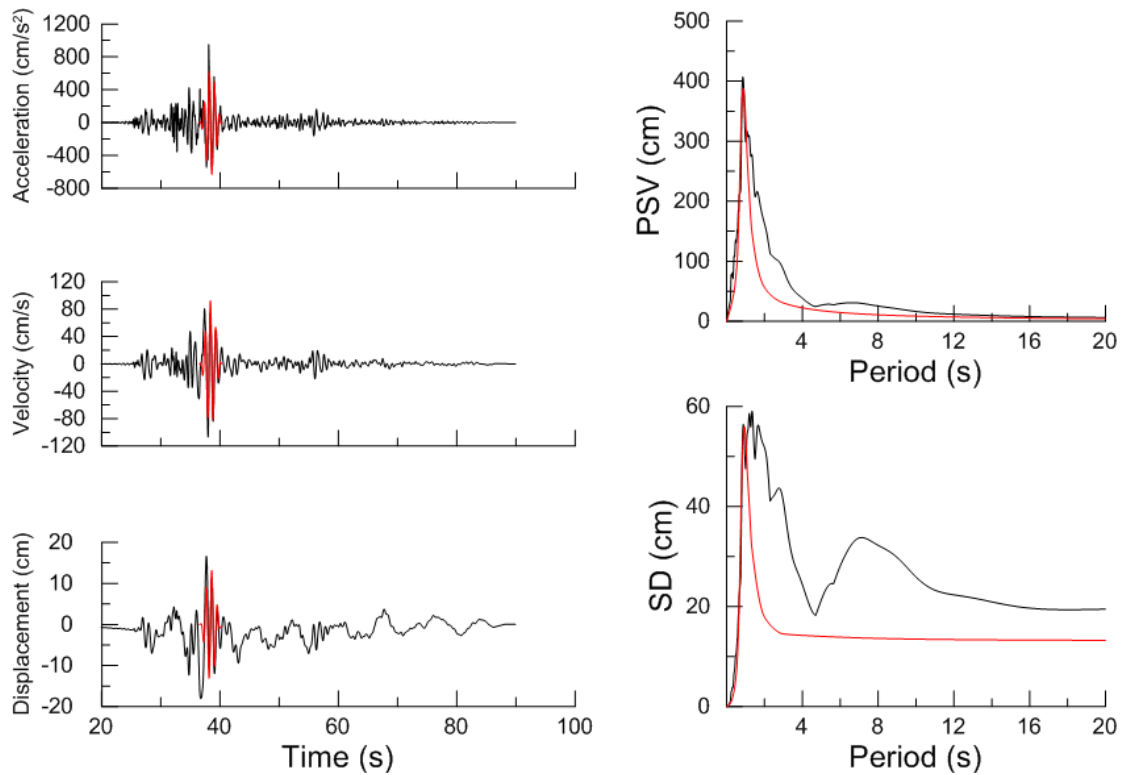
Χρονοϊστορίες και φάσματα της σεισμικής καταγραφής 1086T της βάσης NGA



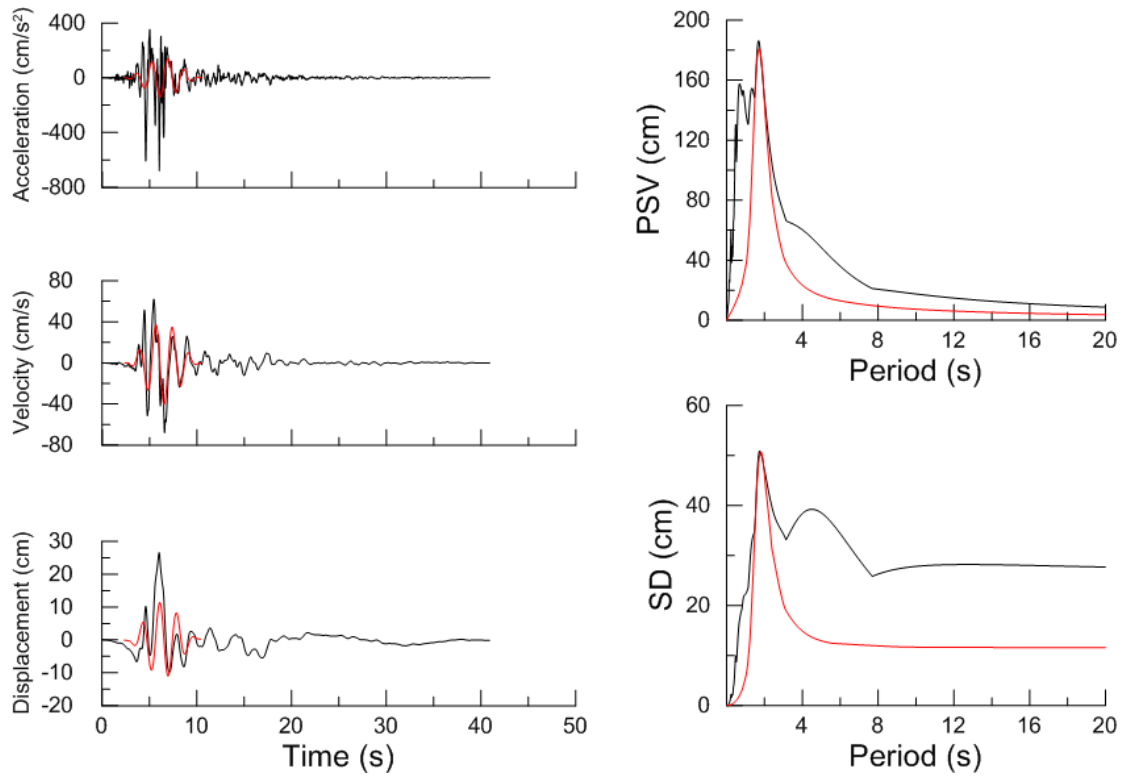
Χρονοϊστορίες και φάσματα της σεισμικής καταγραφής 1542L της βάσης NGA



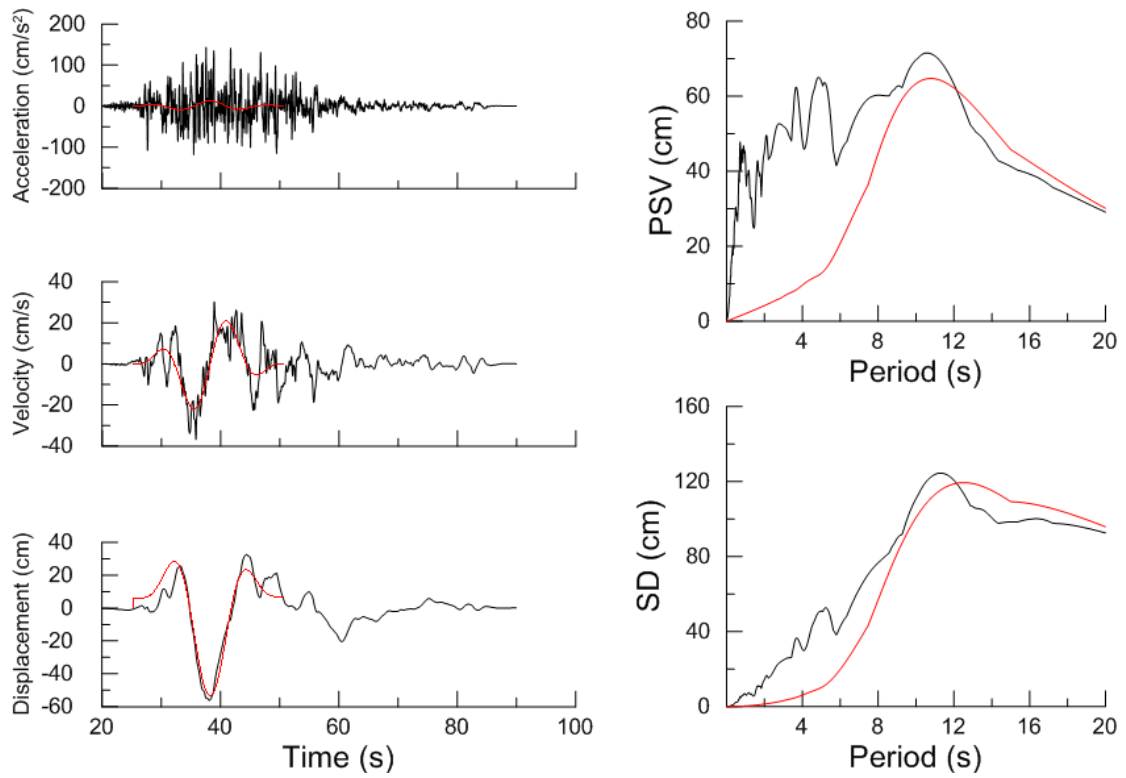
Χρονοϊστορίες και φάσματα της σεισμικής καταγραφής 1086L της βάσης NGA



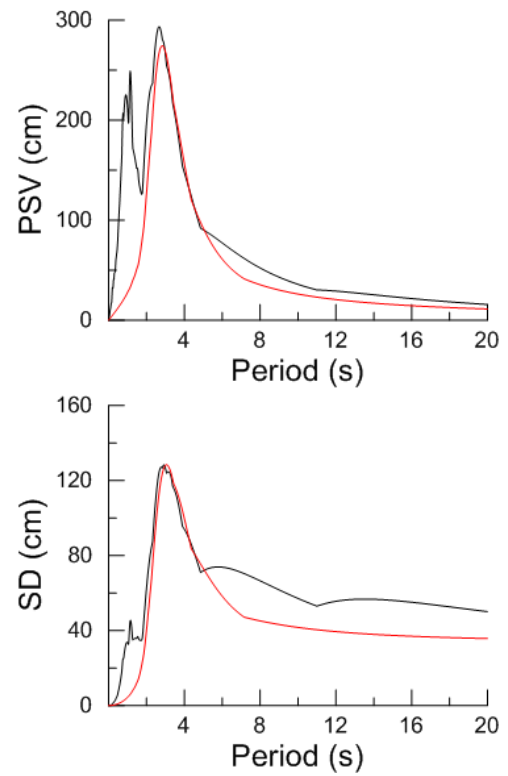
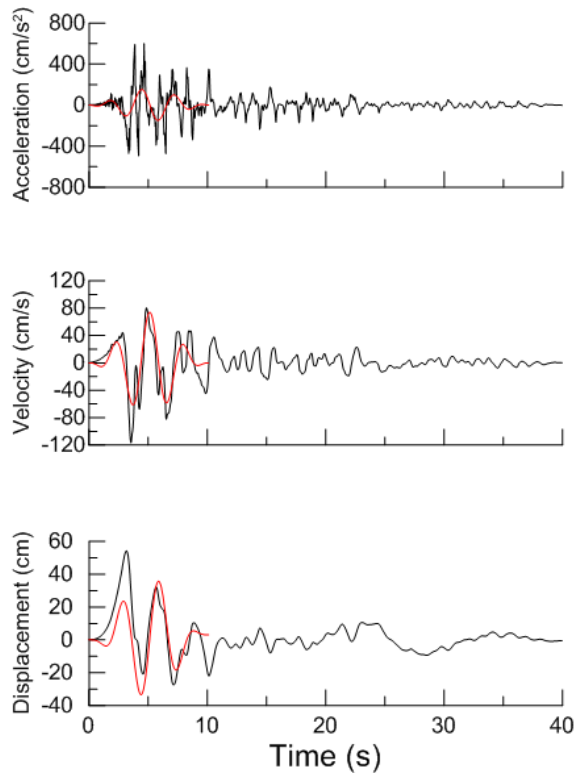
Χρονοϊστορίες και φάσματα της σεισμικής καταγραφής 1231L της βάσης NGA



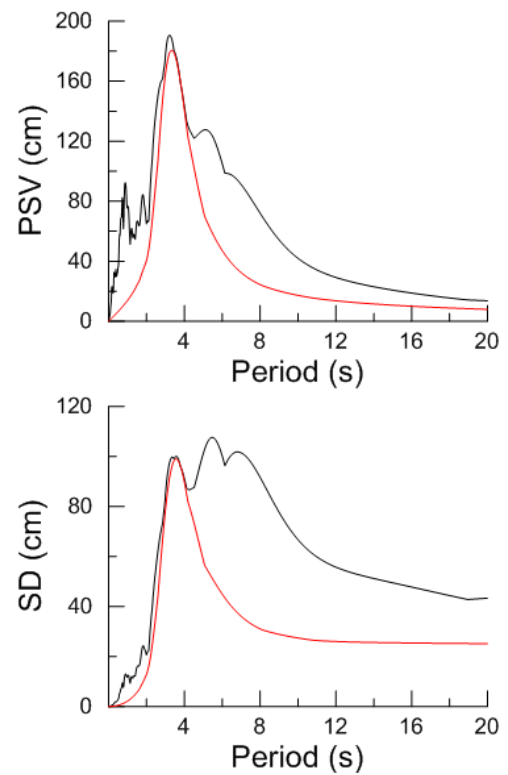
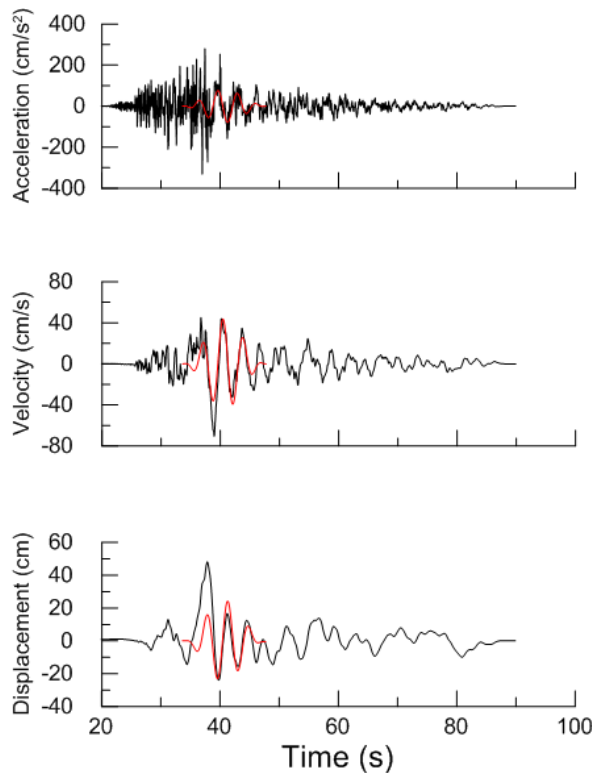
Χρονοϊστορίες και φάσματα της σεισμικής καταγραφής 1119L της βάσης NGA



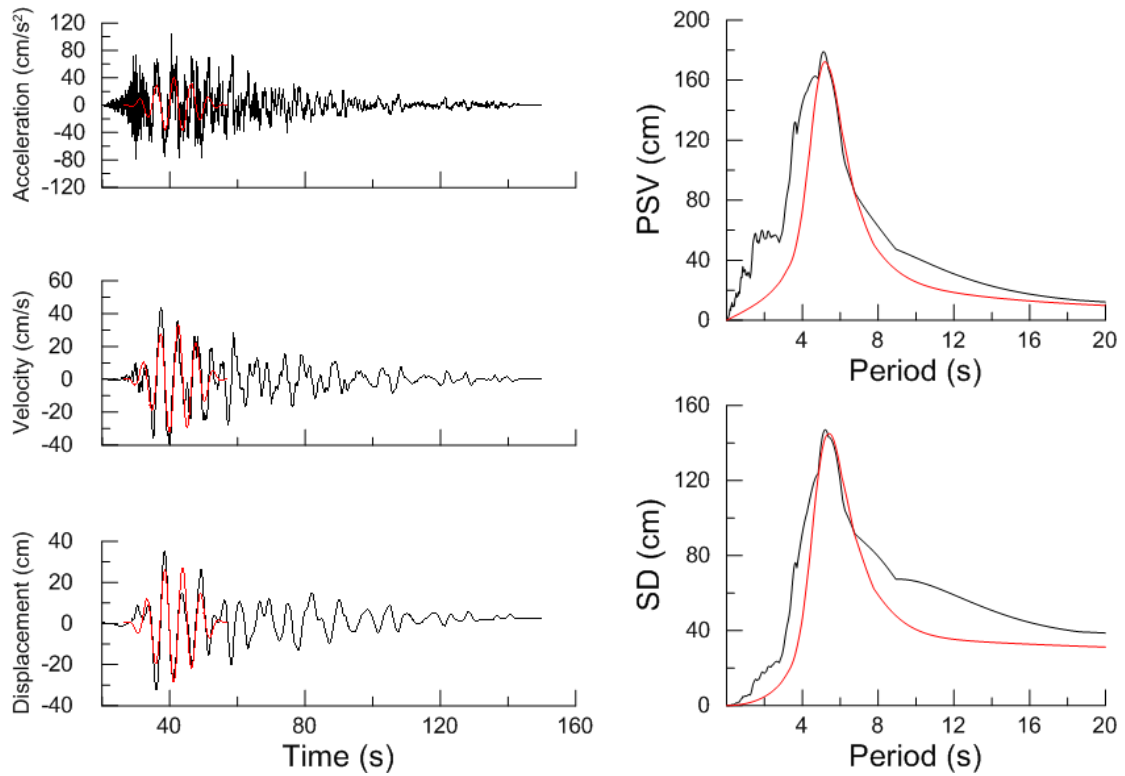
Χρονοϊστορίες και φάσματα της σεισμικής καταγραφής 1490L της βάσης NGA



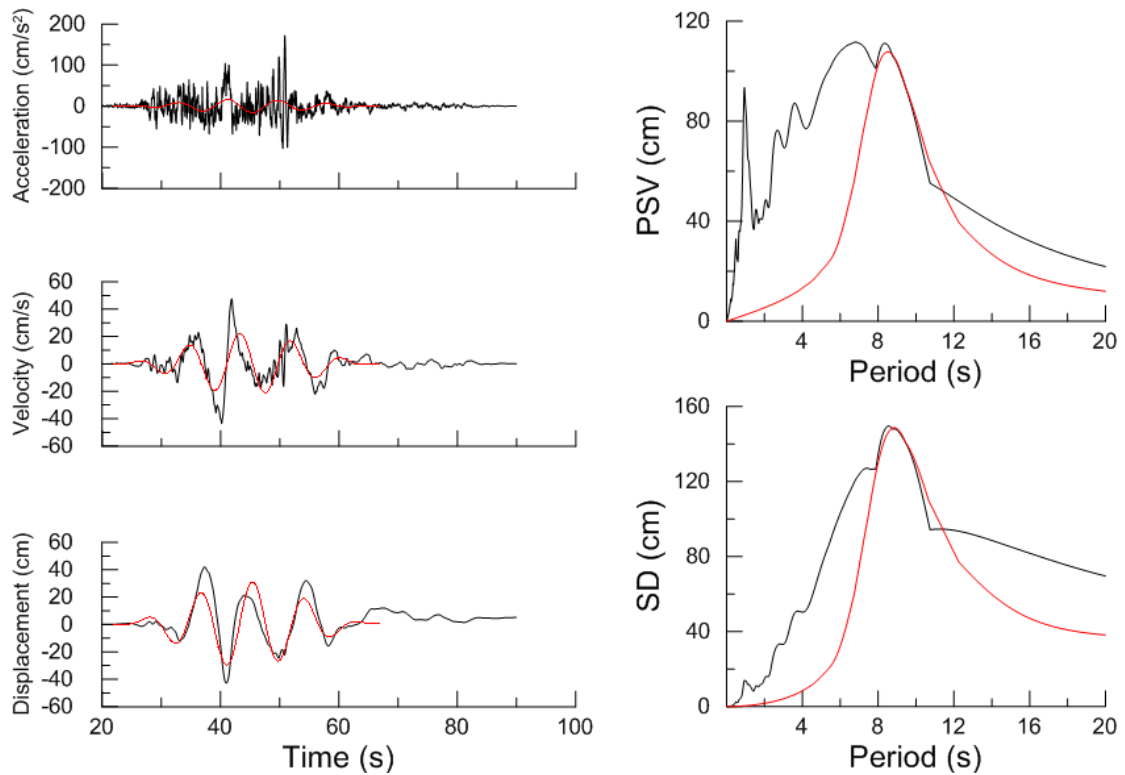
Χρονοϊστορίες και φάσματα της σεισμικής καταγραφής 1084L της βάσης NGA



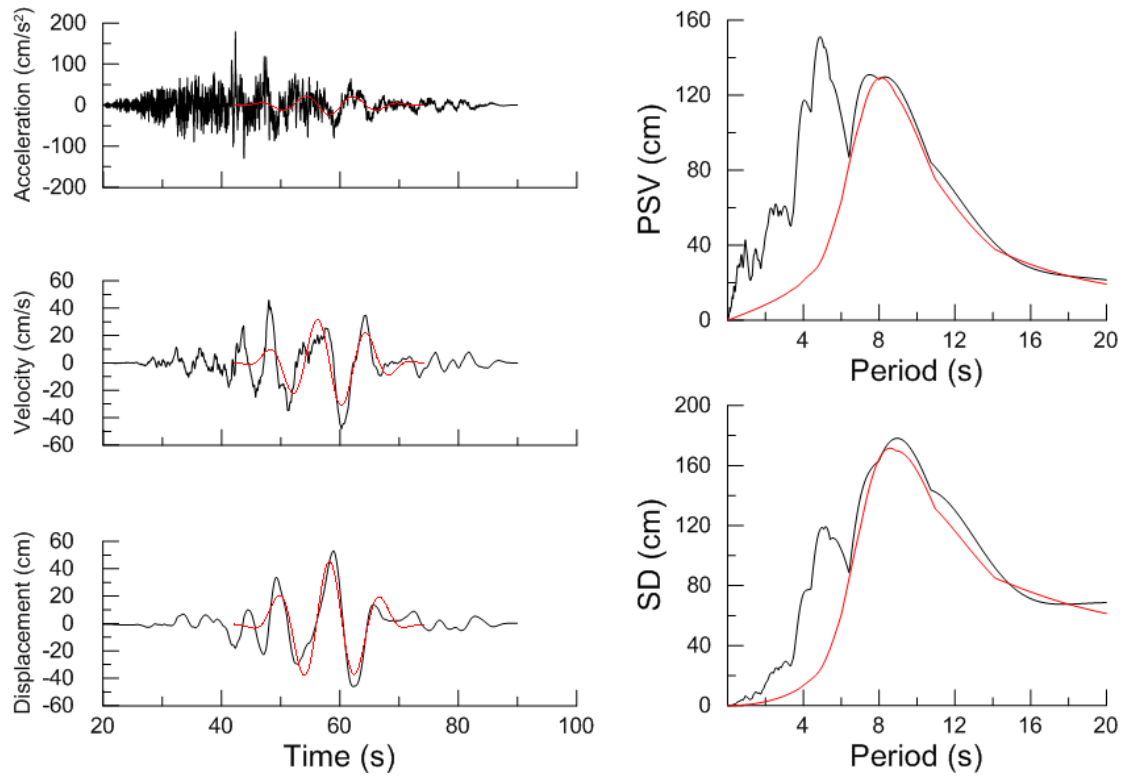
Χρονοϊστορίες και φάσματα της σεισμικής καταγραφής 1244L της βάσης NGA



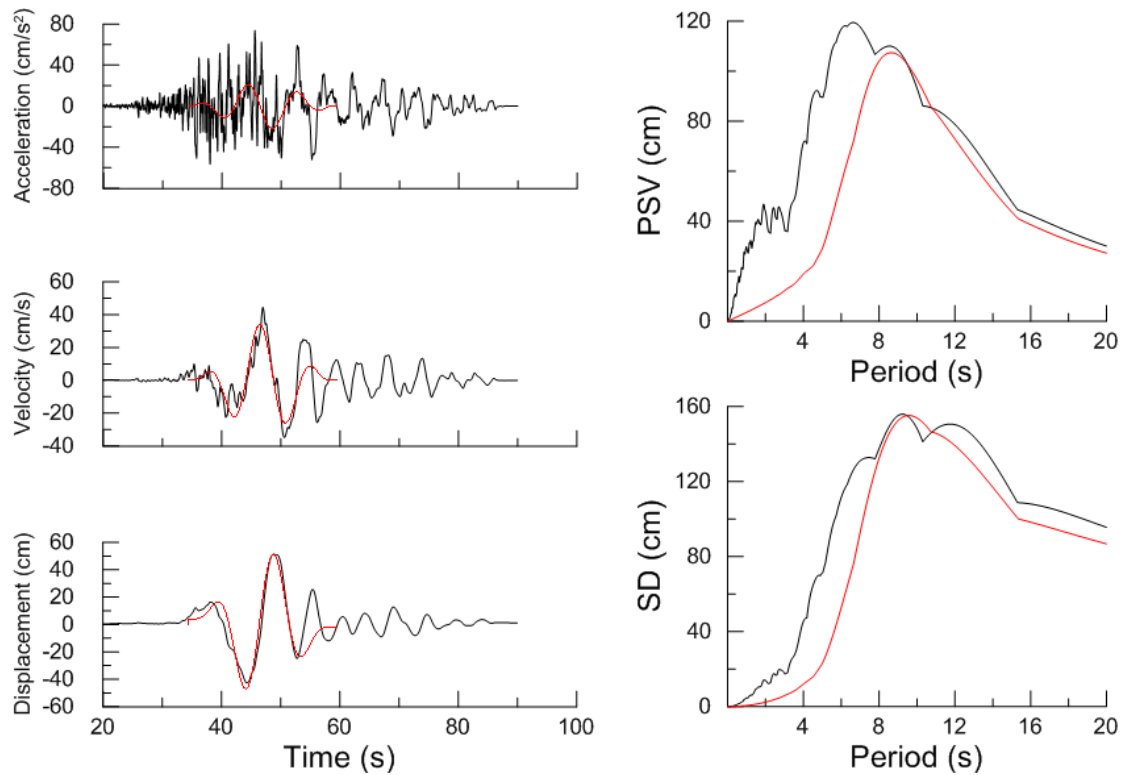
Χρονοϊστορίες και φάσματα της σεισμικής καταγραφής 1553T της βάσης NGA



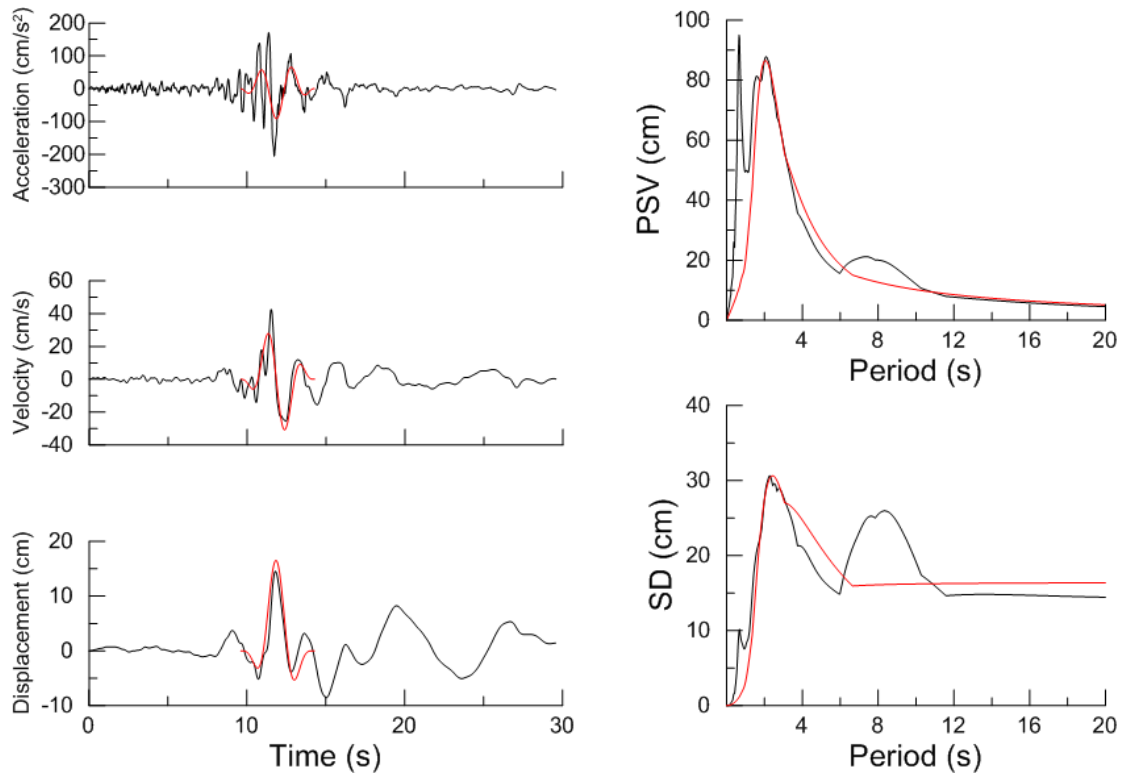
Χρονοϊστορίες και φάσματα της σεισμικής καταγραφής 1550L της βάσης NGA



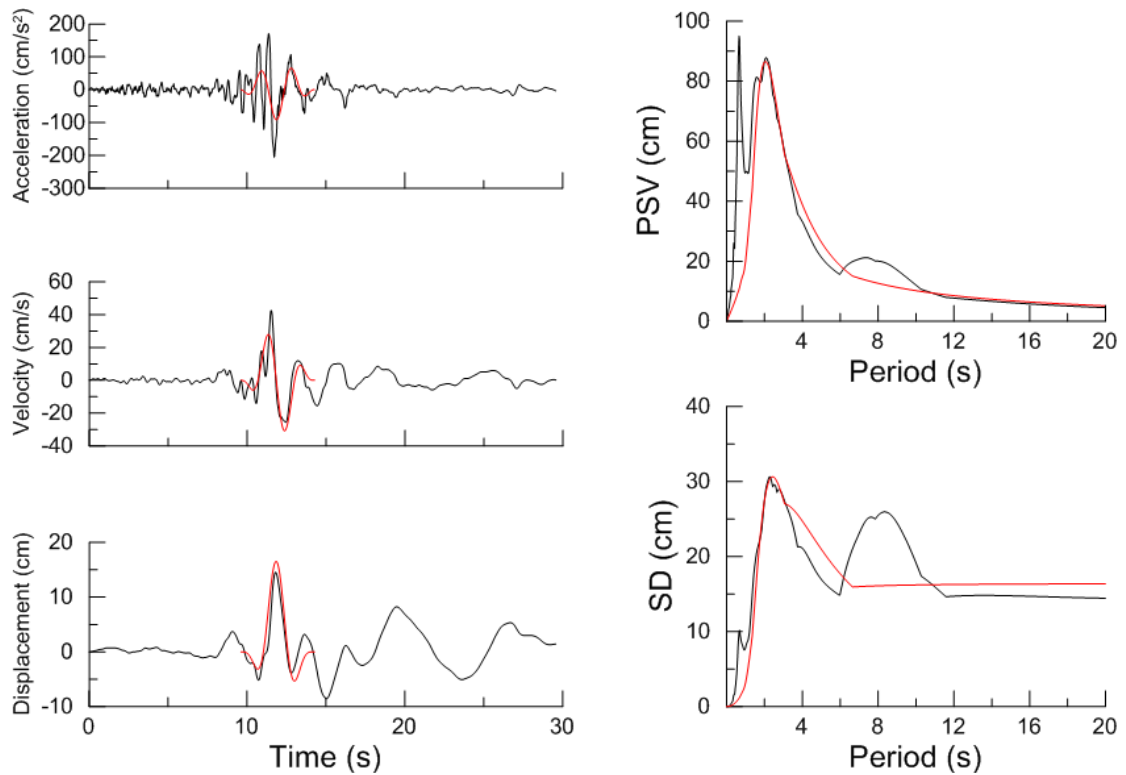
Χρονοϊστορίες και φάσματα της σεισμικής καταγραφής 1488T της βάσης NGA



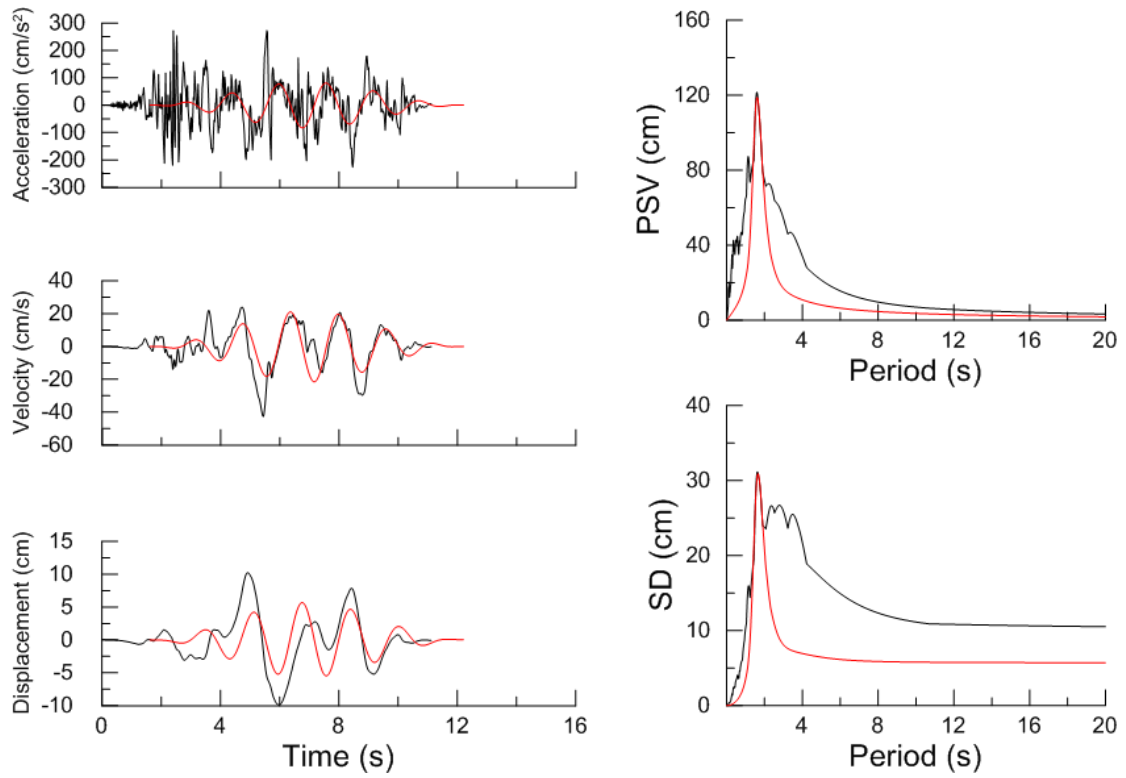
Χρονοϊστορίες και φάσματα της σεισμικής καταγραφής 1514L της βάσης NGA



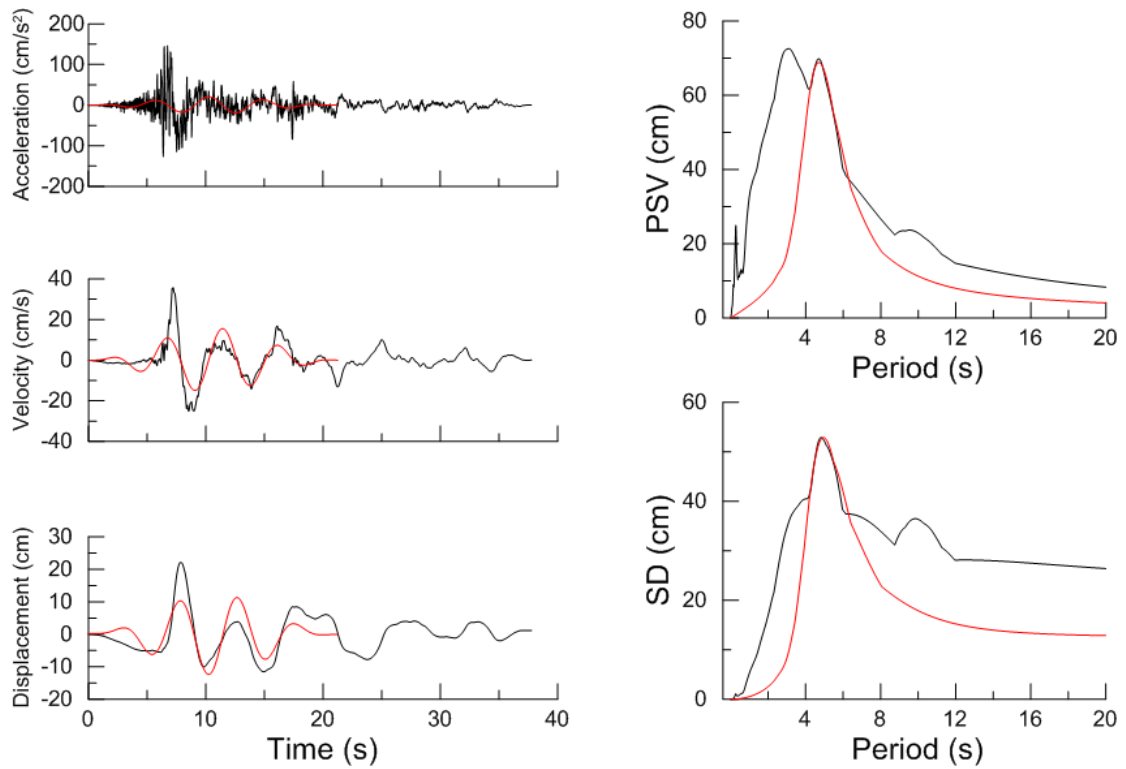
Χρονοϊστορίες και φάσματα της σεισμικής καταγραφής 738L της βάσης NGA



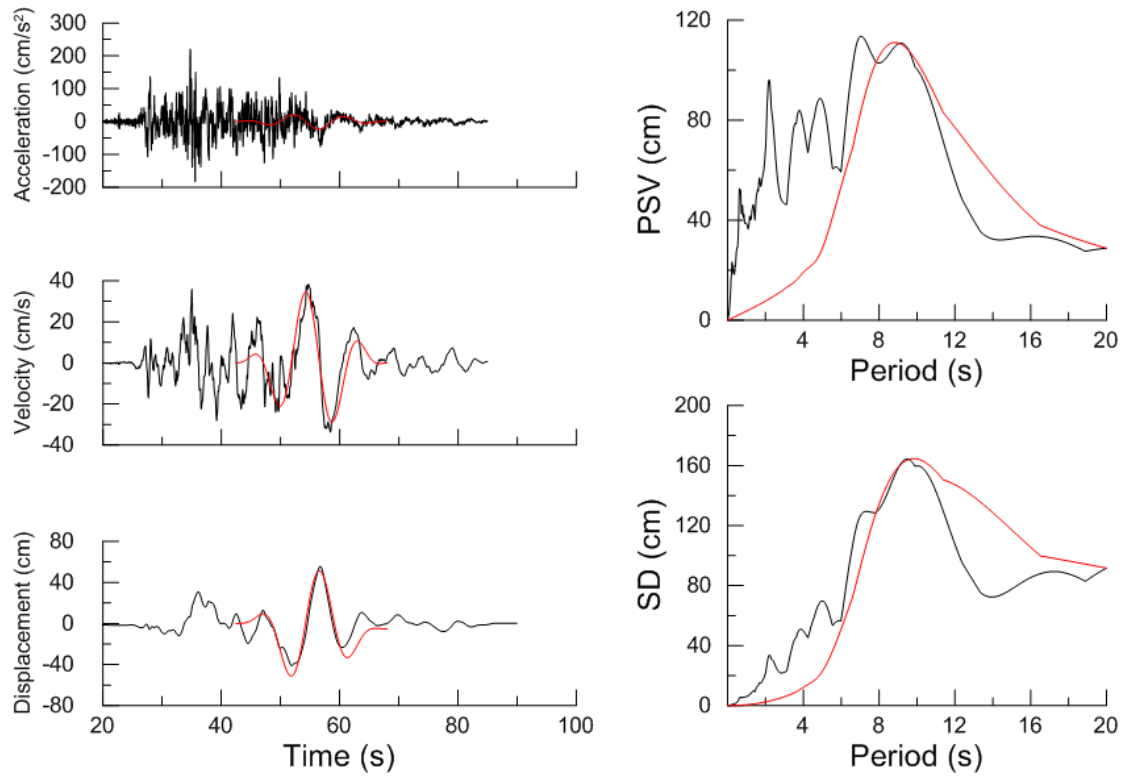
Χρονοϊστορίες και φάσματα της σεισμικής καταγραφής 738T της βάσης NGA



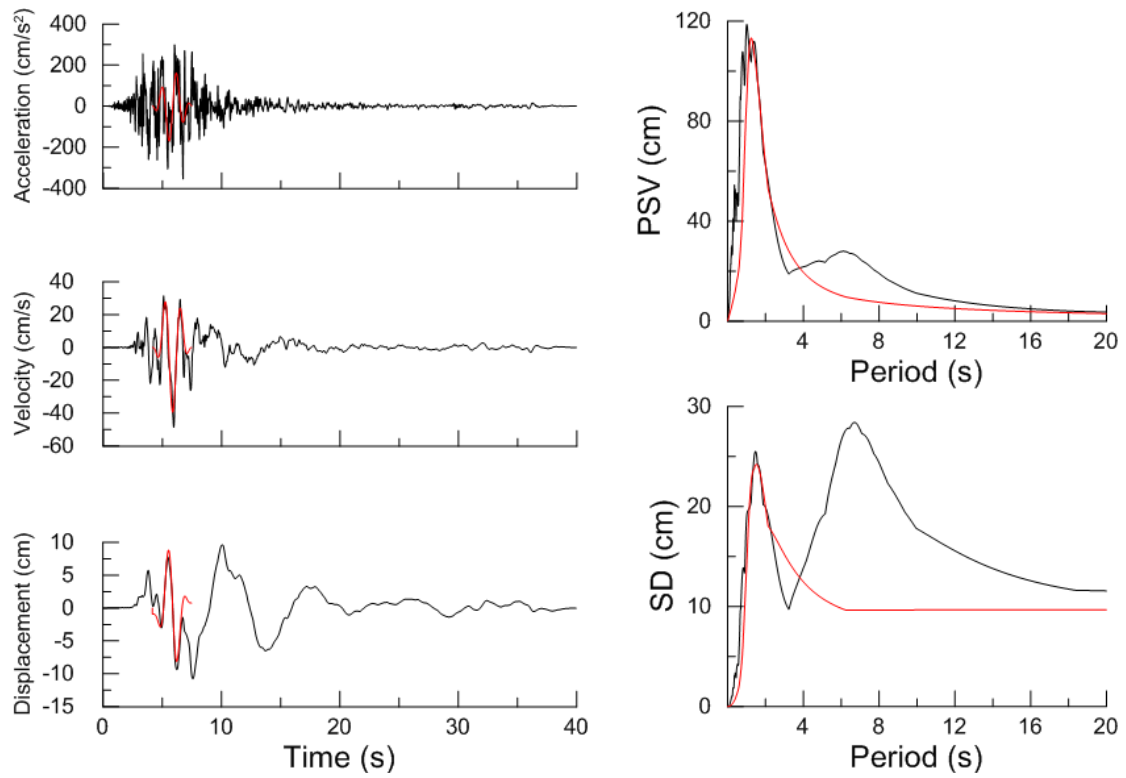
Χρονοϊστορίες και φάσματα της σεισμικής καταγραφής 158L της βάσης NGA



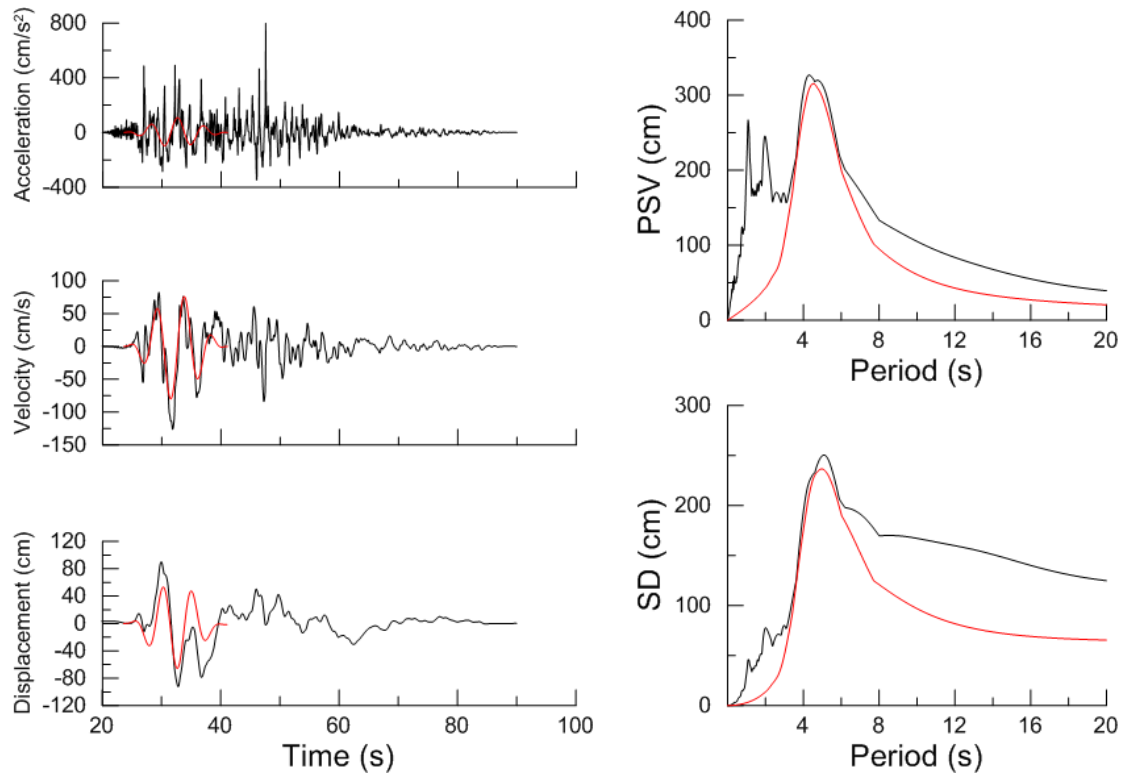
Χρονοϊστορίες και φάσματα της σεισμικής καταγραφής 161L της βάσης NGA



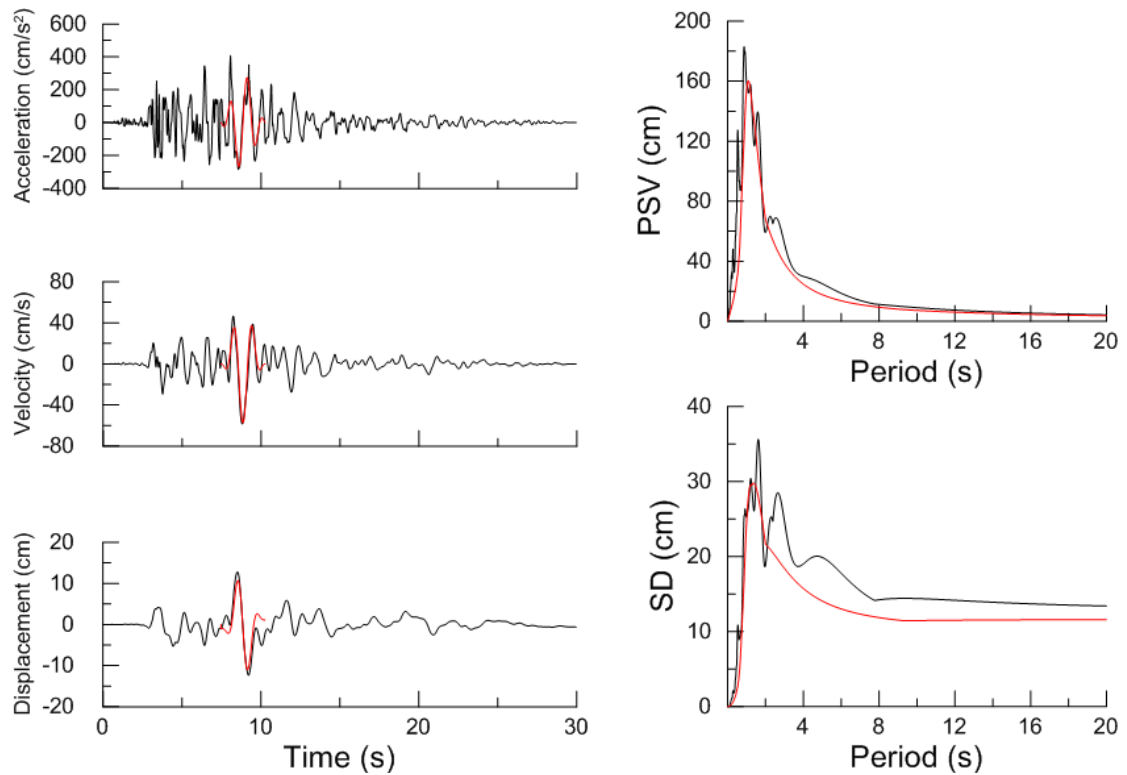
Χρονοϊστορίες και φάσματα της σεισμικής καταγραφής 1491T της βάσης NGA



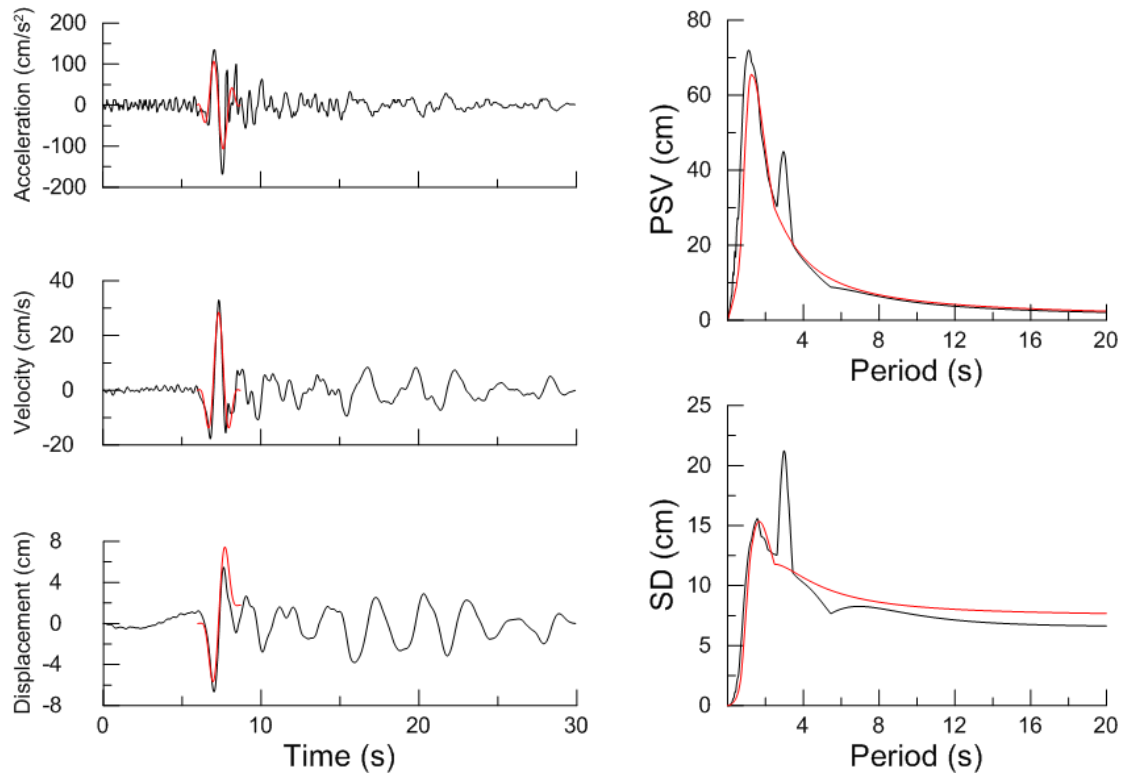
Χρονοϊστορίες και φάσματα της σεισμικής καταγραφής 319L της βάσης NGA



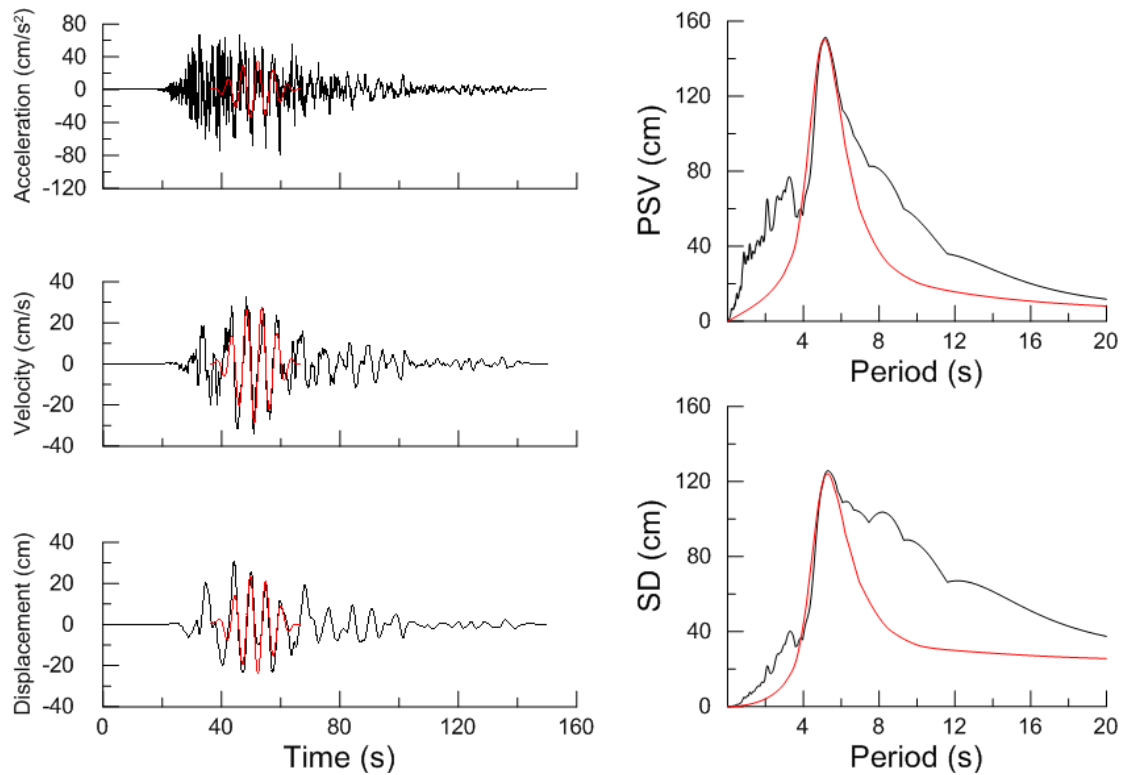
Χρονοϊστορίες και φάσματα της σεισμικής καταγραφής 1503L της βάσης NGA



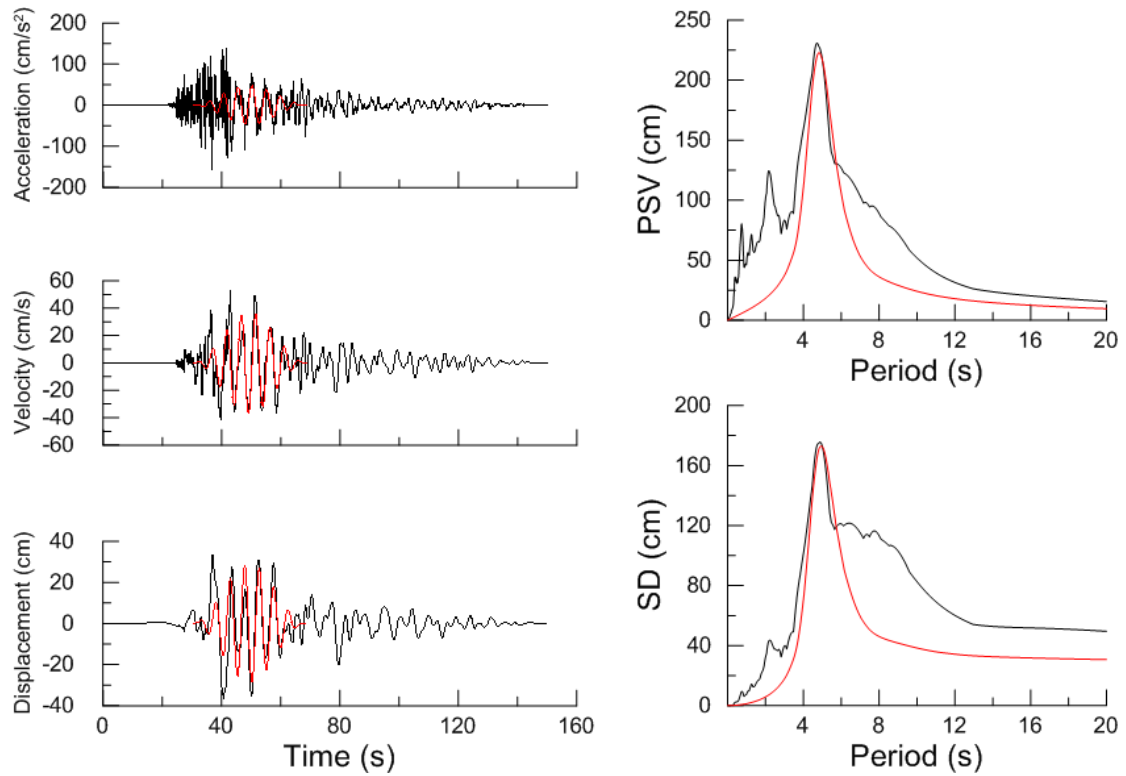
Χρονοϊστορίες και φάσματα της σεισμικής καταγραφής 953L της βάσης NGA



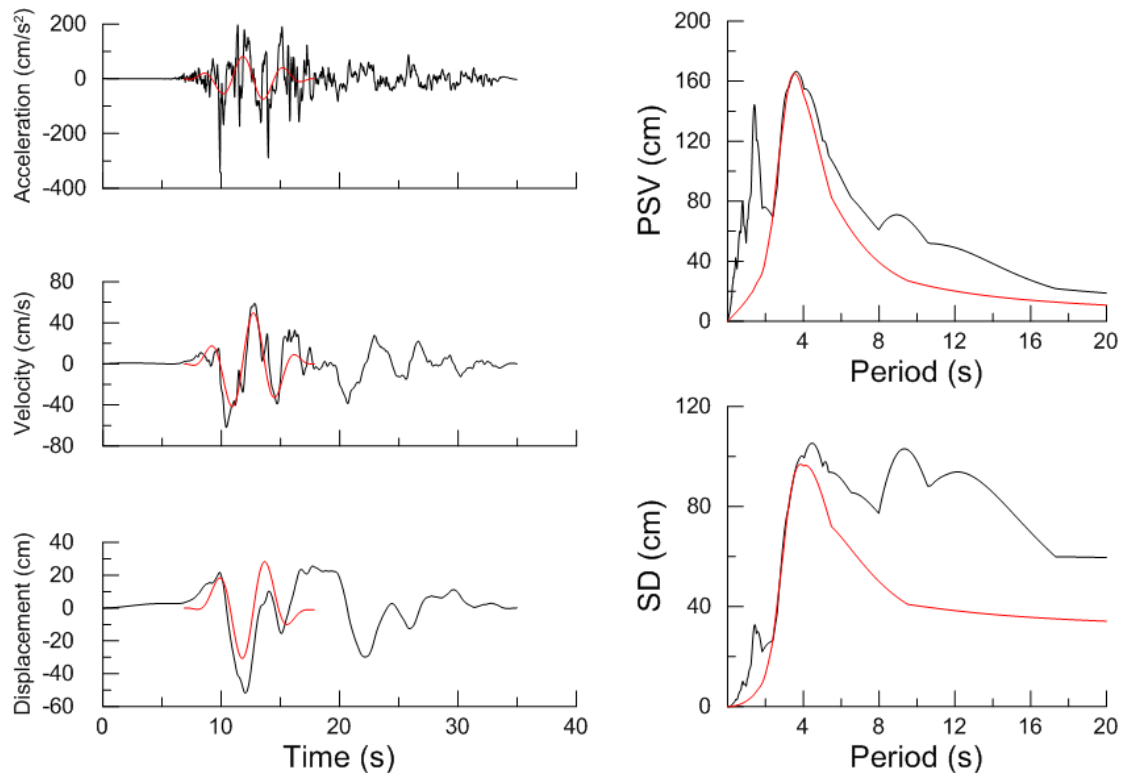
Χρονοϊστορίες και φάσματα της σεισμικής καταγραφής 503L της βάσης NGA



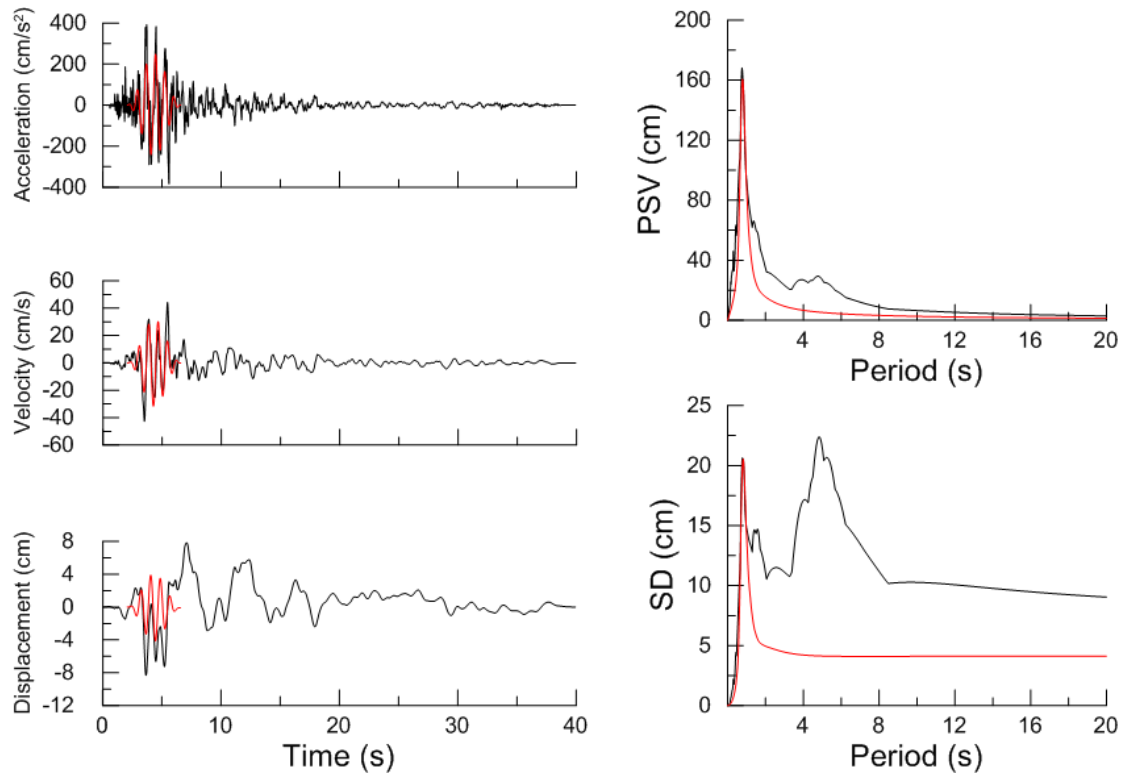
Χρονοϊστορίες και φάσματα της σεισμικής καταγραφής 1238L της βάσης NGA



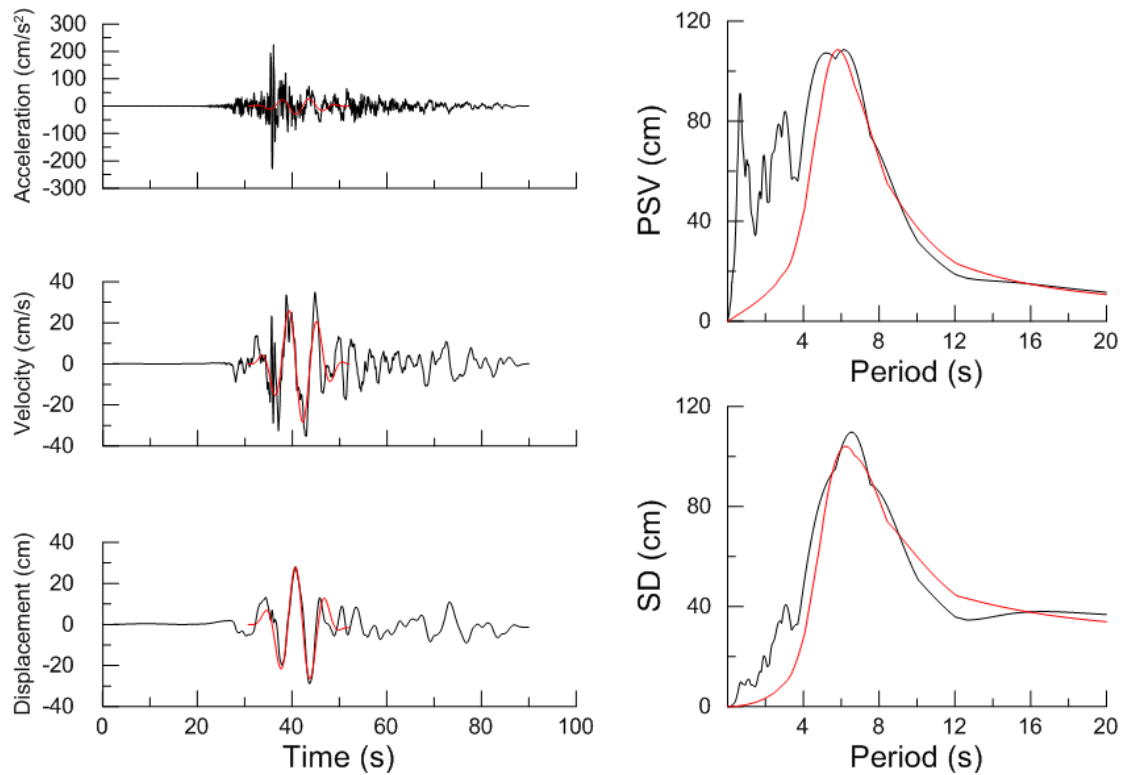
Χρονοϊστορίες και φάσματα της σεισμικής καταγραφής 1246T της βάσης NGA



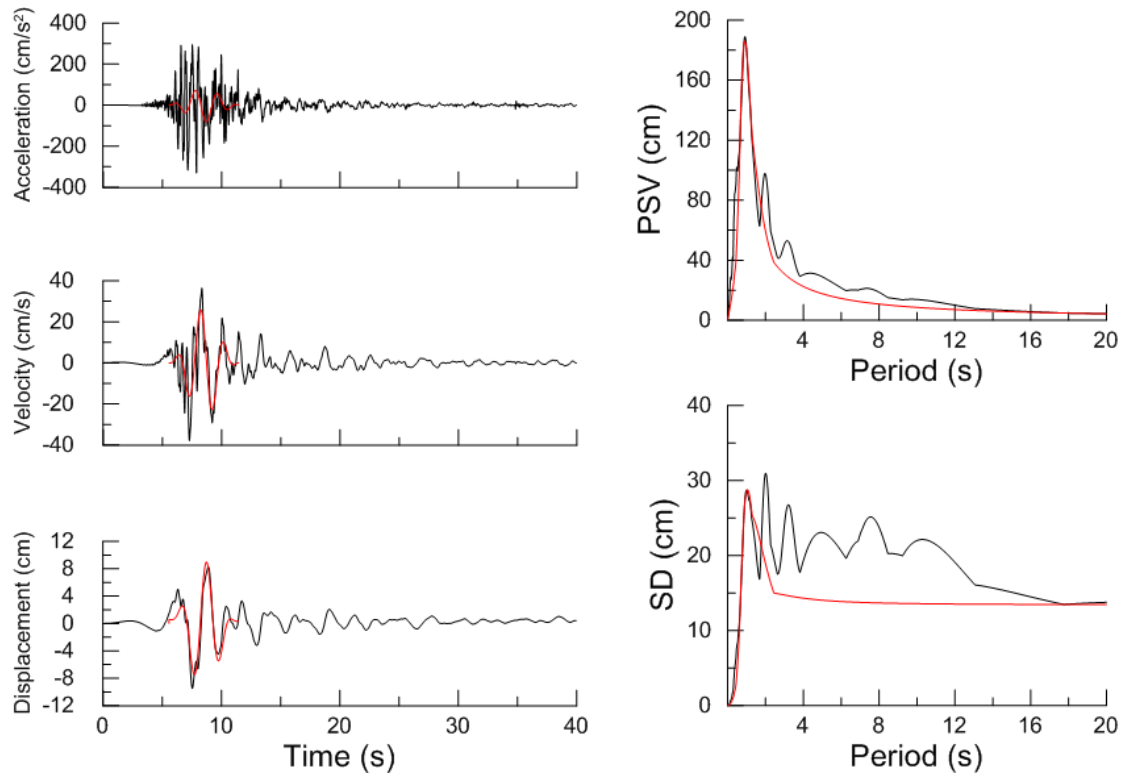
Χρονοϊστορίες και φάσματα της σεισμικής καταγραφής 1176T της βάσης NGA



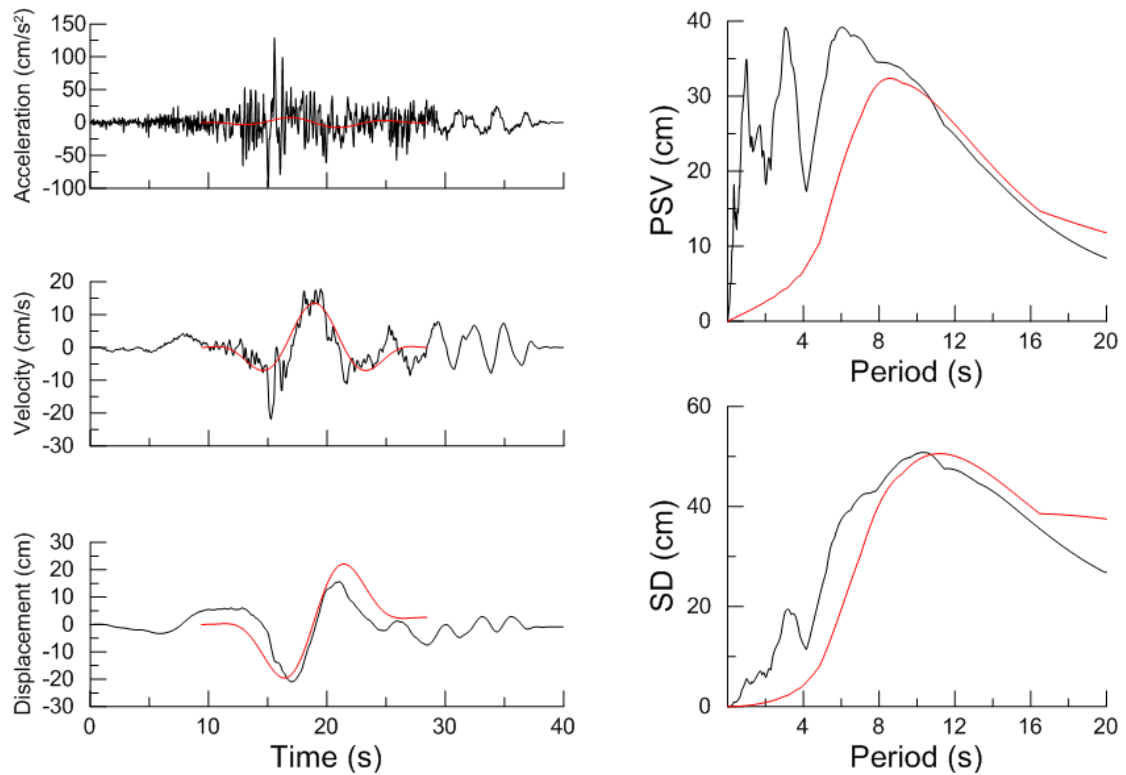
Χρονοϊστορίες και φάσματα της σεισμικής καταγραφής 558T της βάσης NGA



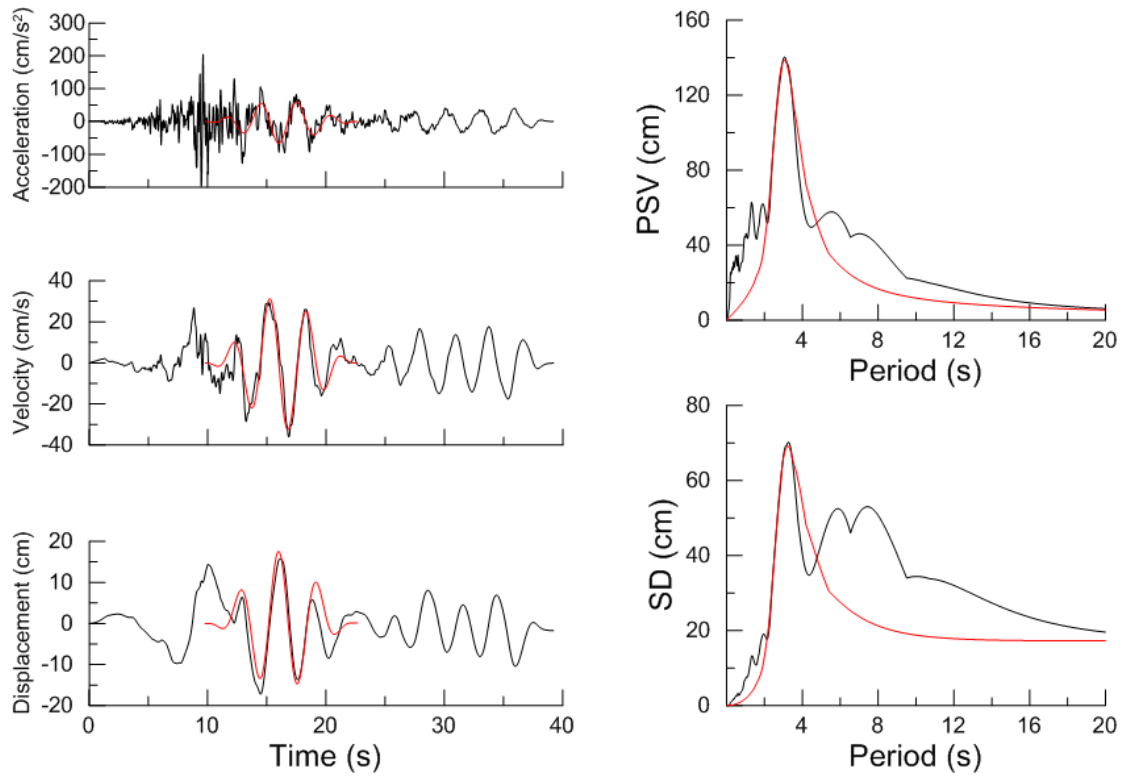
Χρονοϊστορίες και φάσματα της σεισμικής καταγραφής 1198T της βάσης NGA



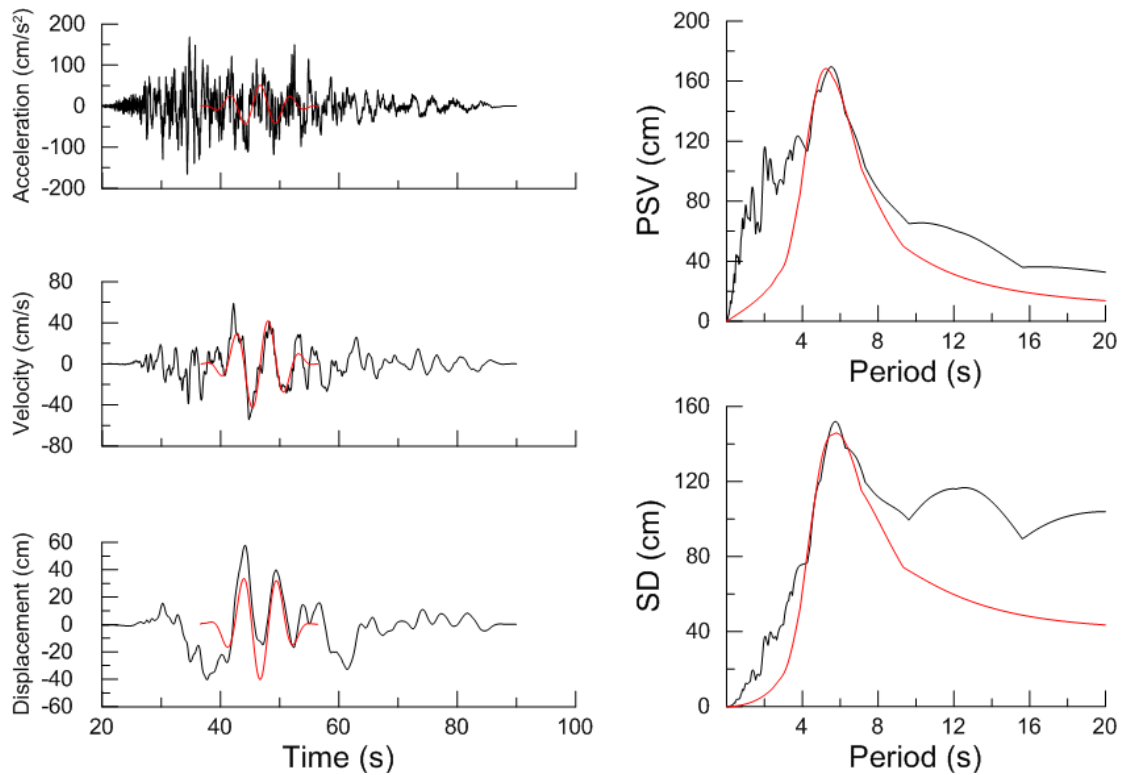
Χρονοϊστορίες και φάσματα της σεισμικής καταγραφής 2734L της βάσης NGA



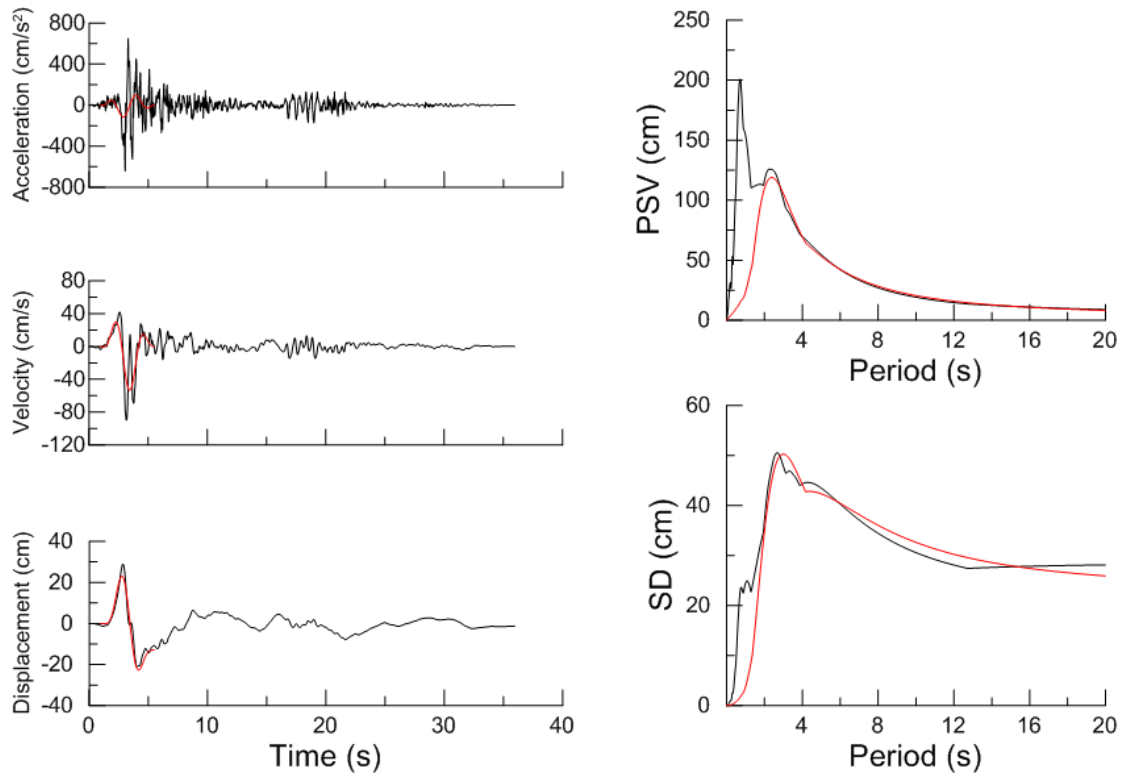
Χρονοϊστορίες και φάσματα της σεισμικής καταγραφής 838L της βάσης NGA



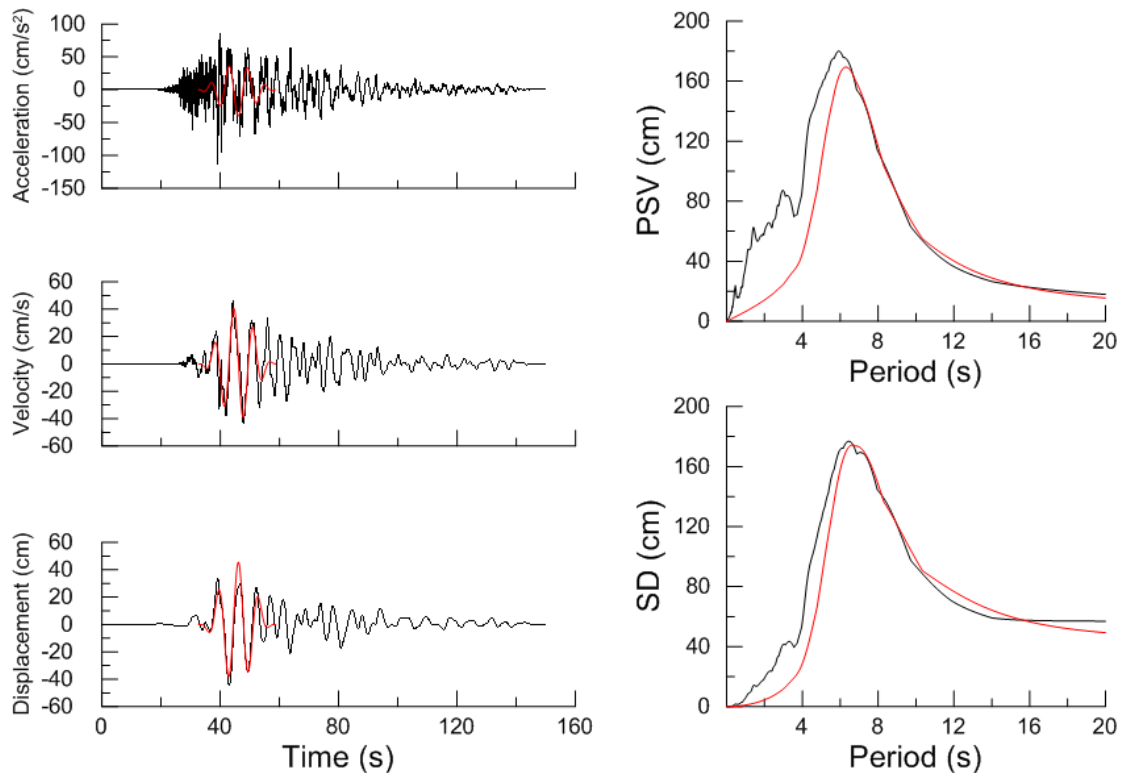
Χρονοϊστορίες και φάσματα της σεισμικής καταγραφής 806T της βάσης NGA



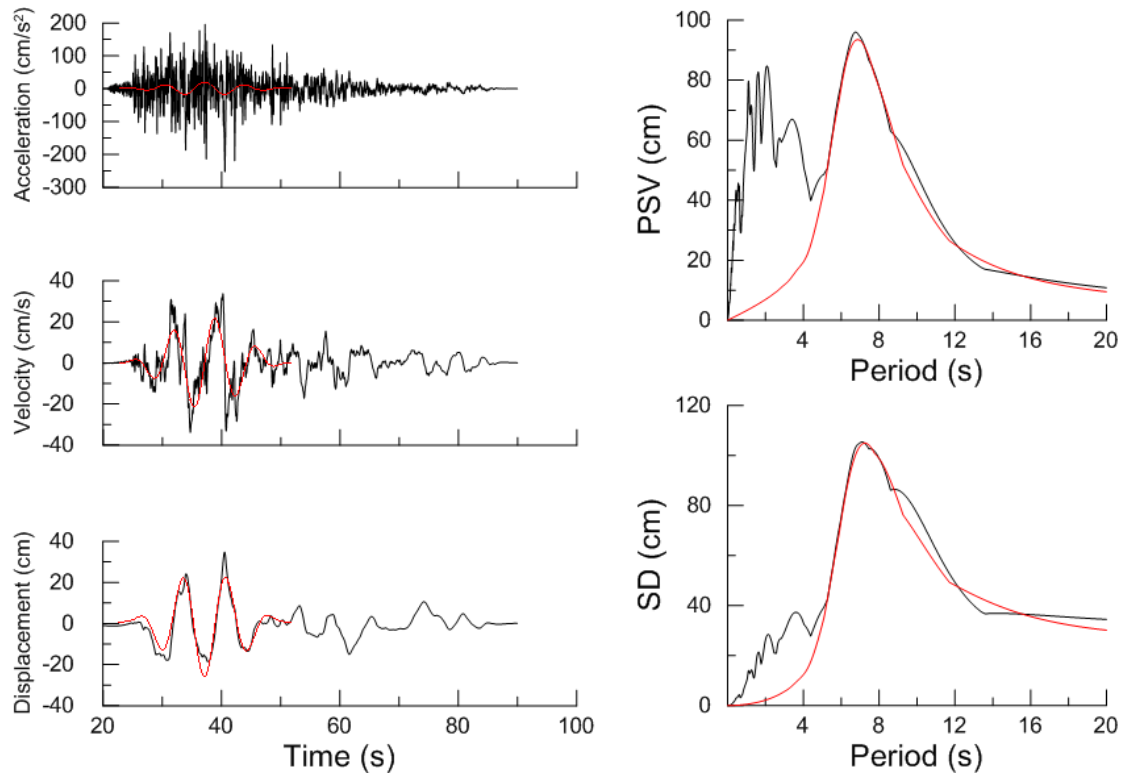
Χρονοϊστορίες και φάσματα της σεισμικής καταγραφής 1501L της βάσης NGA



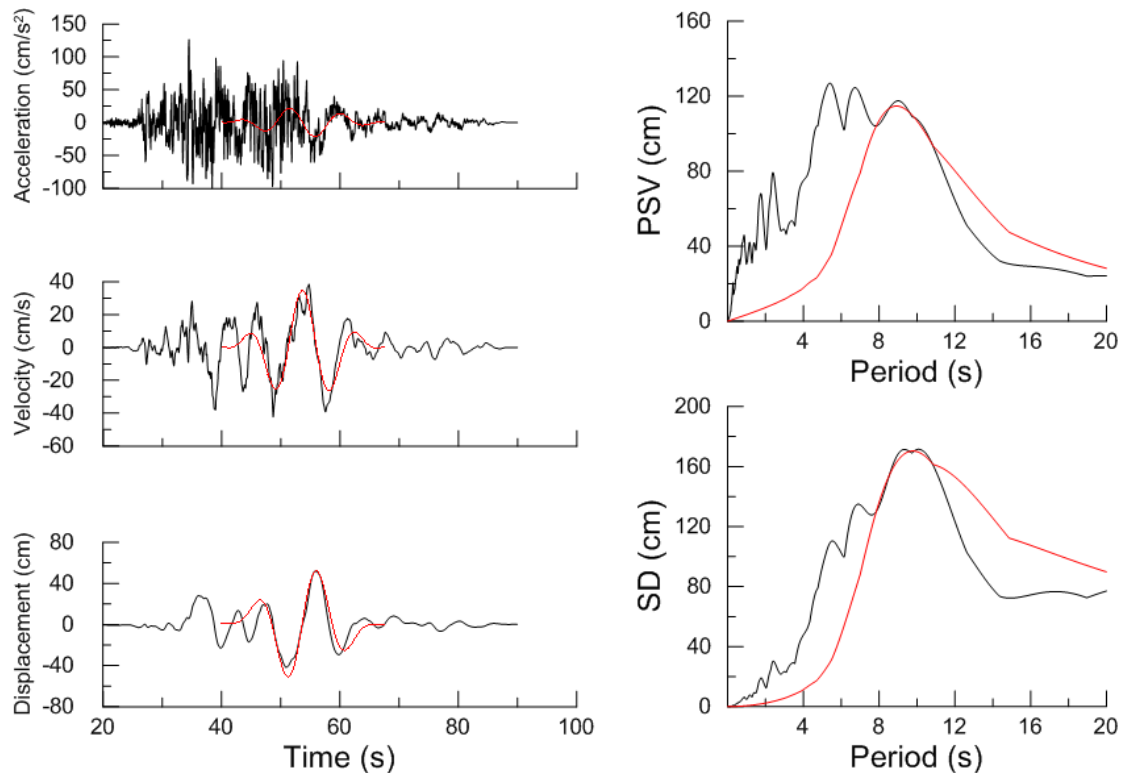
Χρονοϊστορίες και φάσματα της σεισμικής καταγραφής 828T της βάσης NGA



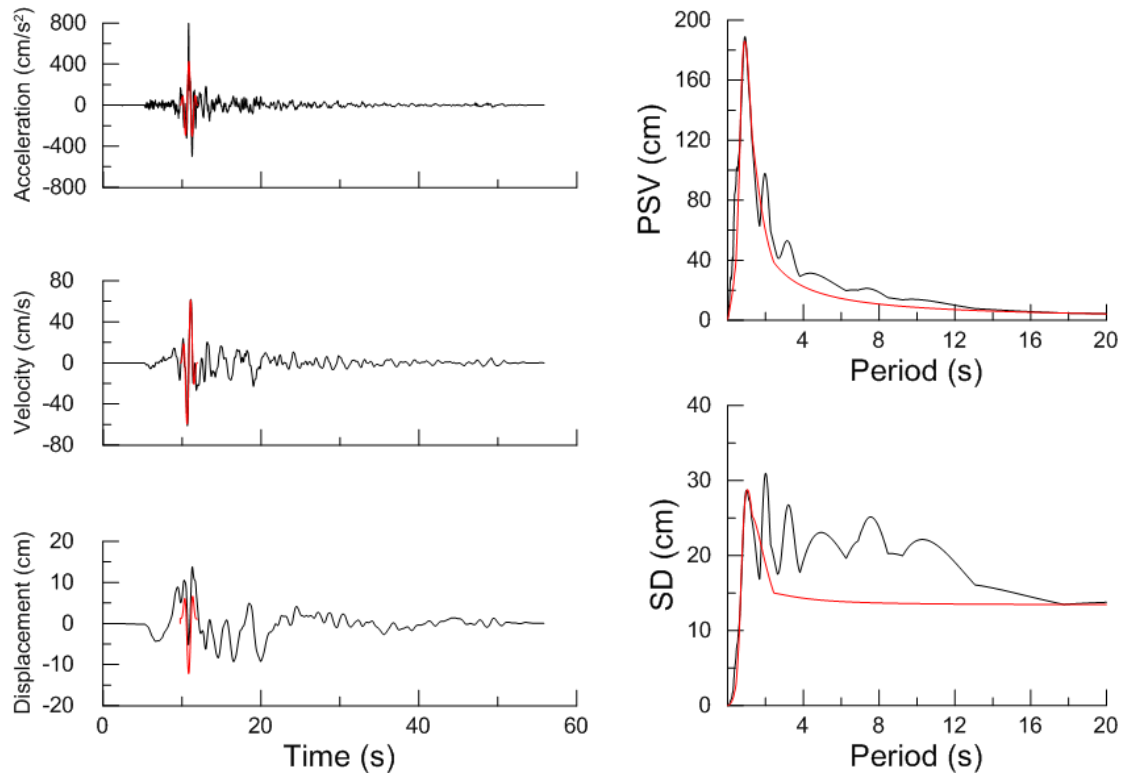
Χρονοϊστορίες και φάσματα της σεισμικής καταγραφής 1180T της βάσης NGA



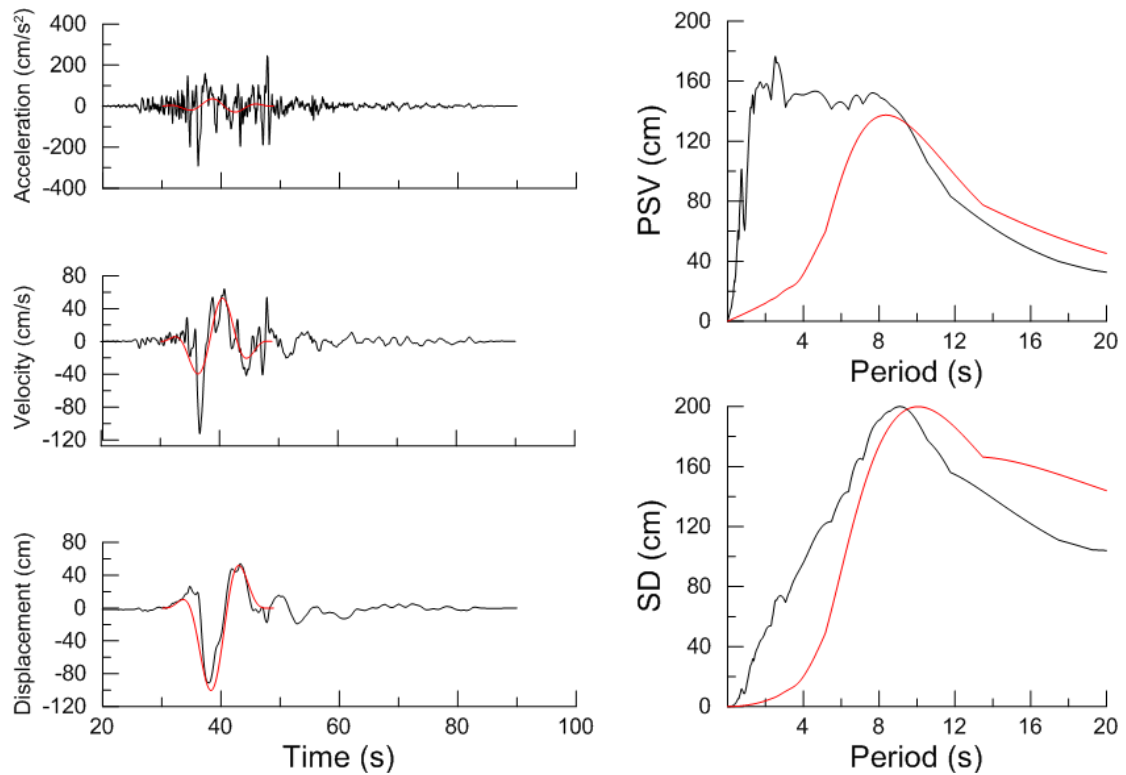
Χρονοϊστορίες και φάσματα της σεισμικής καταγραφής 1546T της βάσης NGA



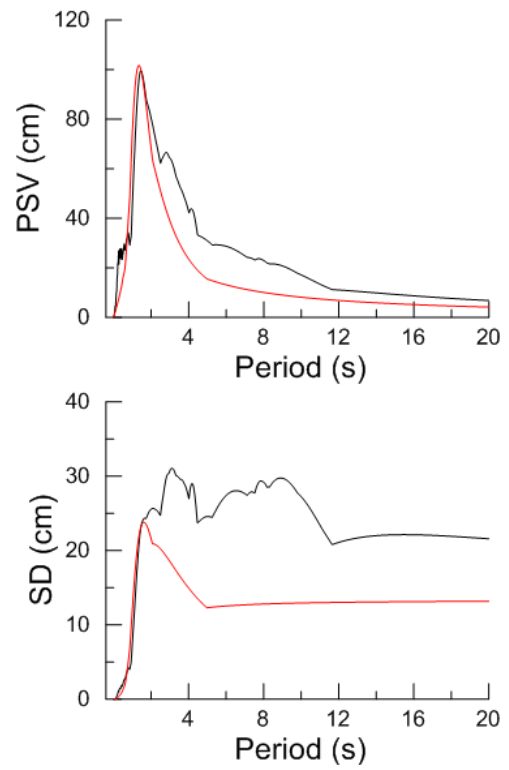
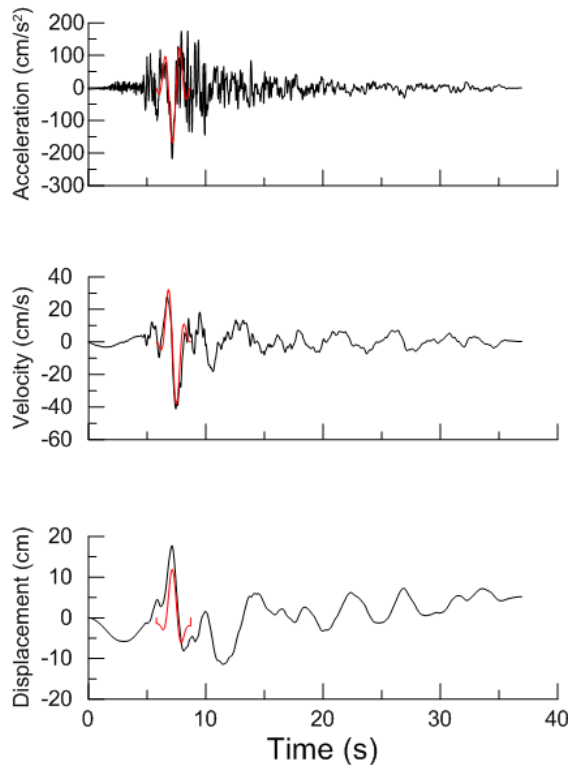
Χρονοϊστορίες και φάσματα της σεισμικής καταγραφής 1490T της βάσης NGA



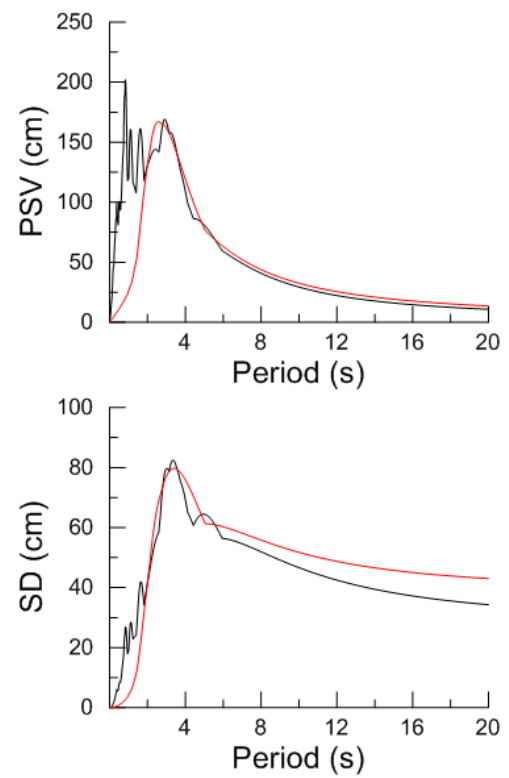
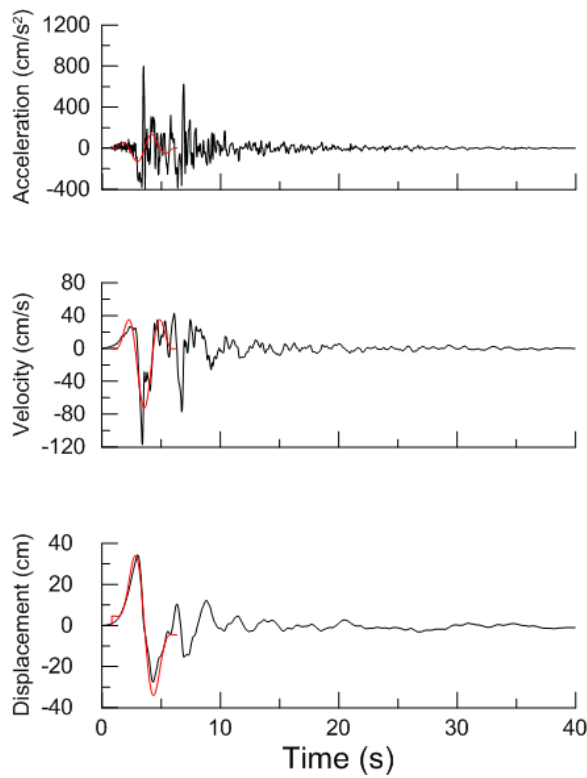
Χρονοϊστορίες και φάσματα της σεισμικής καταγραφής 1602T της βάσης NGA



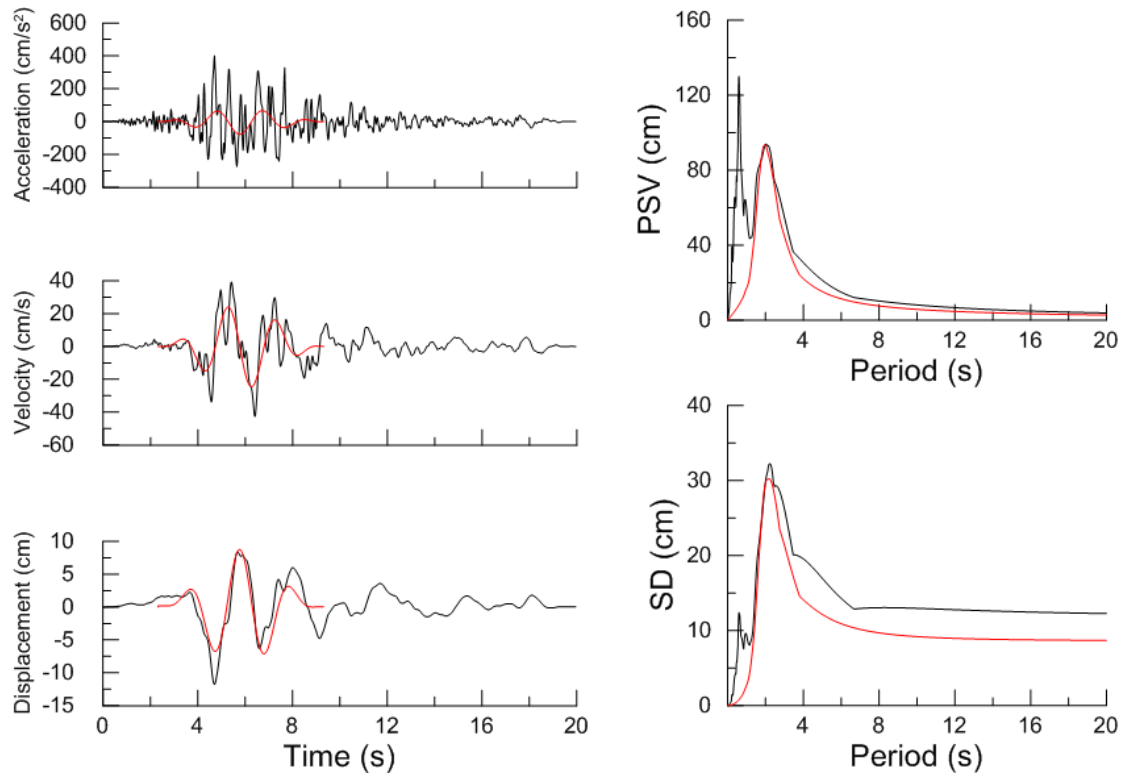
Χρονοϊστορίες και φάσματα της σεισμικής καταγραφής 1529L της βάσης NGA



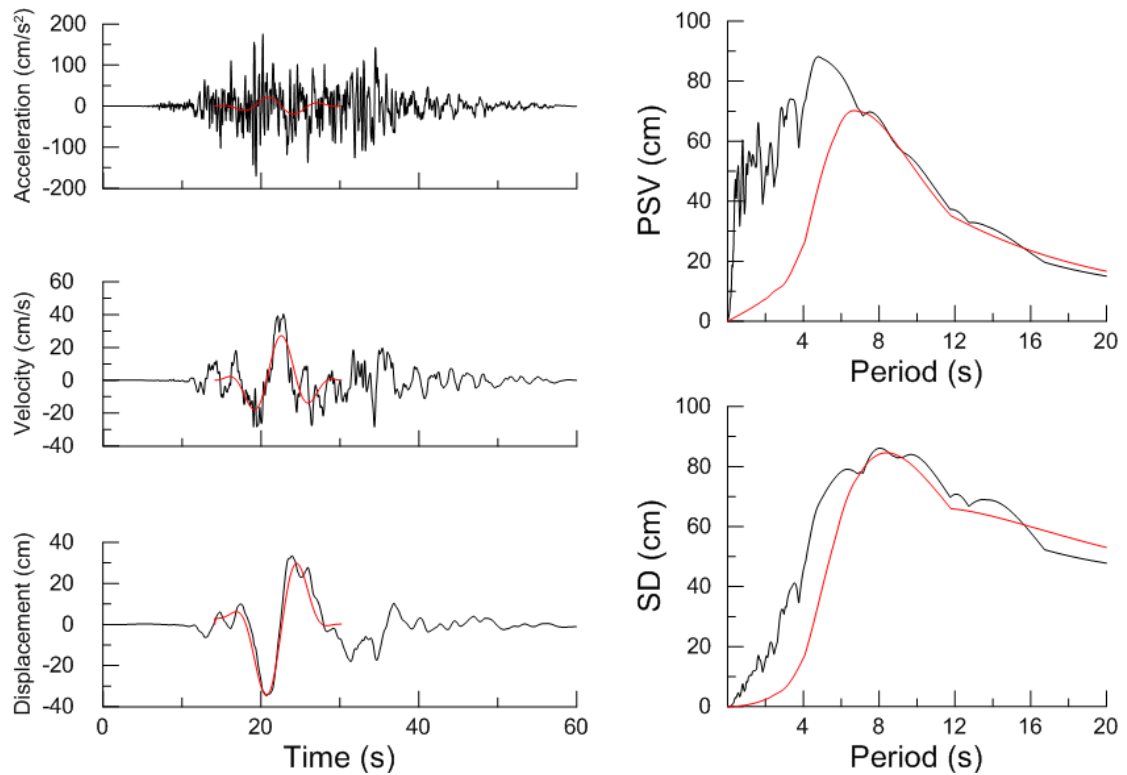
Χρονοϊστορίες και φάσματα της σεισμικής καταγραφής 173T της βάσης NGA



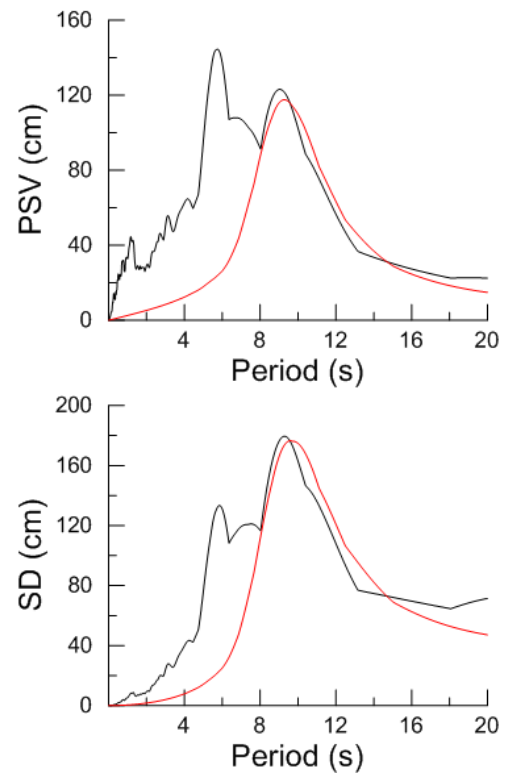
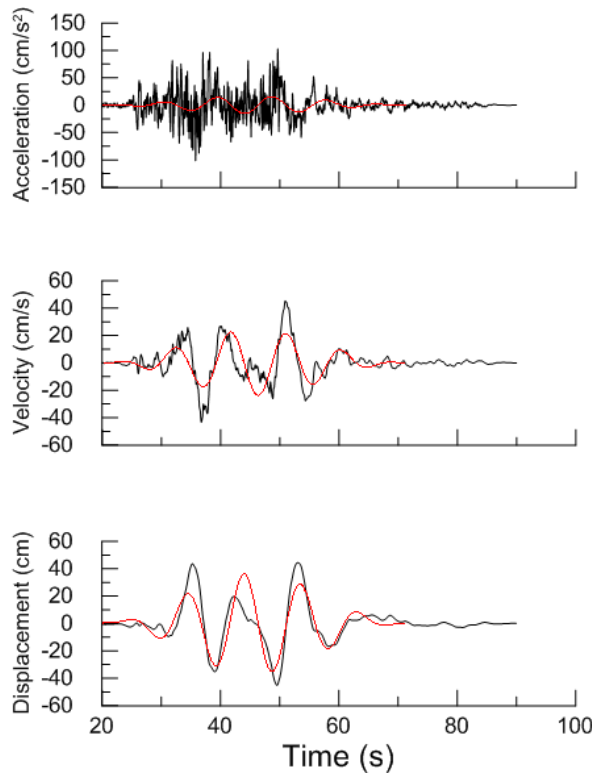
Χρονοϊστορίες και φάσματα της σεισμικής καταγραφής 1085L της βάσης NGA



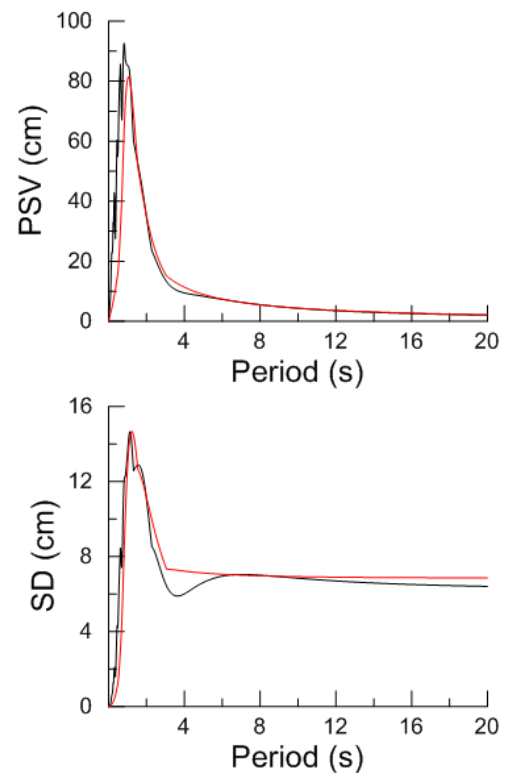
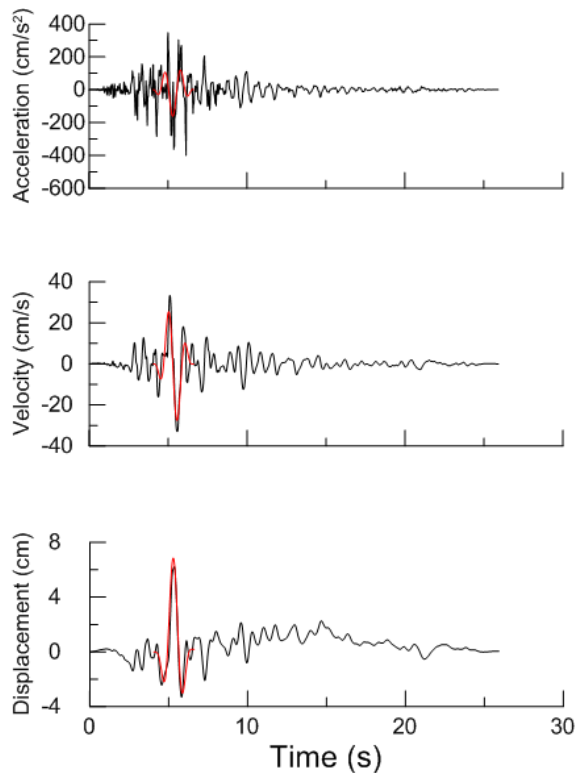
Χρονοϊστορίες και φάσματα της σεισμικής καταγραφής 960L της βάσης NGA



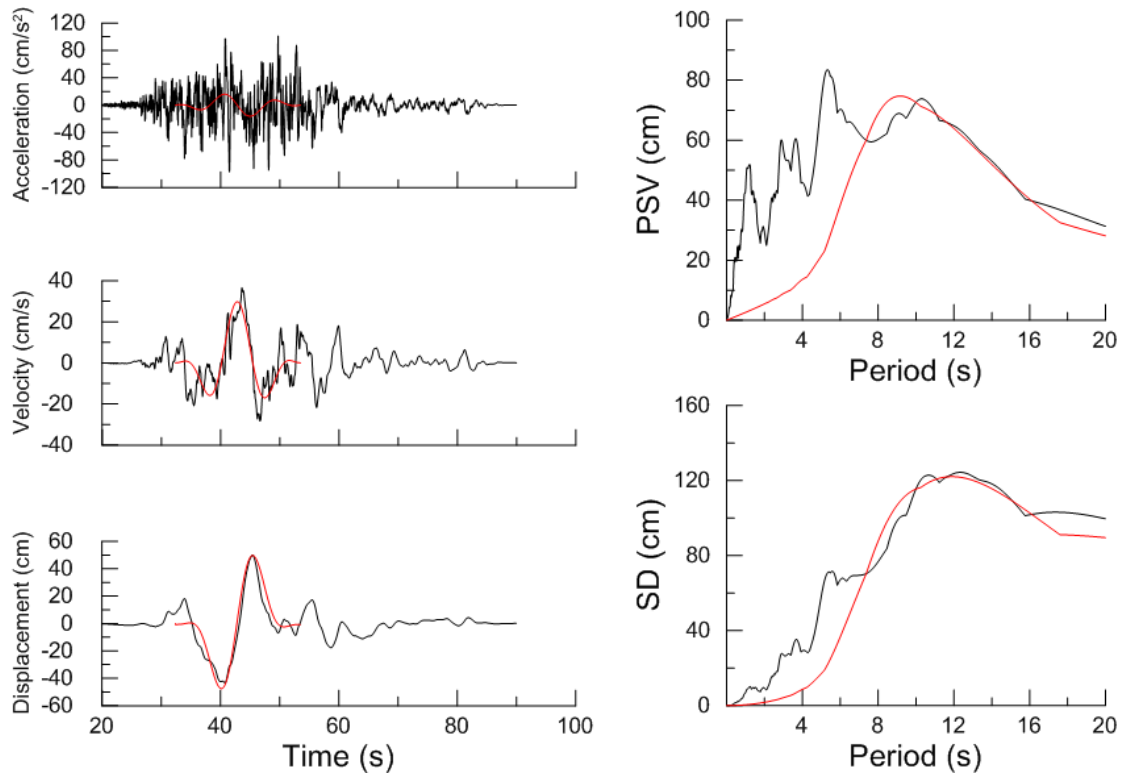
Χρονοϊστορίες και φάσματα της σεισμικής καταγραφής 1462L της βάσης NGA



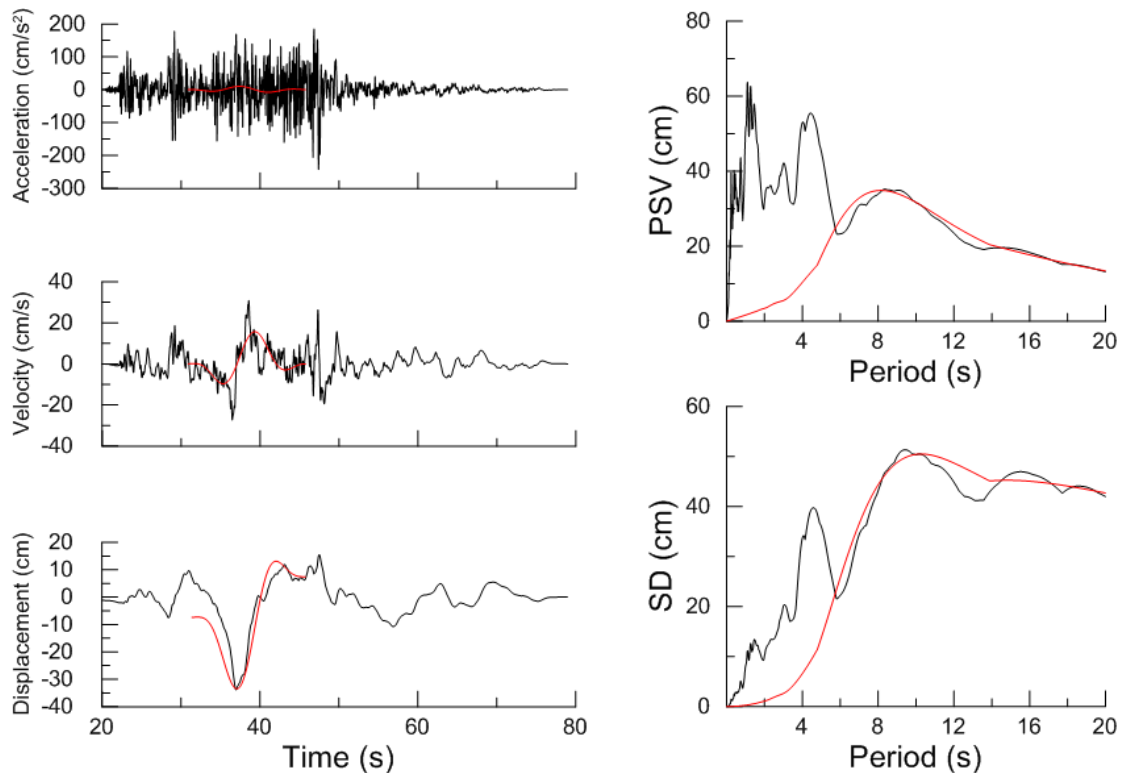
Χρονοϊστορίες και φάσματα της σεισμικής καταγραφής 1499T της βάσης NGA



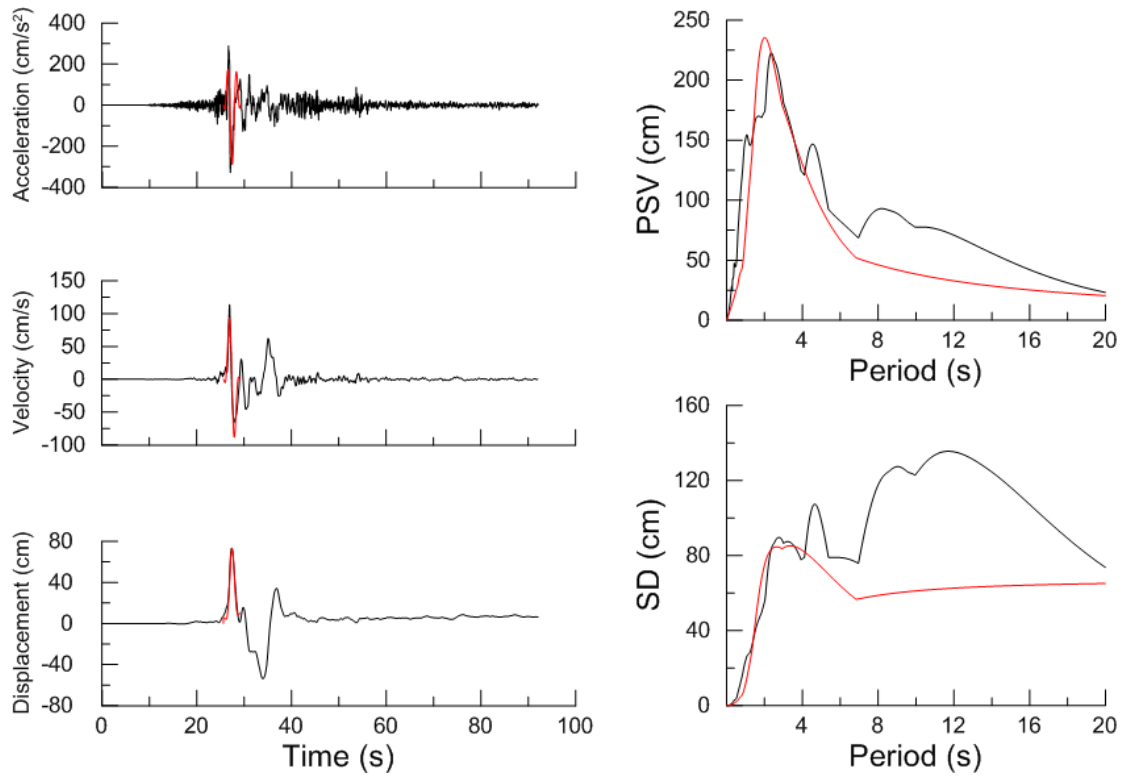
Χρονοϊστορίες και φάσματα της σεισμικής καταγραφής 250T της βάσης NGA



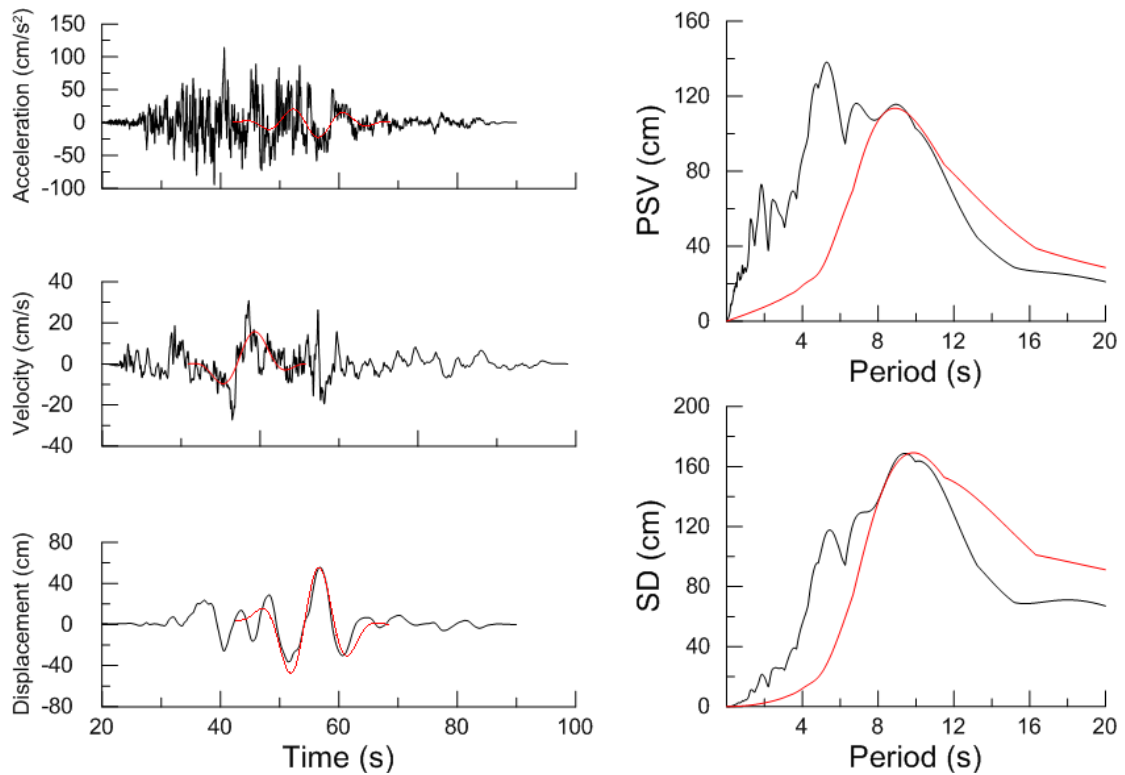
Χρονοϊστορίες και φάσματα της σεισμικής καταγραφής 1531L της βάσης NGA



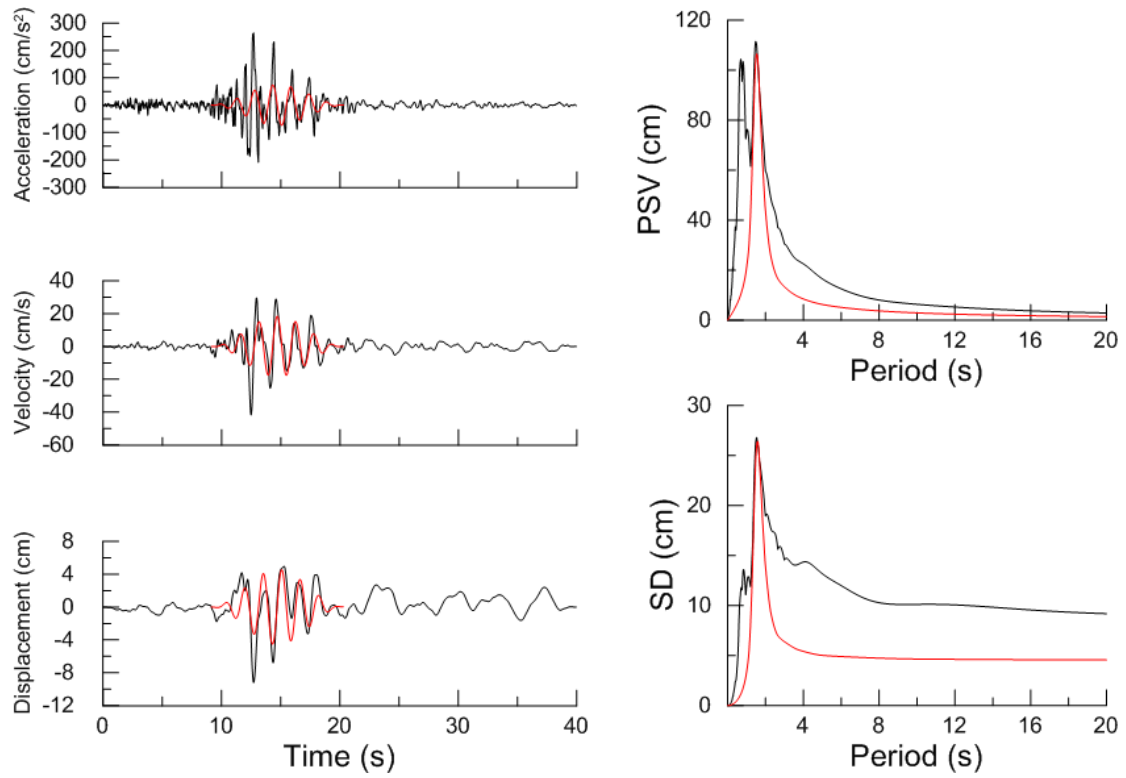
Χρονοϊστορίες και φάσματα της σεισμικής καταγραφής 1527L της βάσης NGA



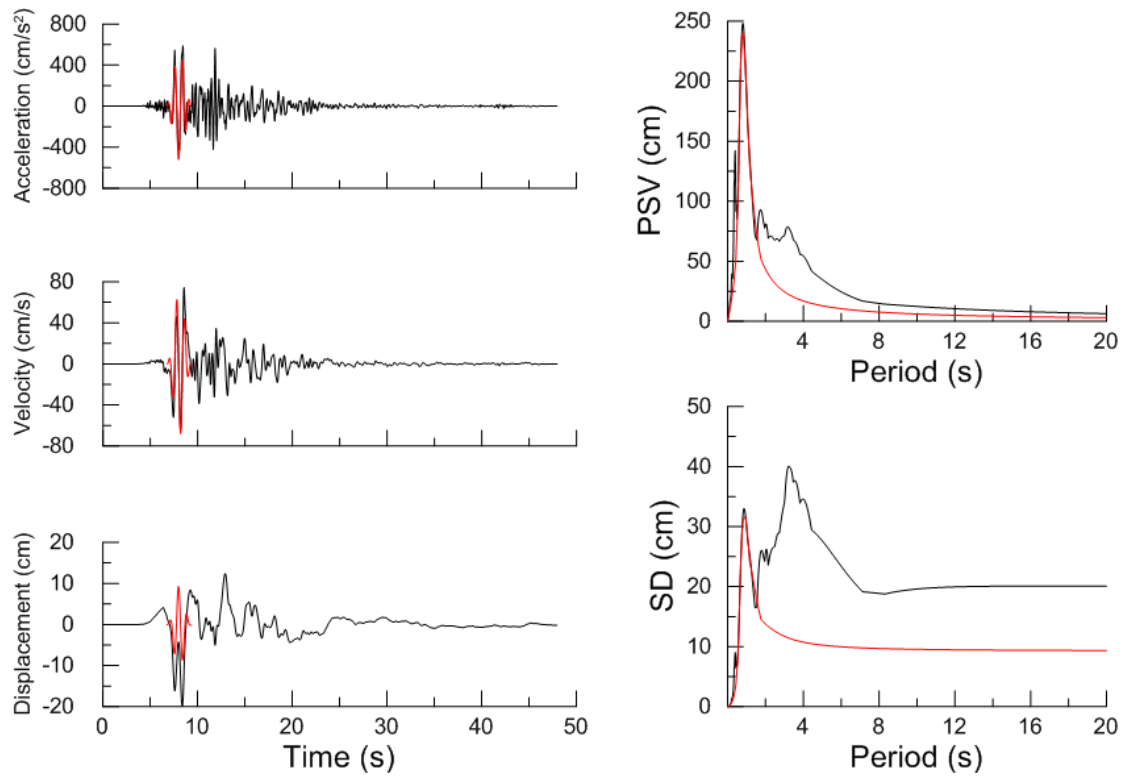
Χρονοϊστορίες και φάσματα της σεισμικής καταγραφής 2114L της βάσης NGA



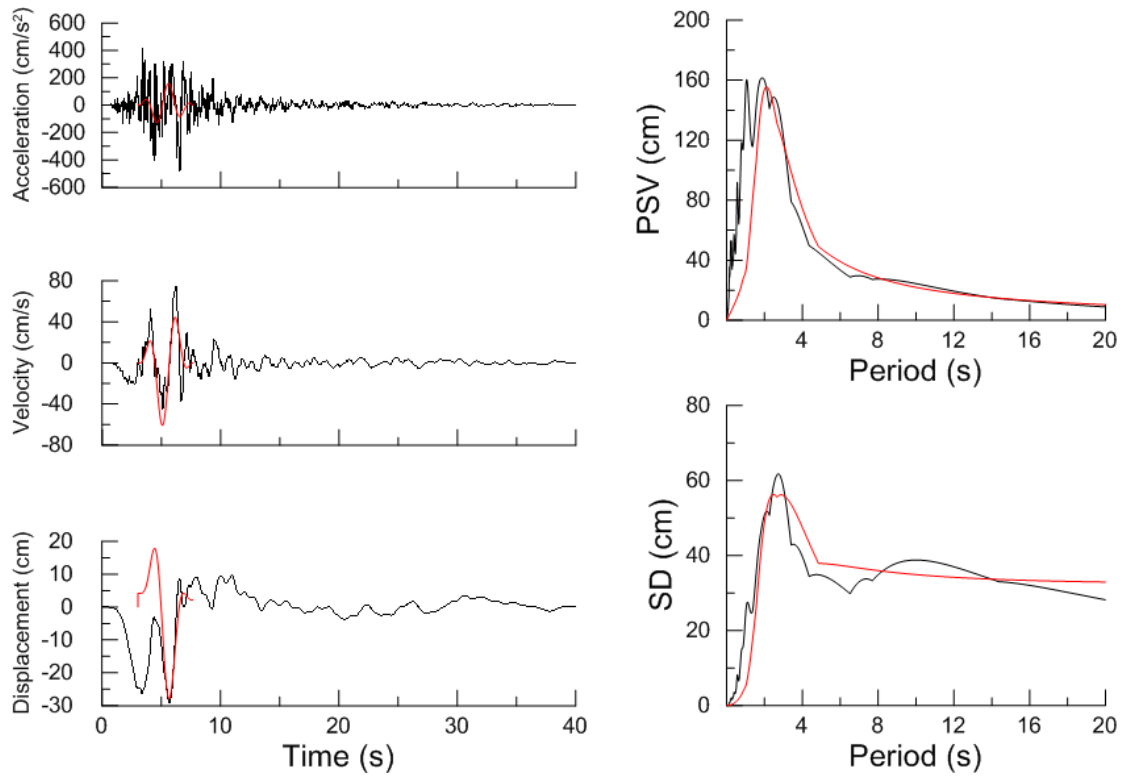
Χρονοϊστορίες και φάσματα της σεισμικής καταγραφής 1527T της βάσης NGA



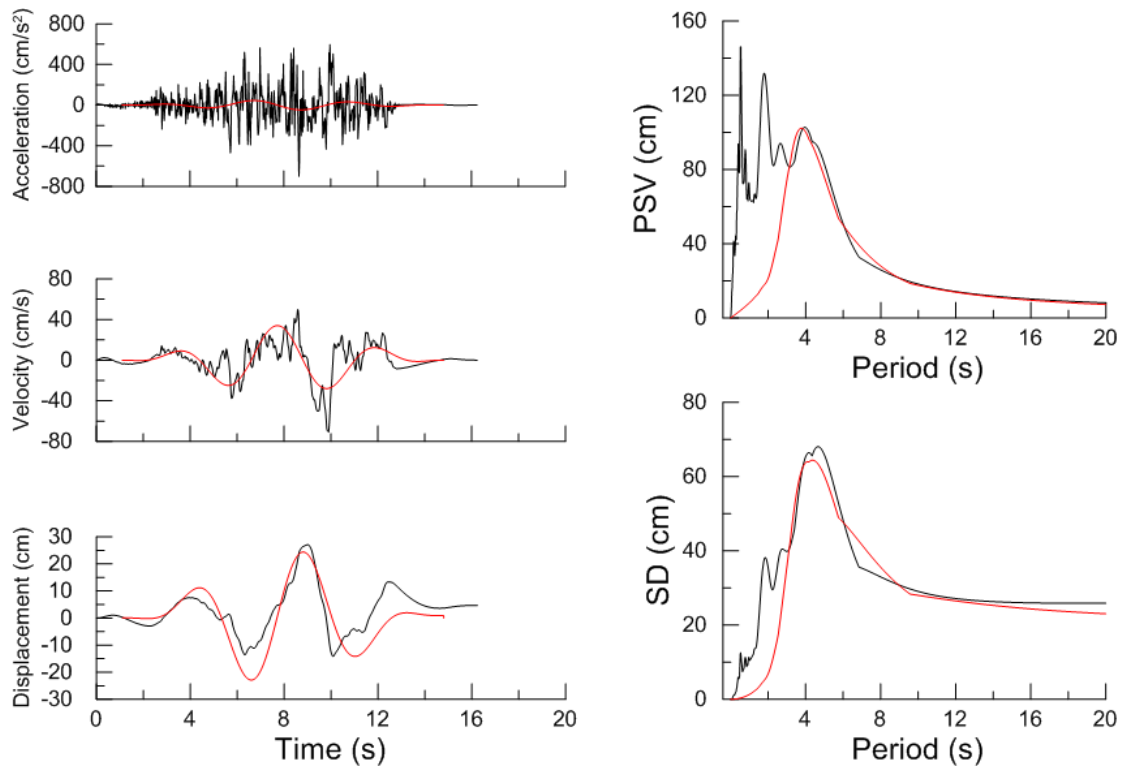
Χρονοϊστορίες και φάσματα της σεισμικής καταγραφής 783T της βάσης NGA



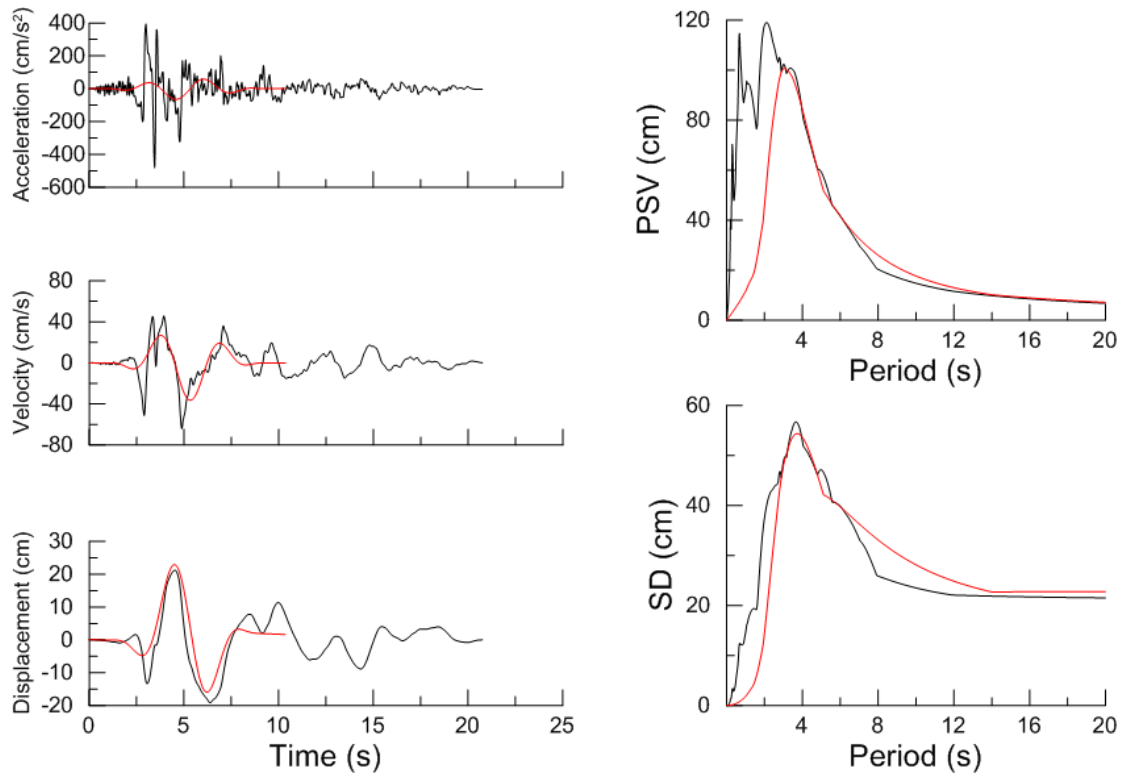
Χρονοϊστορίες και φάσματα της σεισμικής καταγραφής 1106T της βάσης NGA



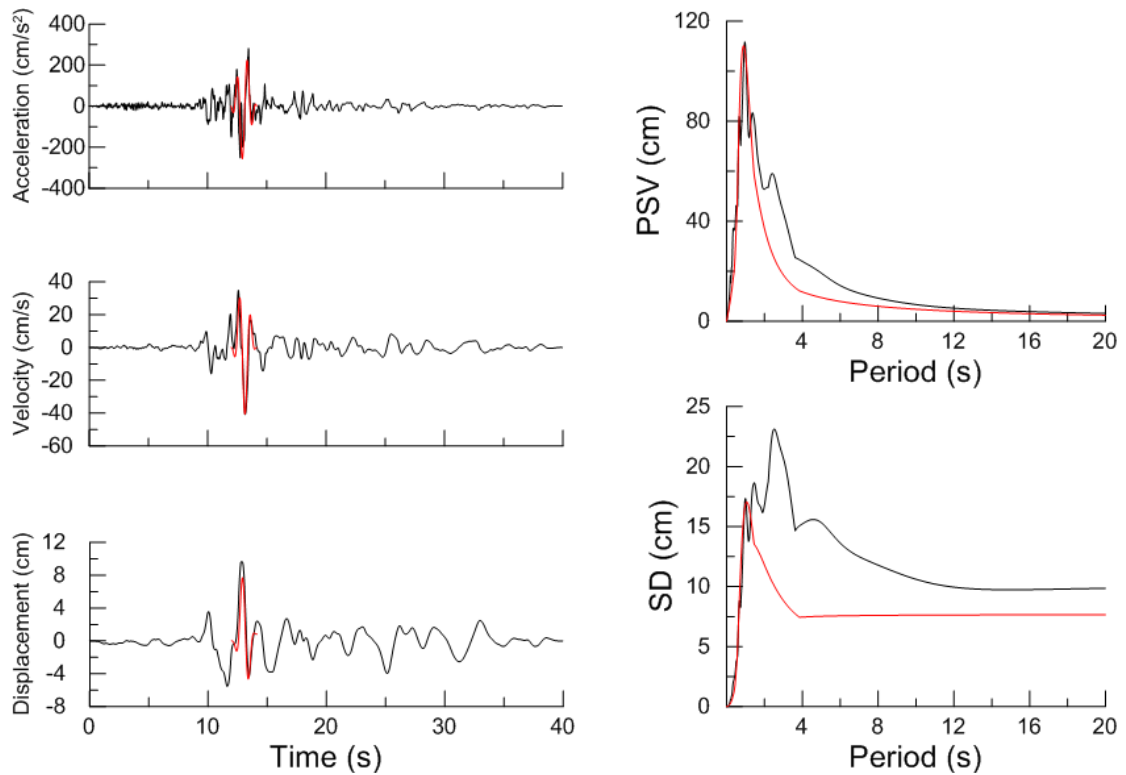
Χρονοϊστορίες και φάσματα της σεισμικής καταγραφής 1085T της βάσης NGA



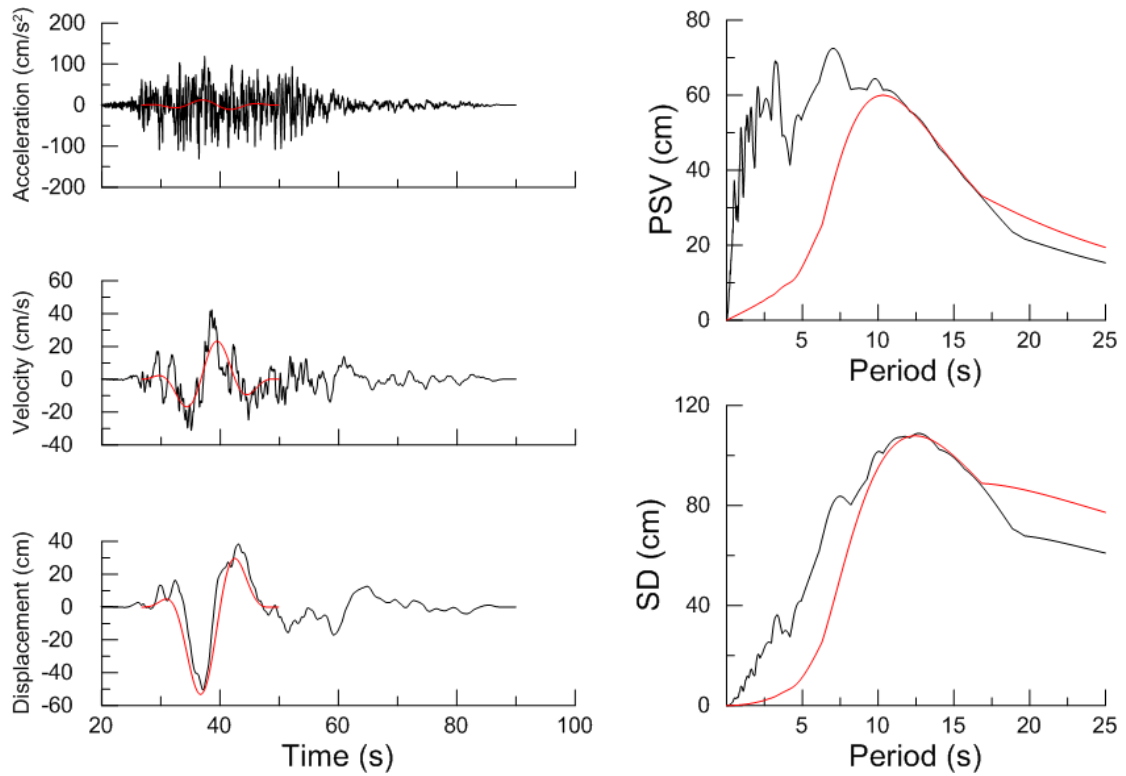
Χρονοϊστορίες και φάσματα της σεισμικής καταγραφής 126T της βάσης NGA



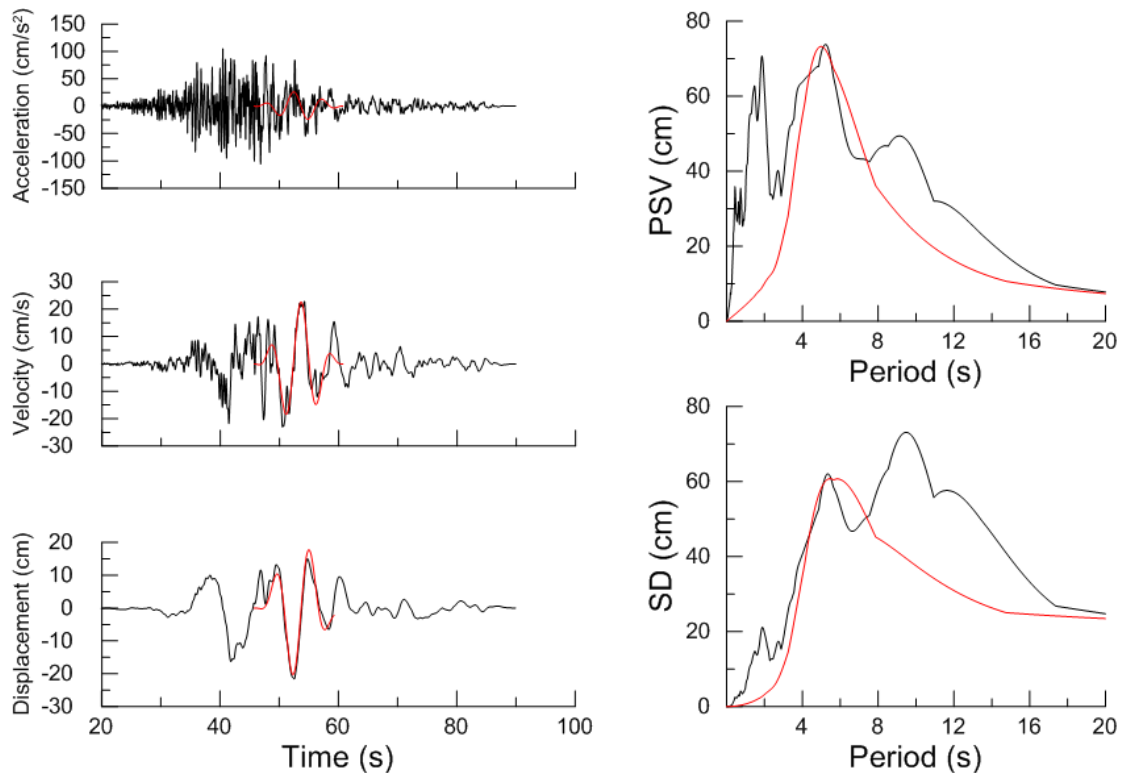
Χρονοϊστορίες και φάσματα της σεισμικής καταγραφής 821T της βάσης NGA



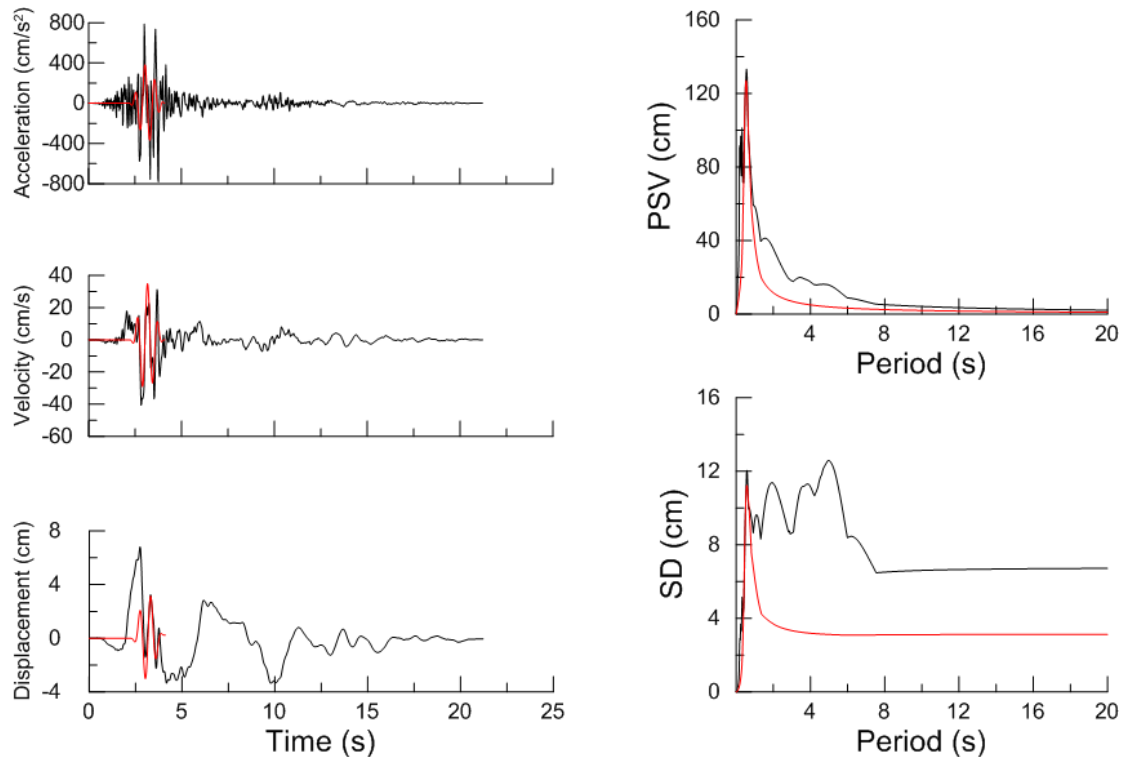
Χρονοϊστορίες και φάσματα της σεισμικής καταγραφής 783L της βάσης NGA



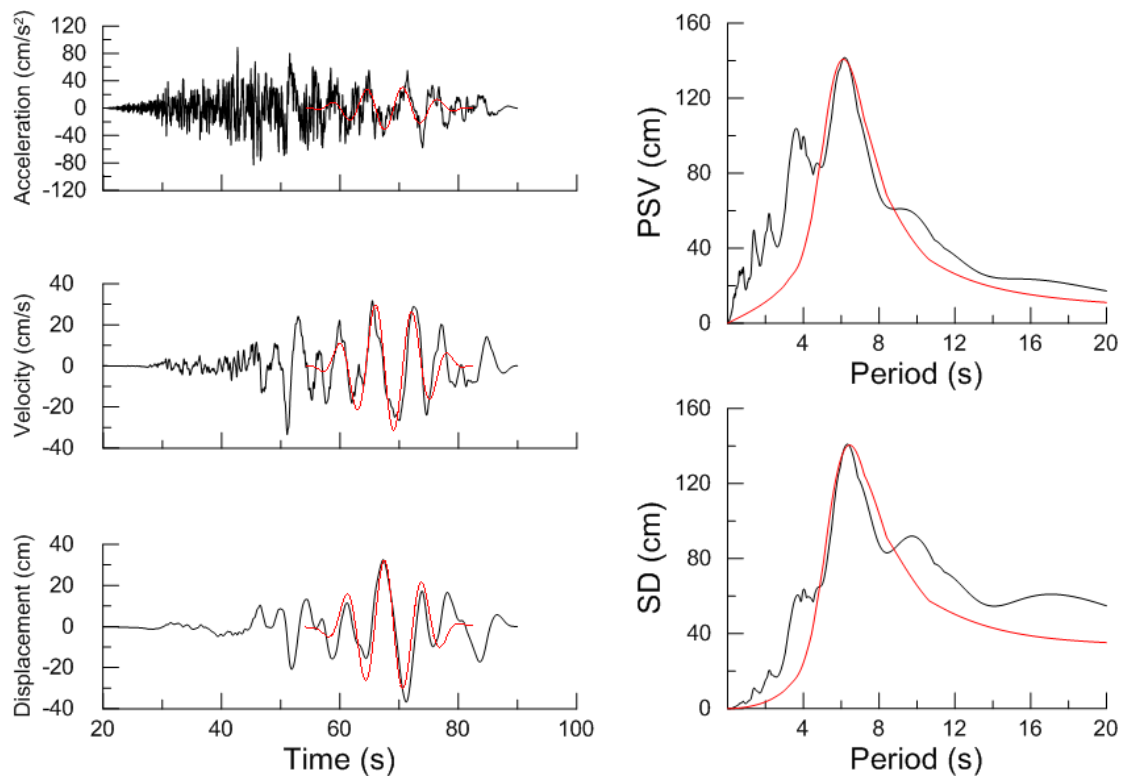
Χρονοϊστορίες και φάσματα της σεισμικής καταγραφής 1496L της βάσης NGA



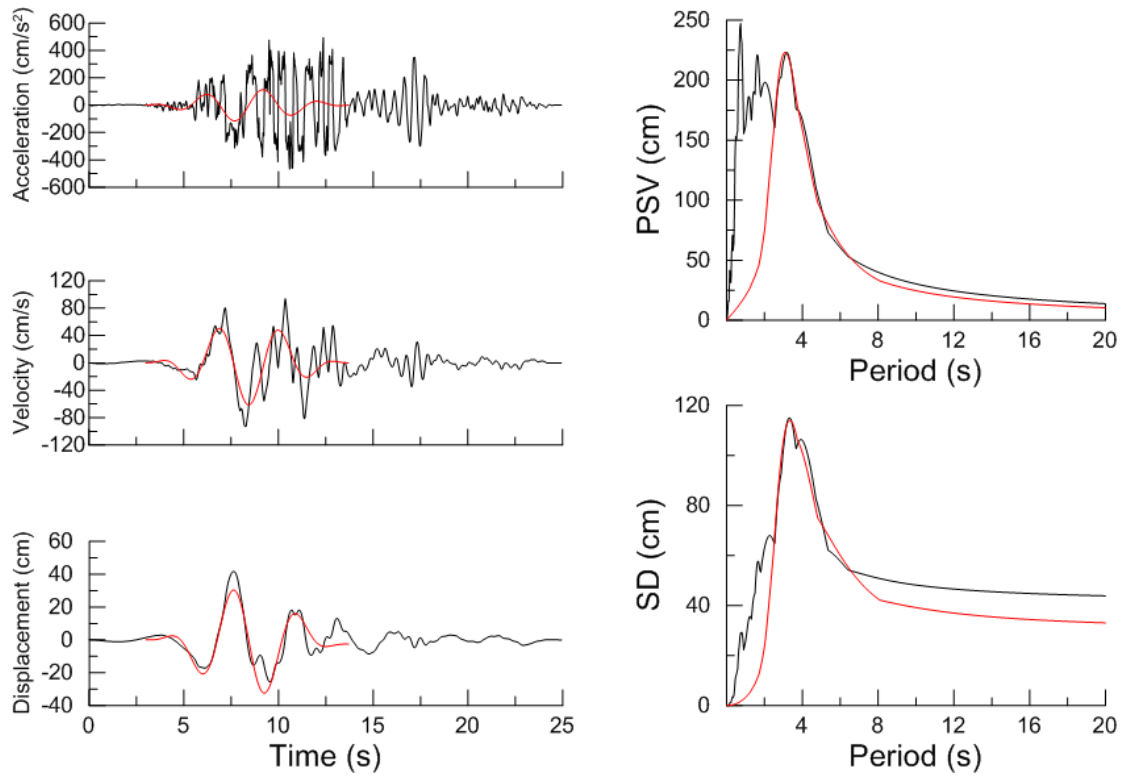
Χρονοϊστορίες και φάσματα της σεισμικής καταγραφής 1479T της βάσης NGA



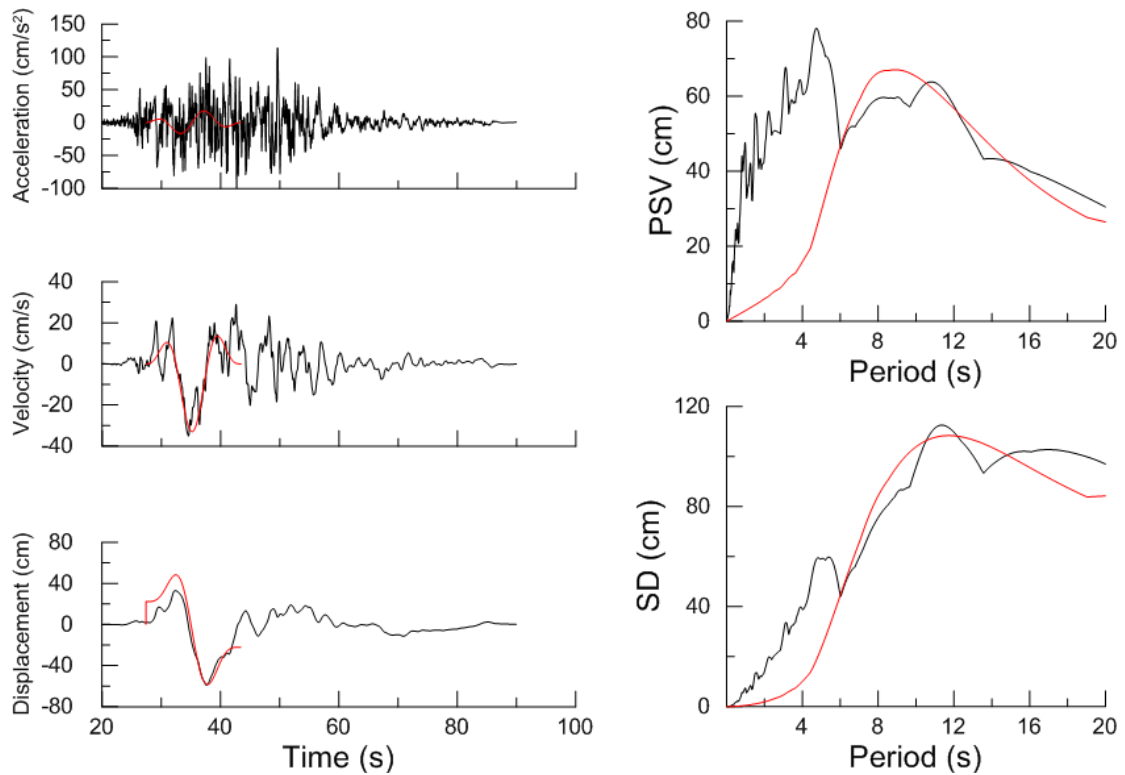
Χρονοϊστορίες και φάσματα της σεισμικής καταγραφής 407L της βάσης NGA



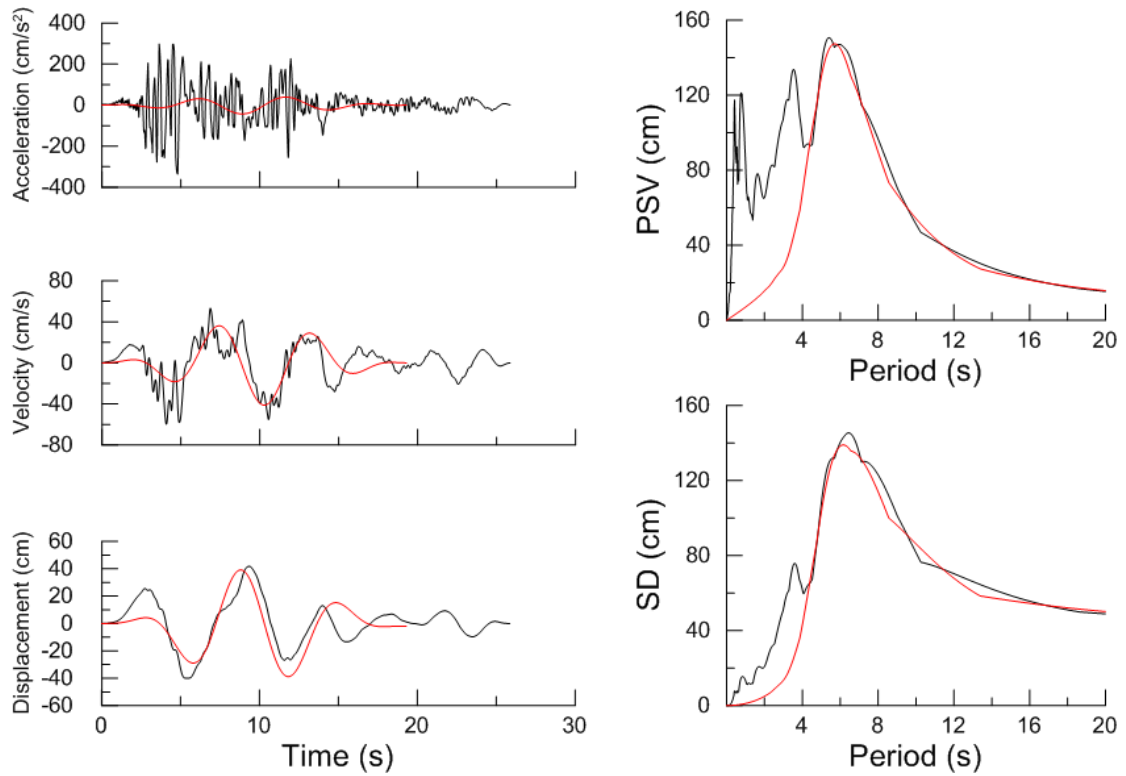
Χρονοϊστορίες και φάσματα της σεισμικής καταγραφής 1543T της βάσης NGA



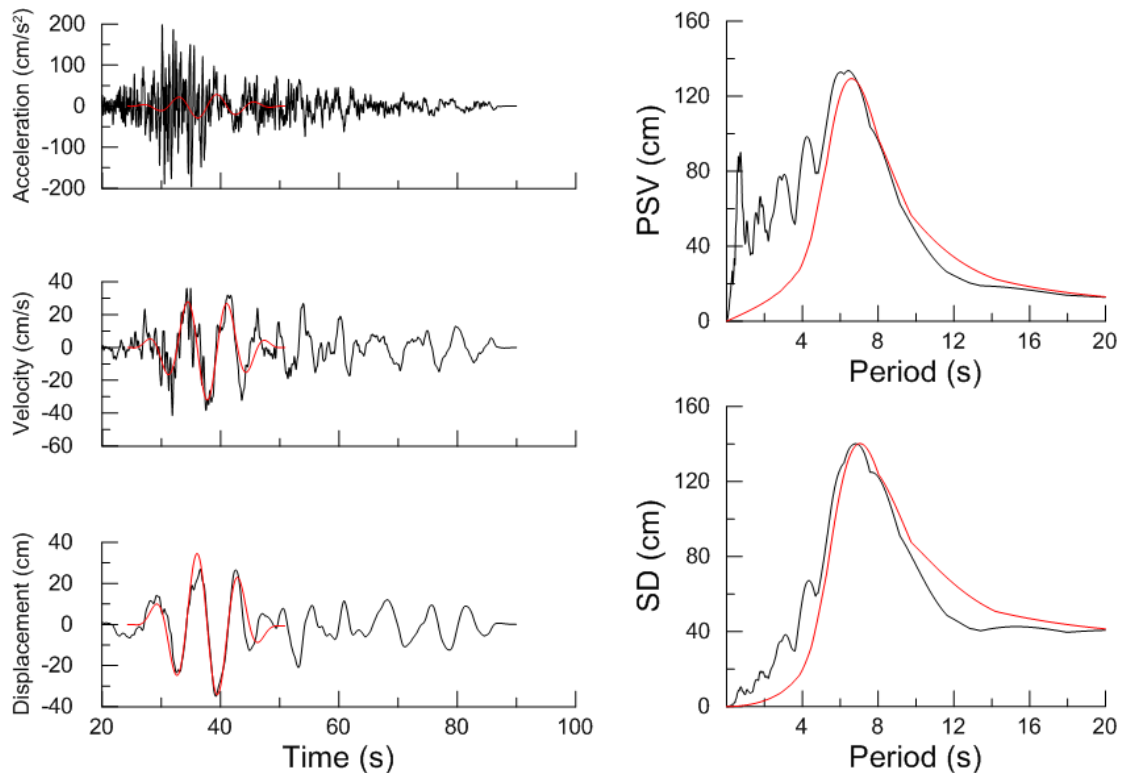
Χρονοϊστορίες και φάσματα της σεισμικής καταγραφής 779L της βάσης NGA



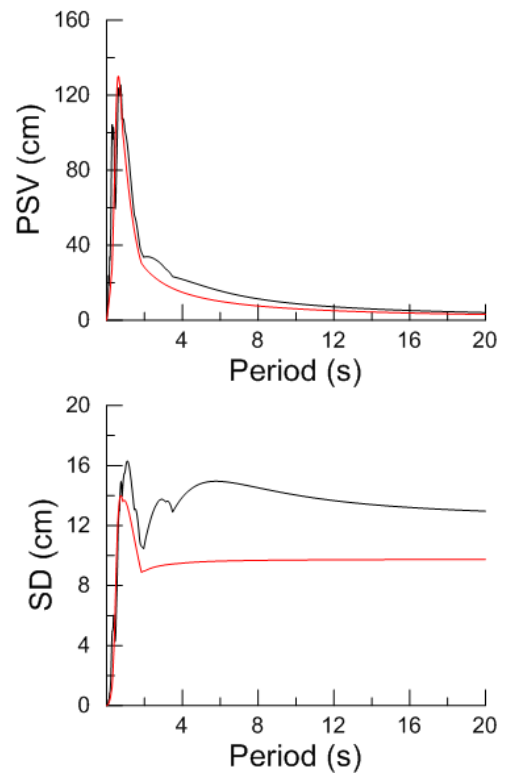
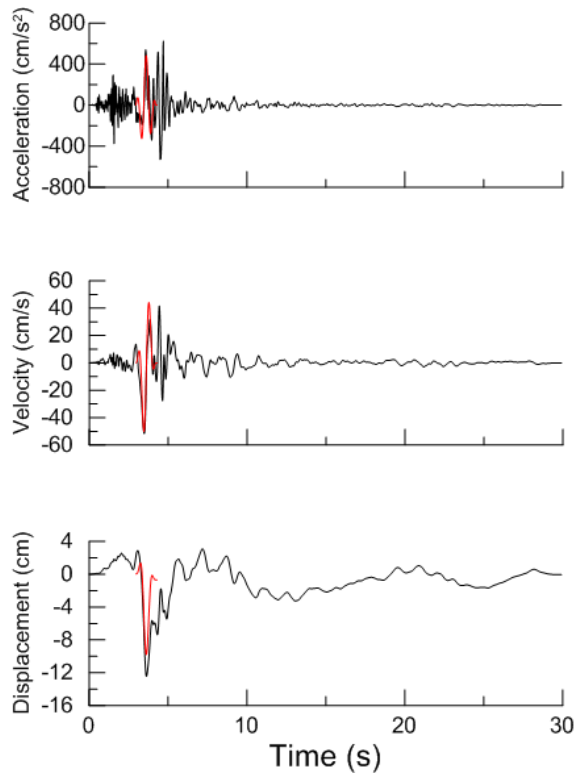
Χρονοϊστορίες και φάσματα της σεισμικής καταγραφής 1497L της βάσης NGA



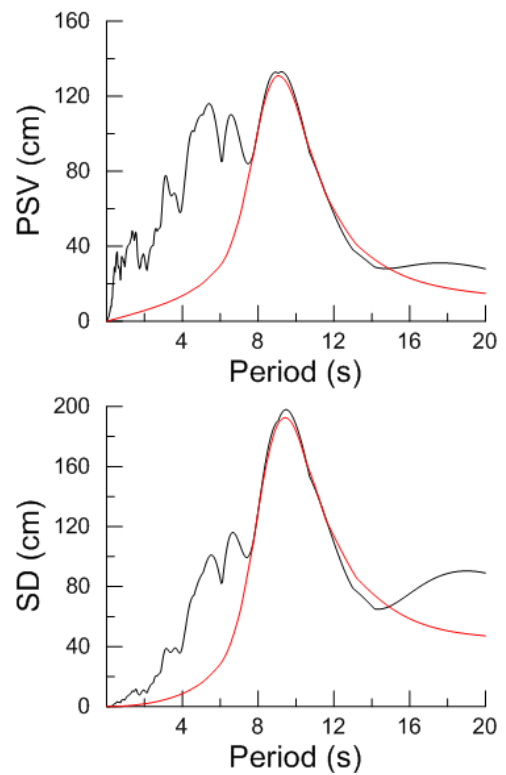
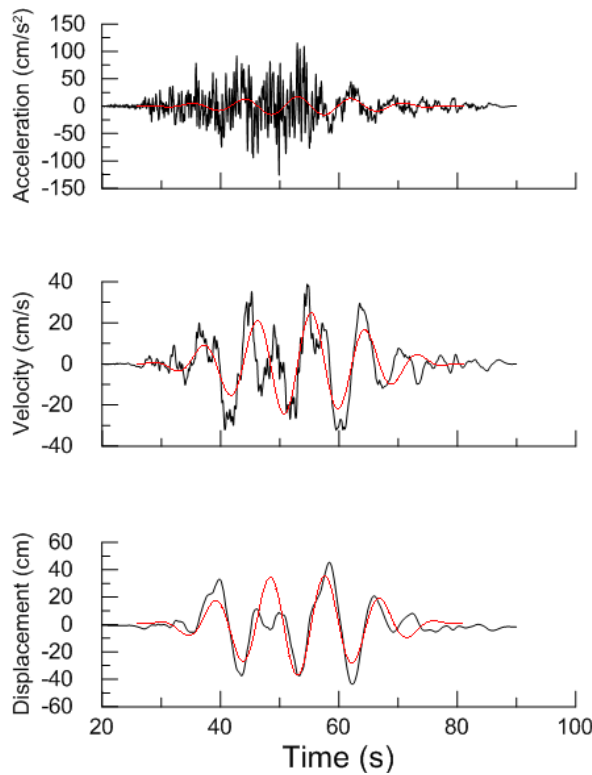
Χρονοϊστορίες και φάσματα της σεισμικής καταγραφής 1605L της βάσης NGA



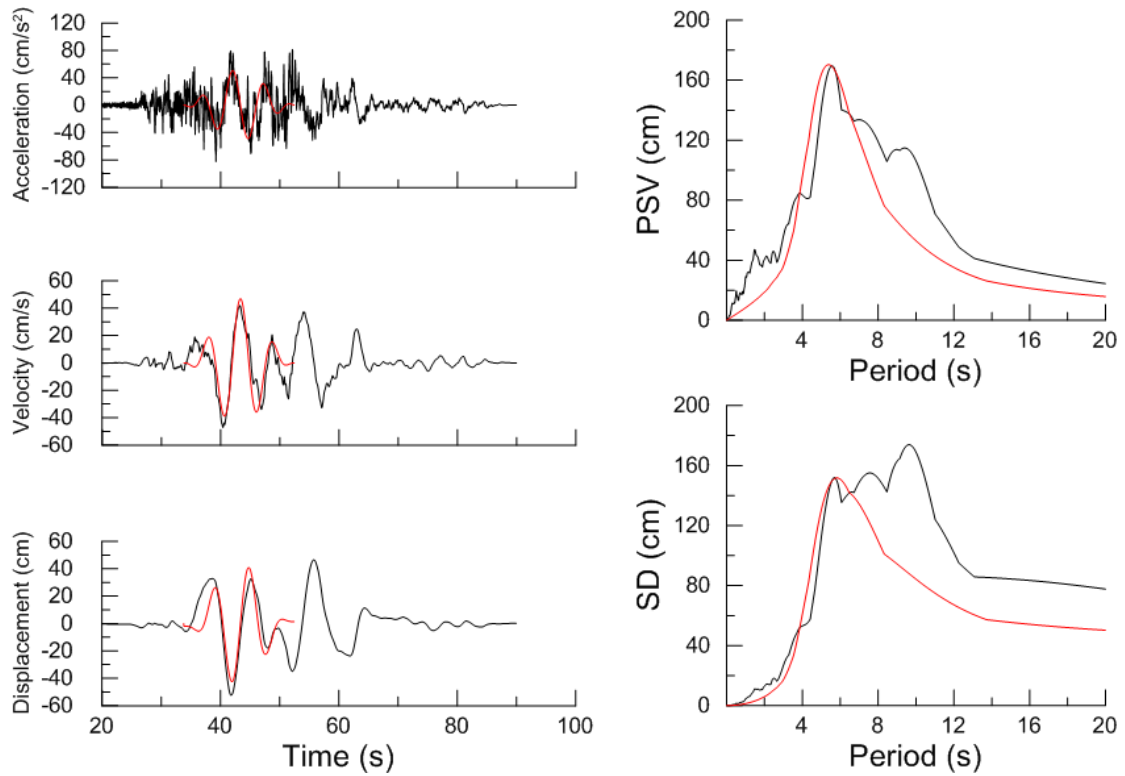
Χρονοϊστορίες και φάσματα της σεισμικής καταγραφής 1203T της βάσης NGA



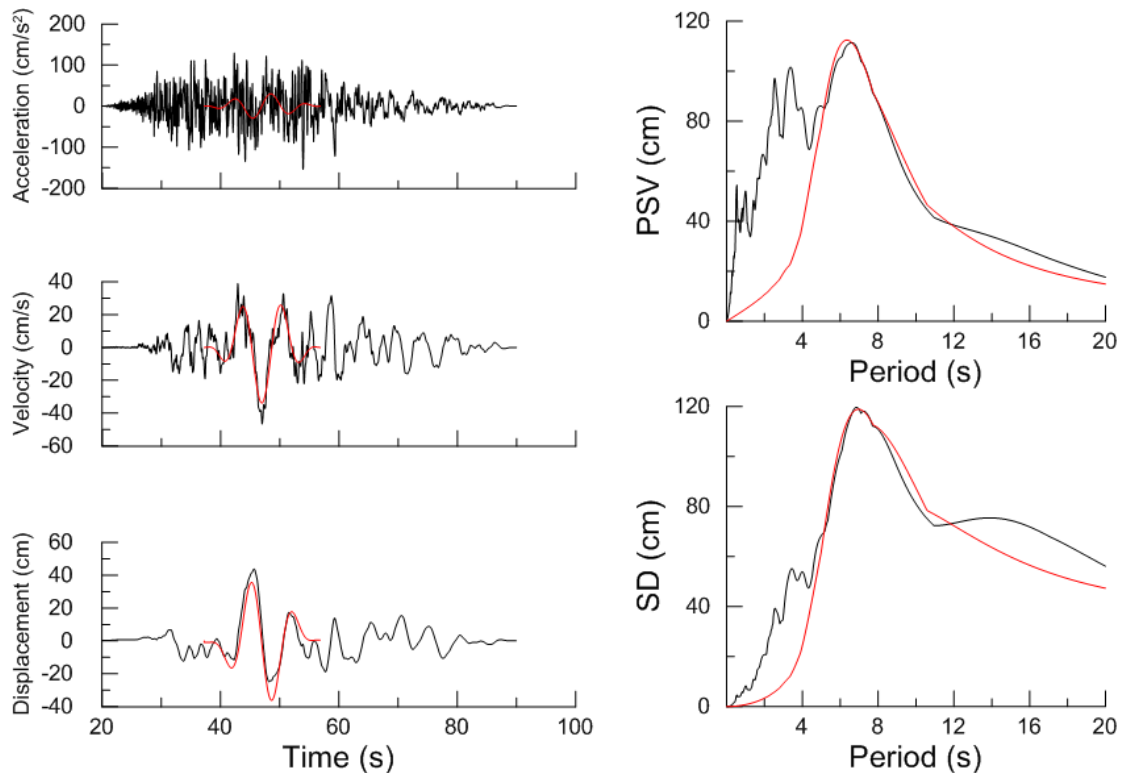
Χρονοϊστορίες και φάσματα της σεισμικής καταγραφής 451L της βάσης NGA



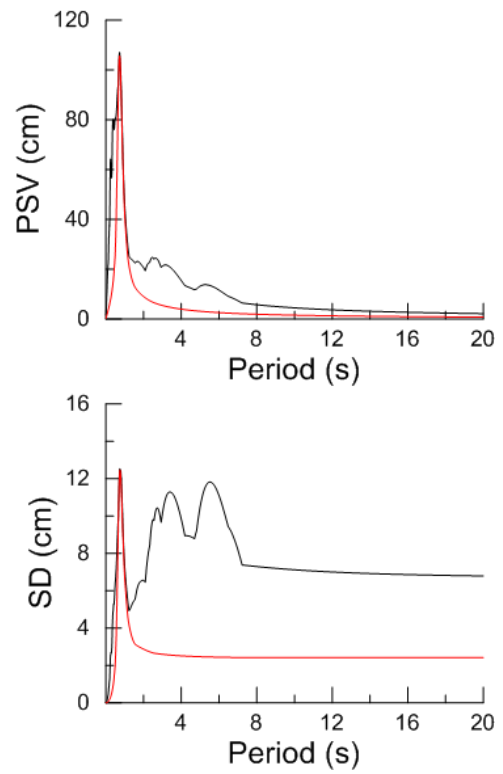
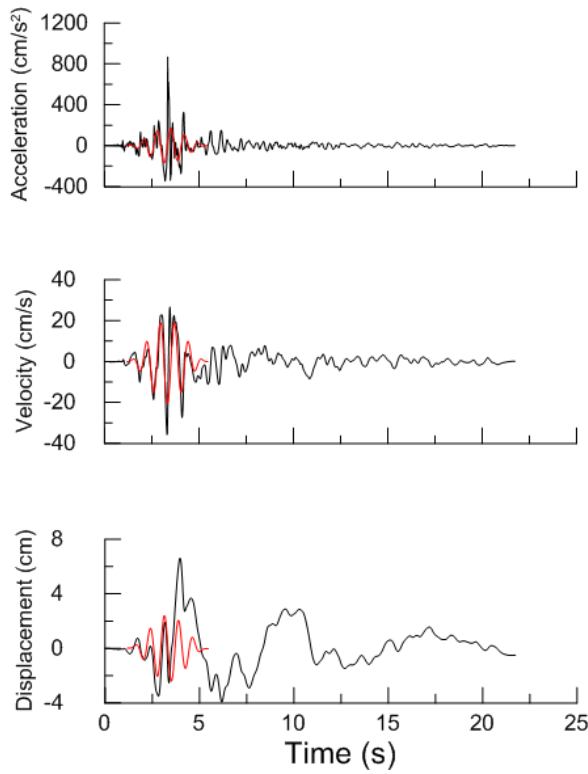
Χρονοϊστορίες και φάσματα της σεισμικής καταγραφής 1532T της βάσης NGA



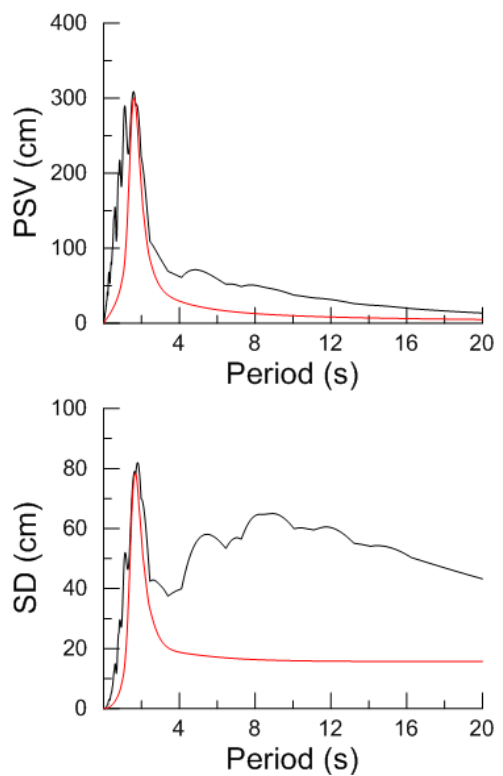
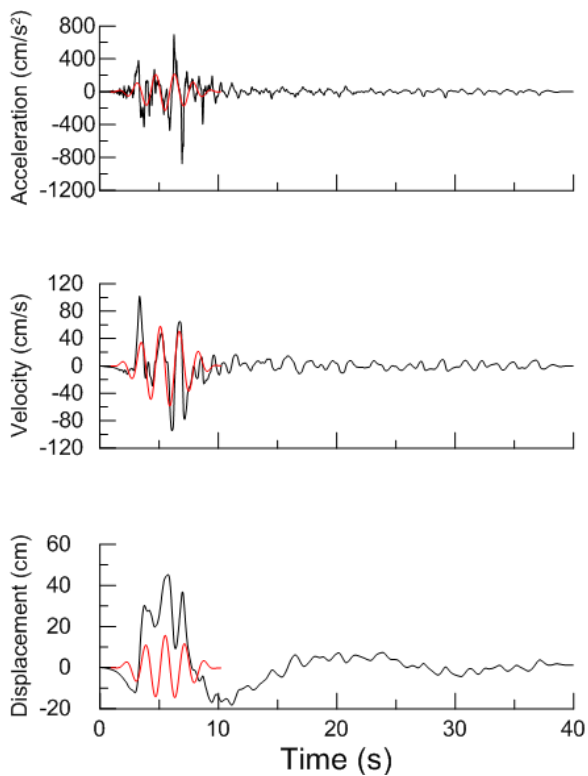
Χρονοϊστορίες και φάσματα της σεισμικής καταγραφής 1531T της βάσης NGA



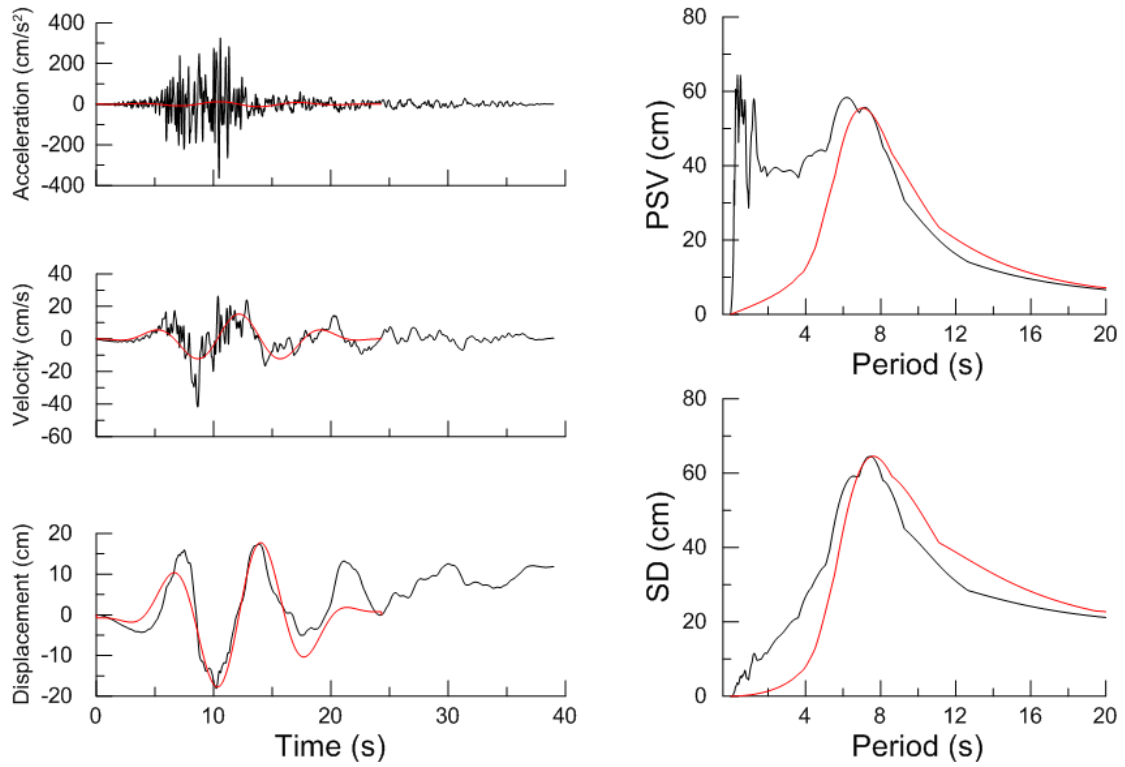
Χρονοϊστορίες και φάσματα της σεισμικής καταγραφής 1533L της βάσης NGA



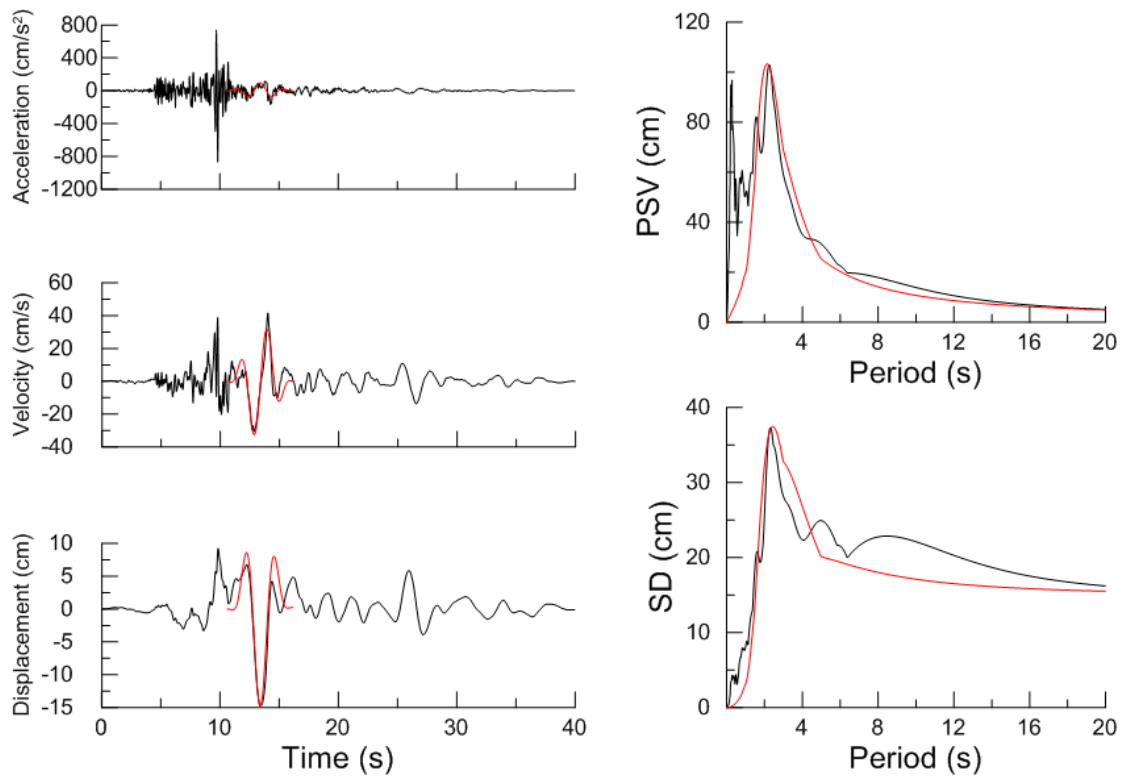
Χρονοϊστορίες και φάσματα της σεισμικής καταγραφής 415T της βάσης NGA



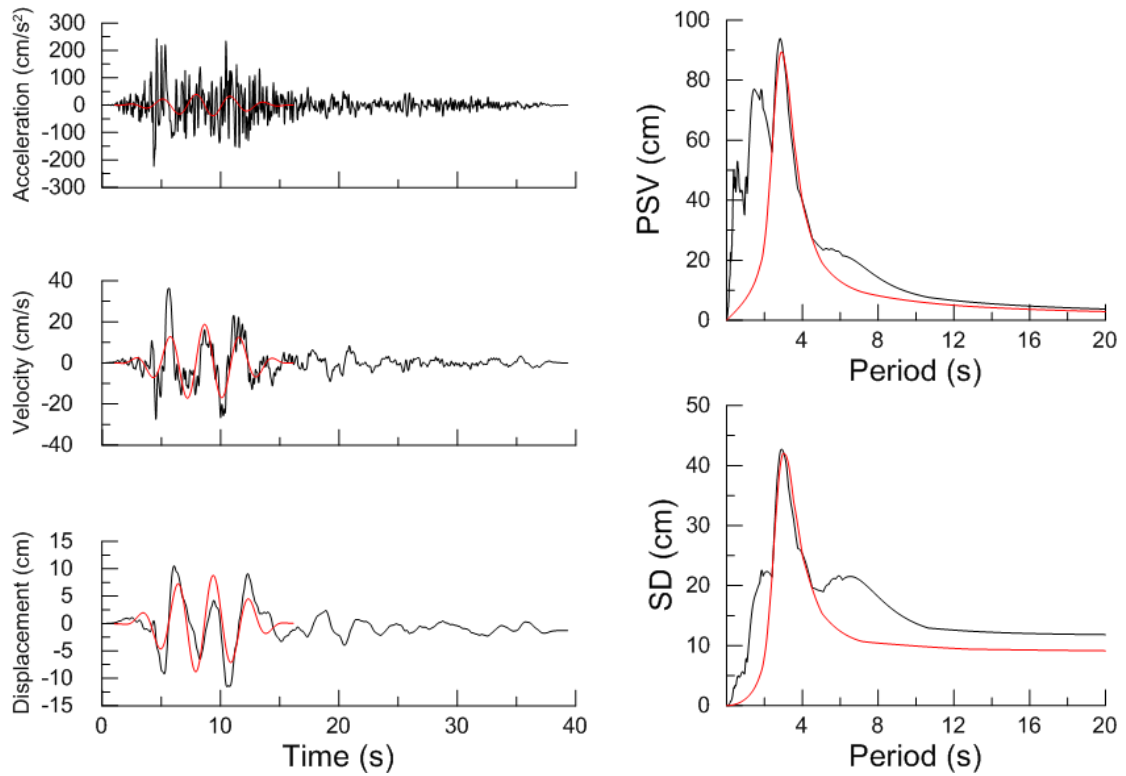
Χρονοϊστορίες και φάσματα της σεισμικής καταγραφής 1084T της βάσης NGA



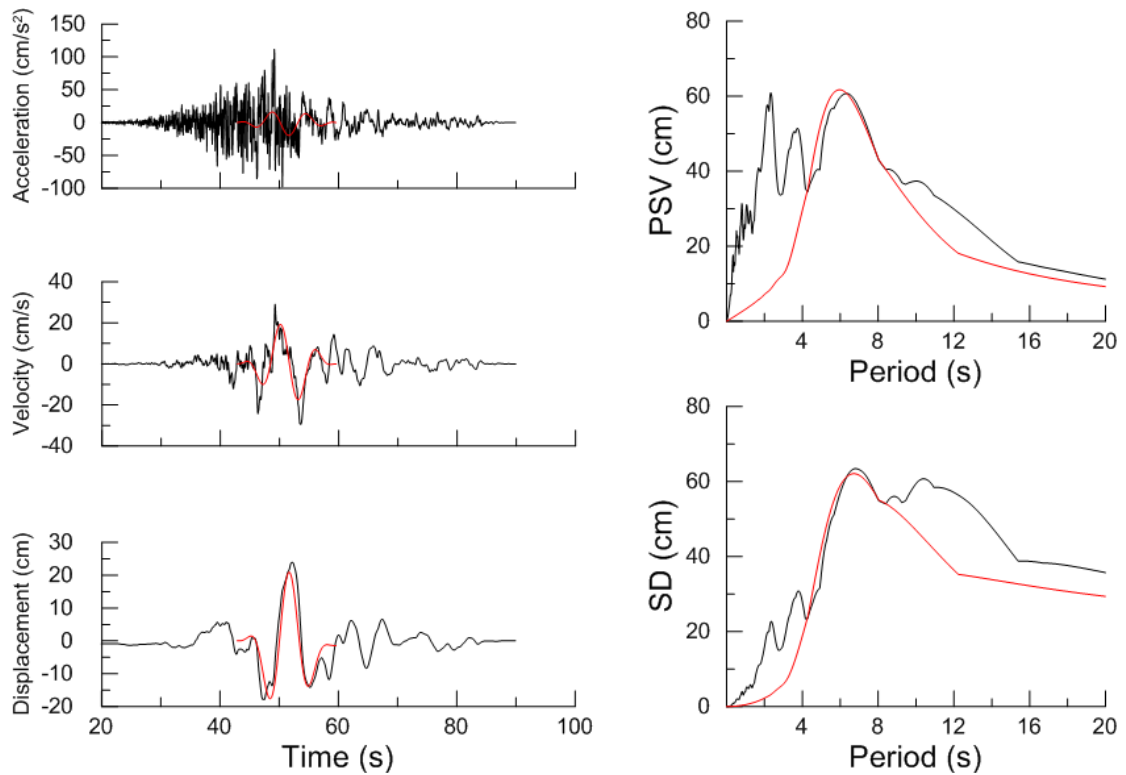
Χρονοϊστορίες και φάσματα της σεισμικής καταγραφής 174T της βάσης NGA



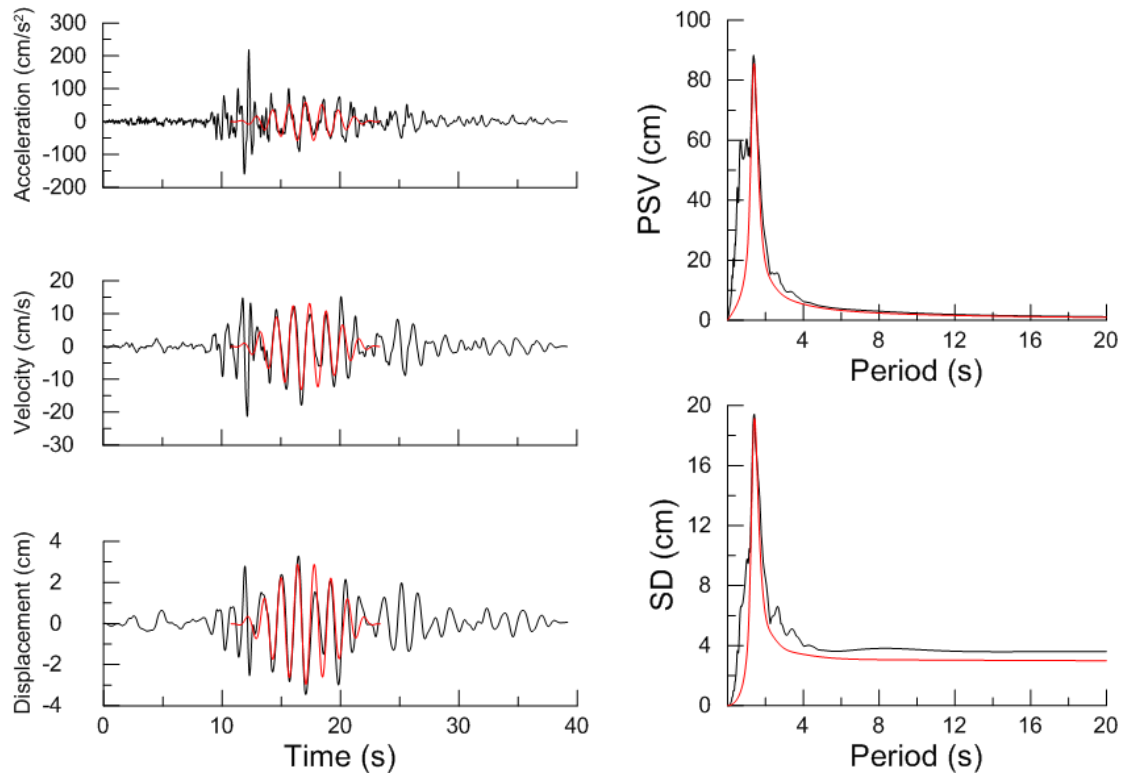
Χρονοϊστορίες και φάσματα της σεισμικής καταγραφής 1077L της βάσης NGA



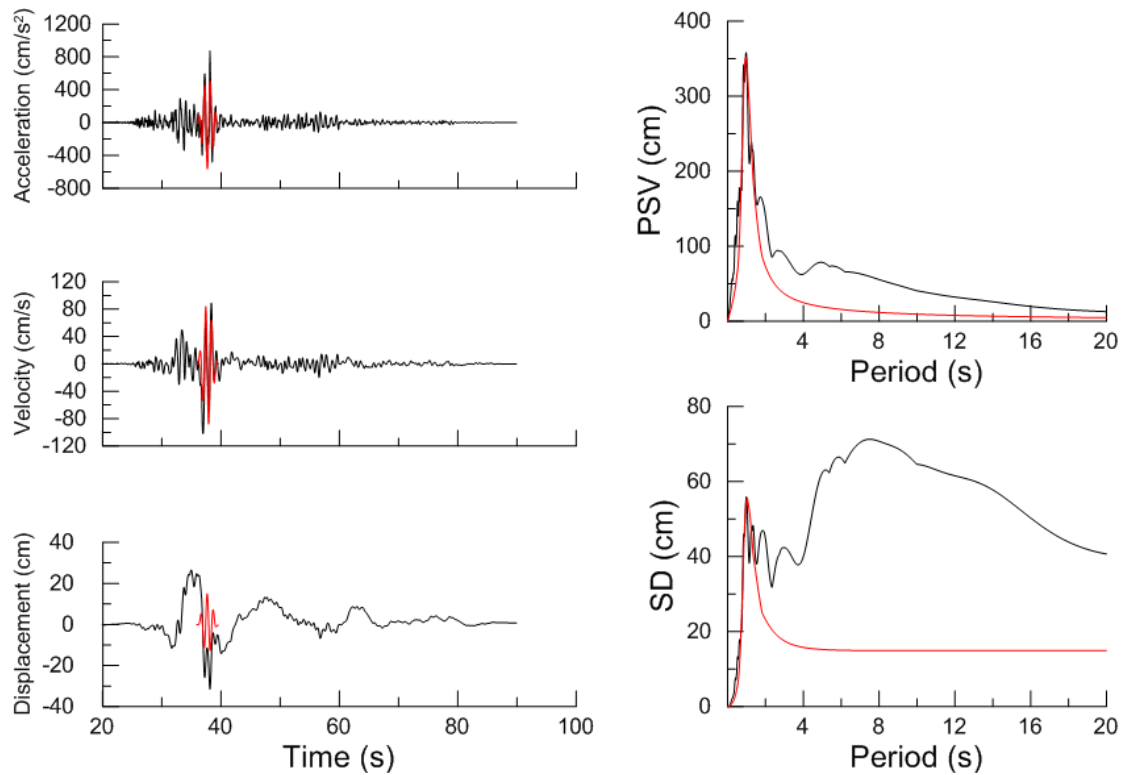
Χρονοϊστορίες και φάσματα της σεισμικής καταγραφής 292L της βάσης NGA



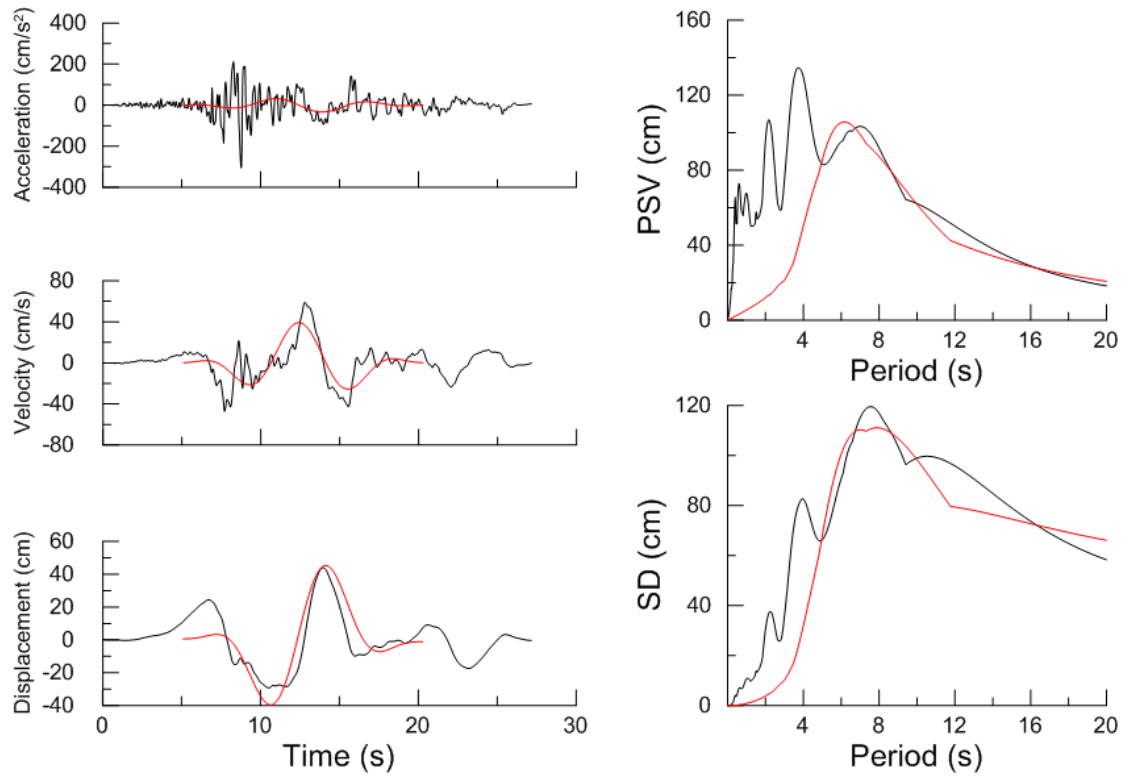
Χρονοϊστορίες και φάσματα της σεισμικής καταγραφής 1471T της βάσης NGA



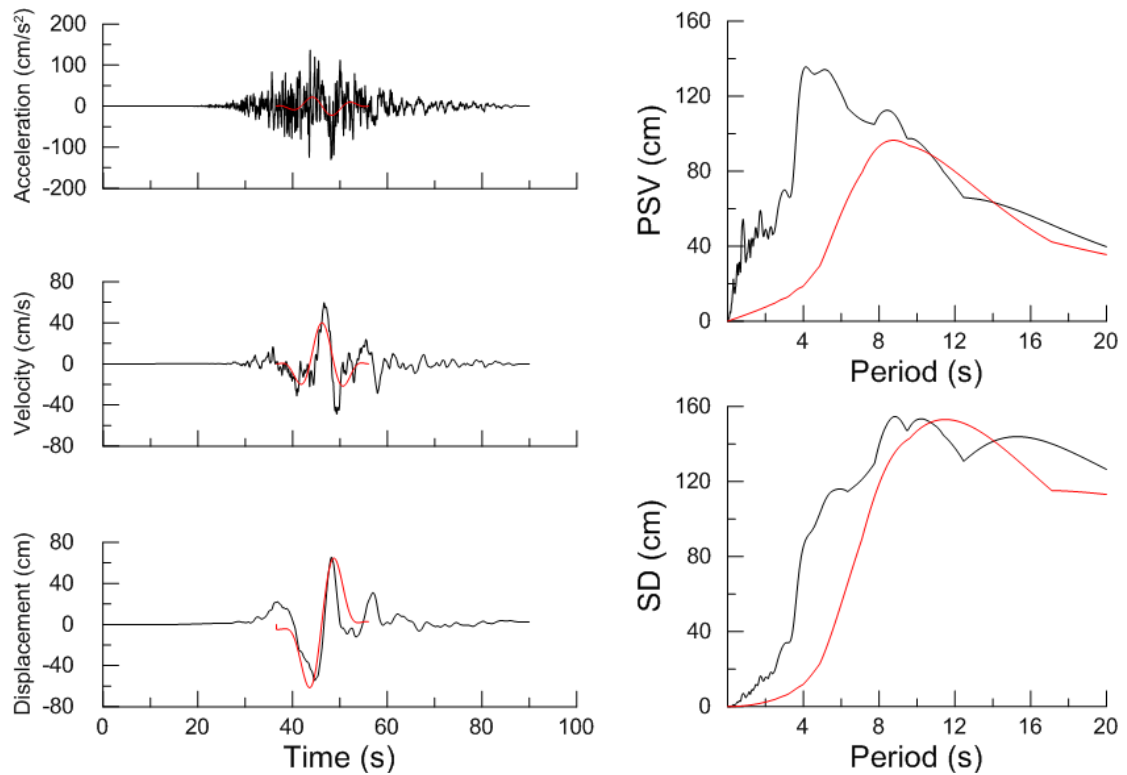
Χρονοϊστορίες και φάσματα της σεισμικής καταγραφής 758T της βάσης NGA



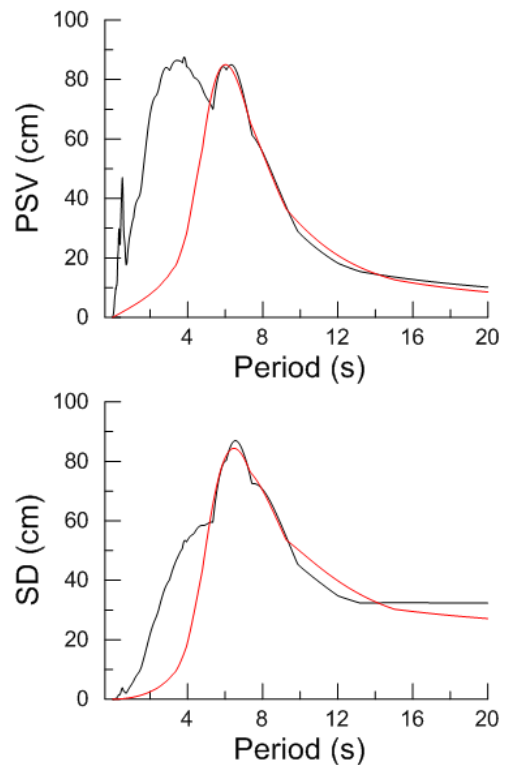
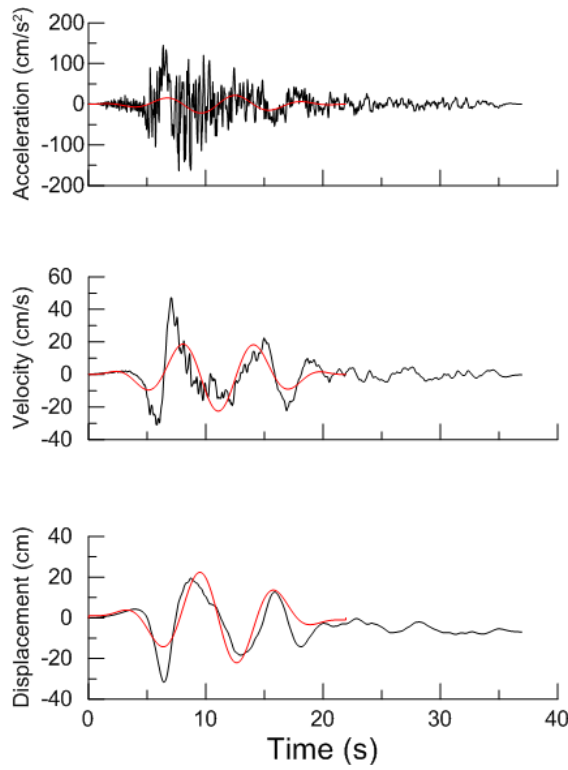
Χρονοϊστορίες και φάσματα της σεισμικής καταγραφής 1231T της βάσης NGA



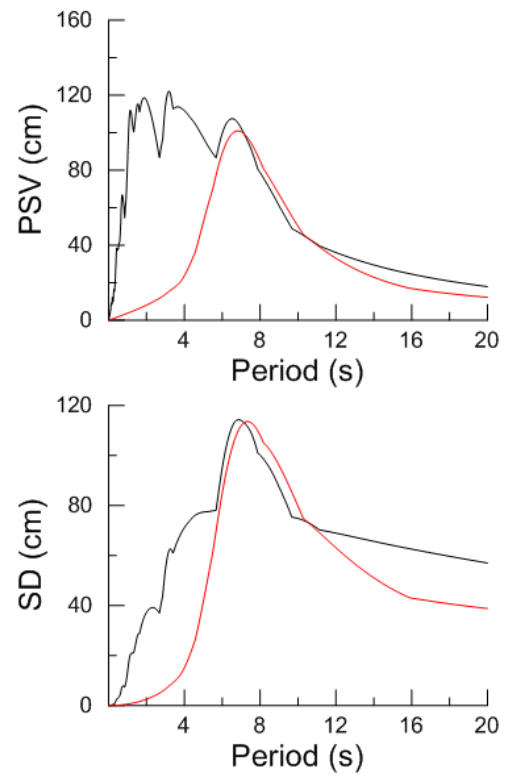
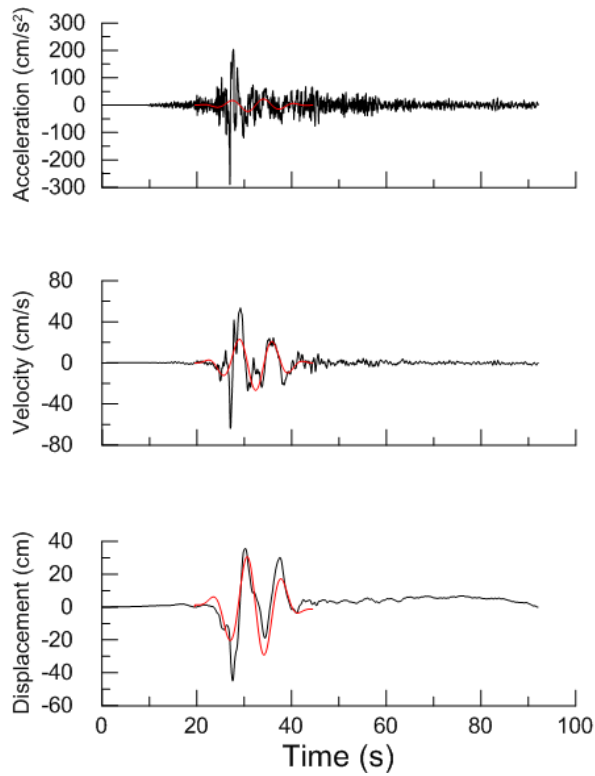
Χρονοϊστορίες και φάσματα της σεισμικής καταγραφής 1158L της βάσης NGA



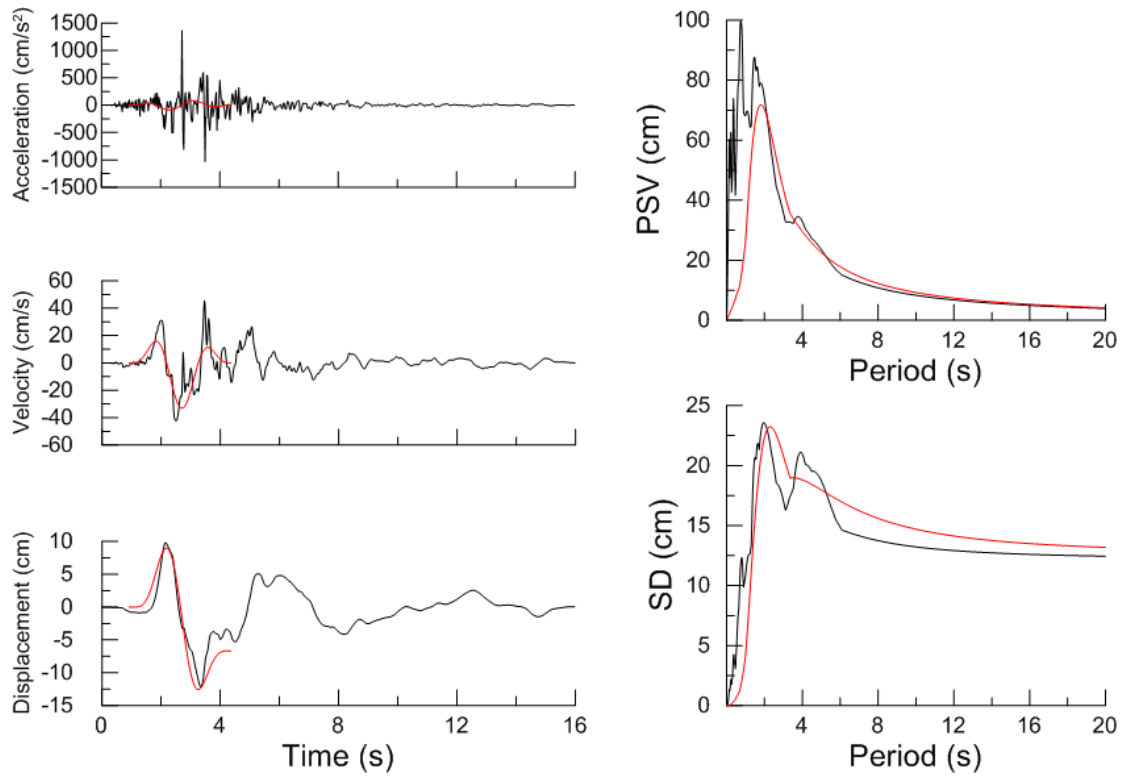
Χρονοϊστορίες και φάσματα της σεισμικής καταγραφής 1480L της βάσης NGA



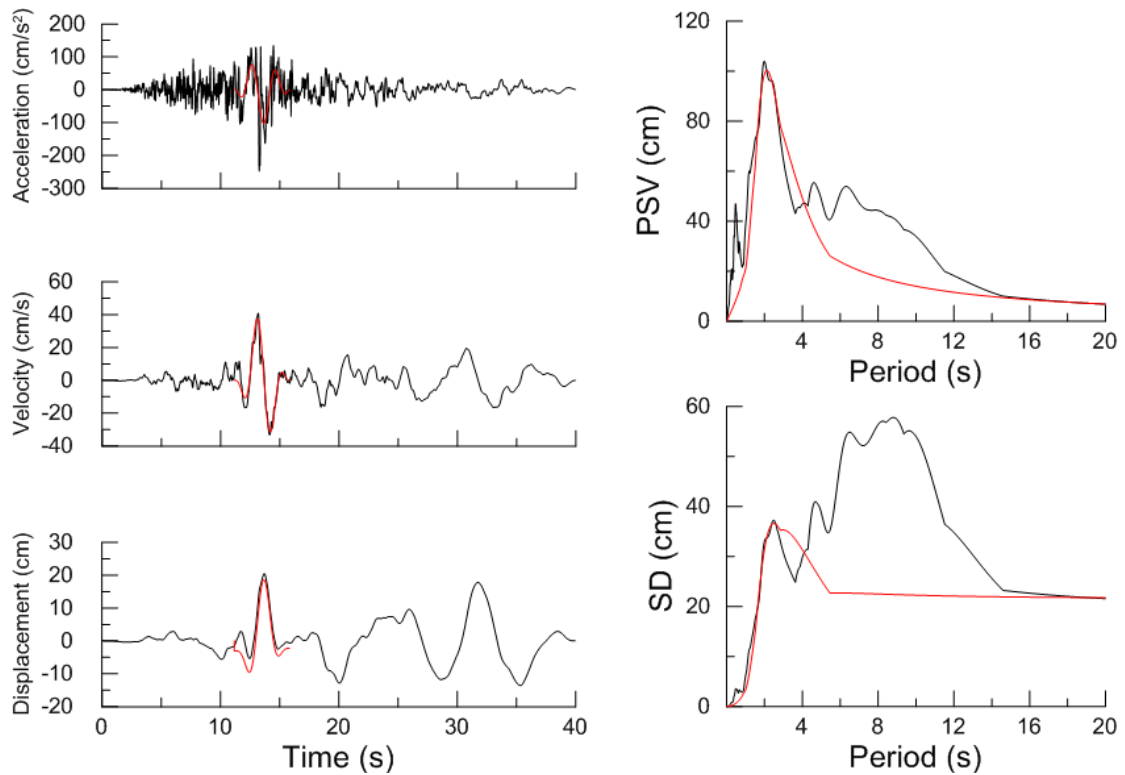
Χρονοϊστορίες και φάσματα της σεισμικής καταγραφής 173L της βάσης NGA



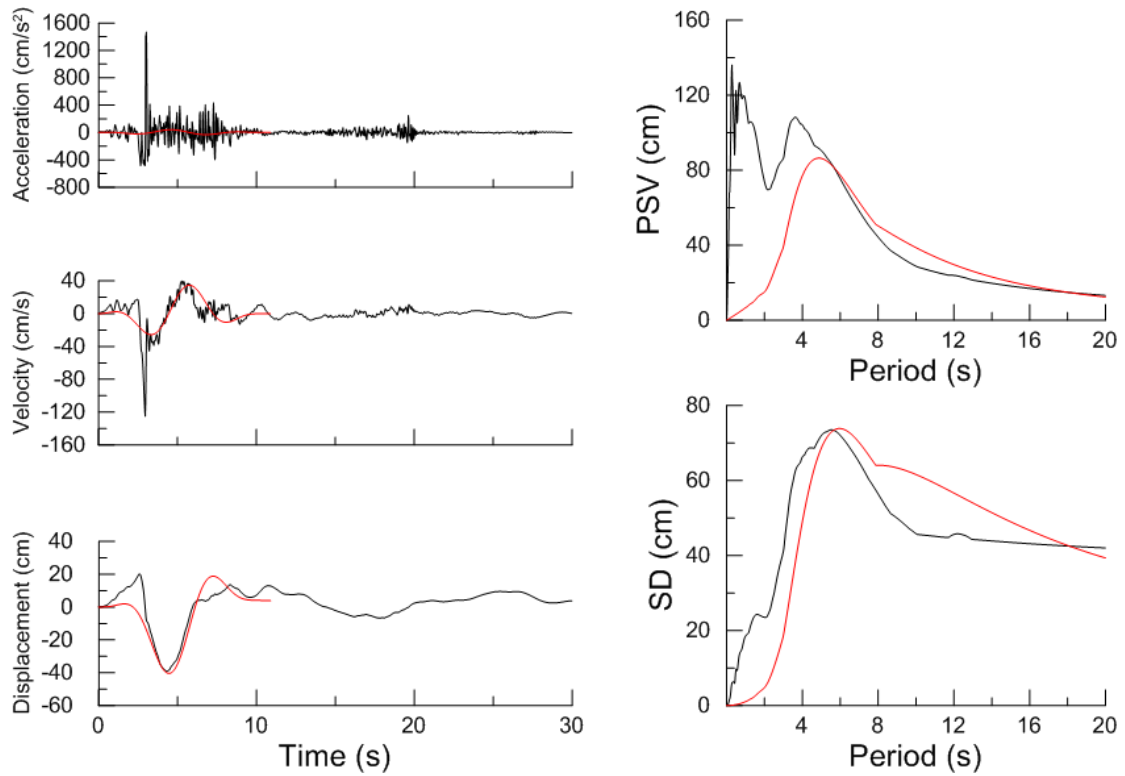
Χρονοϊστορίες και φάσματα της σεισμικής καταγραφής 2114T της βάσης NGA



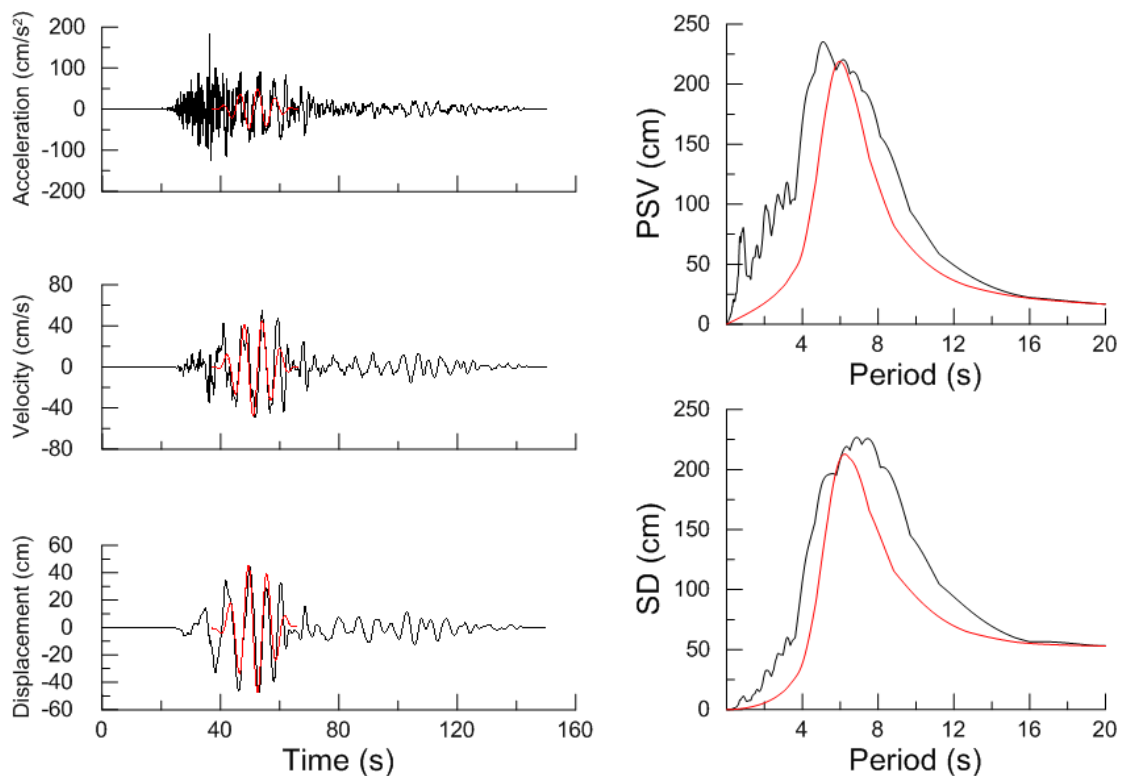
Χρονοϊστορίες και φάσματα της σεισμικής καταγραφής 585L της βάσης NGA



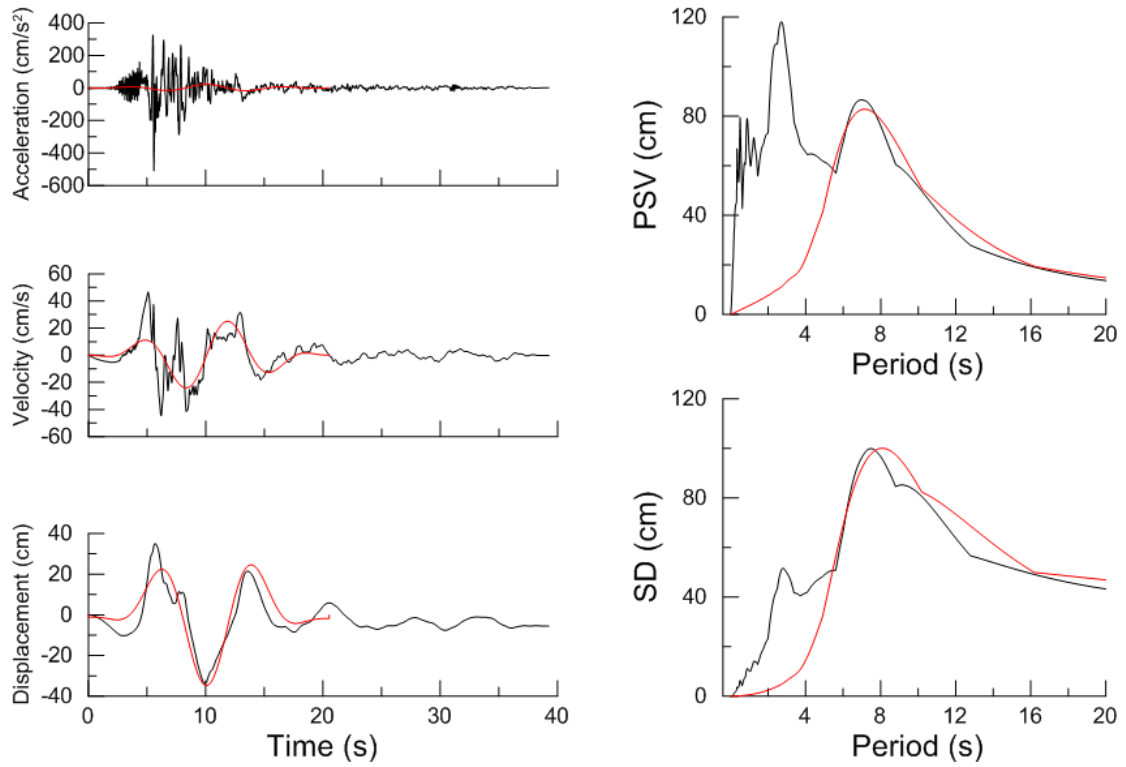
Χρονοϊστορίες και φάσματα της σεισμικής καταγραφής 721T της βάσης NGA



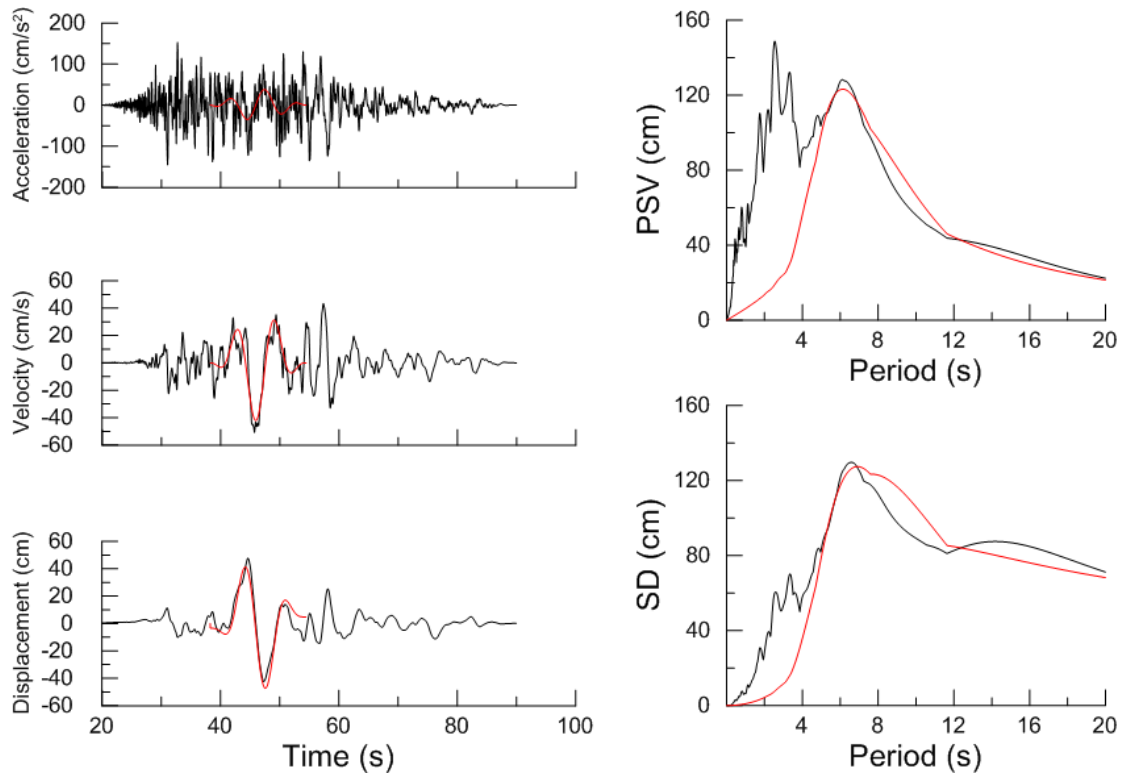
Χρονοϊστορίες και φάσματα της σεισμικής καταγραφής 825L της βάσης NGA



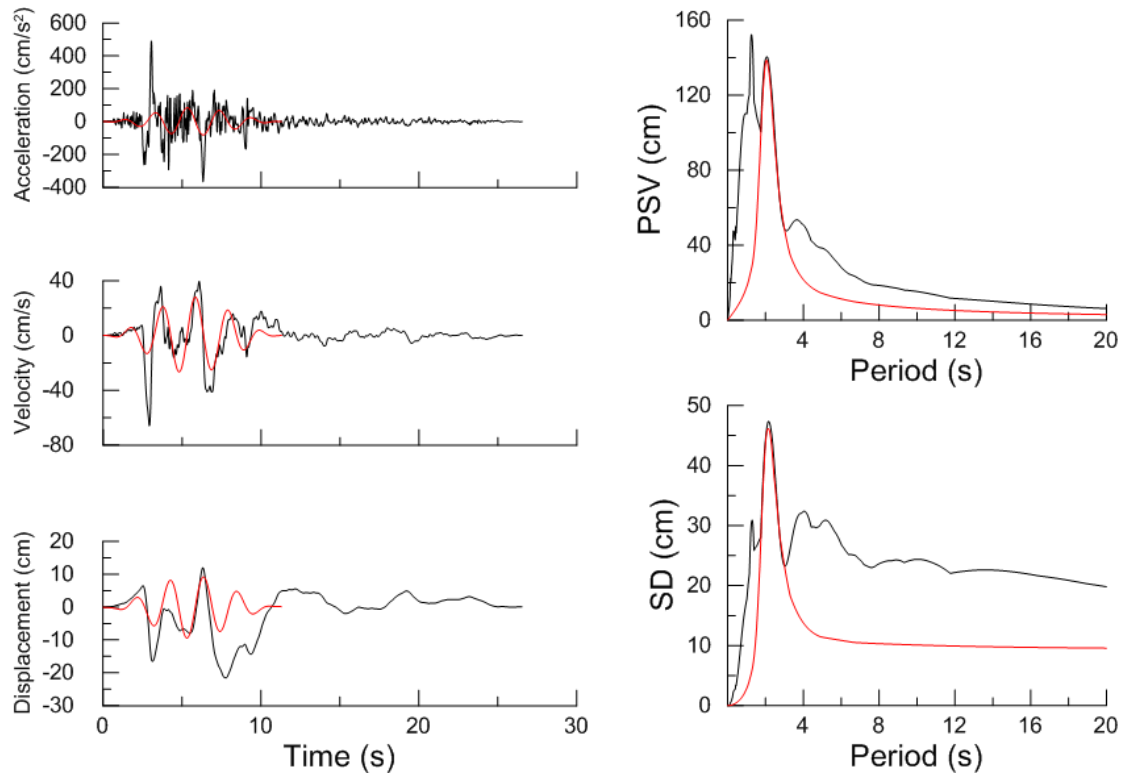
Χρονοϊστορίες και φάσματα της σεισμικής καταγραφής 1246L της βάσης NGA



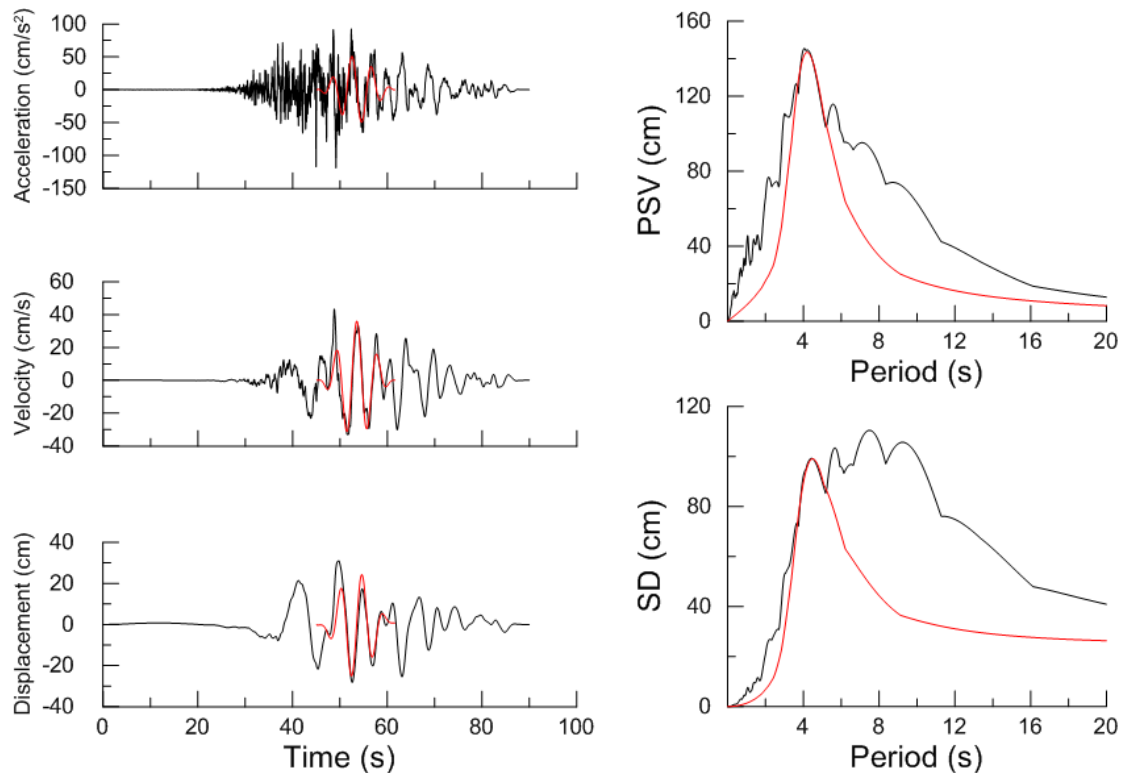
Χρονοϊστορίες και φάσματα της σεισμικής καταγραφής 180L της βάσης NGA



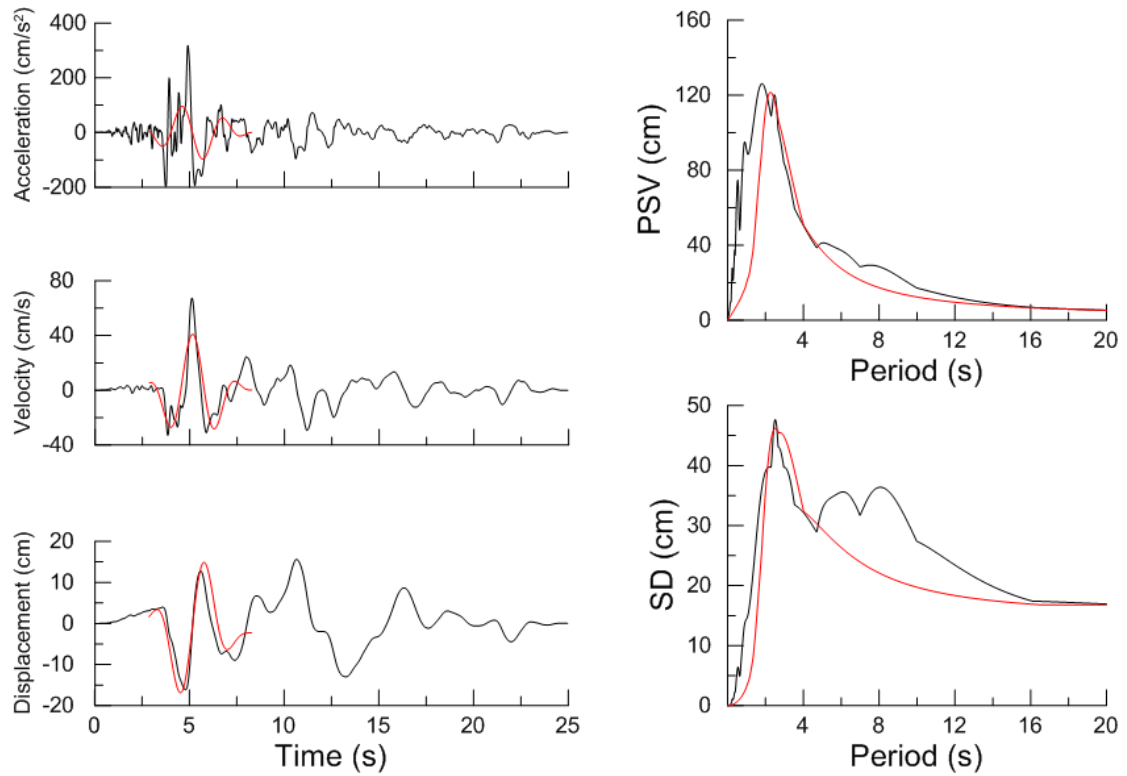
Χρονοϊστορίες και φάσματα της σεισμικής καταγραφής 1535L της βάσης NGA



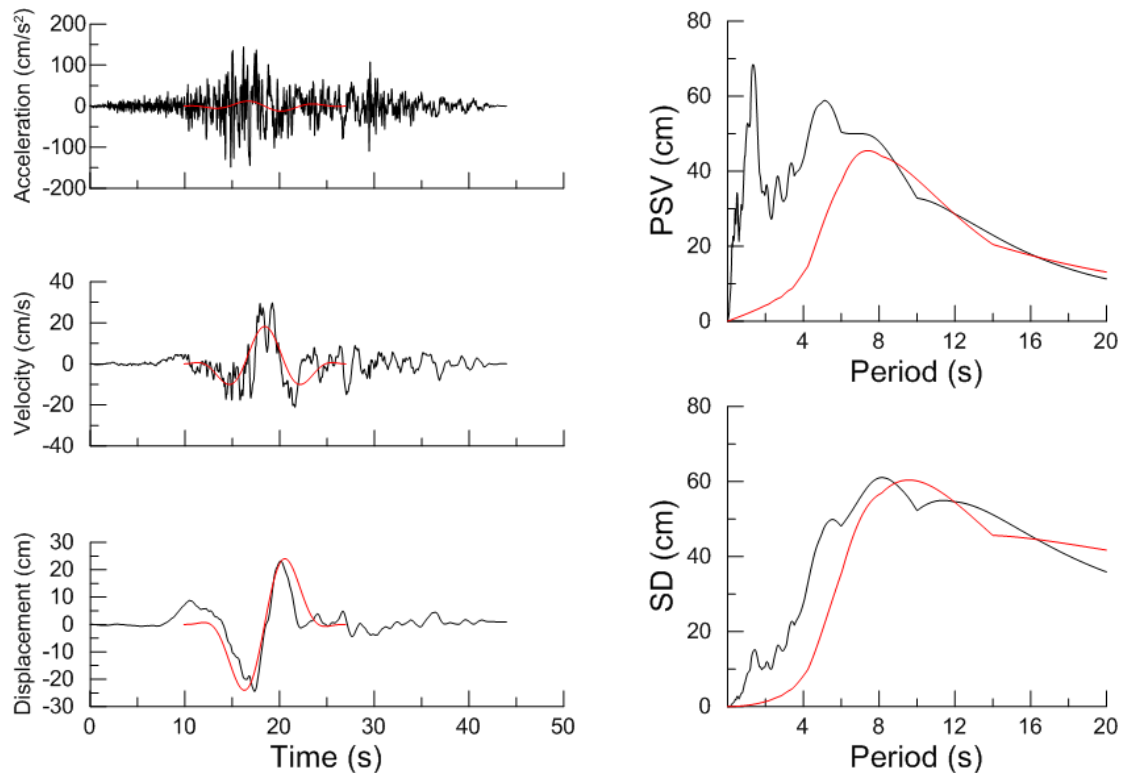
Χρονοϊστορίες και φάσματα της σεισμικής καταγραφής 1013L της βάσης NGA



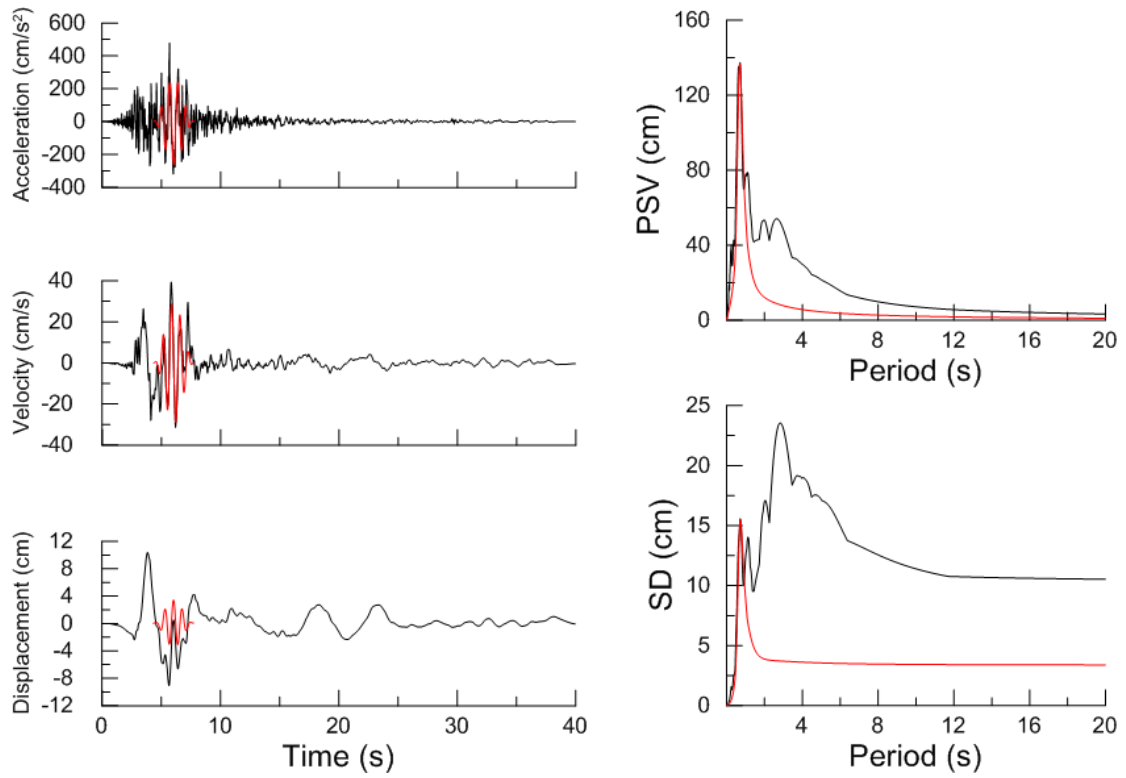
Χρονοϊστορίες και φάσματα της σεισμικής καταγραφής 1477T της βάσης NGA



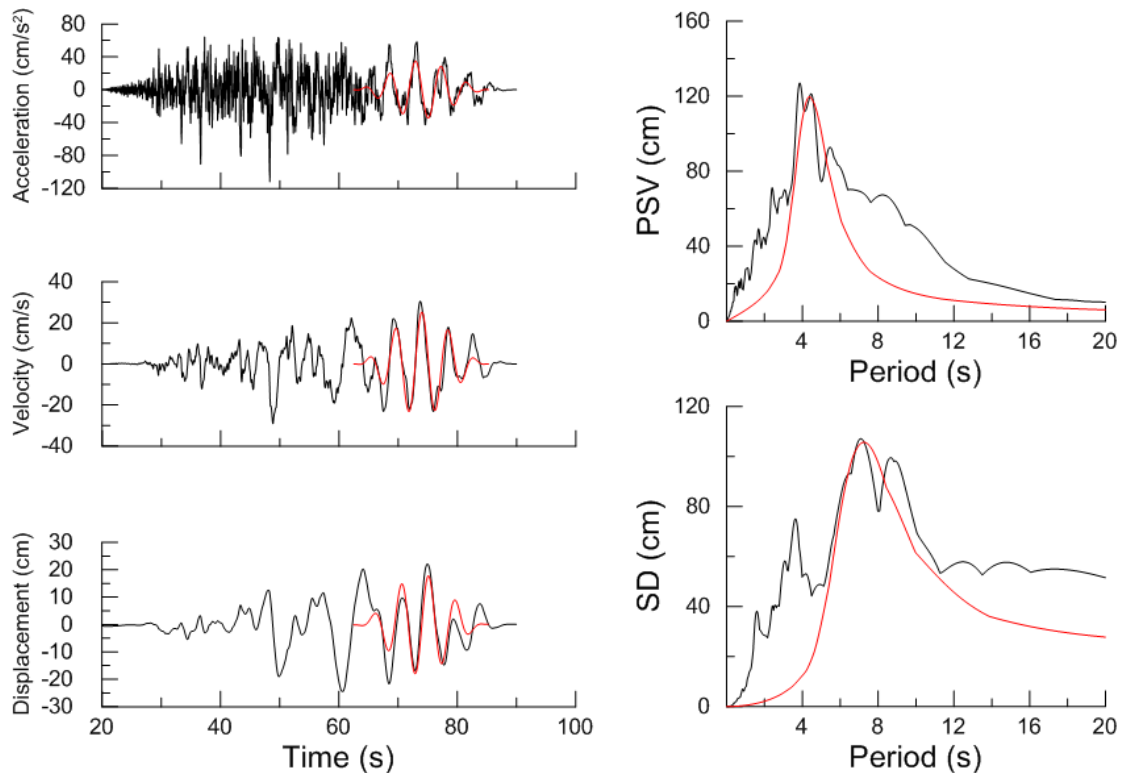
Χρονοϊστορίες και φάσματα της σεισμικής καταγραφής 1045T της βάσης NGA



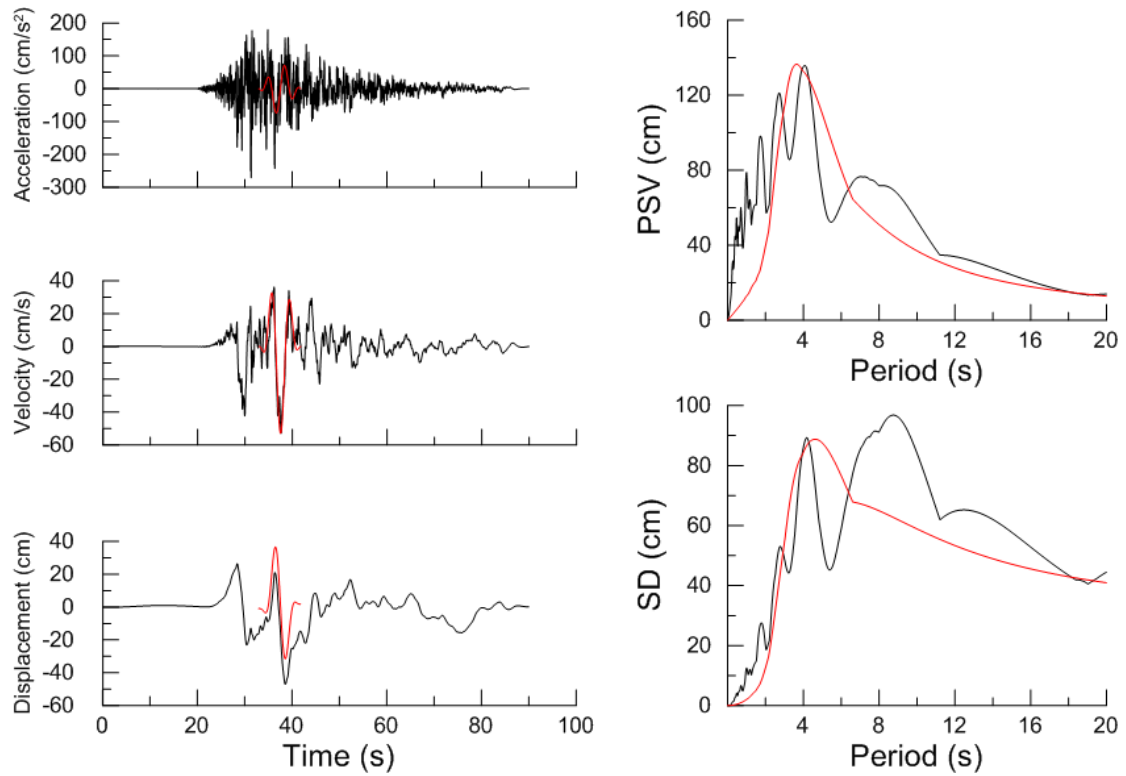
Χρονοϊστορίες και φάσματα της σεισμικής καταγραφής 900T της βάσης NGA



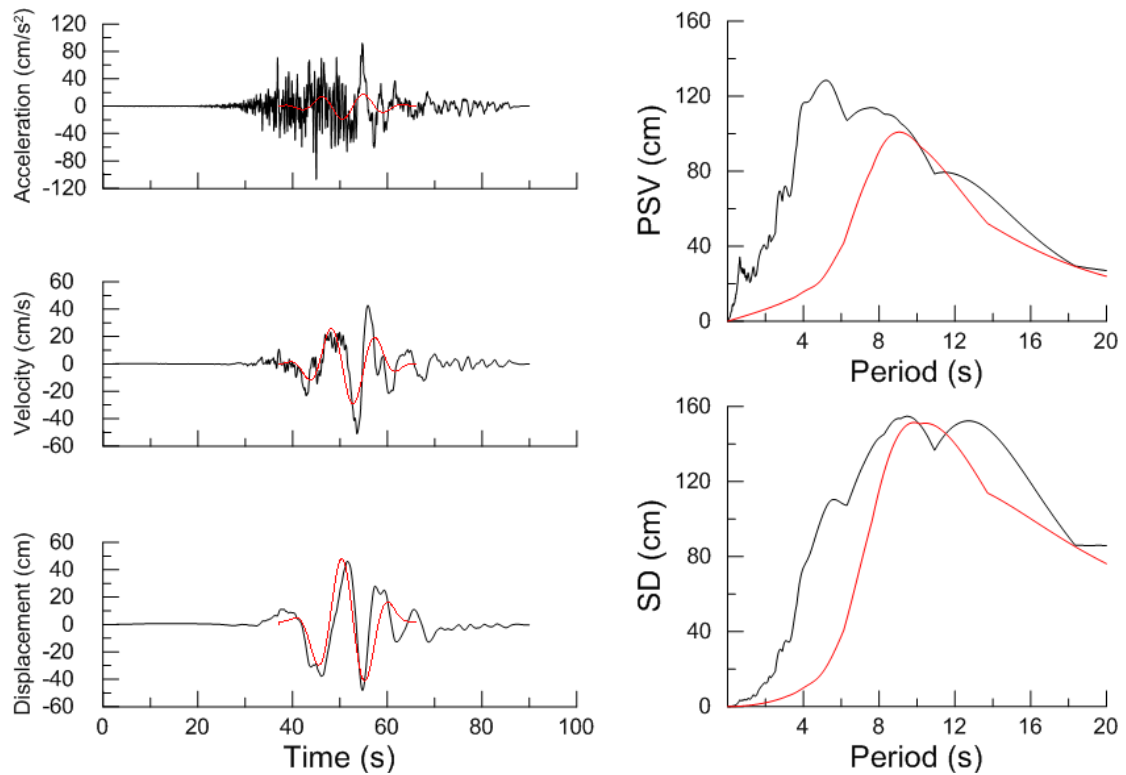
Χρονοϊστορίες και φάσματα της σεισμικής καταγραφής 319T της βάσης NGA



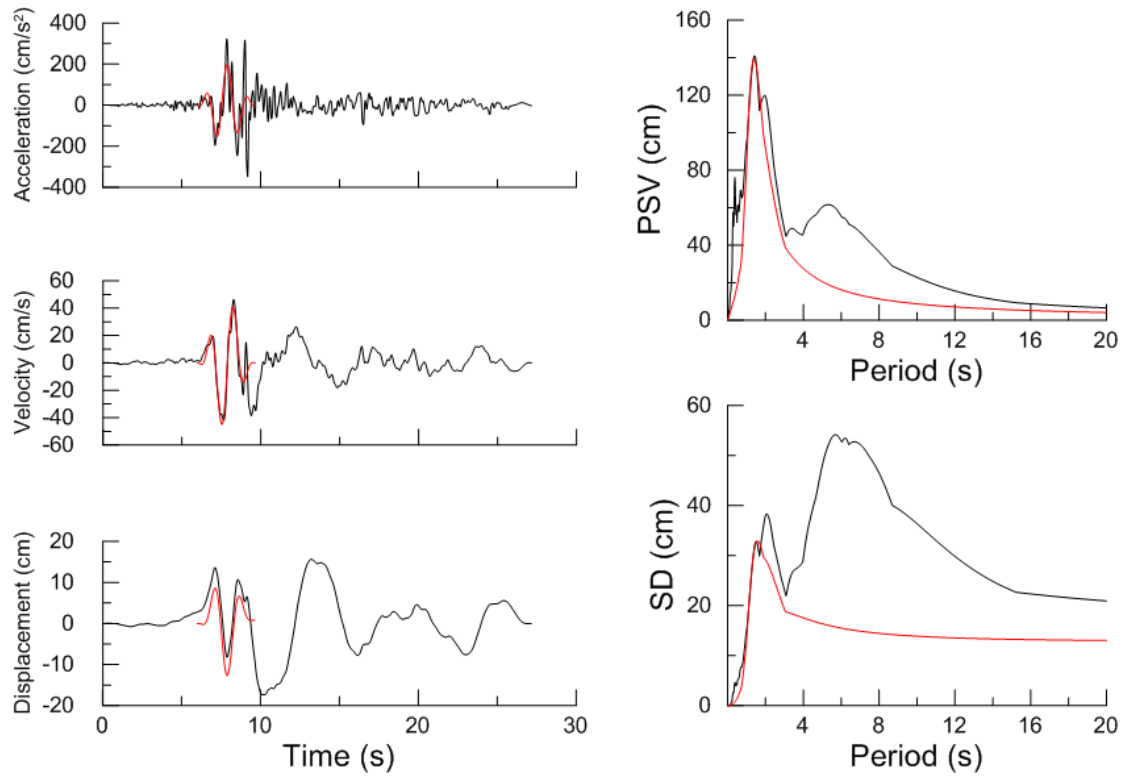
Χρονοϊστορίες και φάσματα της σεισμικής καταγραφής 1543L της βάσης NGA



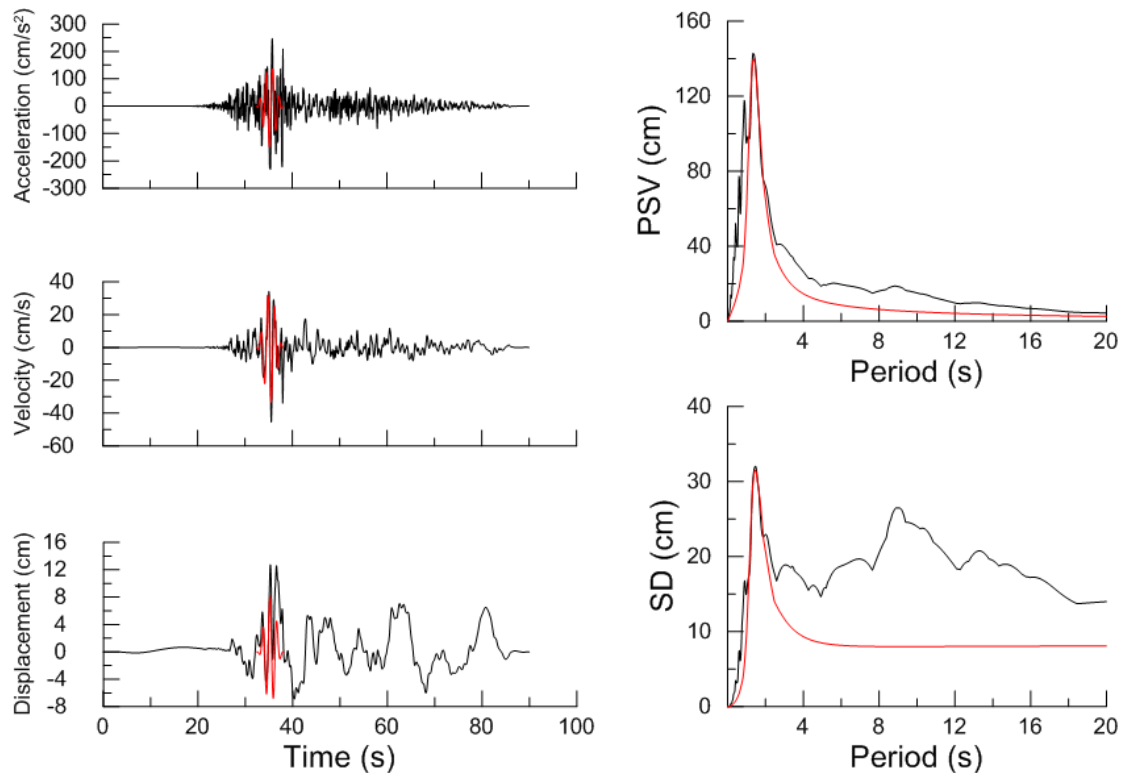
Χρονοϊστορίες και φάσματα της σεισμικής καταγραφής 1193L της βάσης NGA



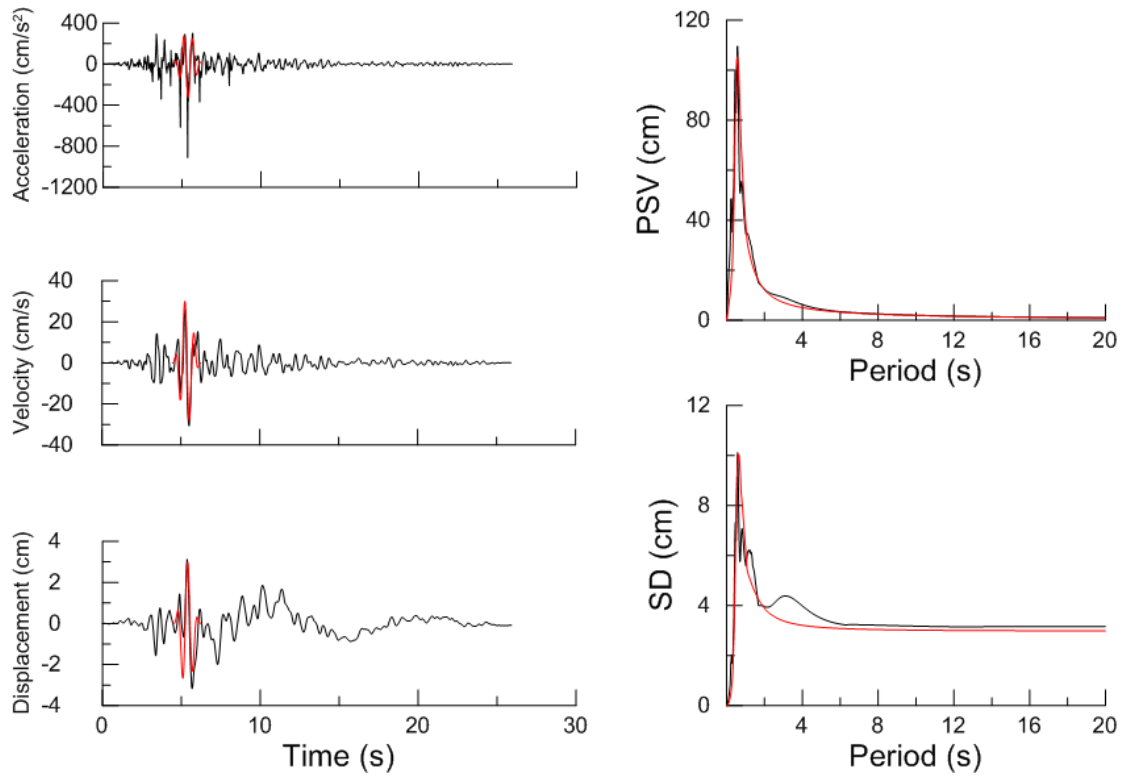
Χρονοϊστορίες και φάσματα της σεισμικής καταγραφής 1477L της βάσης NGA



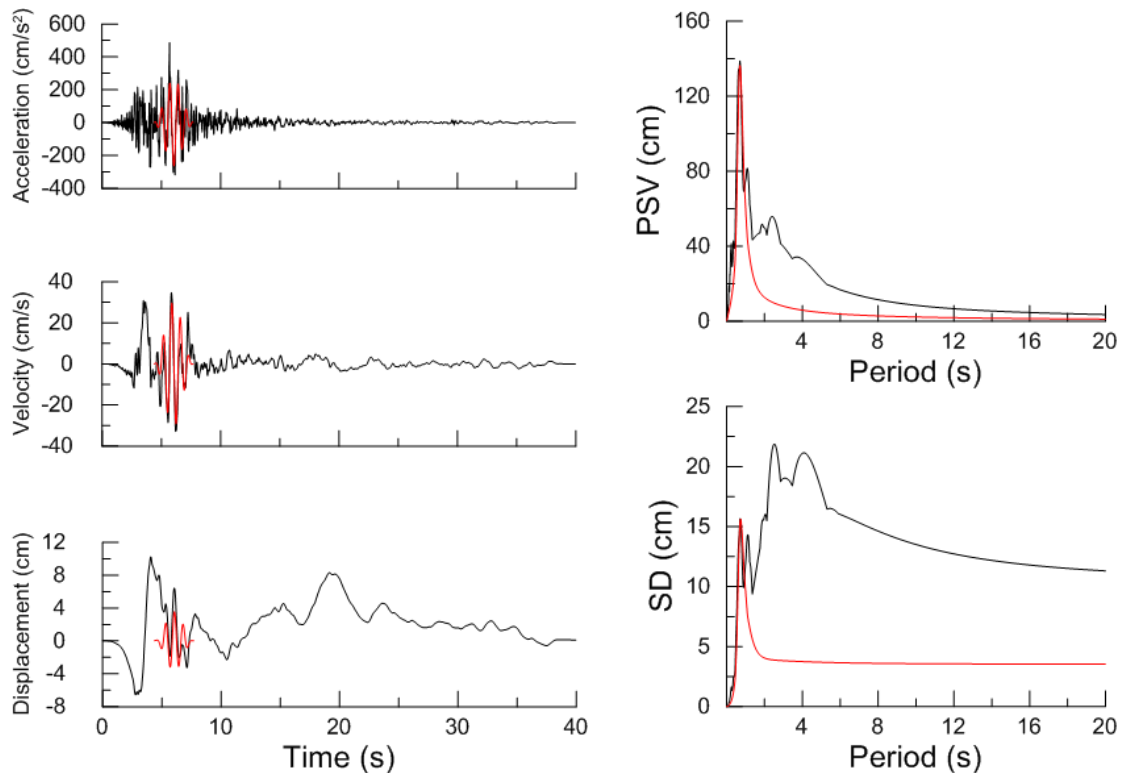
Χρονοϊστορίες και φάσματα της σεισμικής καταγραφής 1158T της βάσης NGA



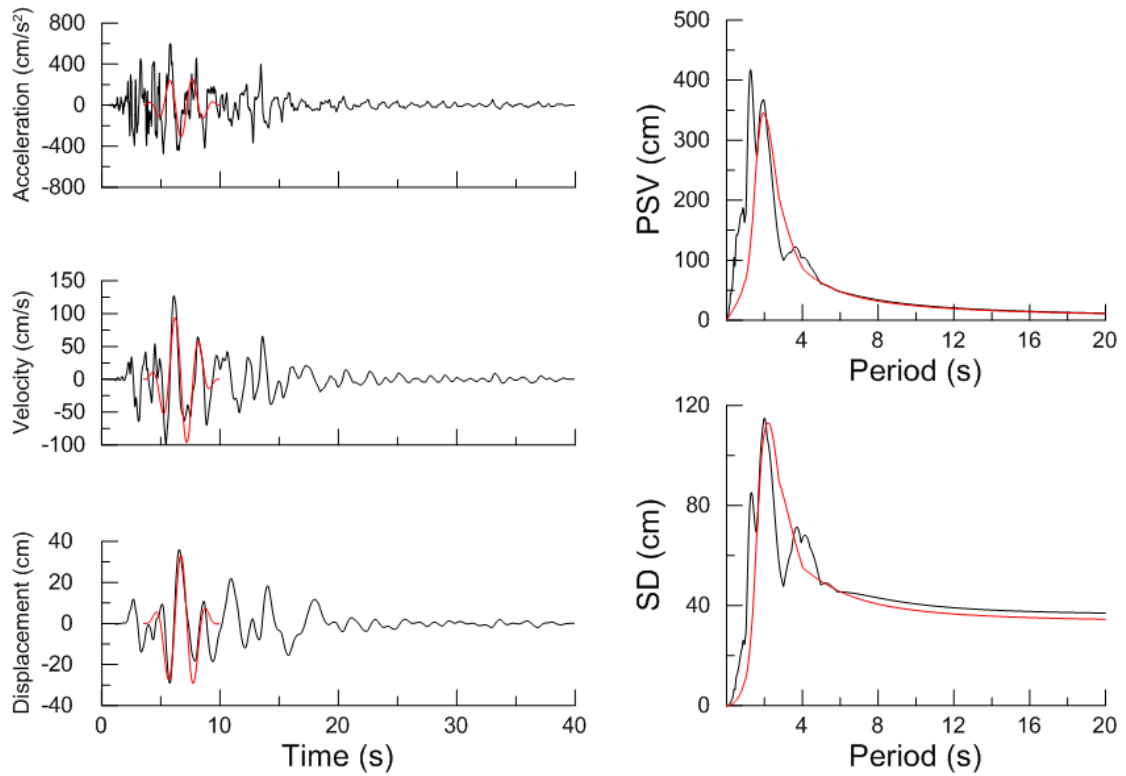
Χρονοϊστορίες και φάσματα της σεισμικής καταγραφής 1202L της βάσης NGA



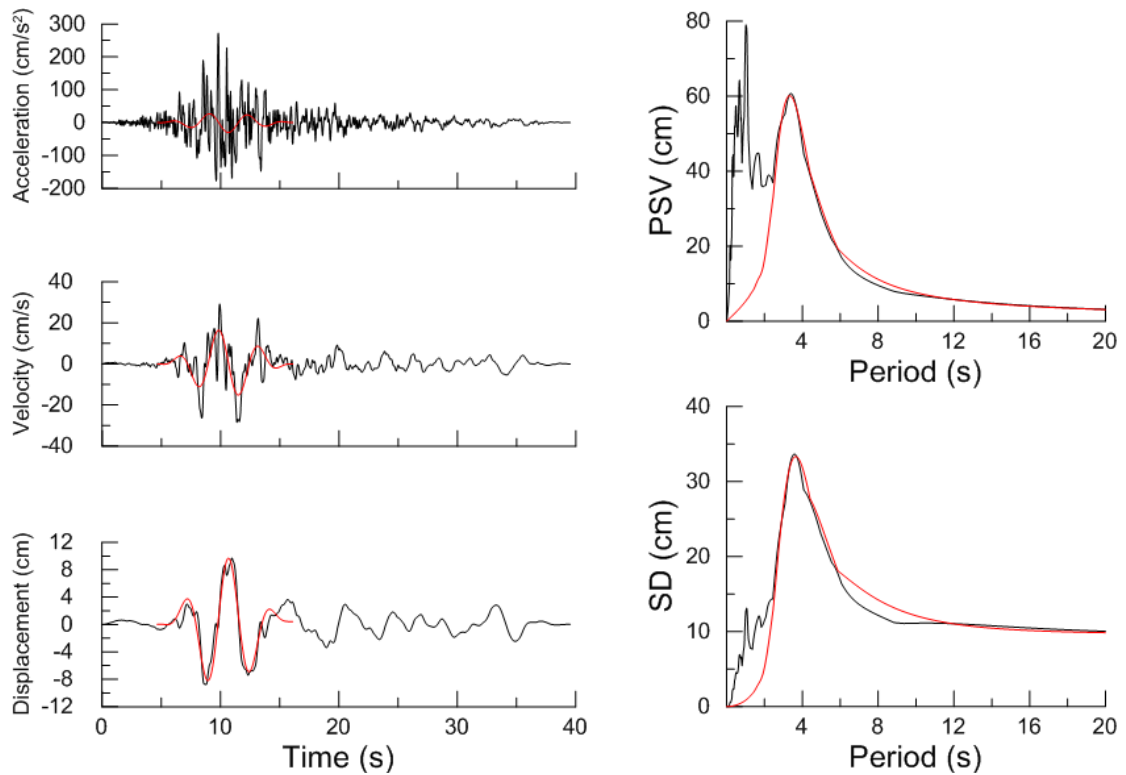
Χρονοϊστορίες και φάσματα της σεισμικής καταγραφής 250L της βάσης NGA



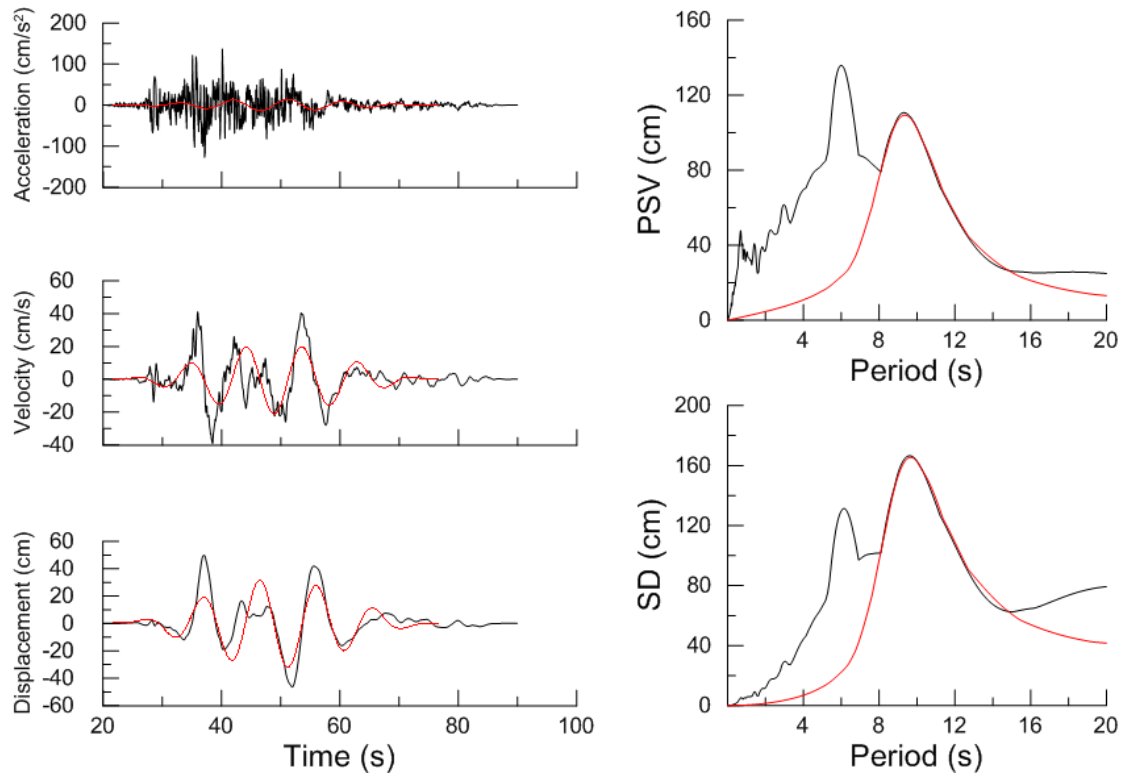
Χρονοϊστορίες και φάσματα της σεισμικής καταγραφής 540L της βάσης NGA



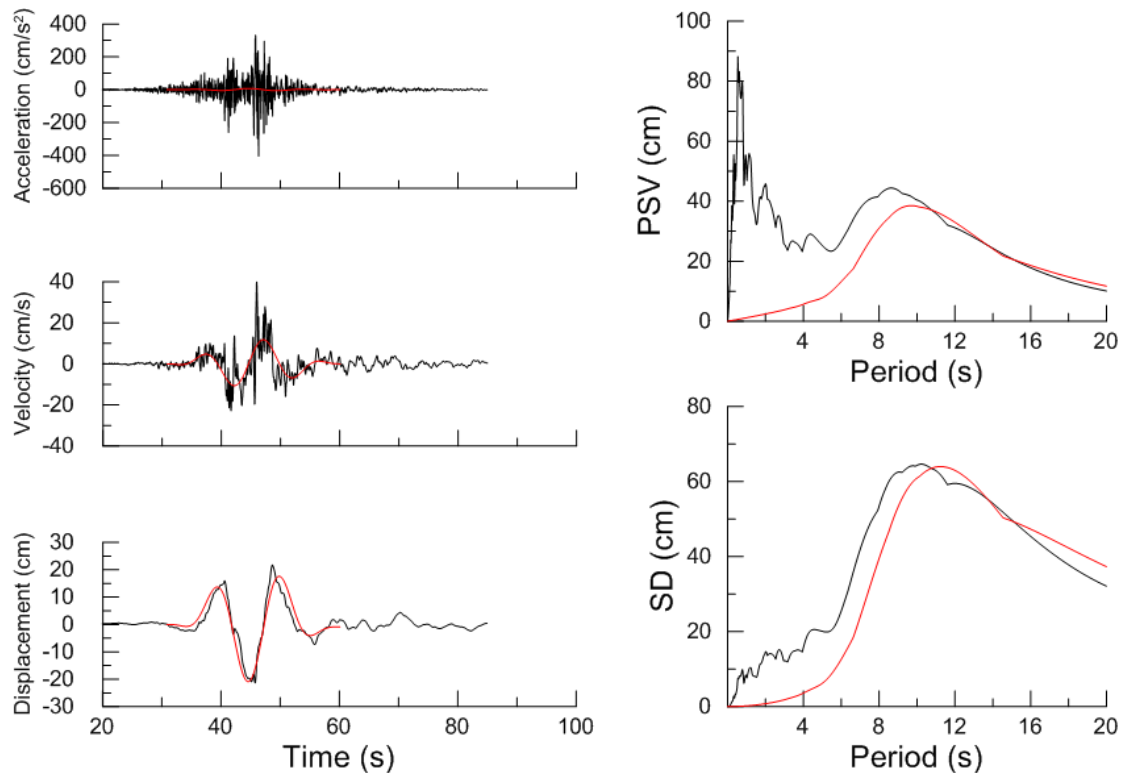
Χρονοϊστορίες και φάσματα της σεισμικής καταγραφής 1120L της βάσης NGA



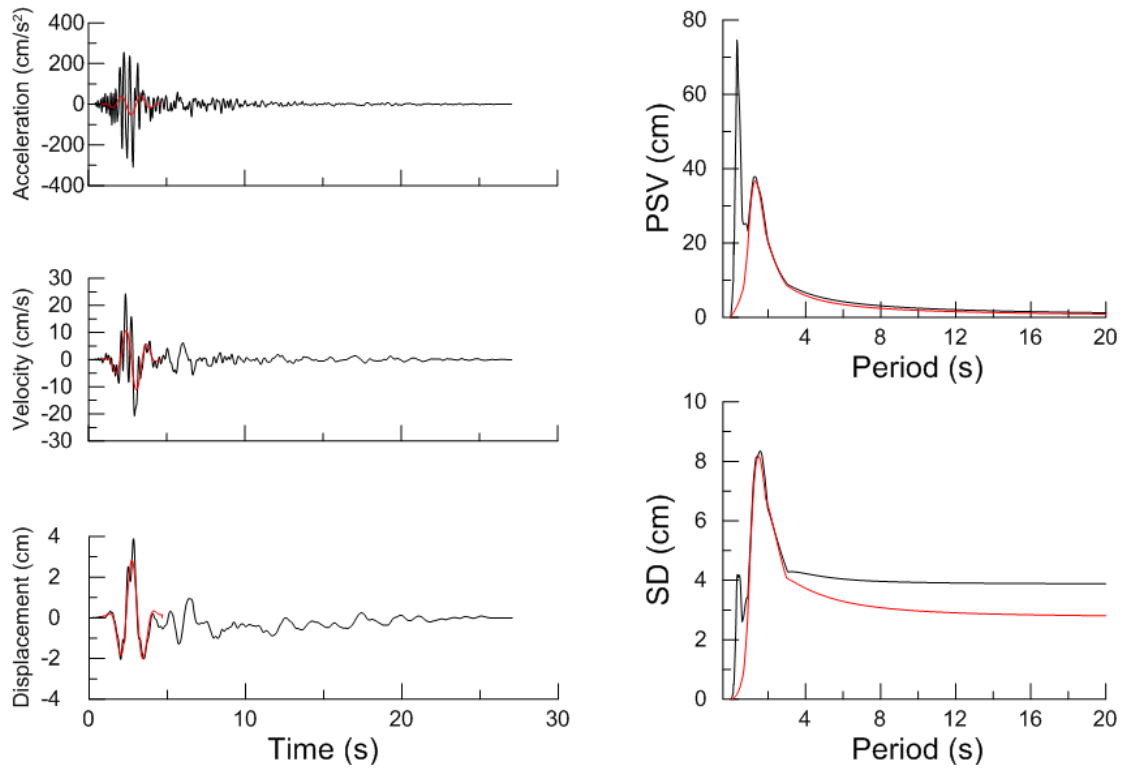
Χρονοϊστορίες και φάσματα της σεισμικής καταγραφής 787T της βάσης NGA



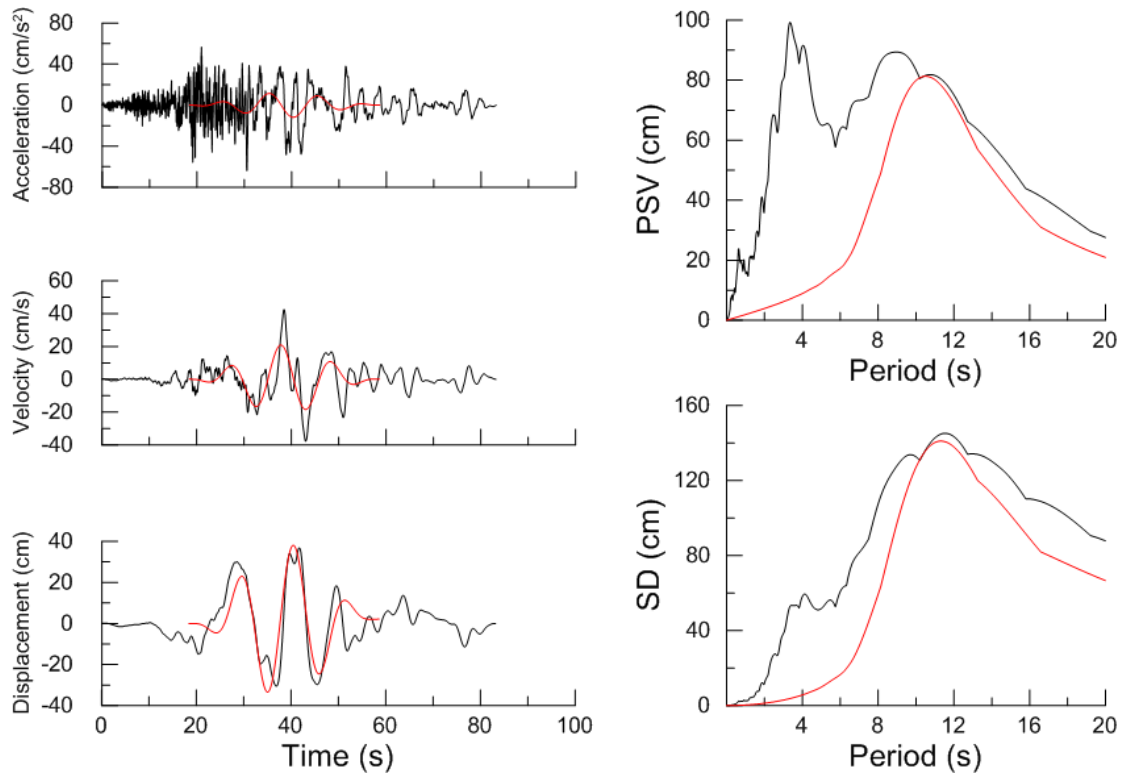
Χρονοϊστορίες και φάσματα της σεισμικής καταγραφής 1493T της βάσης NGA



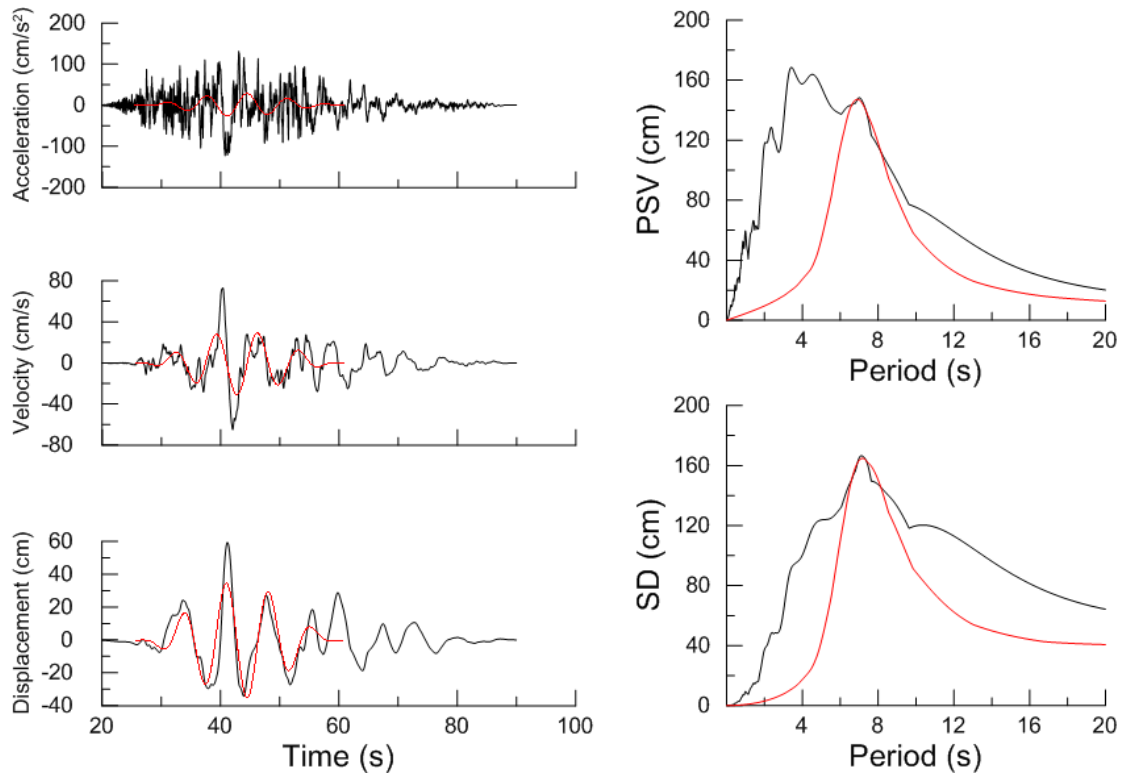
Χρονοϊστορίες και φάσματα της σεισμικής καταγραφής 1487T της βάσης NGA



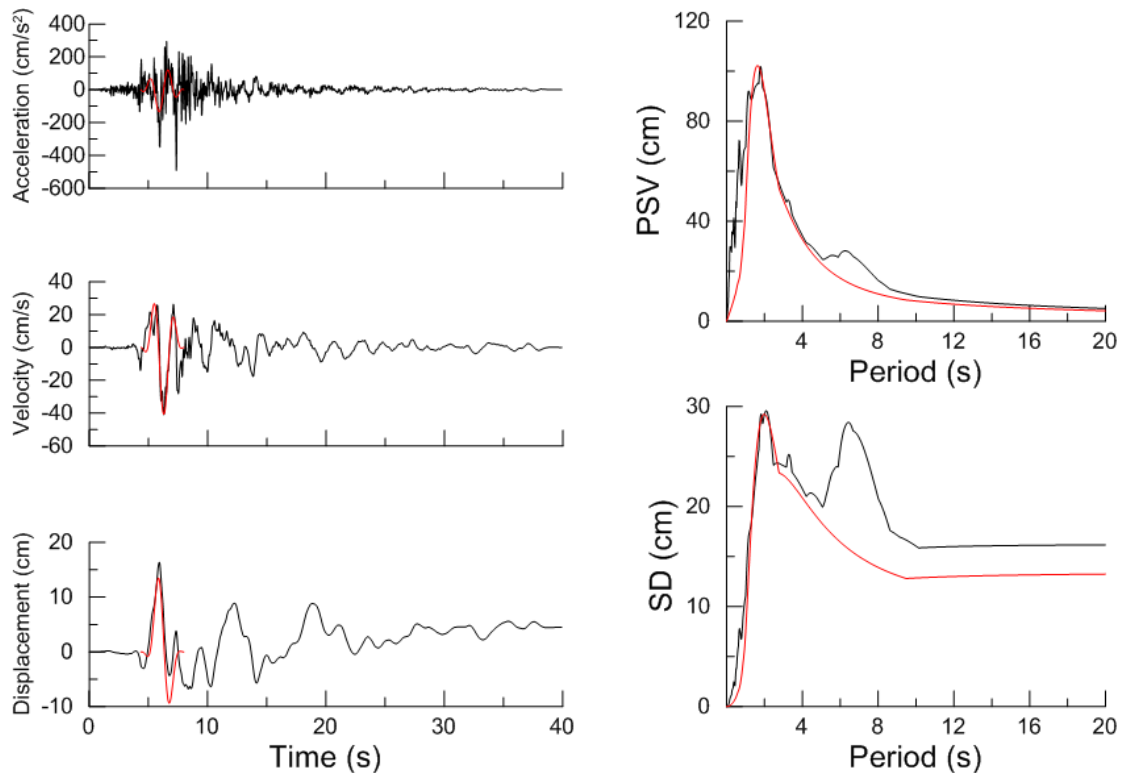
Χρονοϊστορίες και φάσματα της σεισμικής καταγραφής 150T της βάσης NGA



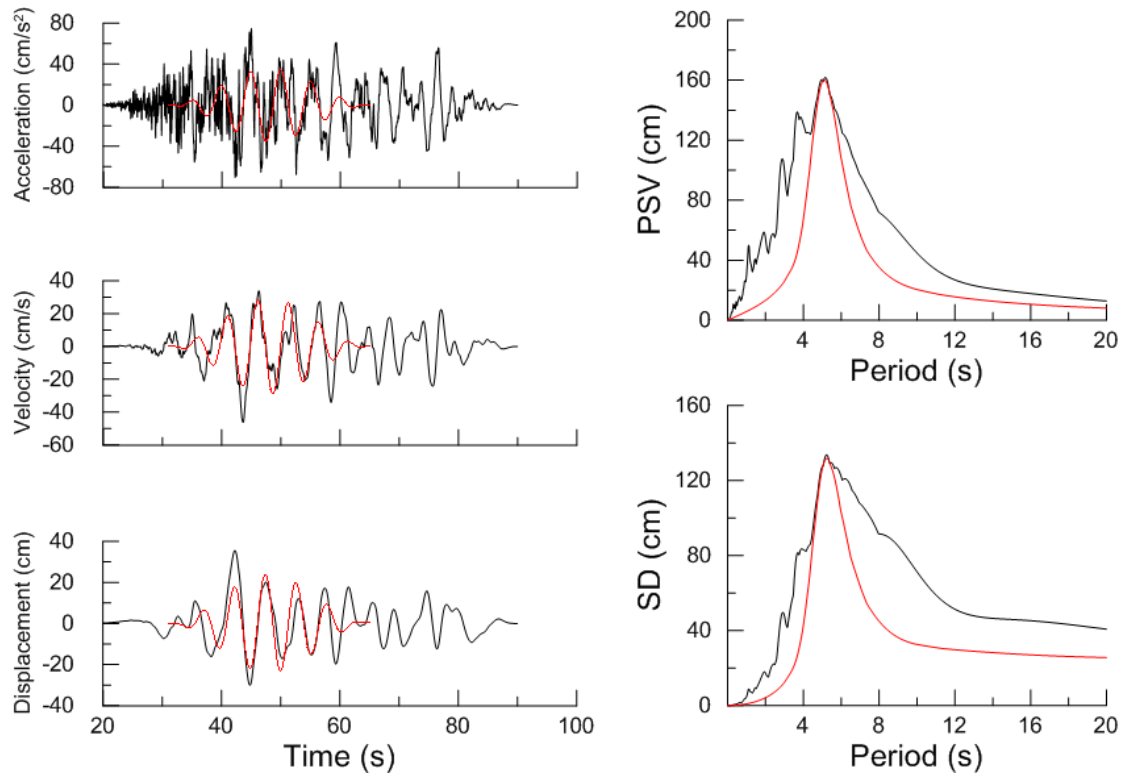
Χρονοϊστορίες και φάσματα της σεισμικής καταγραφής 1629T της βάσης NGA



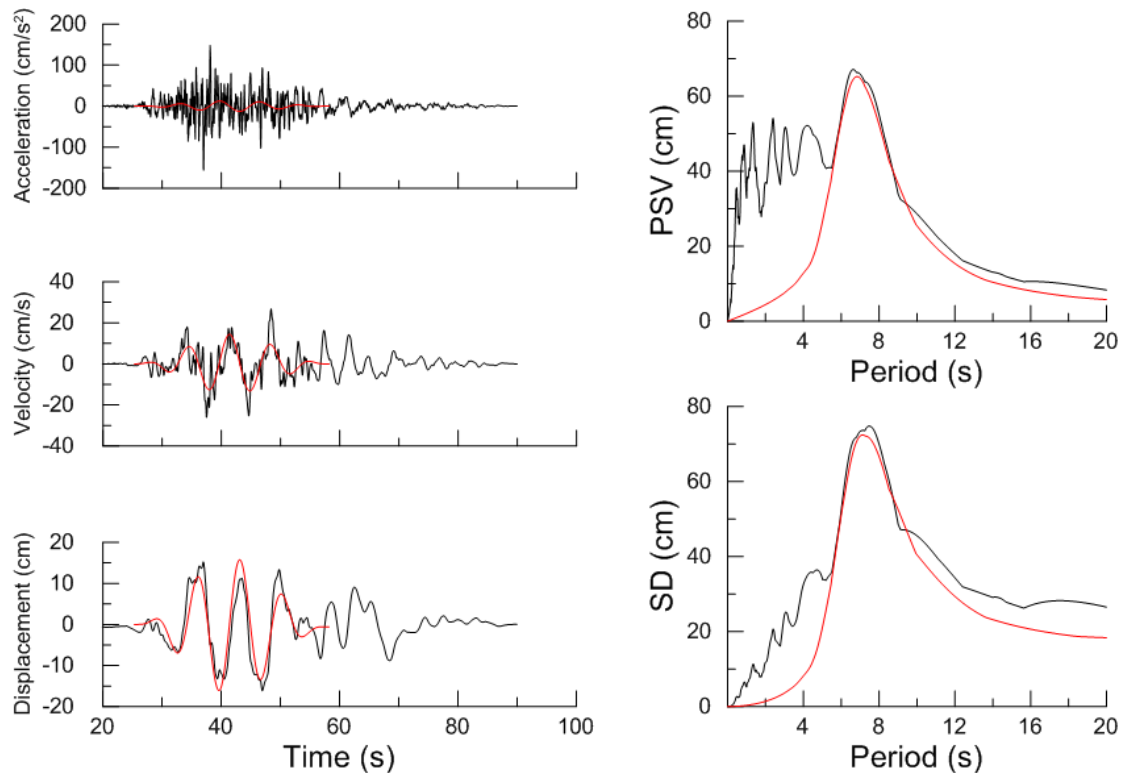
Χρονοϊστορίες και φάσματα της σεισμικής καταγραφής 1501T της βάσης NGA



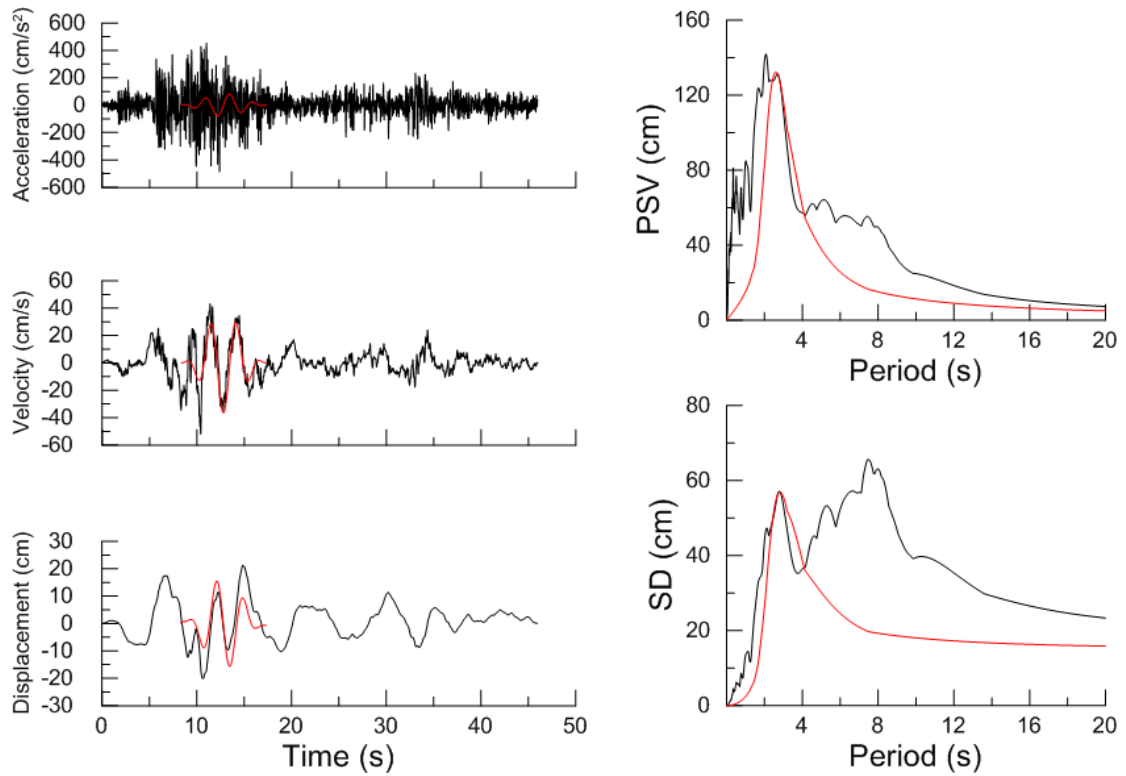
Χρονοϊστορίες και φάσματα της σεισμικής καταγραφής 802L της βάσης NGA



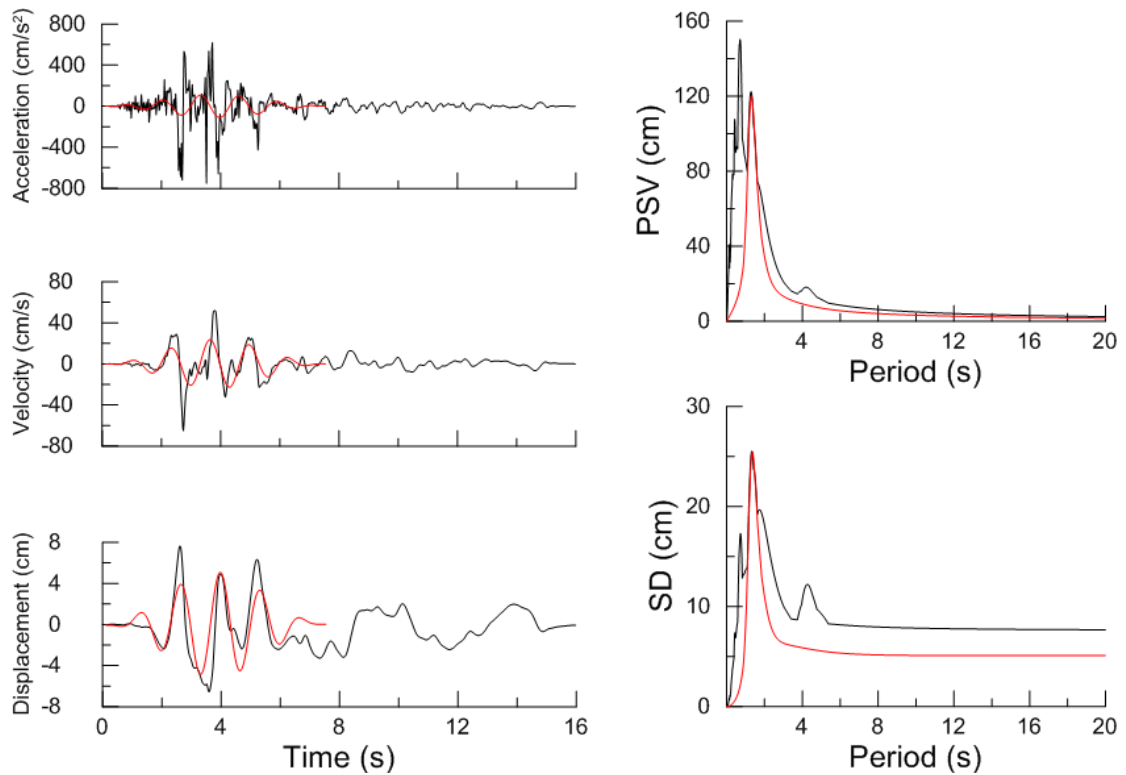
Χρονοϊστορίες και φάσματα της σεισμικής καταγραφής 1195L της βάσης NGA



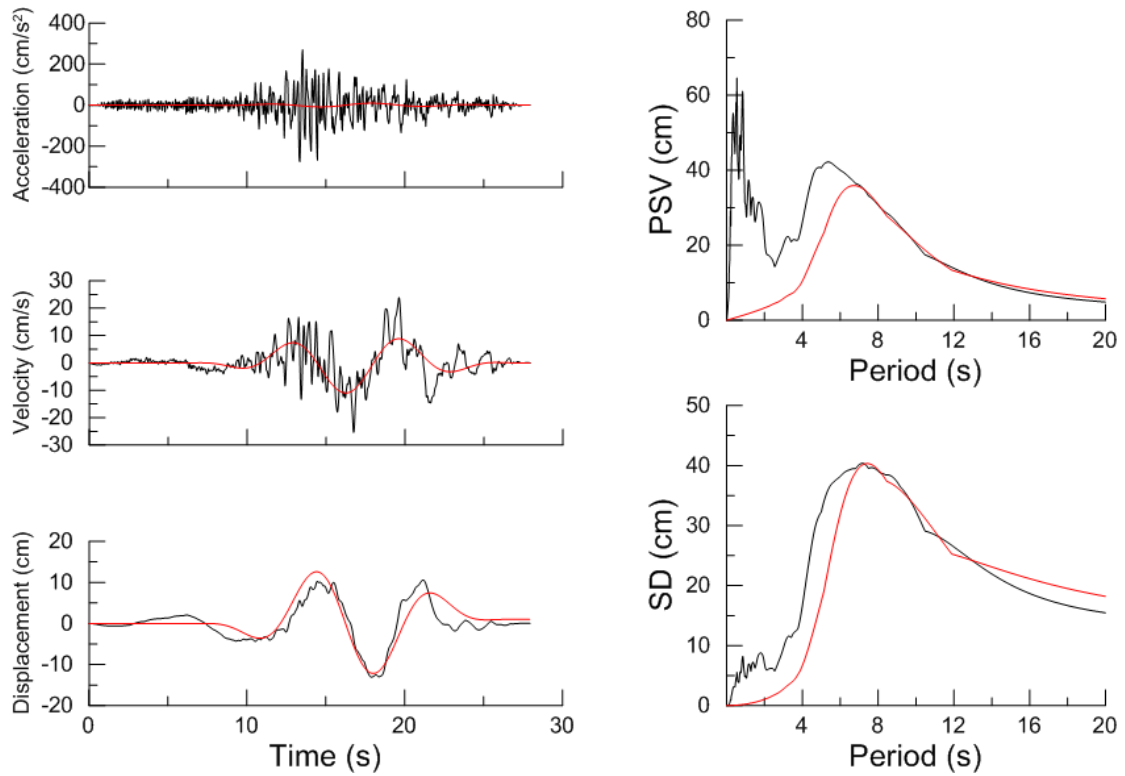
Χρονοϊστορίες και φάσματα της σεισμικής καταγραφής 1530T της βάσης NGA



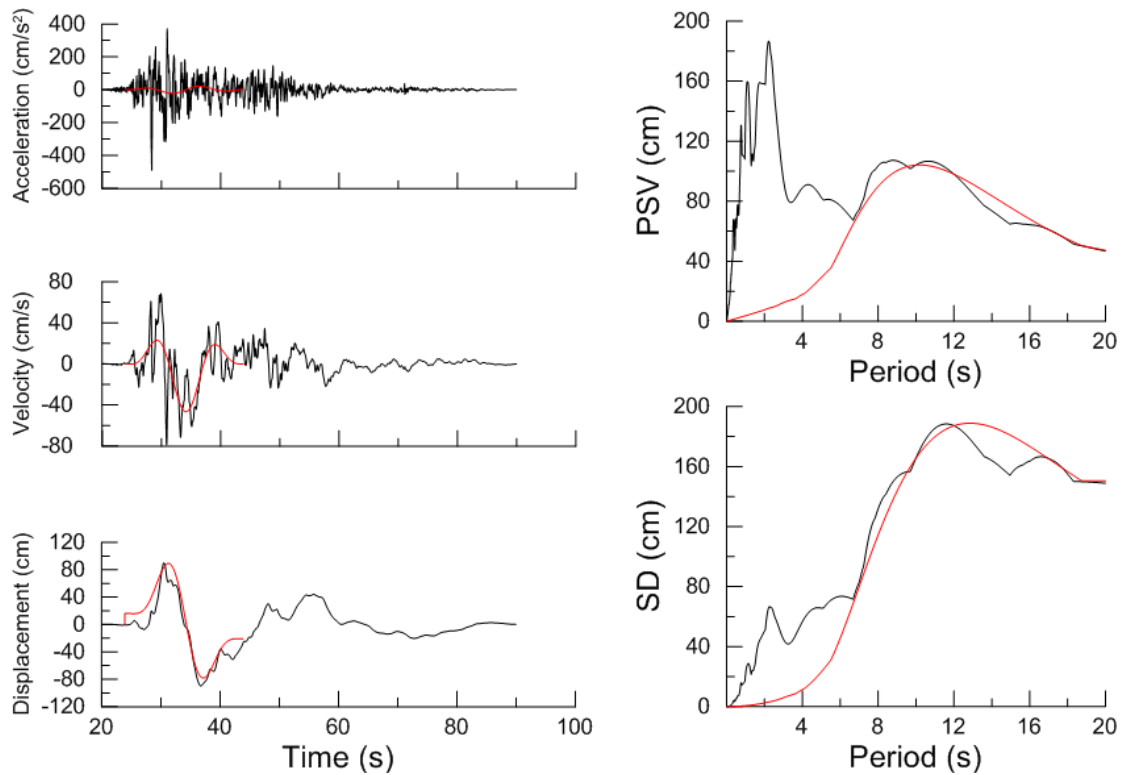
Χρονοϊστορίες και φάσματα της σεισμικής καταγραφής 1633T της βάσης NGA



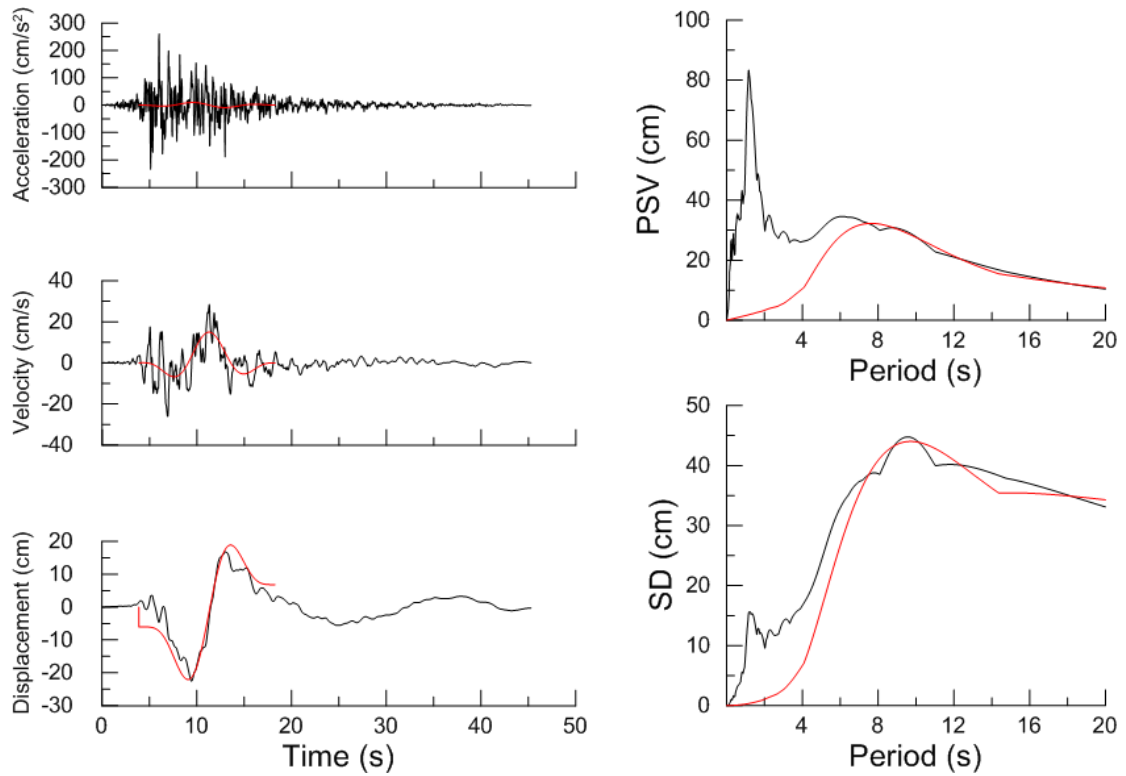
Χρονοϊστορίες και φάσματα της σεισμικής καταγραφής 585T της βάσης NGA



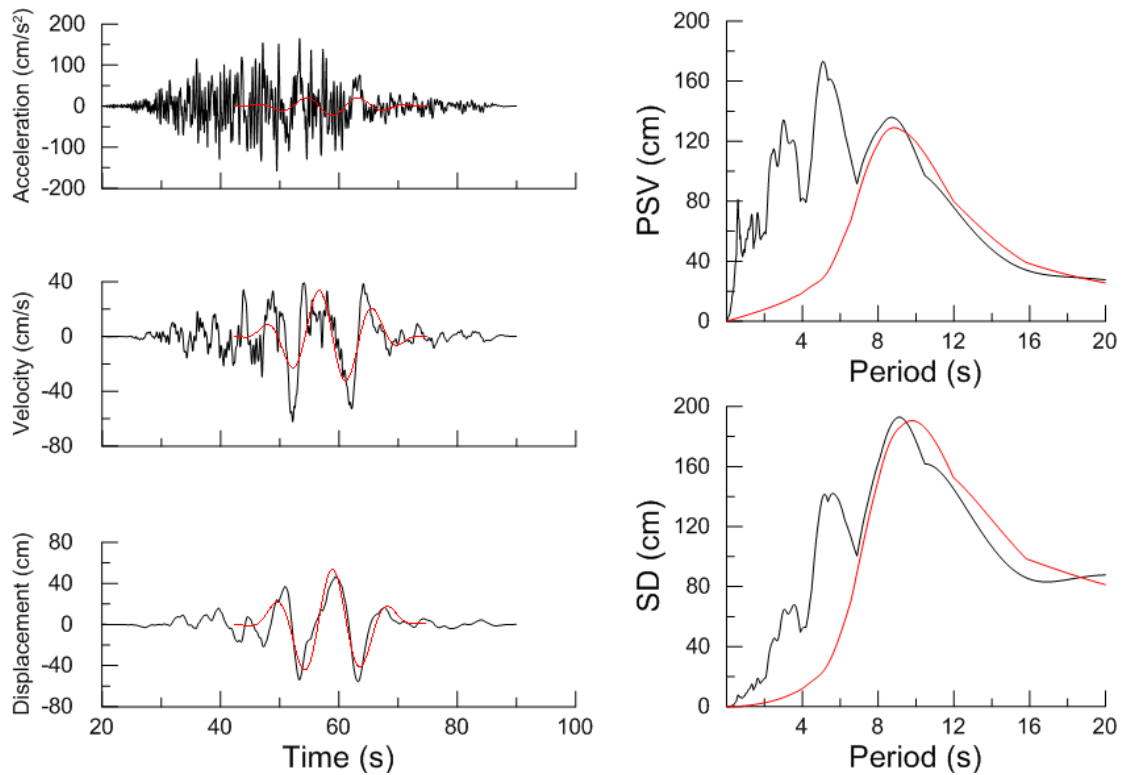
Χρονοϊστορίες και φάσματα της σεισμικής καταγραφής 848L της βάσης NGA



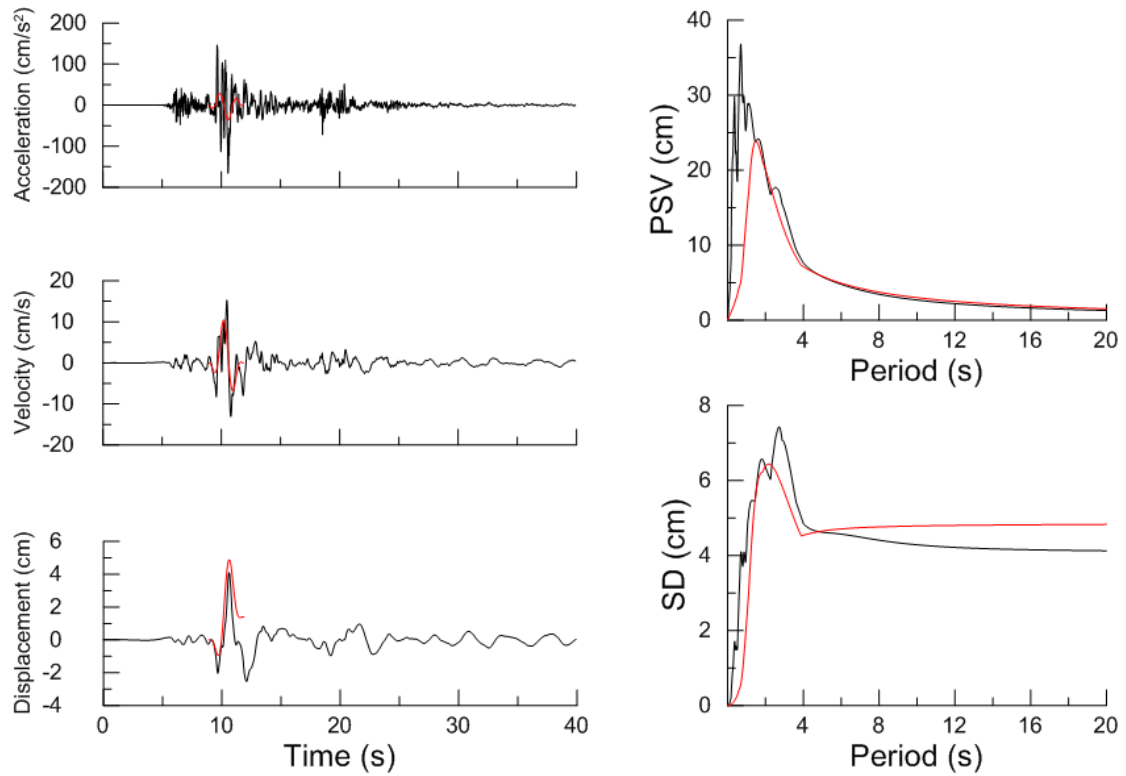
Χρονοϊστορίες και φάσματα της σεισμικής καταγραφής 1504L της βάσης NGA



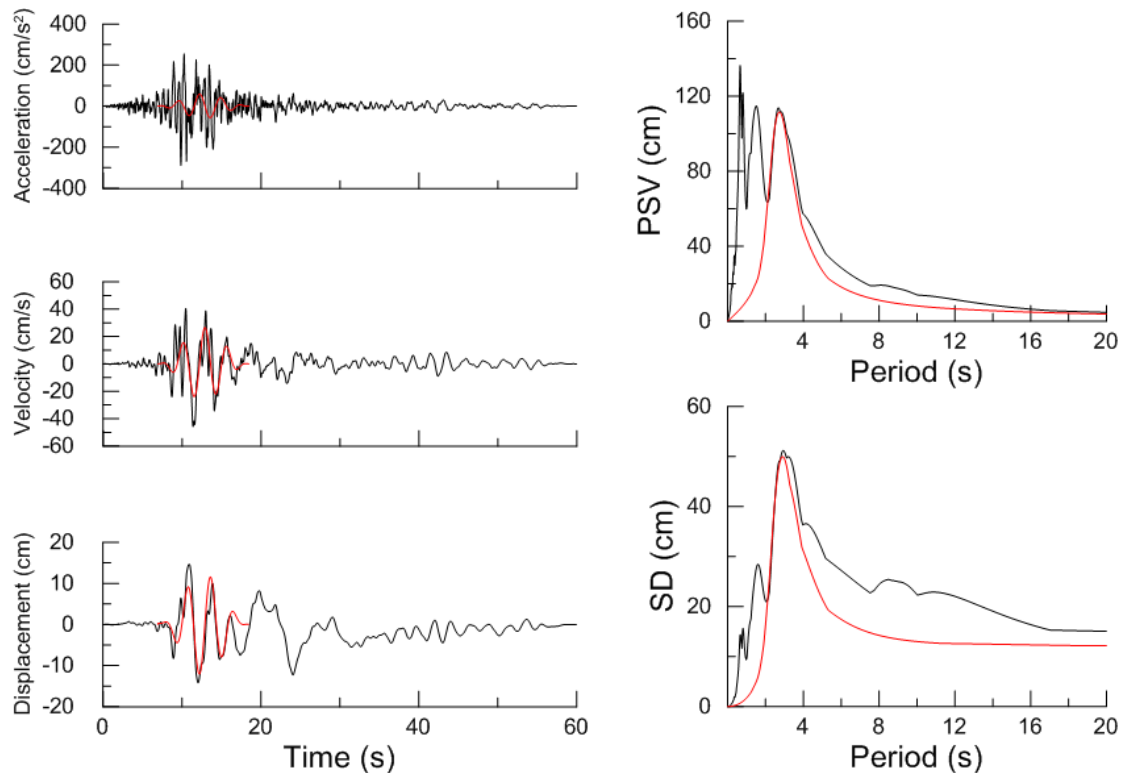
Χρονοϊστορίες και φάσματα της σεισμικής καταγραφής 1787L της βάσης NGA



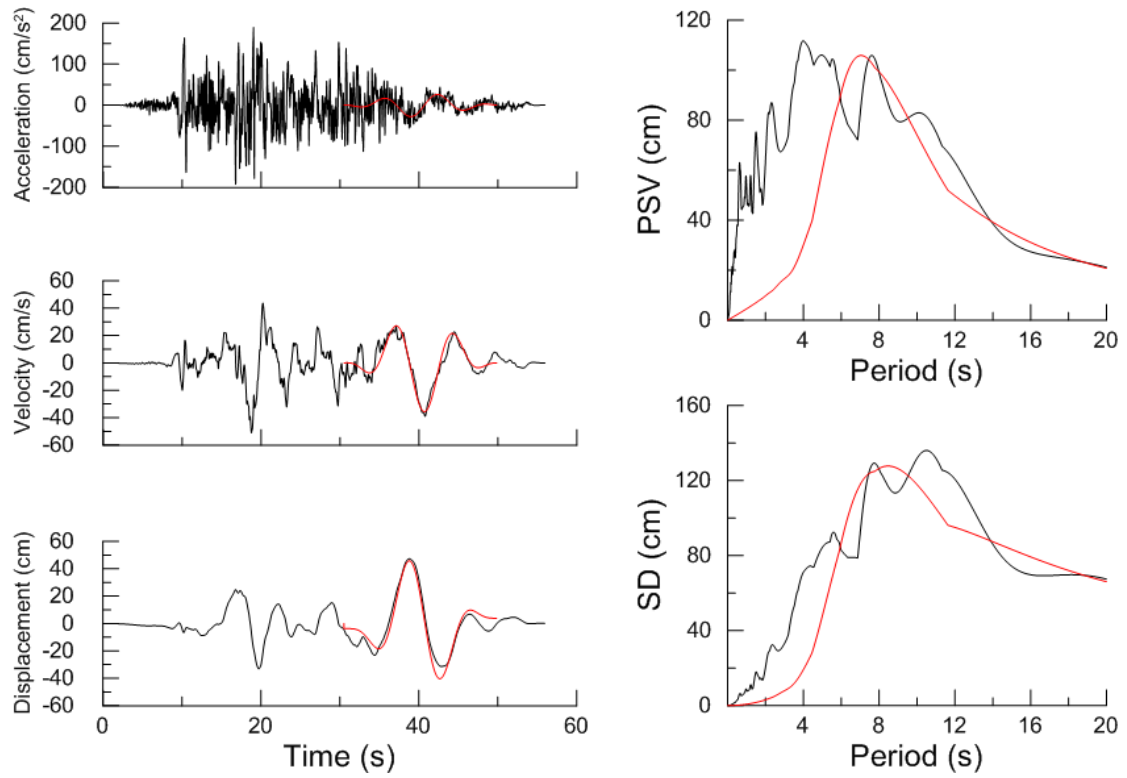
Χρονοϊστορίες και φάσματα της σεισμικής καταγραφής 1506T της βάσης NGA



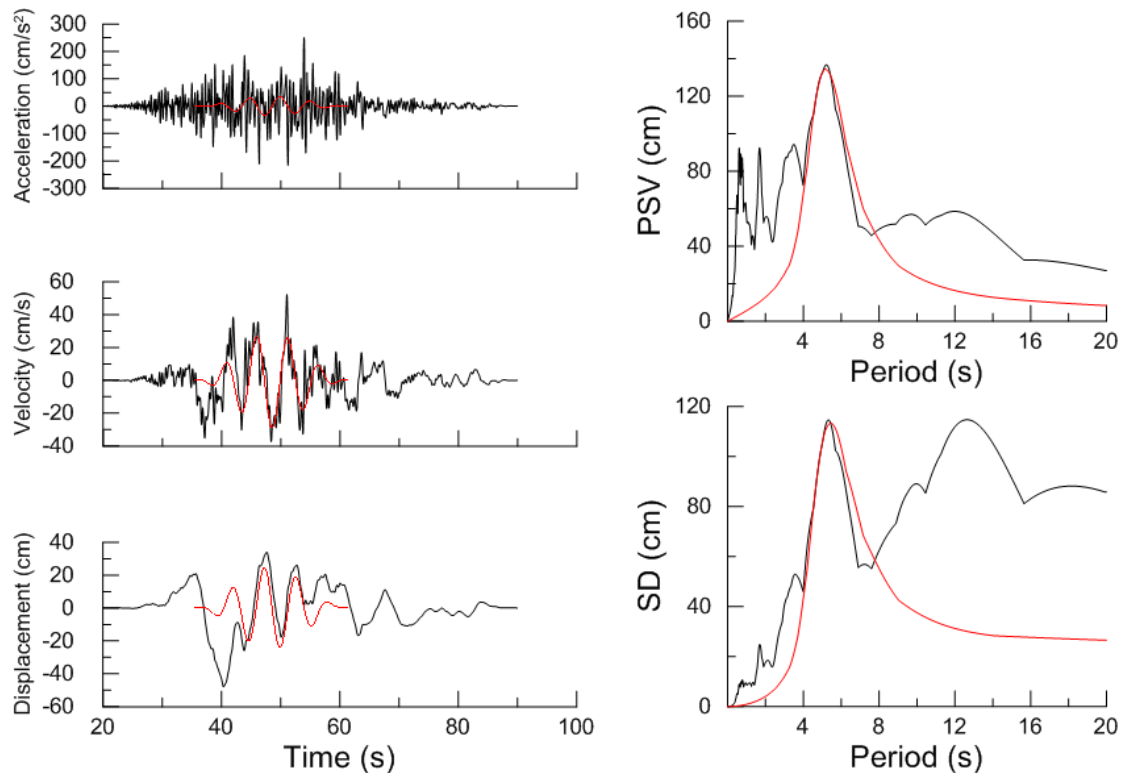
Χρονοϊστορίες και φάσματα της σεισμικής καταγραφής 2627L της βάσης NGA



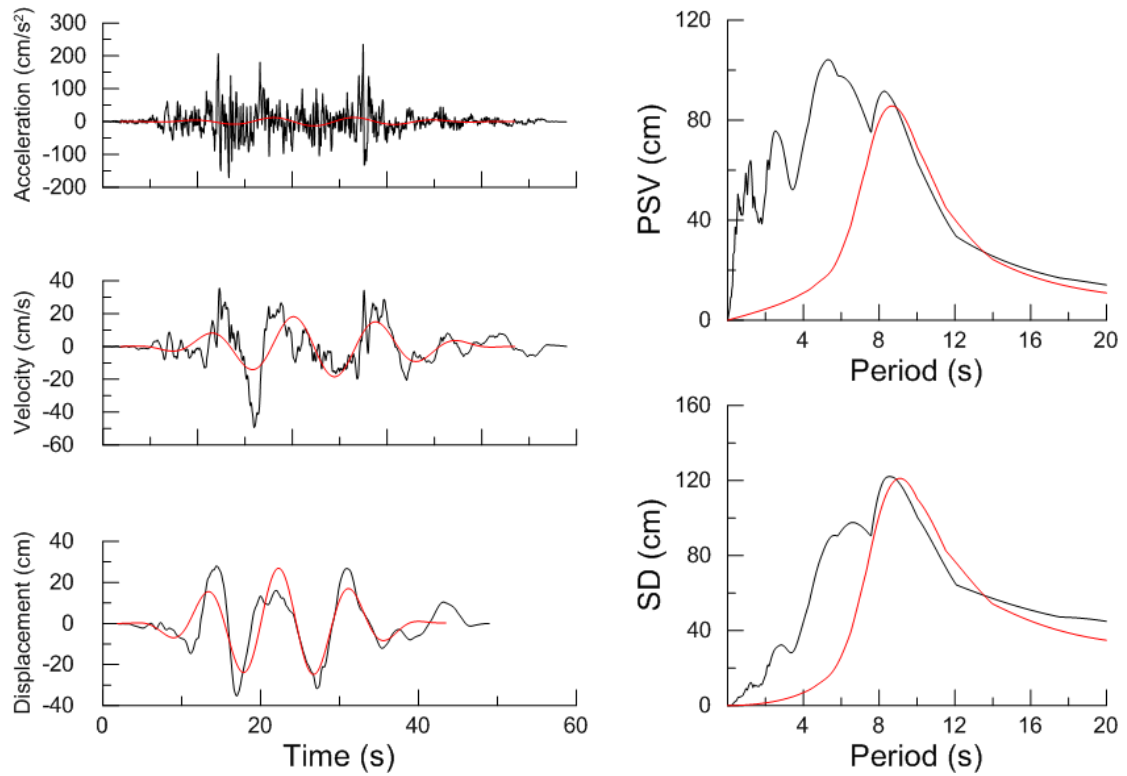
Χρονοϊστορίες και φάσματα της σεισμικής καταγραφής 759T της βάσης NGA



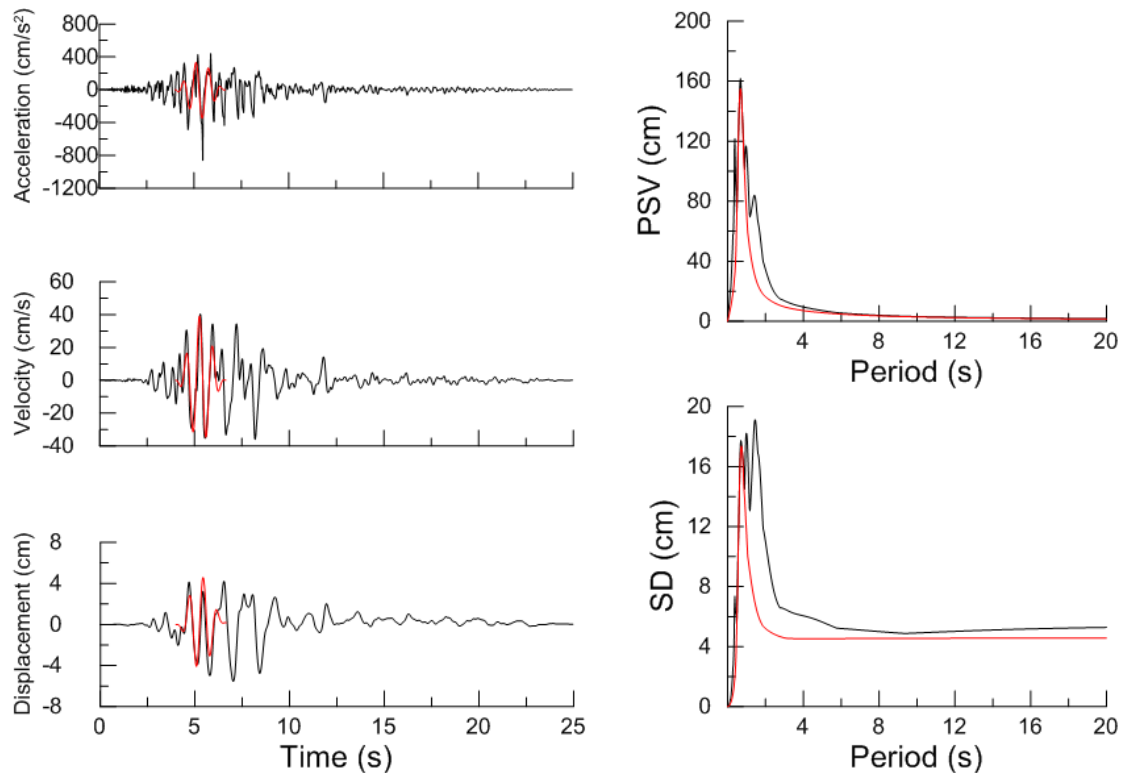
Χρονοϊστορίες και φάσματα της σεισμικής καταγραφής 1495T της βάσης NGA



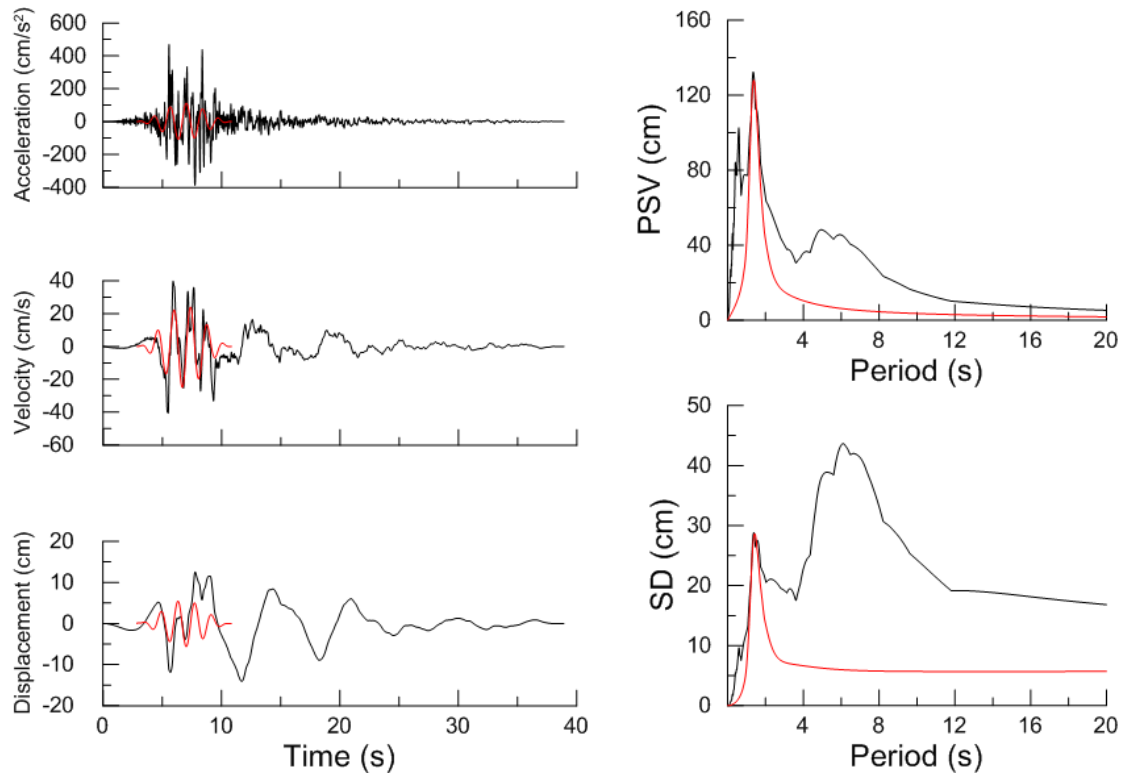
Χρονοϊστορίες και φάσματα της σεισμικής καταγραφής 1506L της βάσης NGA



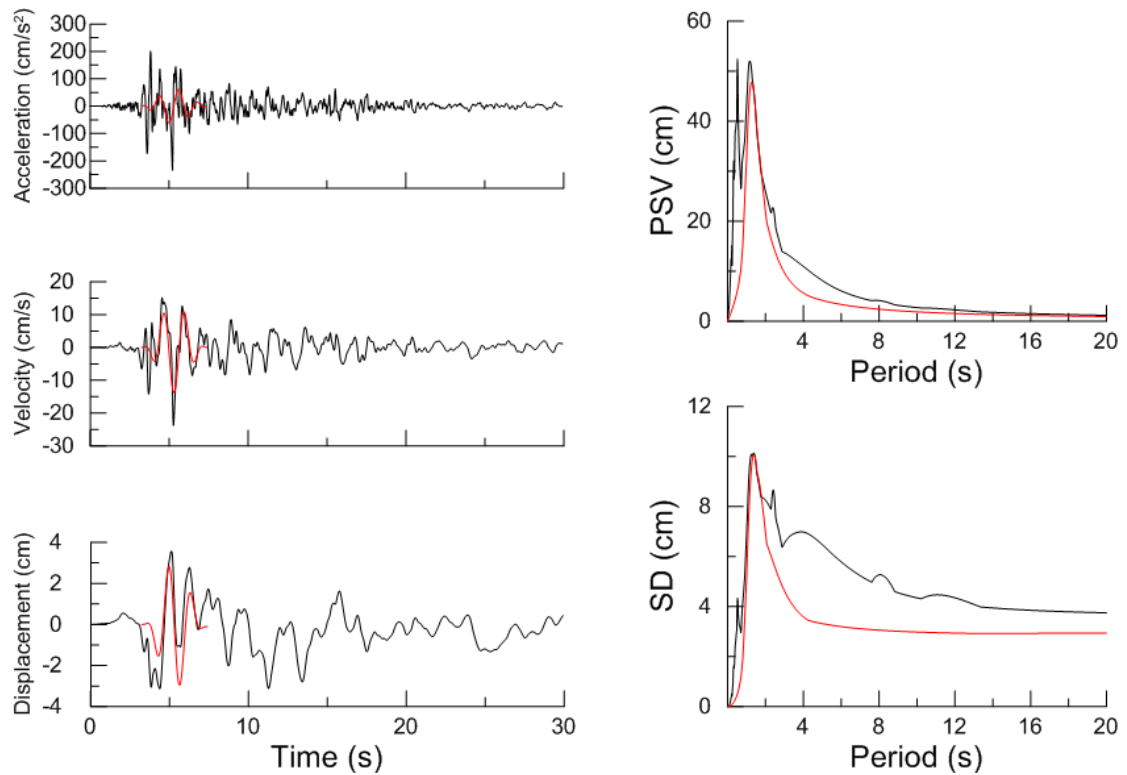
Χρονοϊστορίες και φάσματα της σεισμικής καταγραφής 1528T της βάσης NGA



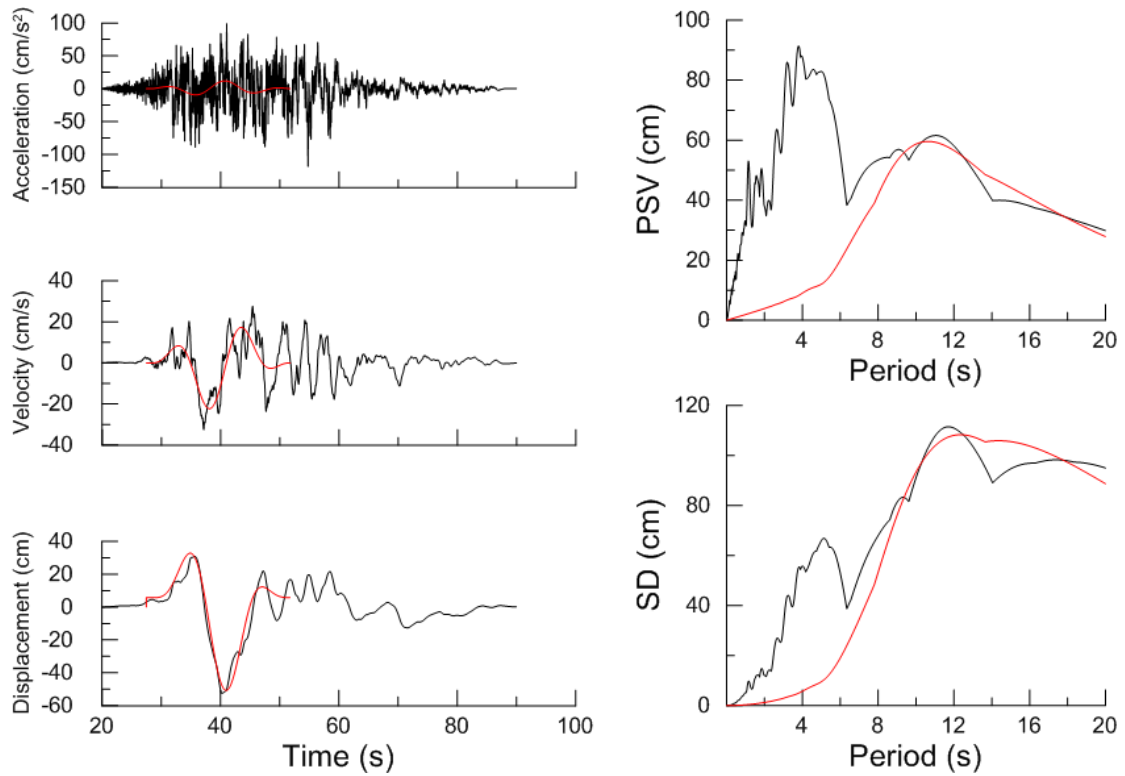
Χρονοϊστορίες και φάσματα της σεισμικής καταγραφής 1080L της βάσης NGA



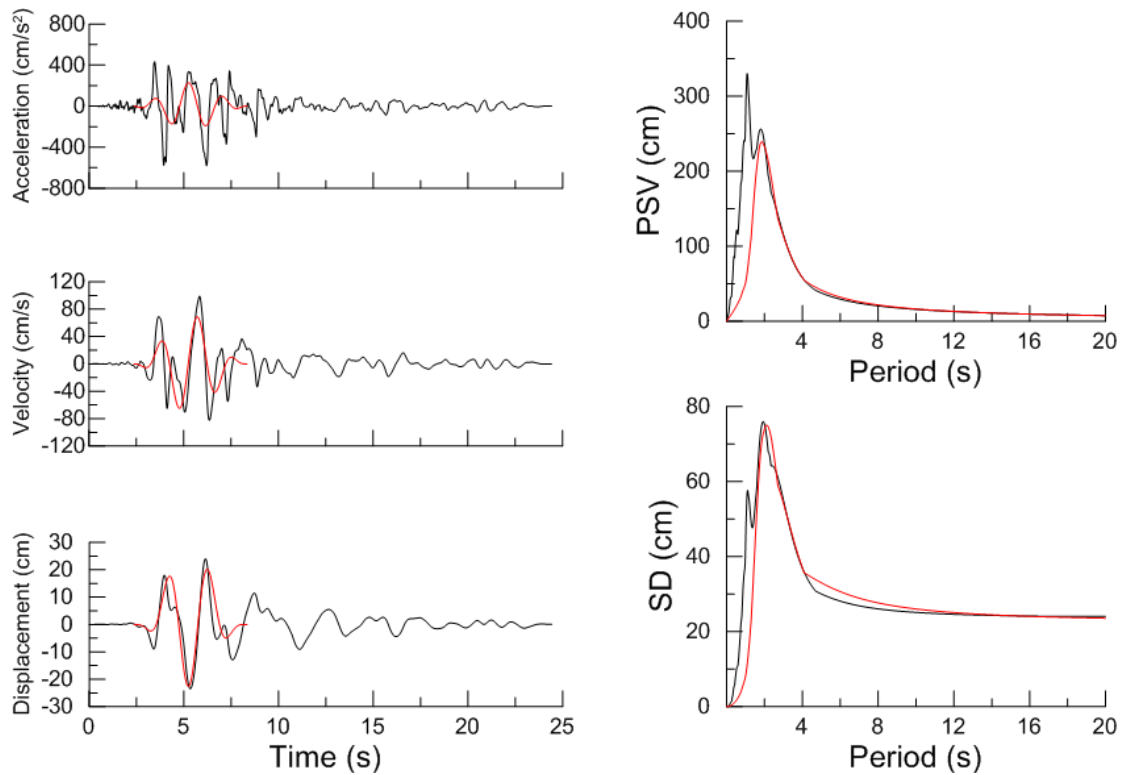
Χρονοϊστορίες και φάσματα της σεισμικής καταγραφής 184T της βάσης NGA



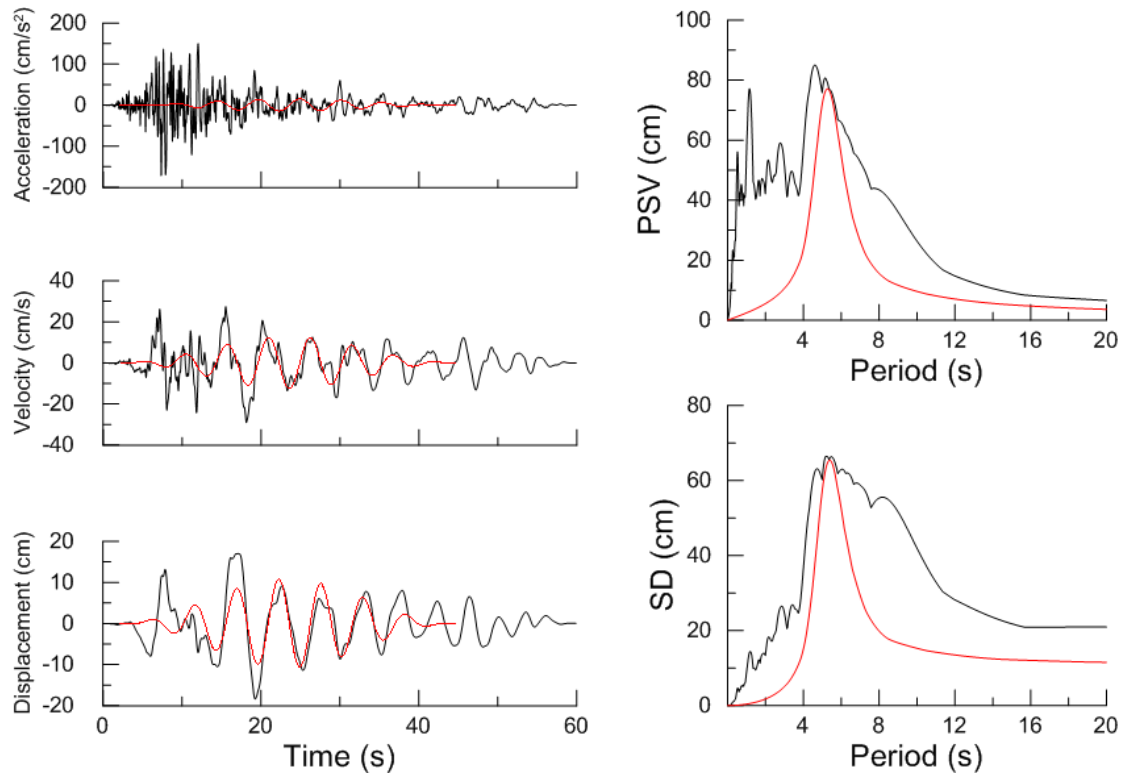
Χρονοϊστορίες και φάσματα της σεισμικής καταγραφής 764T της βάσης NGA



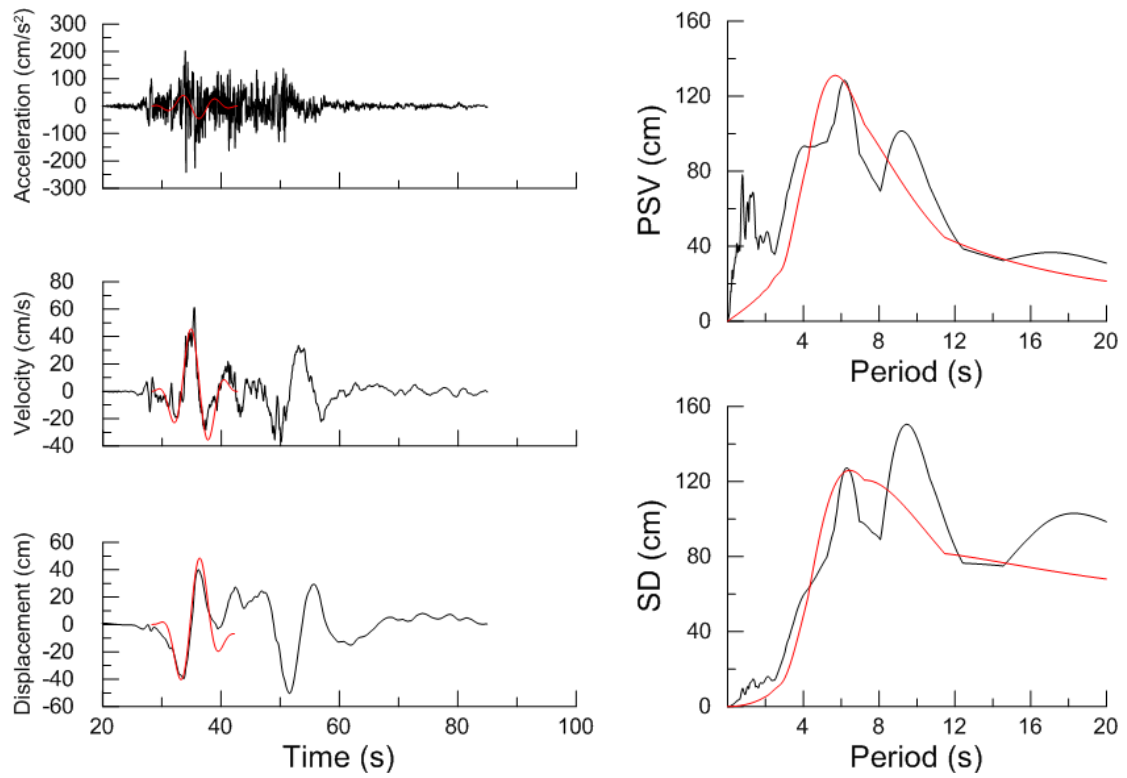
Χρονοϊστορίες και φάσματα της σεισμικής καταγραφής 1488L της βάσης NGA



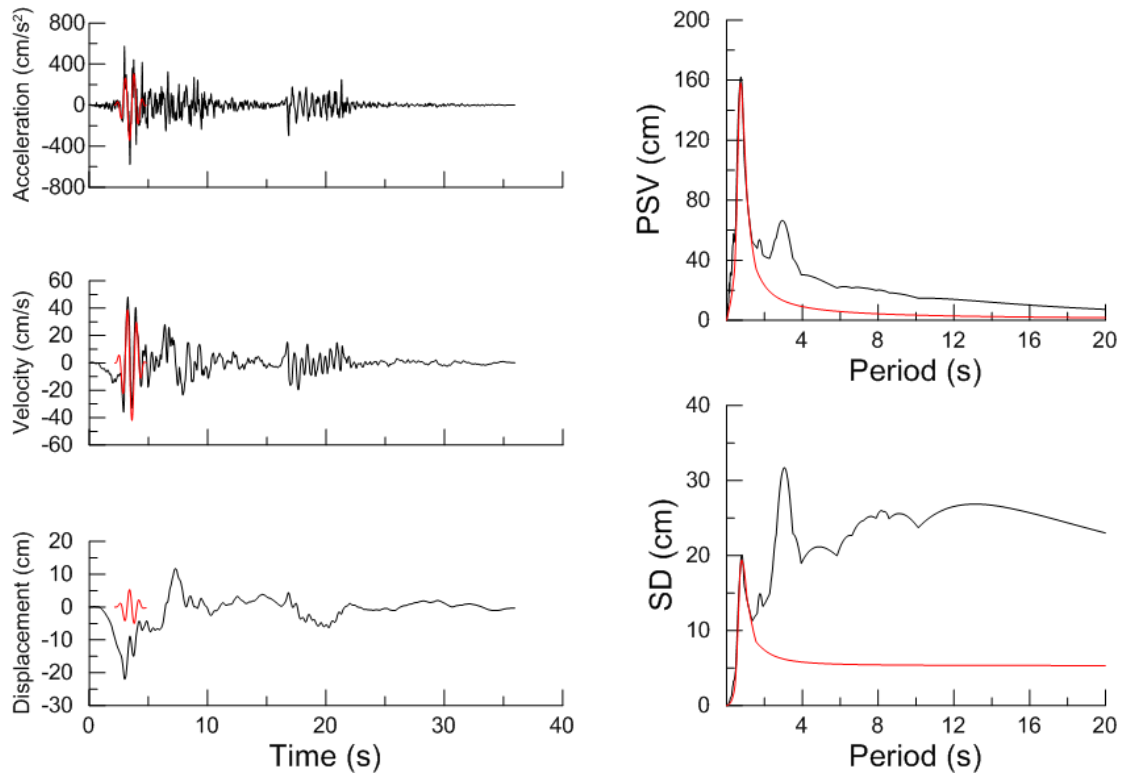
Χρονοϊστορίες και φάσματα της σεισμικής καταγραφής 982T της βάσης NGA



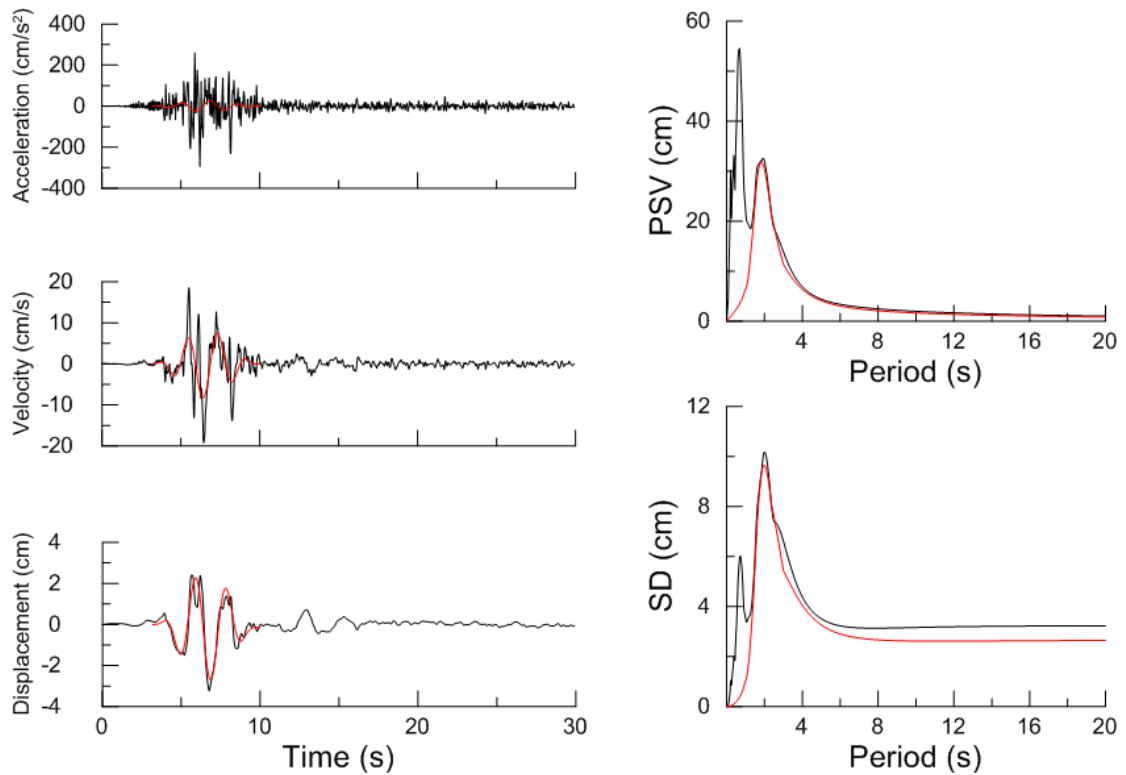
Χρονοϊστορίες και φάσματα της σεισμικής καταγραφής 776T της βάσης NGA



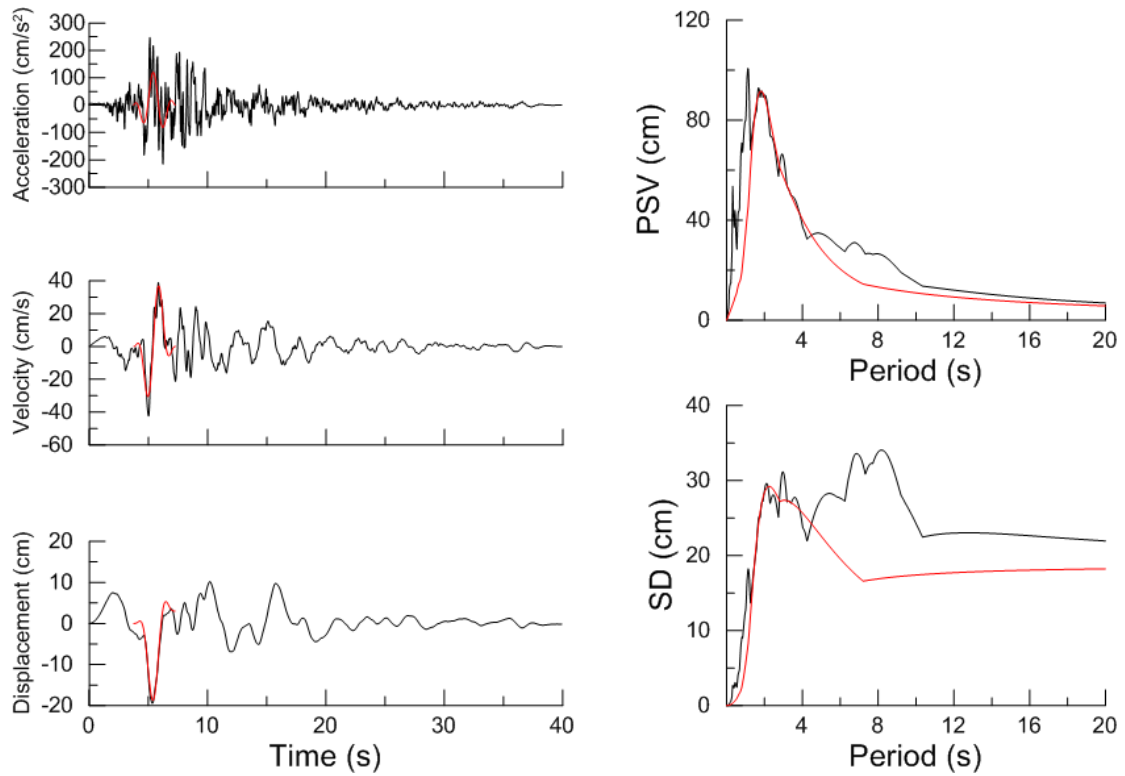
Χρονοϊστορίες και φάσματα της σεισμικής καταγραφής 1489T της βάσης NGA



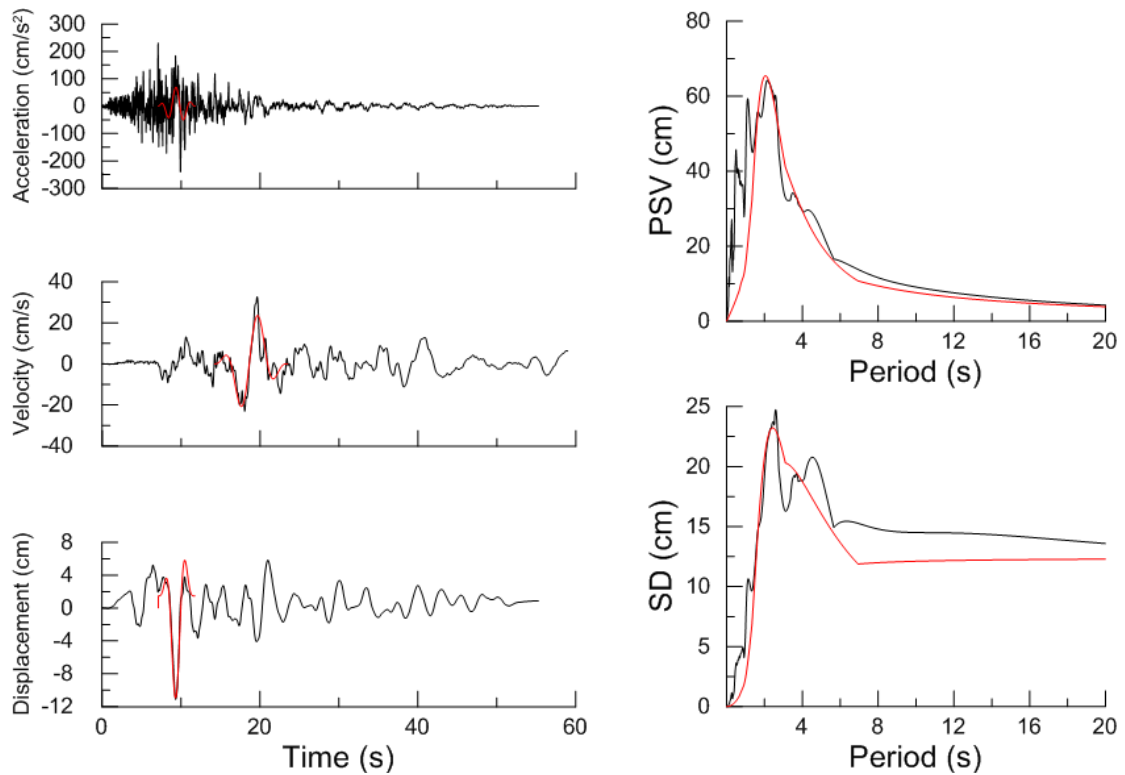
Χρονοϊστορίες και φάσματα της σεισμικής καταγραφής 828L της βάσης NGA



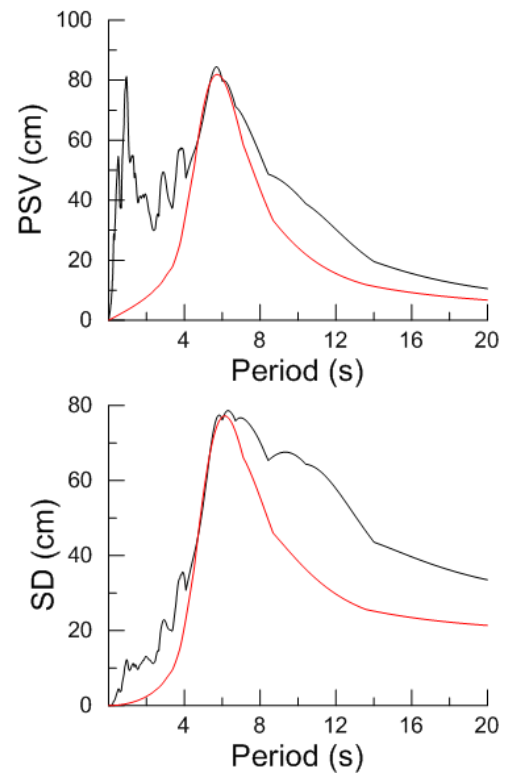
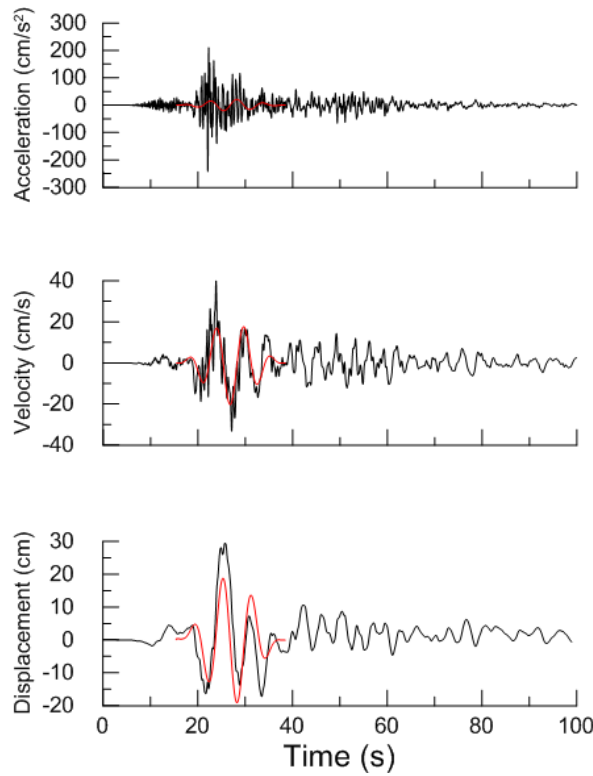
Χρονοϊστορίες και φάσματα της σεισμικής καταγραφής 1752L της βάσης NGA



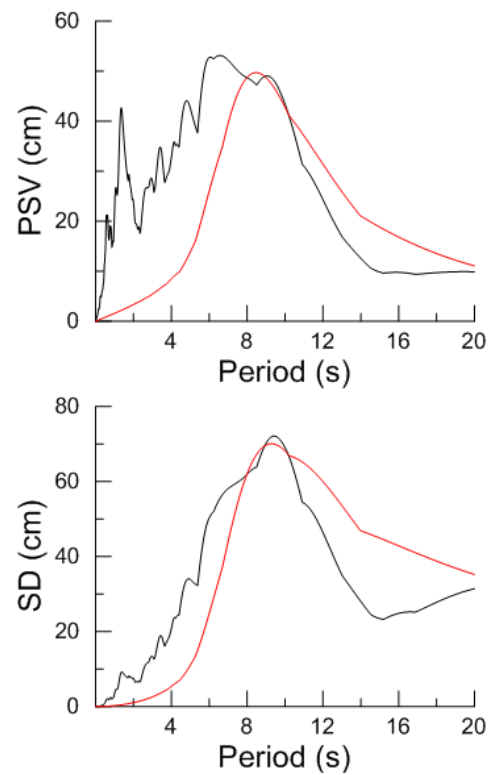
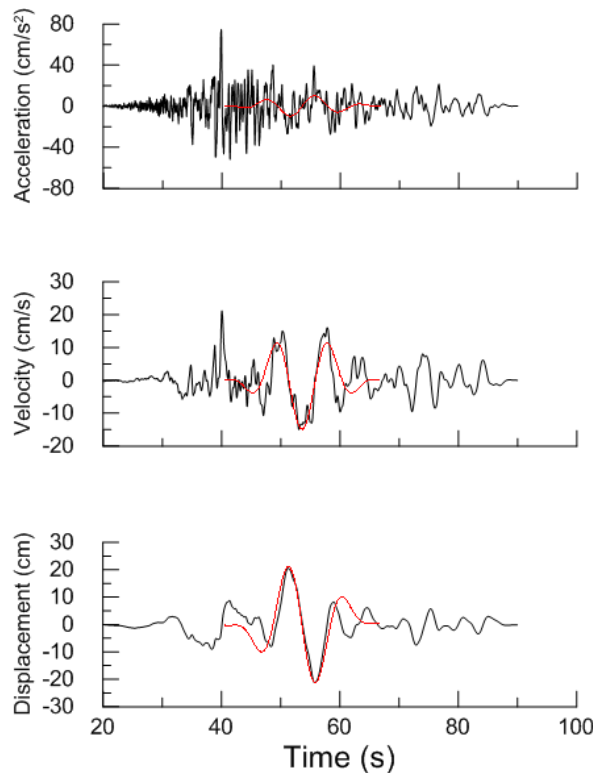
Χρονοϊστορίες και φάσματα της σεισμικής καταγραφής 803L της βάσης NGA



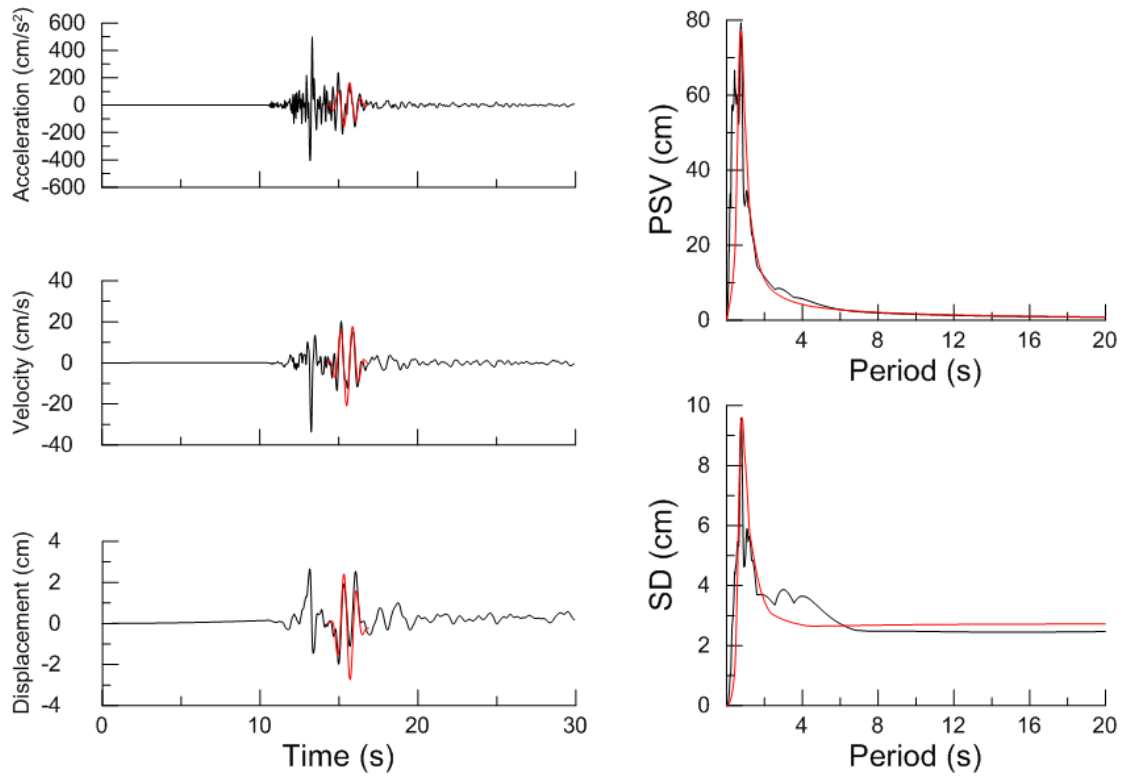
Χρονοϊστορίες και φάσματα της σεισμικής καταγραφής 1009T της βάσης NGA



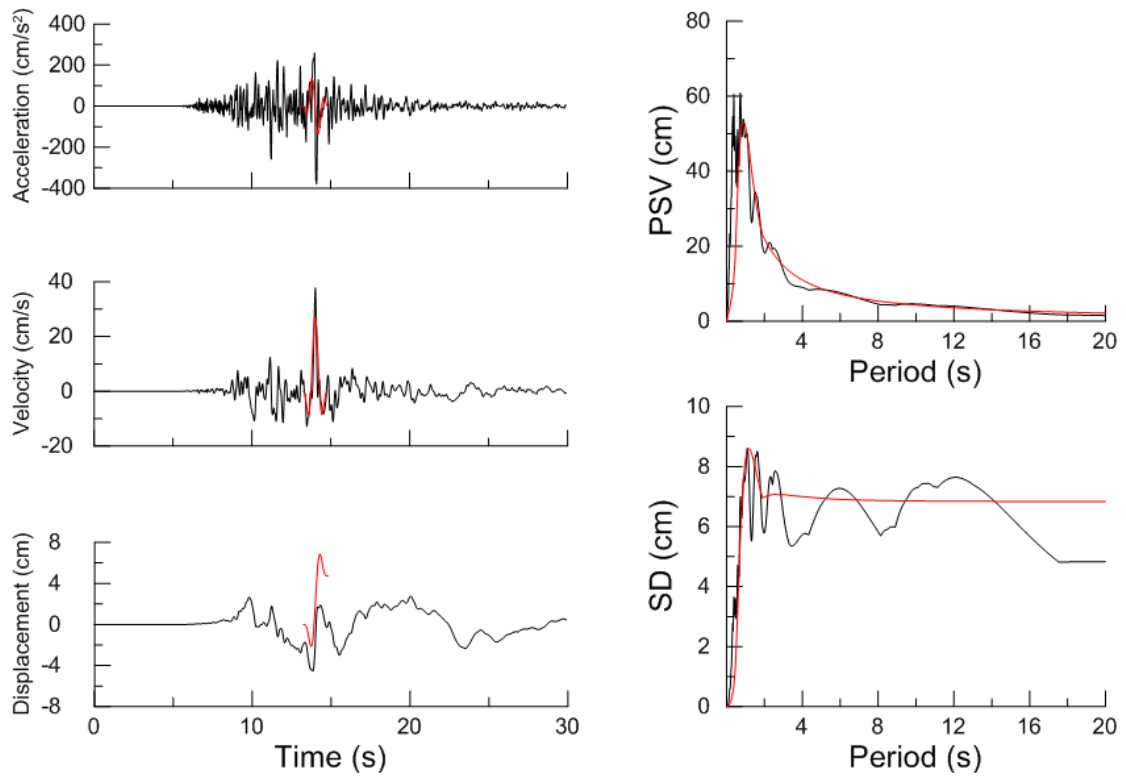
Χρονοϊστορίες και φάσματα της σεισμικής καταγραφής 1147L της βάσης NGA



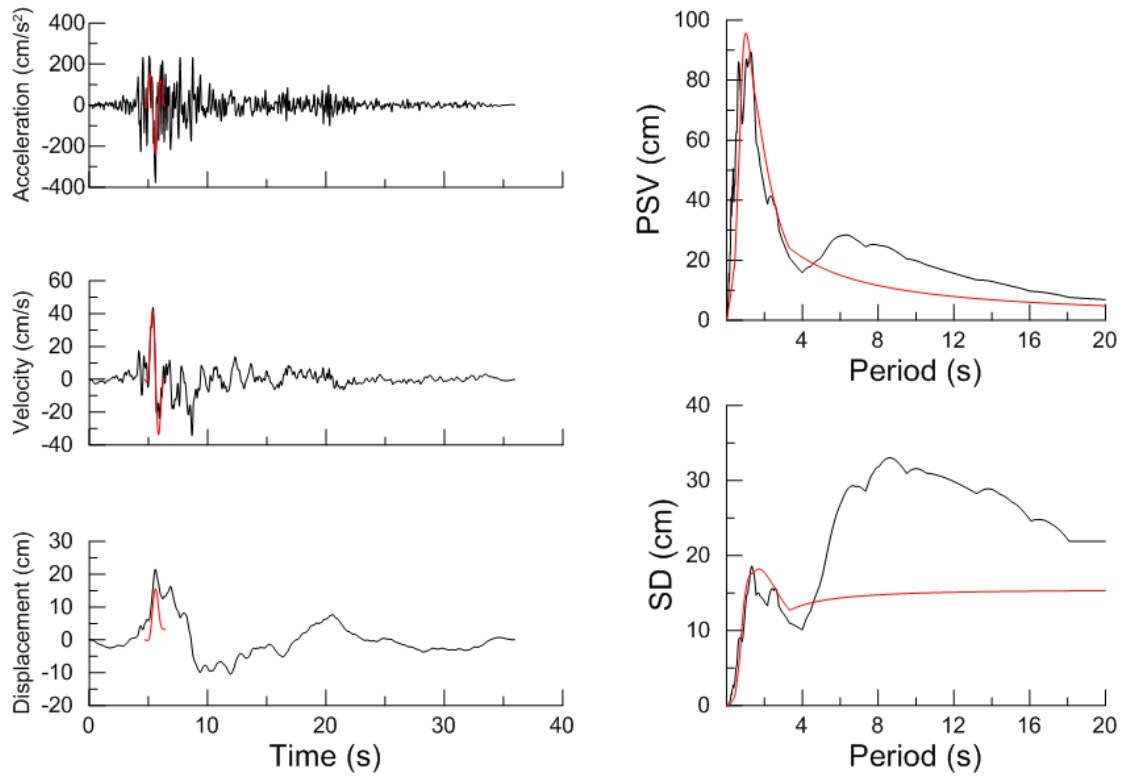
Χρονοϊστορίες και φάσματα της σεισμικής καταγραφής 1463T της βάσης NGA



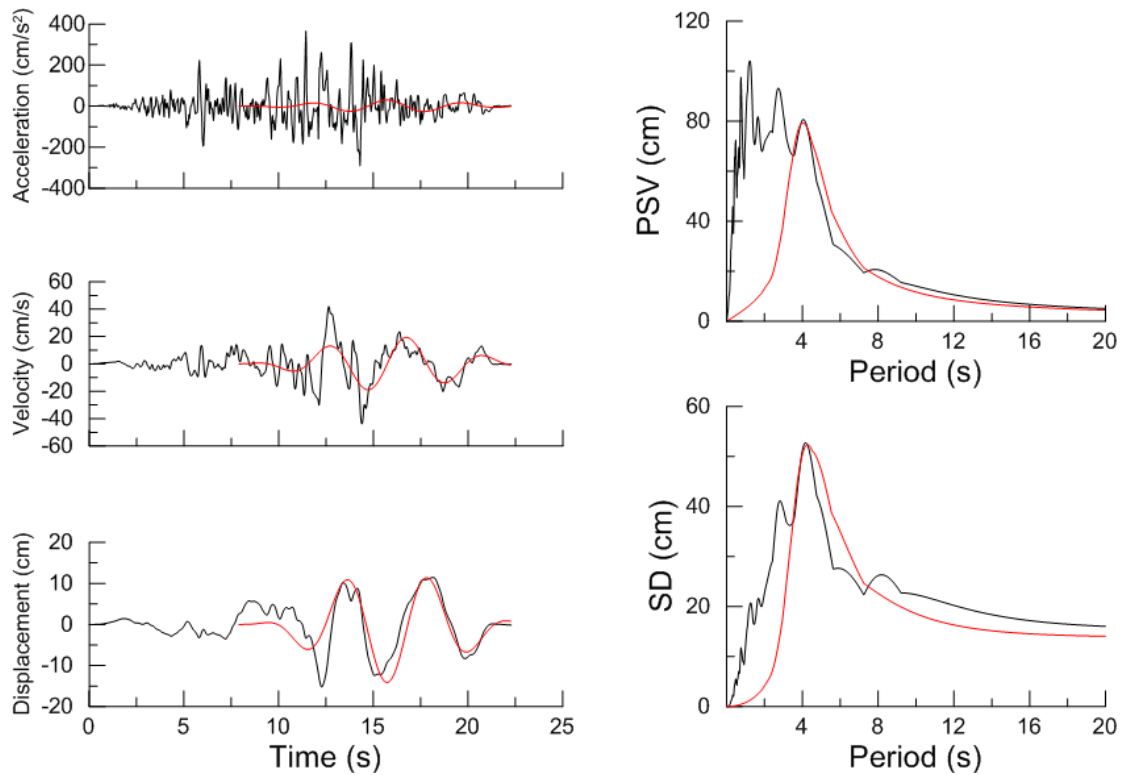
Χρονοϊστορίες και φάσματα της σεισμικής καταγραφής 1853T της βάσης NGA



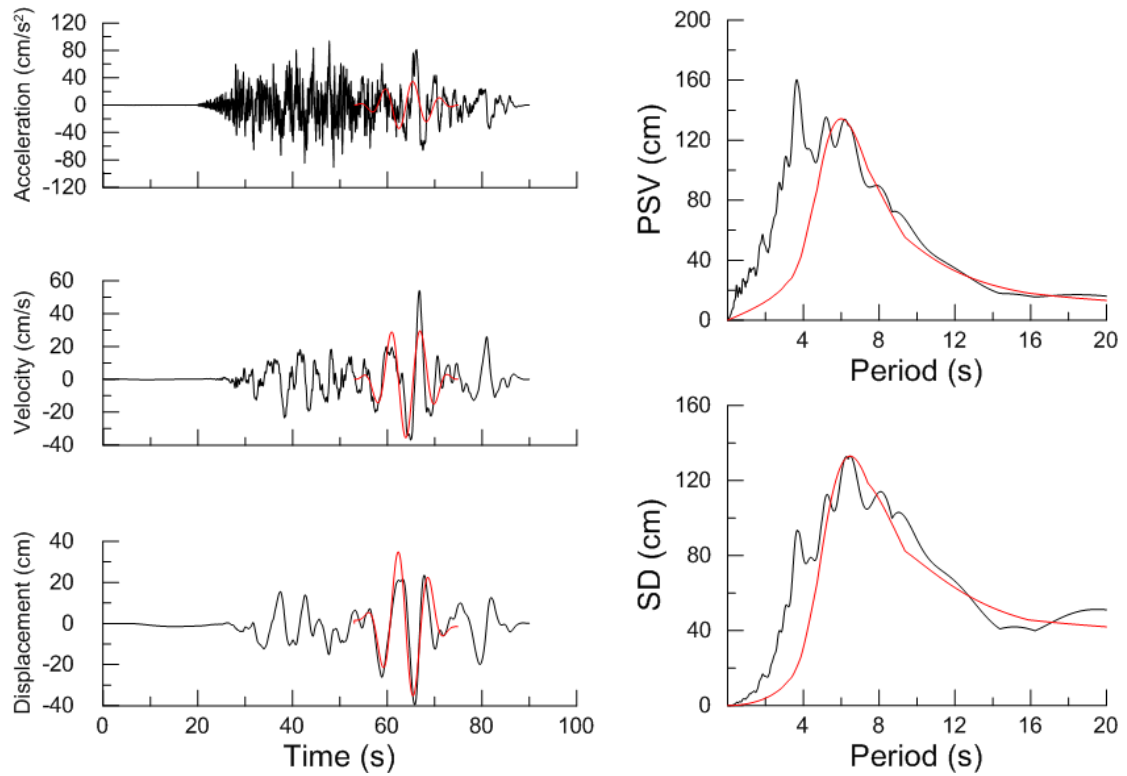
Χρονοϊστορίες και φάσματα της σεισμικής καταγραφής 1012T της βάσης NGA



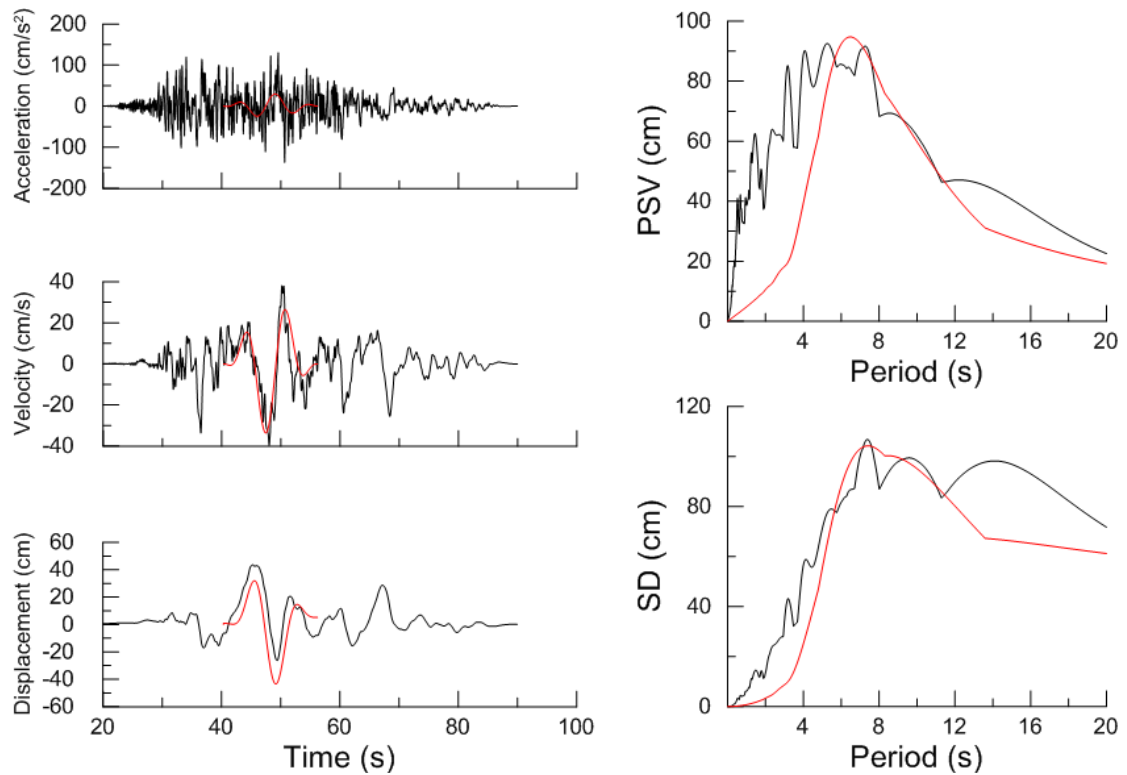
Χρονοϊστορίες και φάσματα της σεισμικής καταγραφής 829L της βάσης NGA



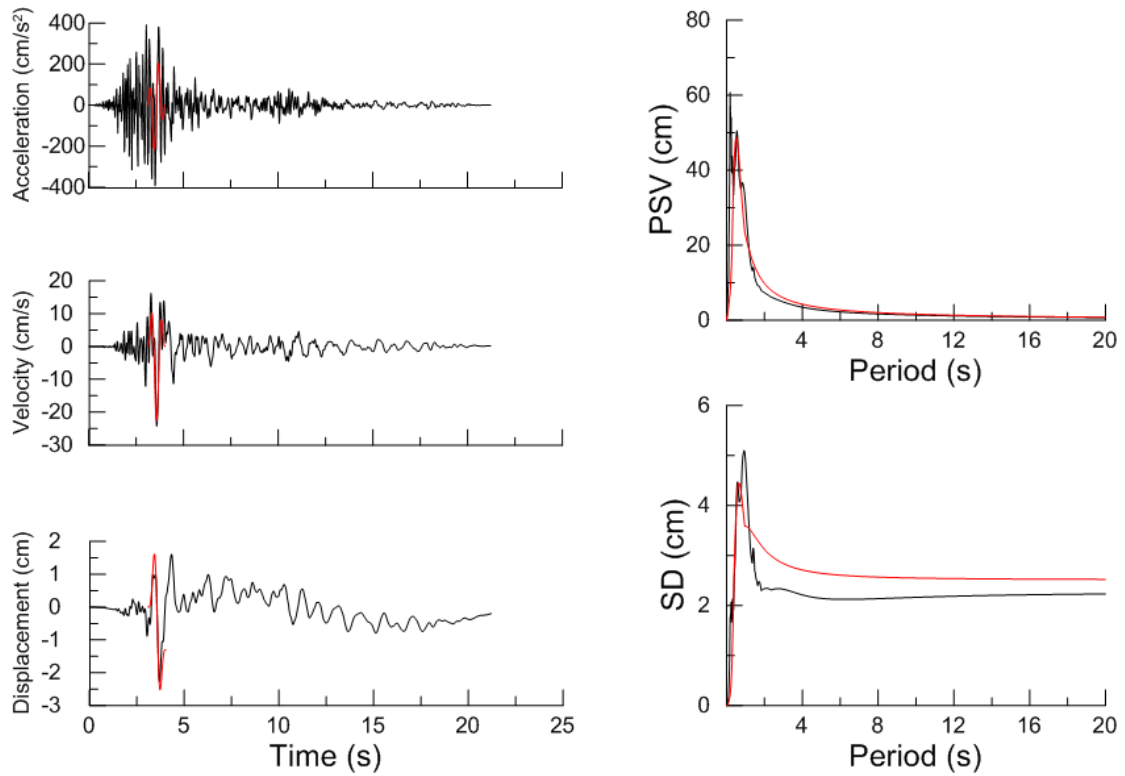
Χρονοϊστορίες και φάσματα της σεισμικής καταγραφής 723T της βάσης NGA



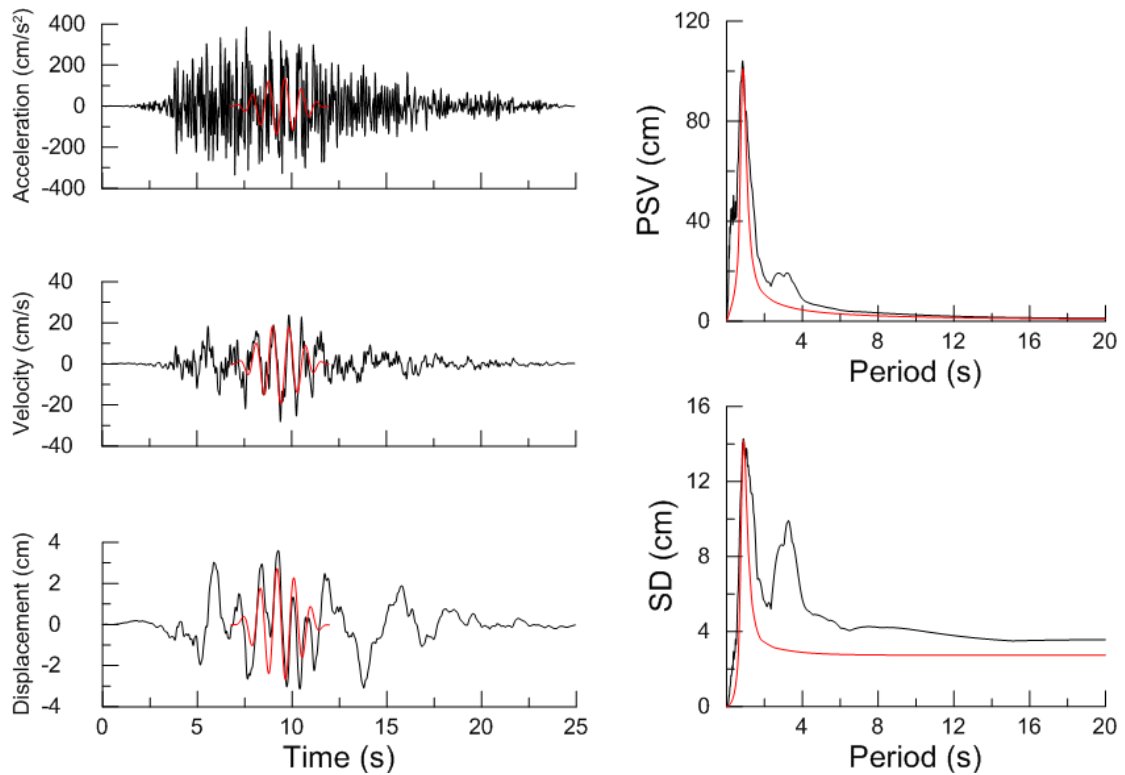
Χρονοϊστορίες και φάσματα της σεισμικής καταγραφής 1540L της βάσης NGA



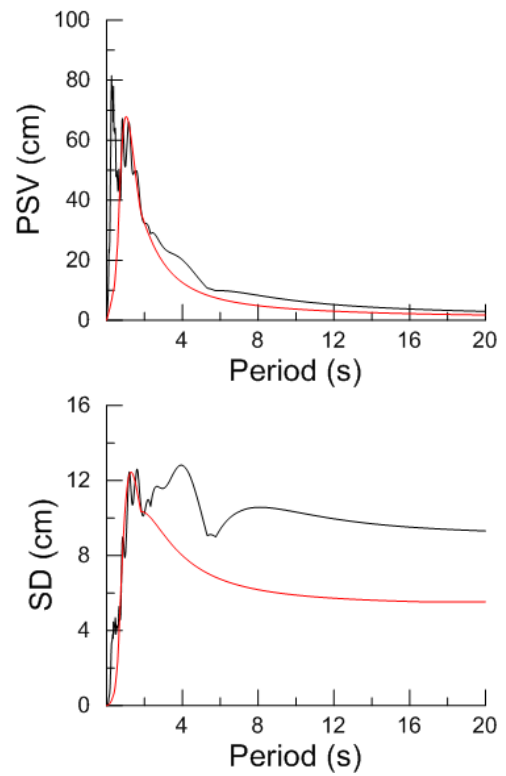
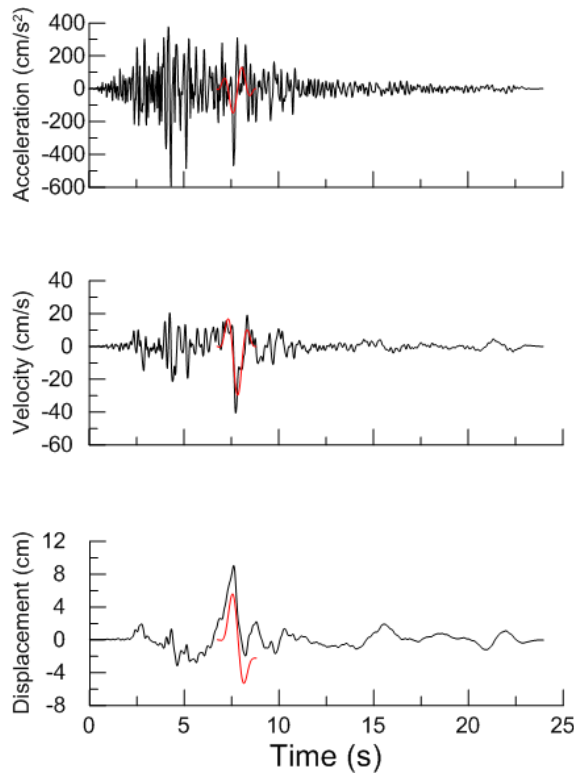
Χρονοϊστορίες και φάσματα της σεισμικής καταγραφής 1500L της βάσης NGA



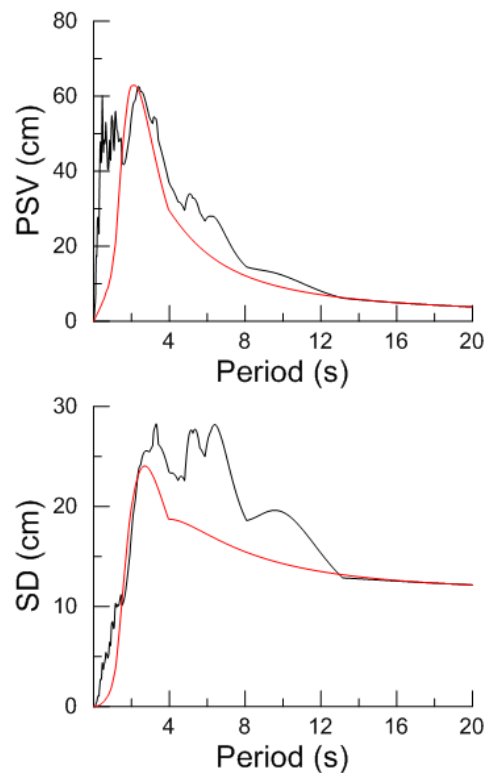
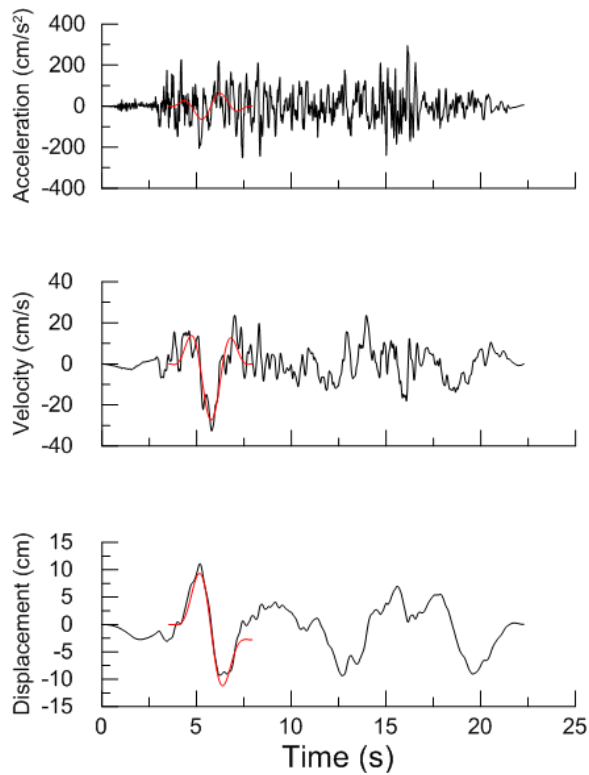
Χρονοϊστορίες και φάσματα της σεισμικής καταγραφής 407T της βάσης NGA



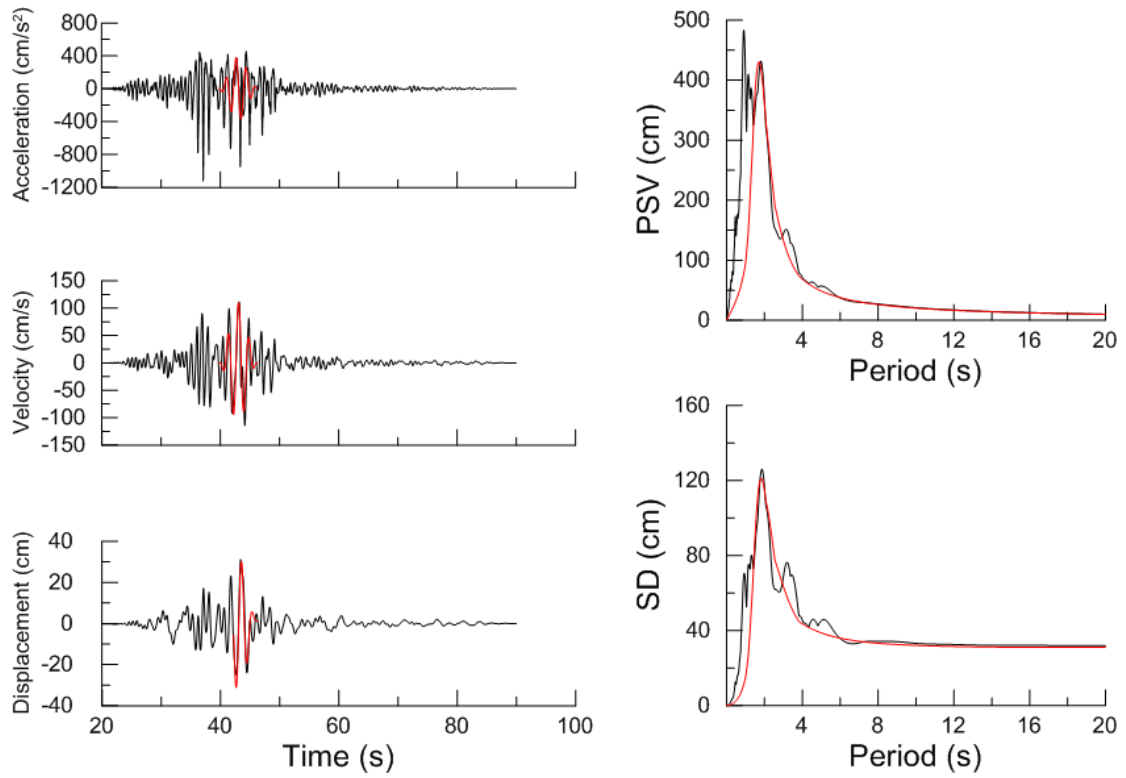
Χρονοϊστορίες και φάσματα της σεισμικής καταγραφής 811L της βάσης NGA



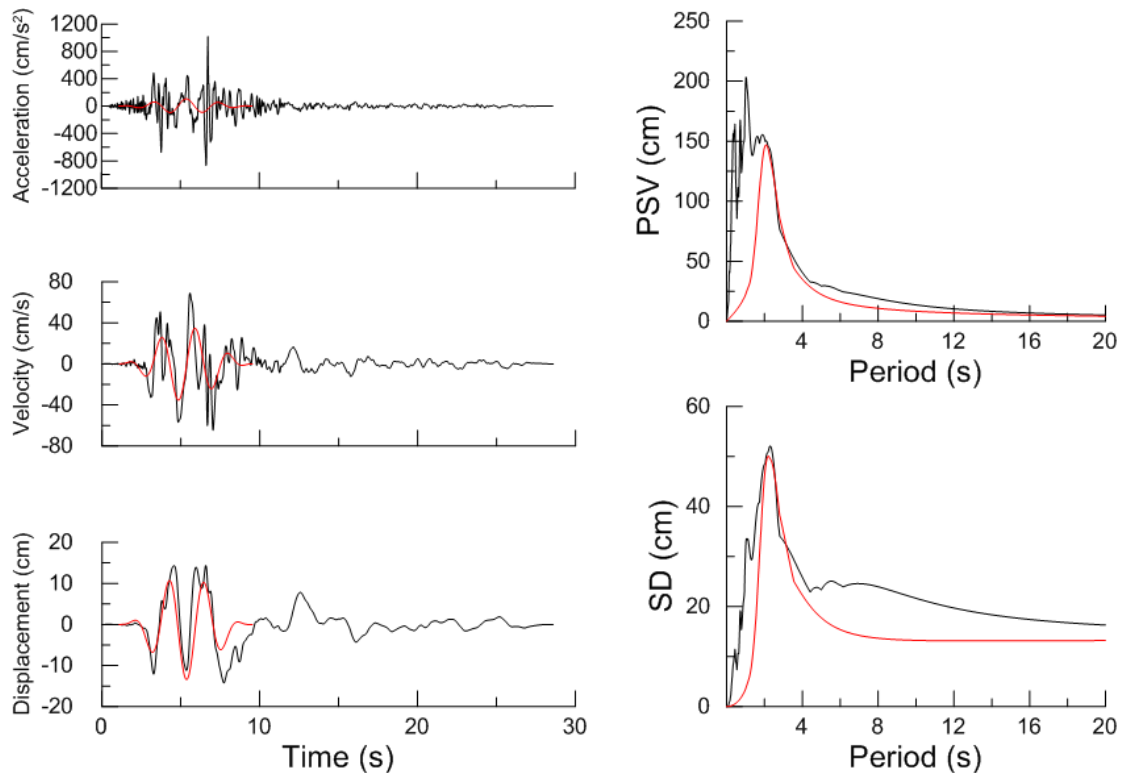
Χρονοϊστορίες και φάσματα της σεισμικής καταγραφής 952L της βάσης NGA



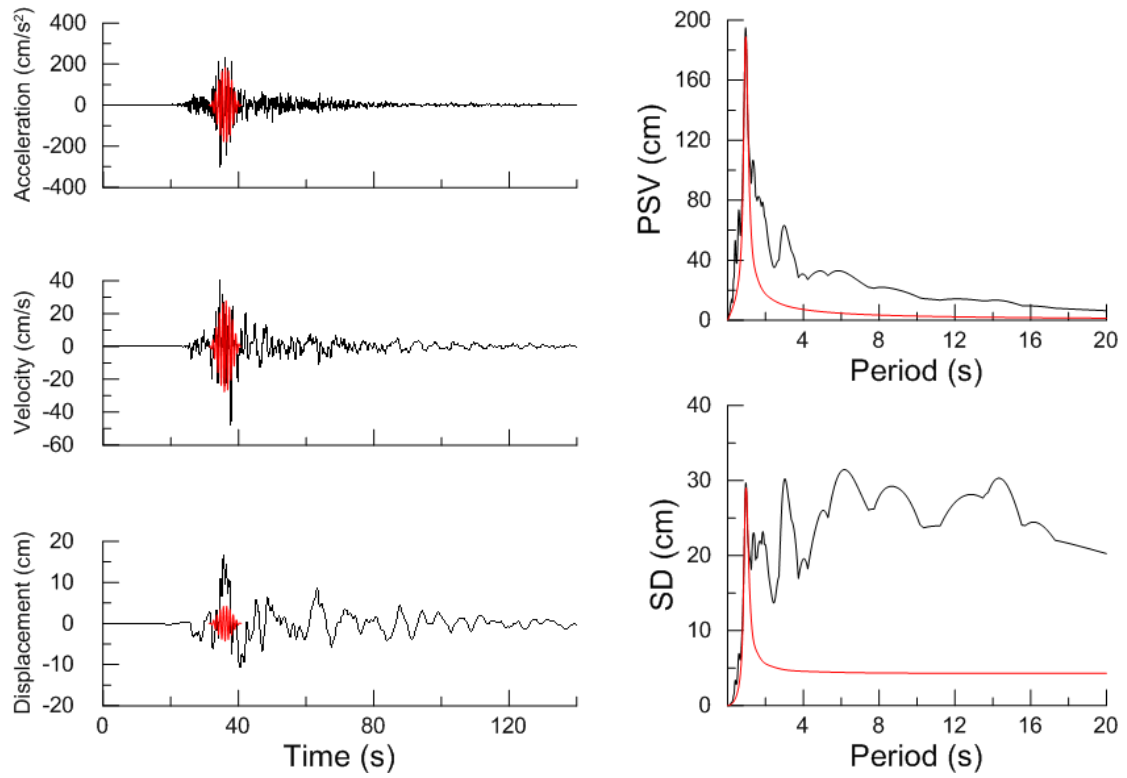
Χρονοϊστορίες και φάσματα της σεισμικής καταγραφής 725T της βάσης NGA



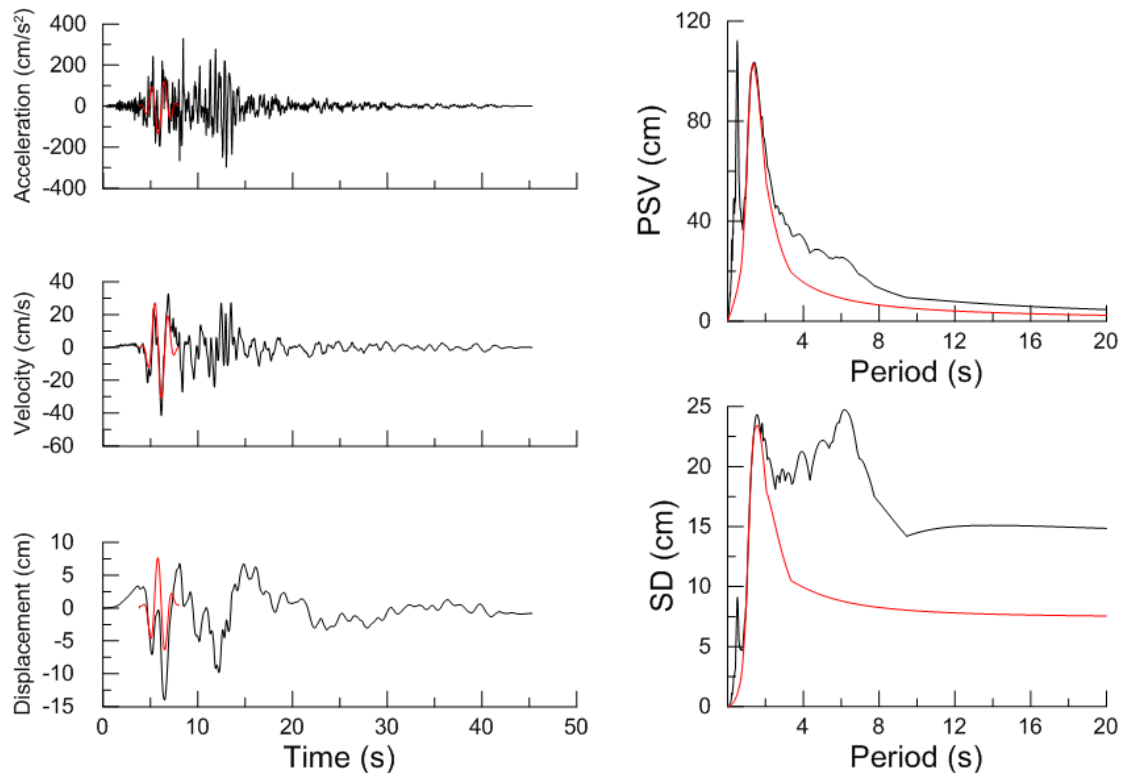
Χρονοϊστορίες και φάσματα της σεισμικής καταγραφής 1517L της βάσης NGA



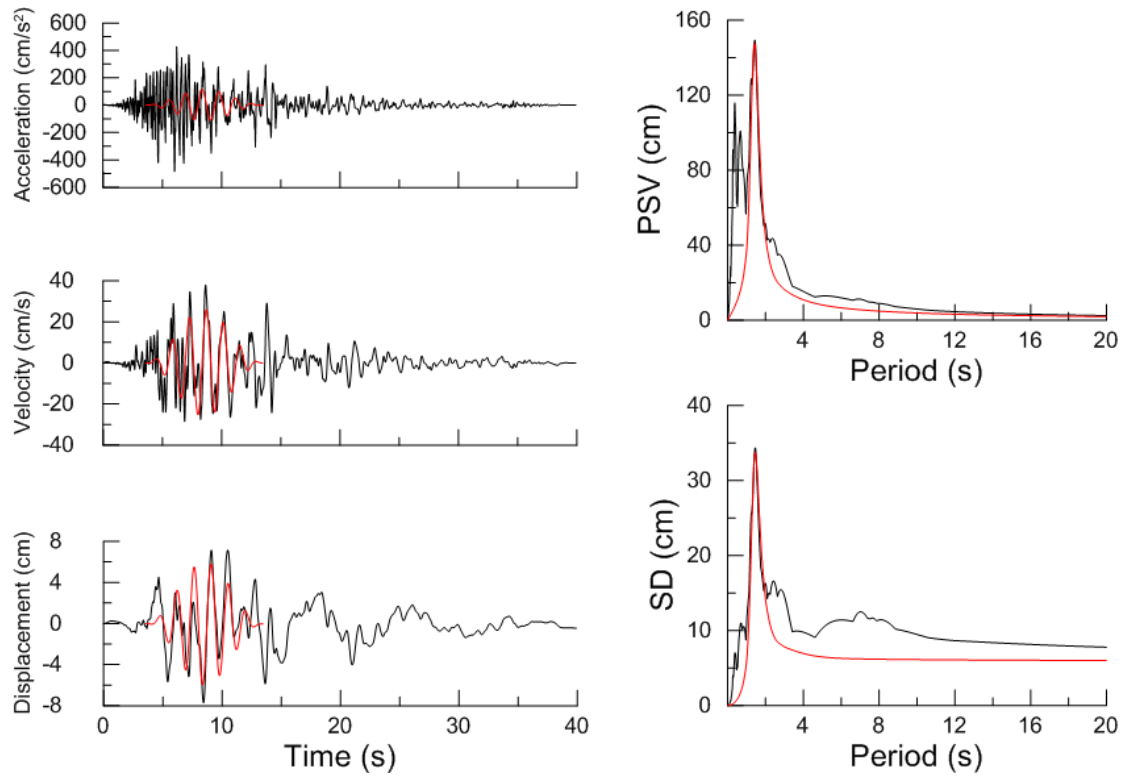
Χρονοϊστορίες και φάσματα της σεισμικής καταγραφής 983T της βάσης NGA



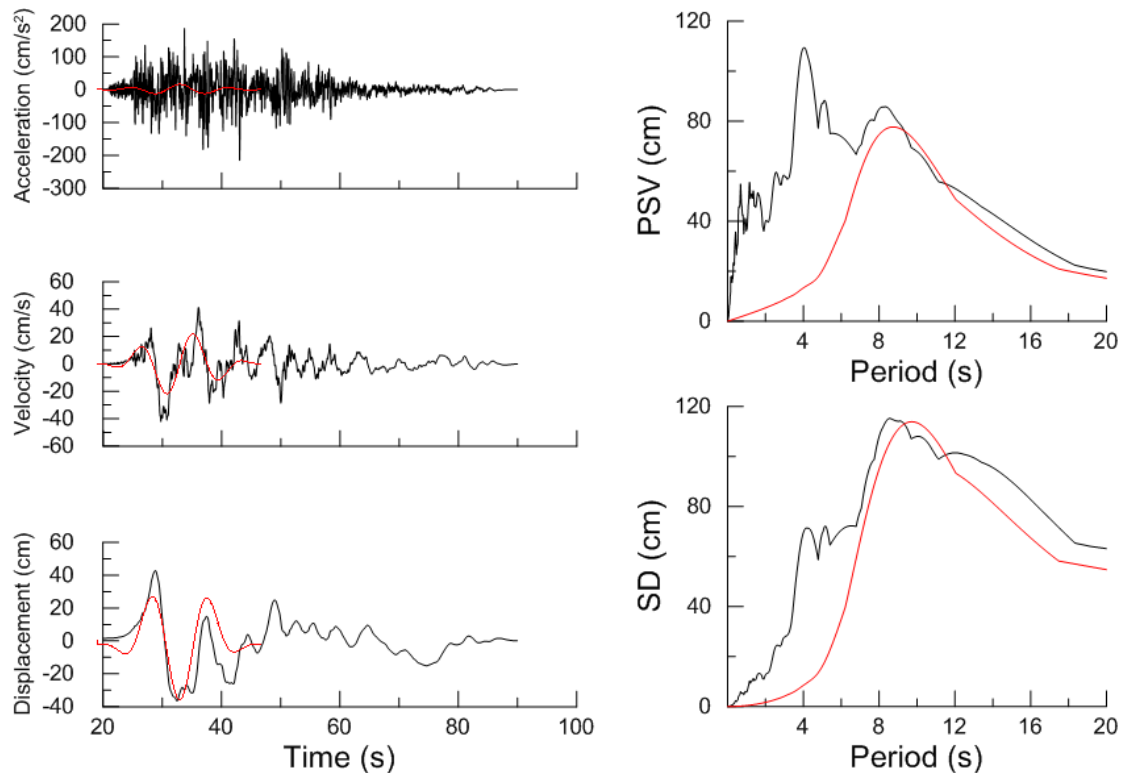
Χρονοϊστορίες και φάσματα της σεισμικής καταγραφής 1201L της βάσης NGA



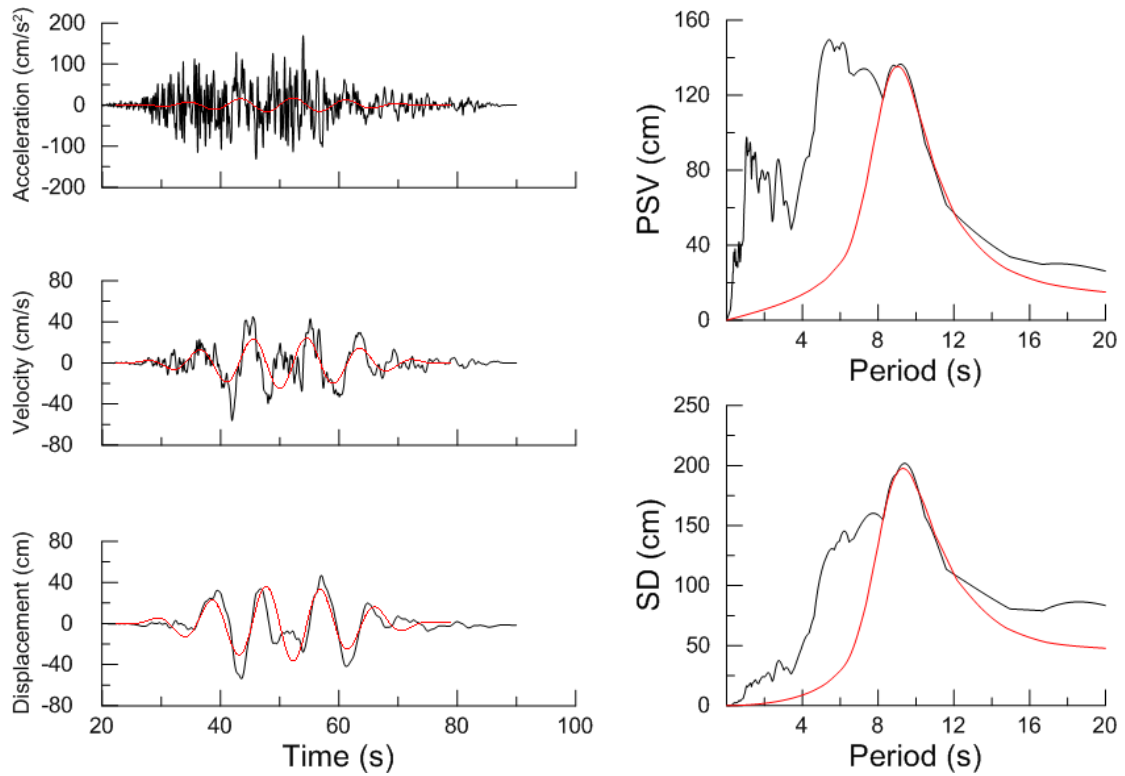
Χρονοϊστορίες και φάσματα της σεισμικής καταγραφής 1787T της βάσης NGA



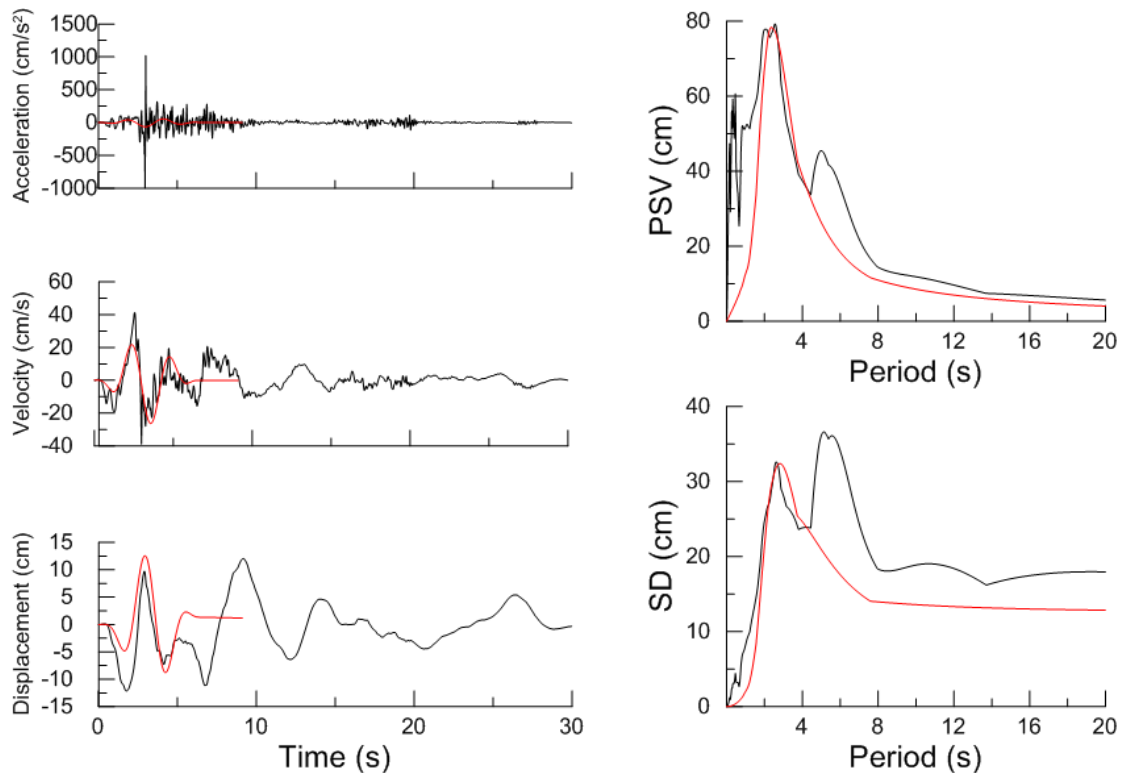
Χρονοϊστορίες και φάσματα της σεισμικής καταγραφής 752L της βάσης NGA



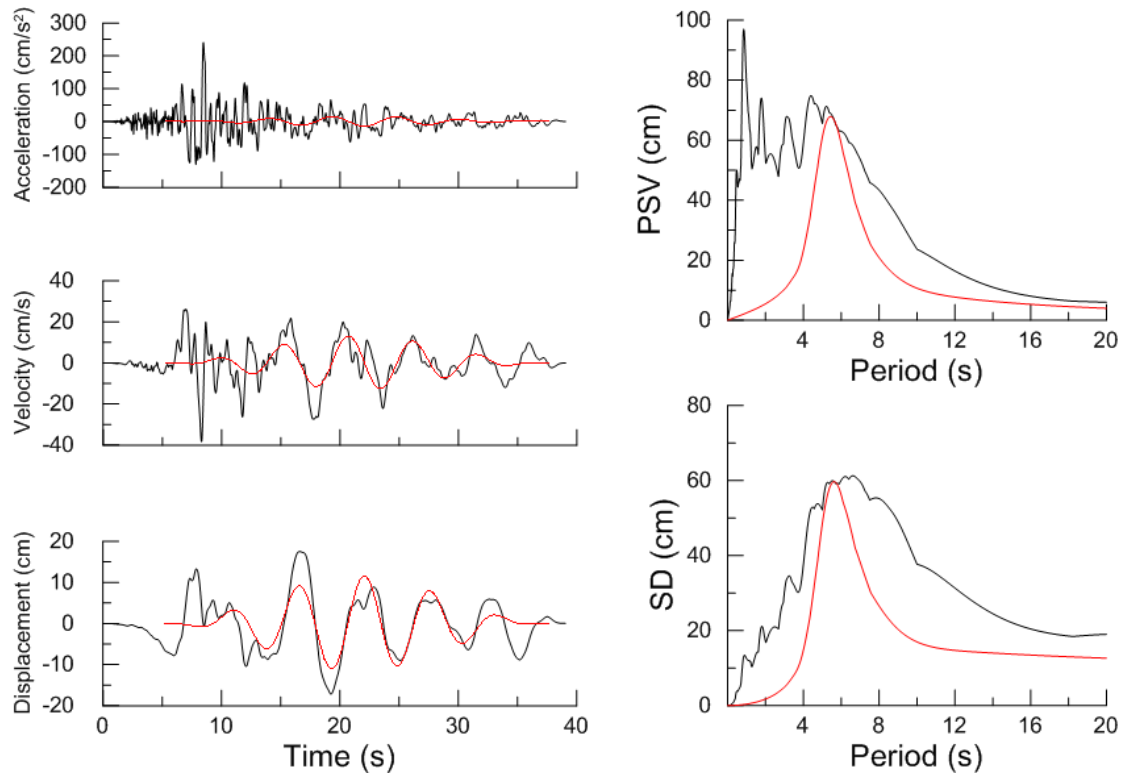
Χρονοϊστορίες και φάσματα της σεισμικής καταγραφής 1546L της βάσης NGA



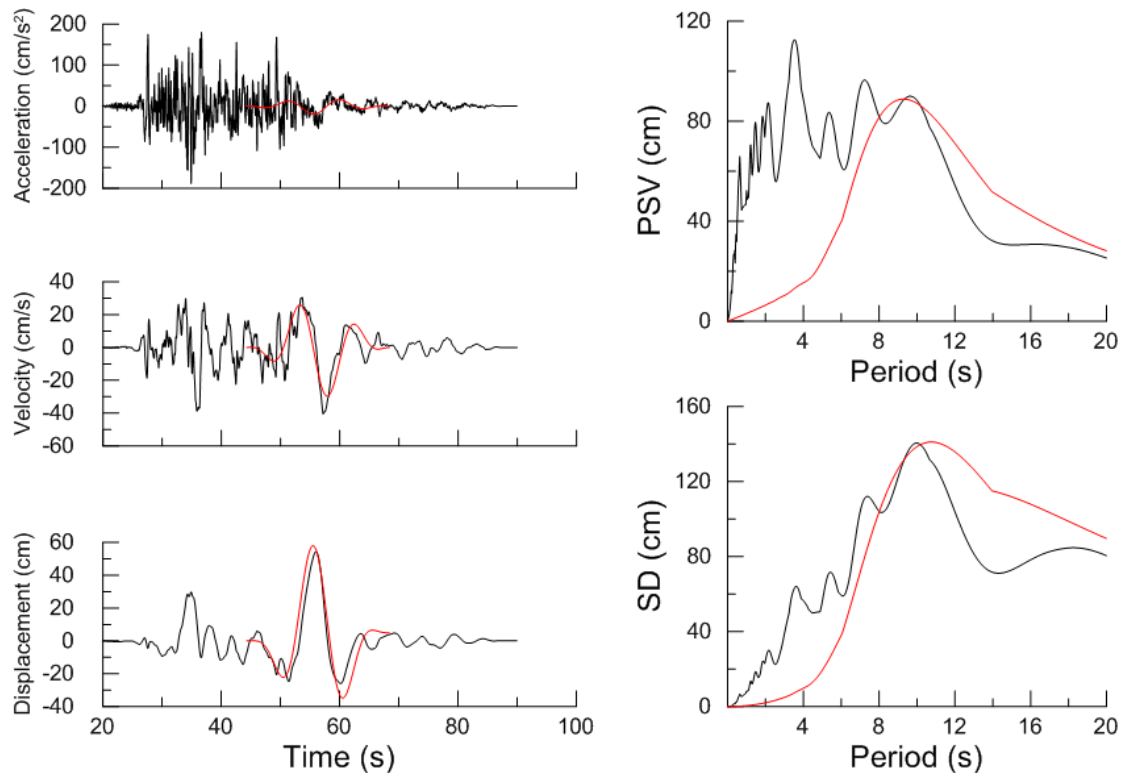
Χρονοϊστορίες και φάσματα της σεισμικής καταγραφής 1498T της βάσης NGA



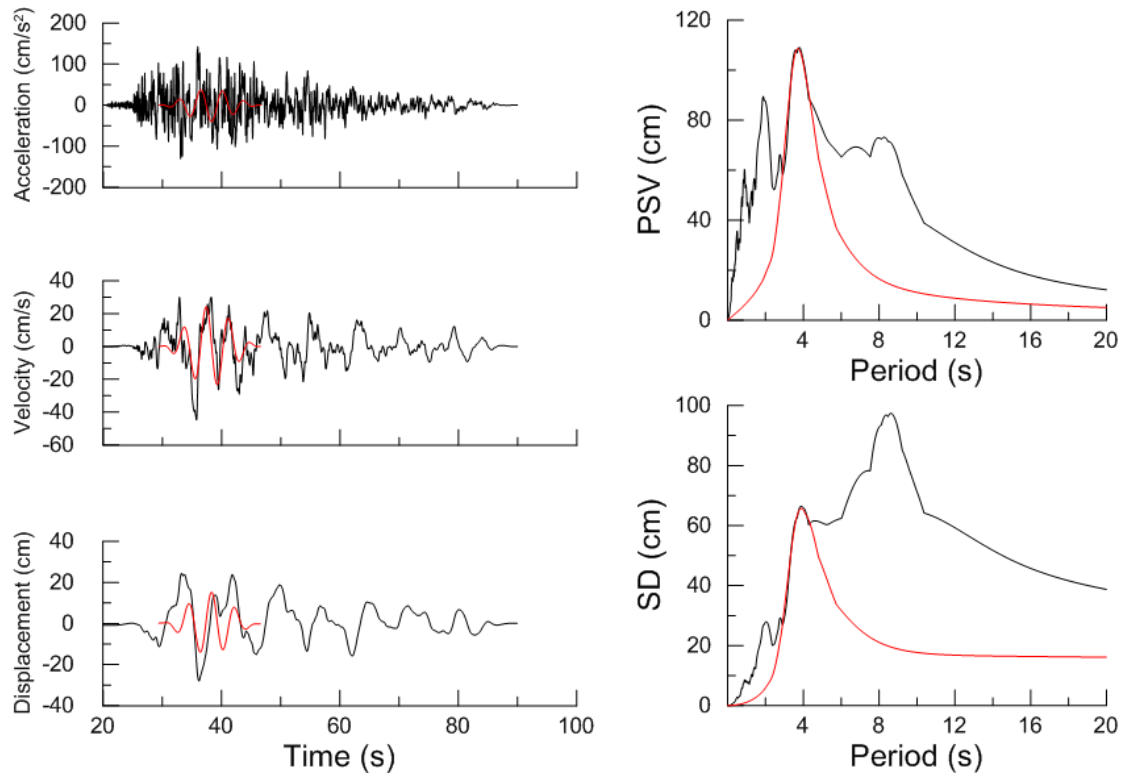
Χρονοϊστορίες και φάσματα της σεισμικής καταγραφής 825T της βάσης NGA



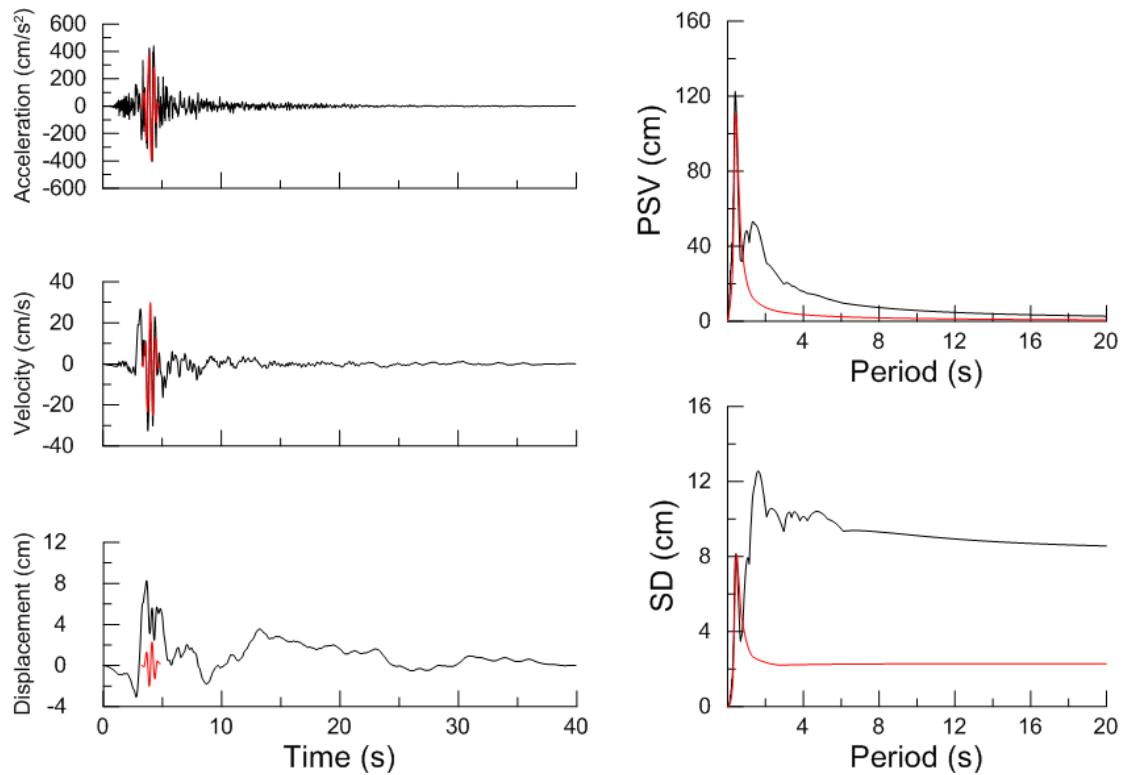
Χρονοϊστορίες και φάσματα της σεισμικής καταγραφής 777L της βάσης NGA



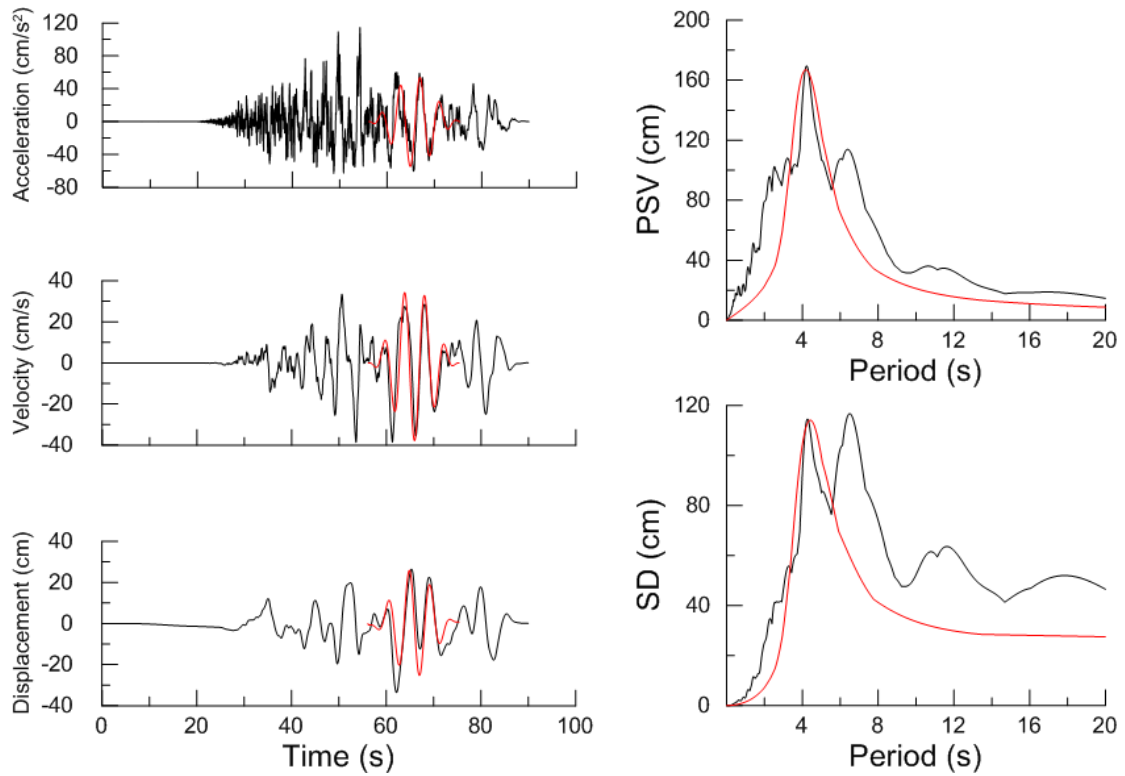
Χρονοϊστορίες και φάσματα της σεισμικής καταγραφής 1515T της βάσης NGA



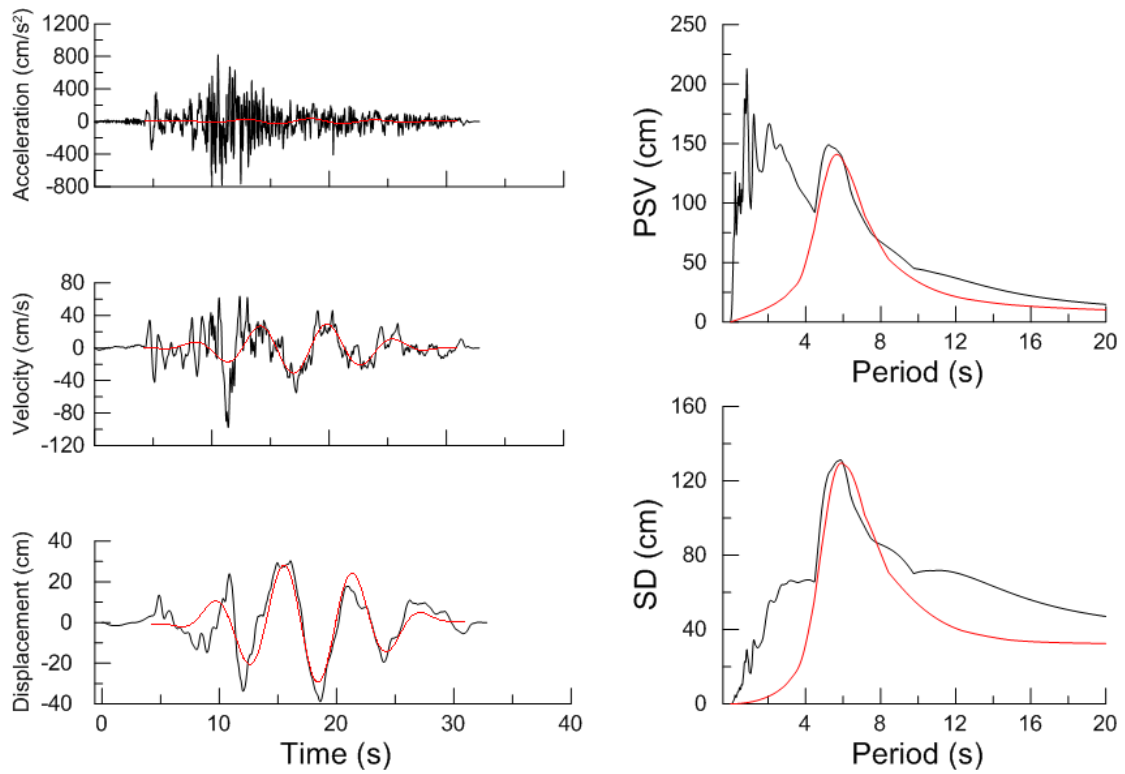
Χρονοϊστορίες και φάσματα της σεισμικής καταγραφής 1549T της βάσης NGA



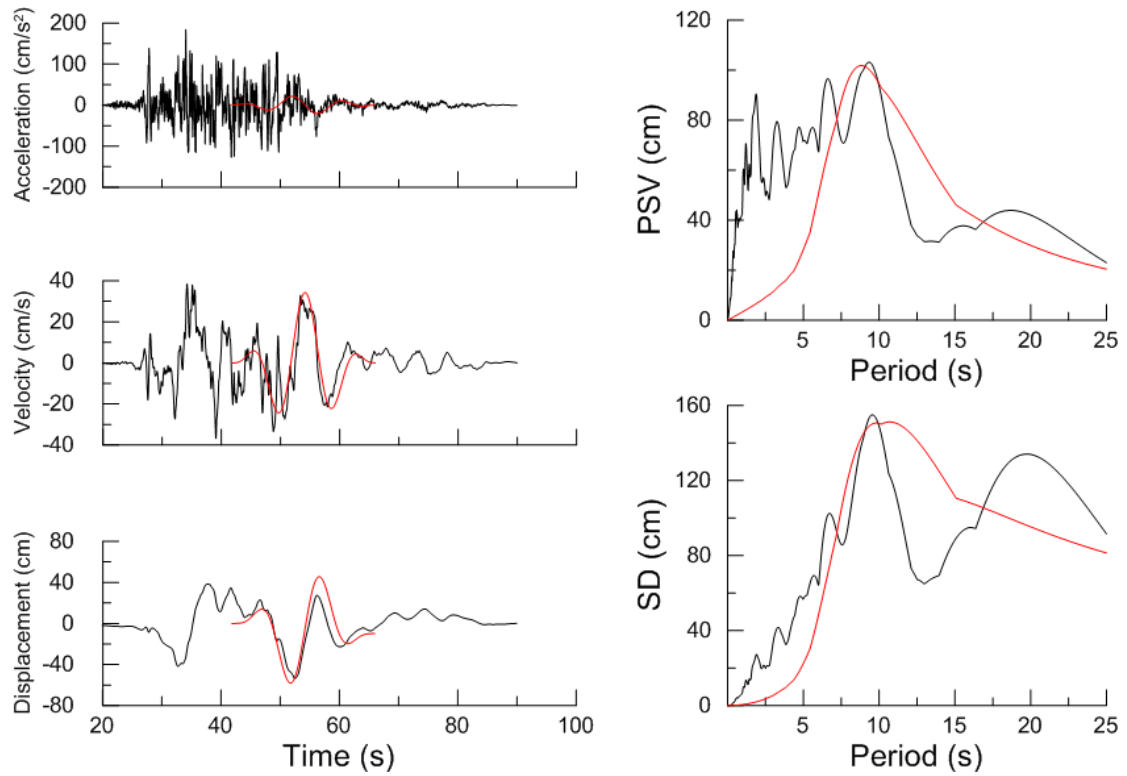
Χρονοϊστορίες και φάσματα της σεισμικής καταγραφής 765T της βάσης NGA



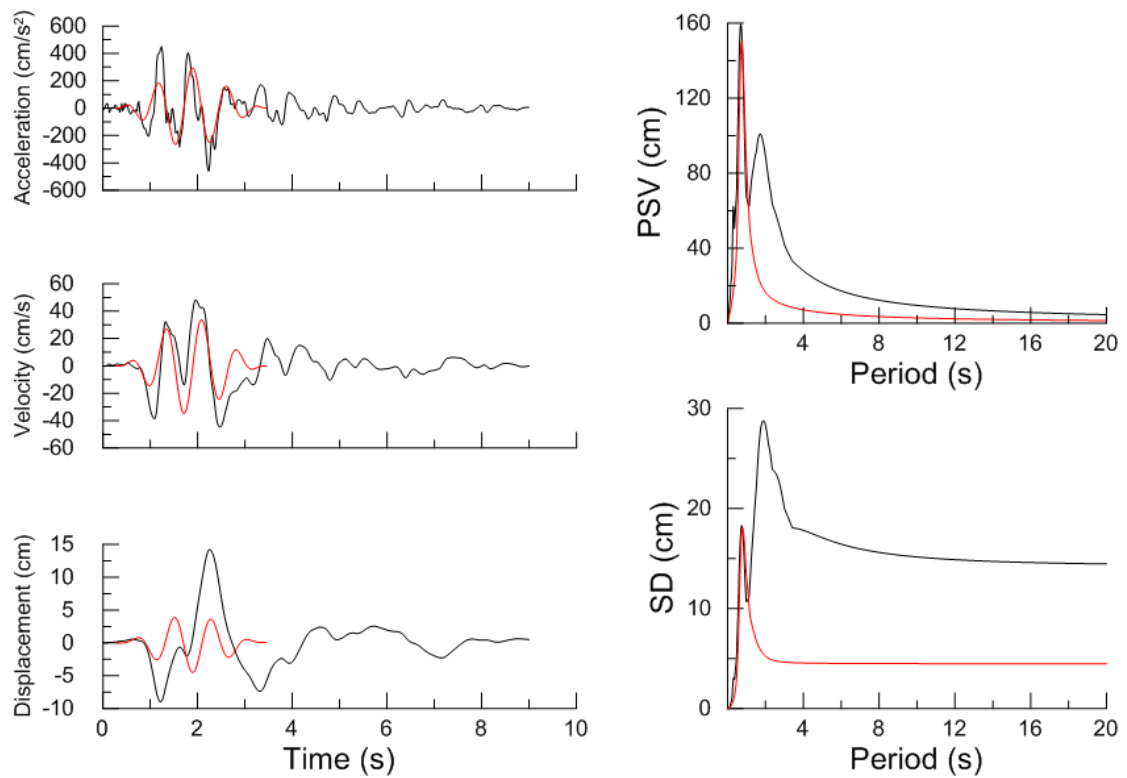
Χρονοϊστορίες και φάσματα της σεισμικής καταγραφής 1540T της βάσης NGA



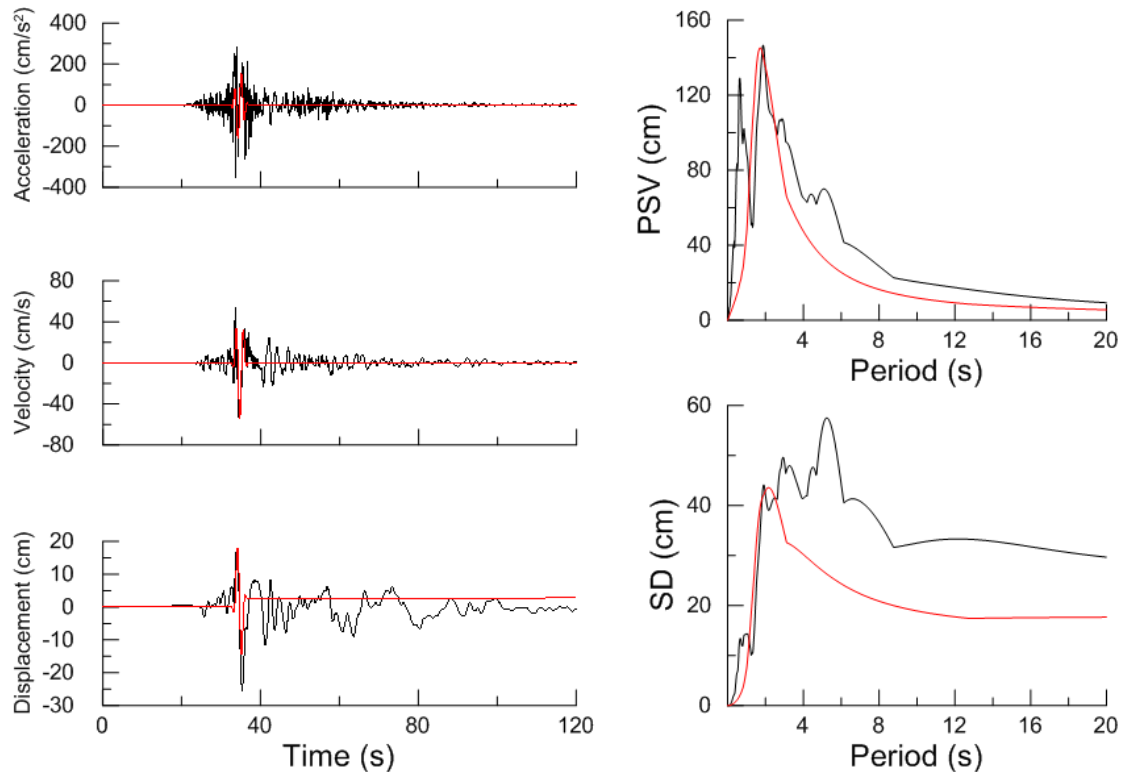
Χρονοϊστορίες και φάσματα της σεισμικής καταγραφής 143L της βάσης NGA



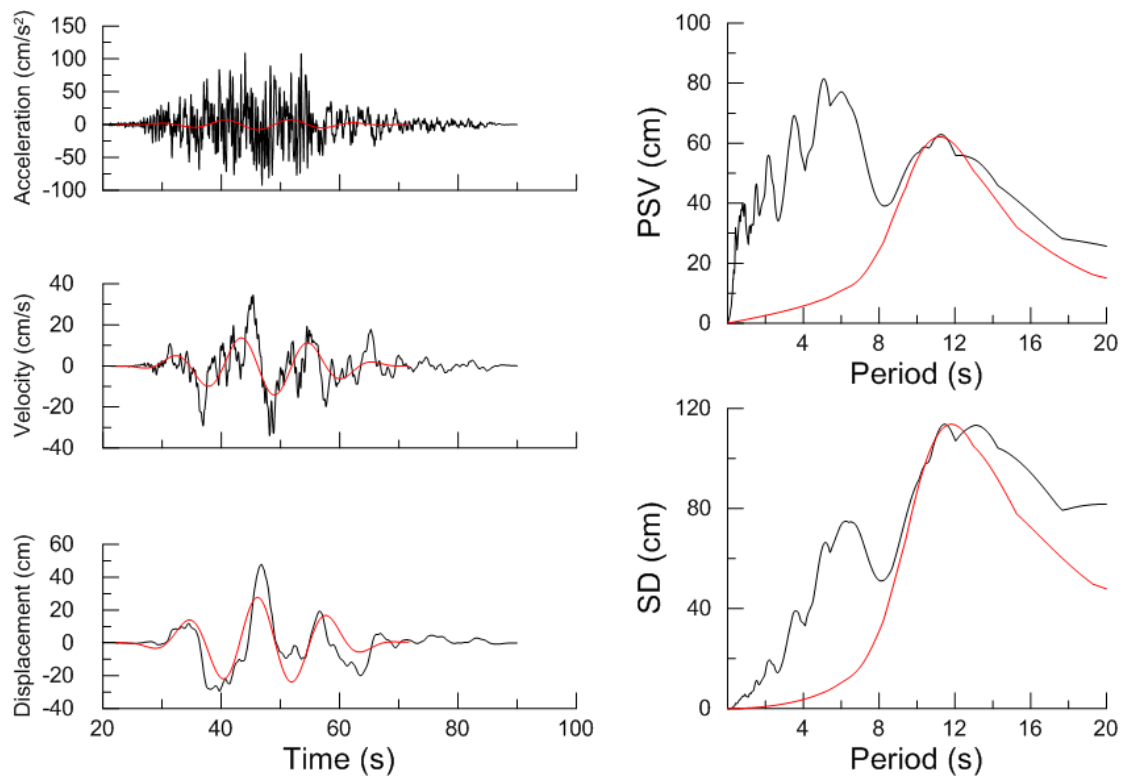
Χρονοϊστορίες και φάσματα της σεισμικής καταγραφής 1494T της βάσης NGA



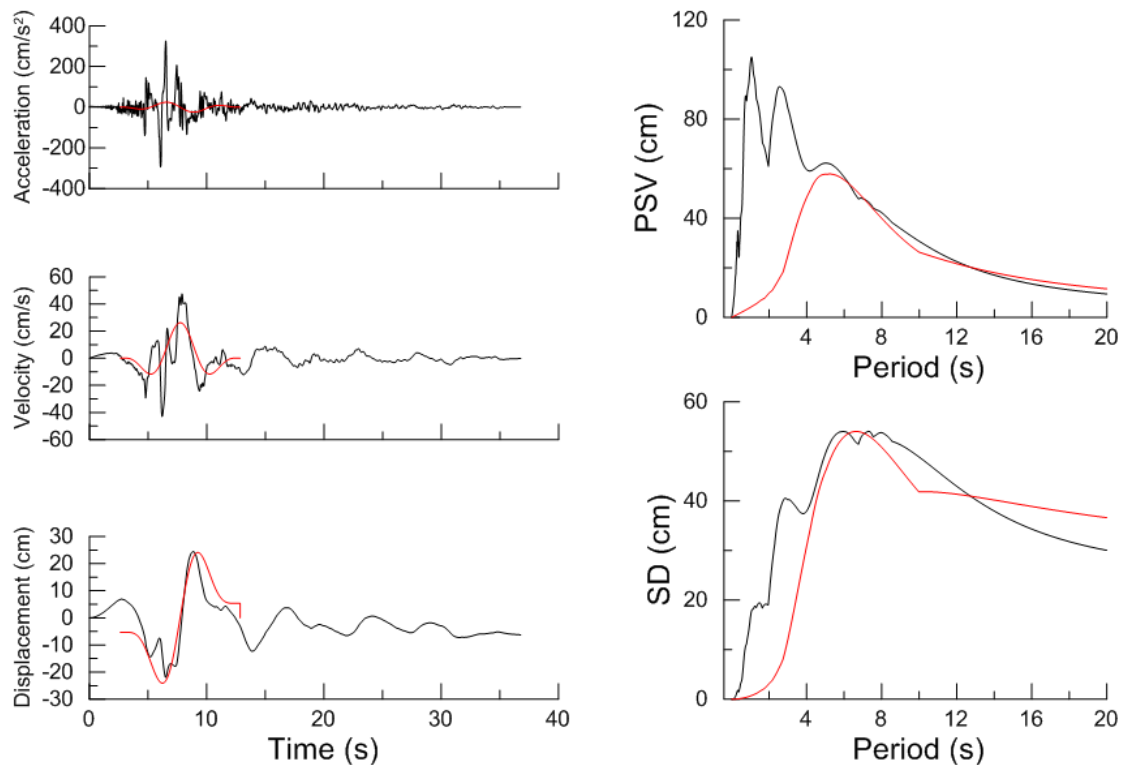
Χρονοϊστορίες και φάσματα της σεισμικής καταγραφής 568T της βάσης NGA



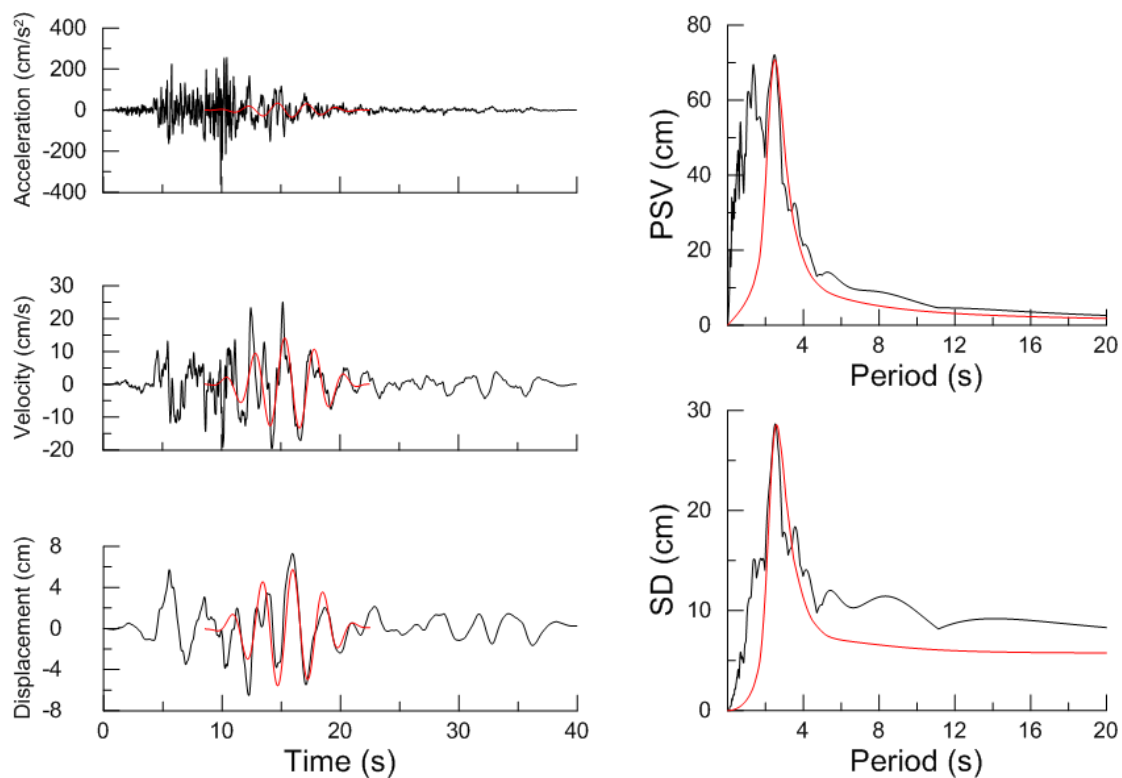
Χρονοϊστορίες και φάσματα της σεισμικής καταγραφής 1182T της βάσης NGA



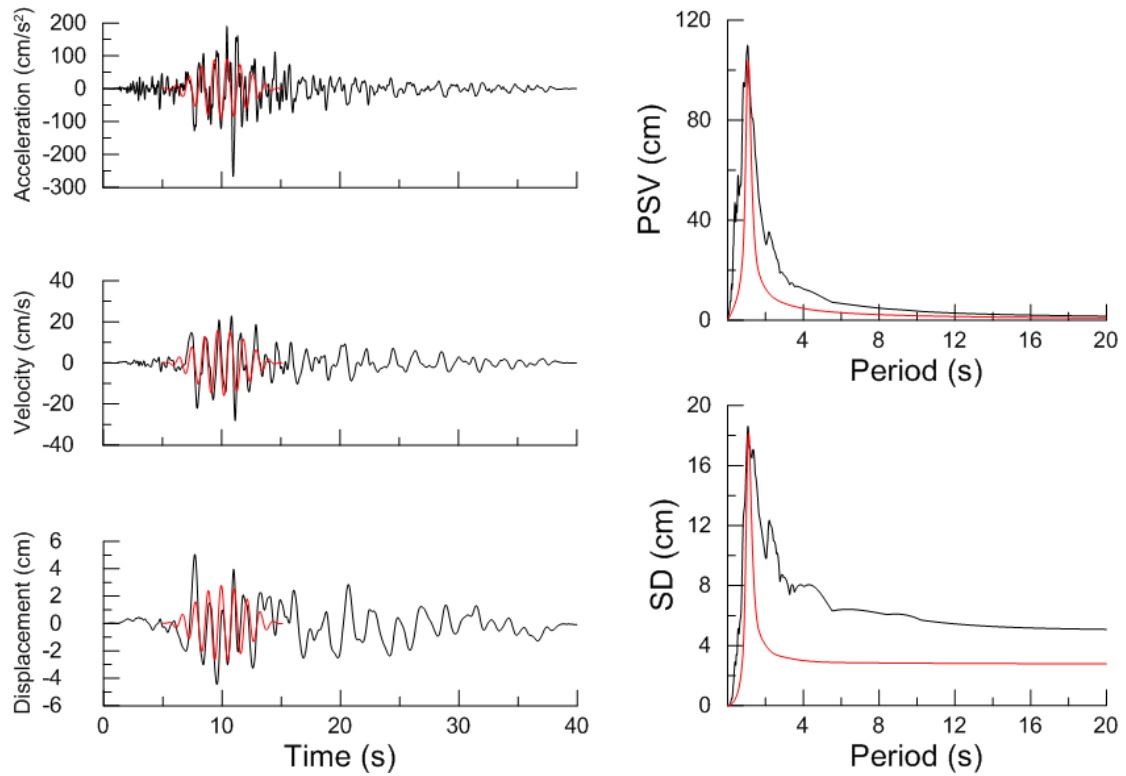
Χρονοϊστορίες και φάσματα της σεισμικής καταγραφής 1532L της βάσης NGA



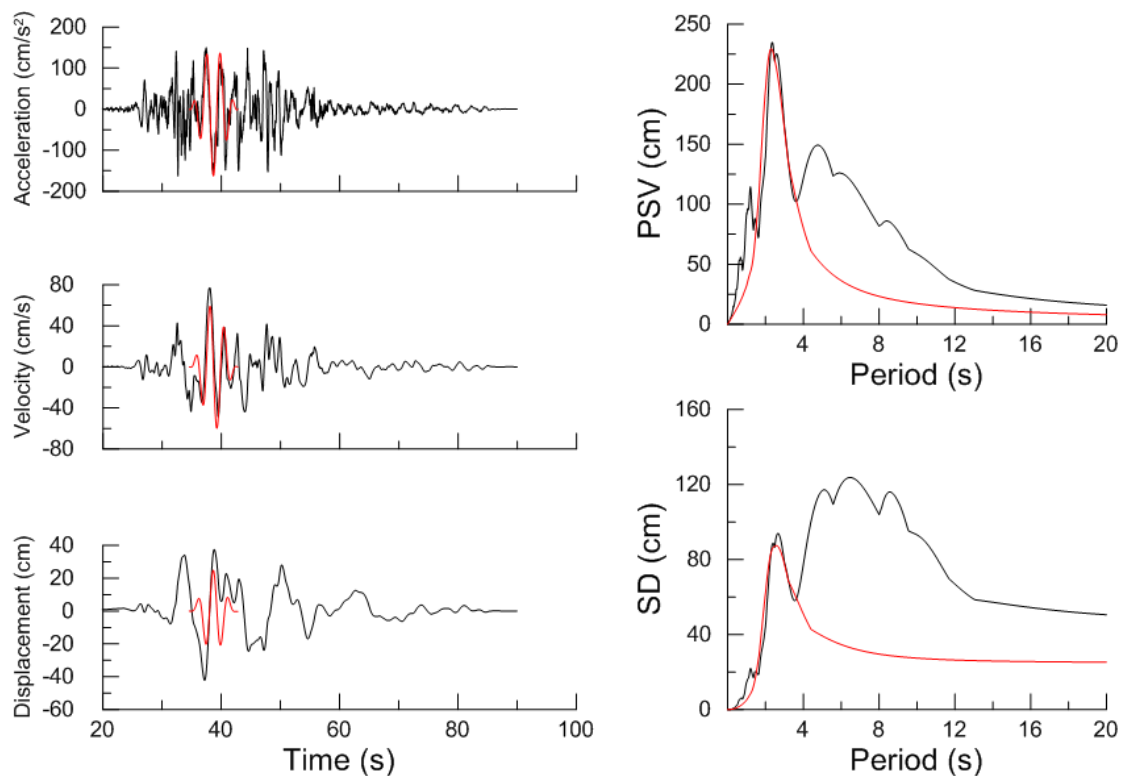
Χρονοϊστορίες και φάσματα της σεισμικής καταγραφής 182L της βάσης NGA



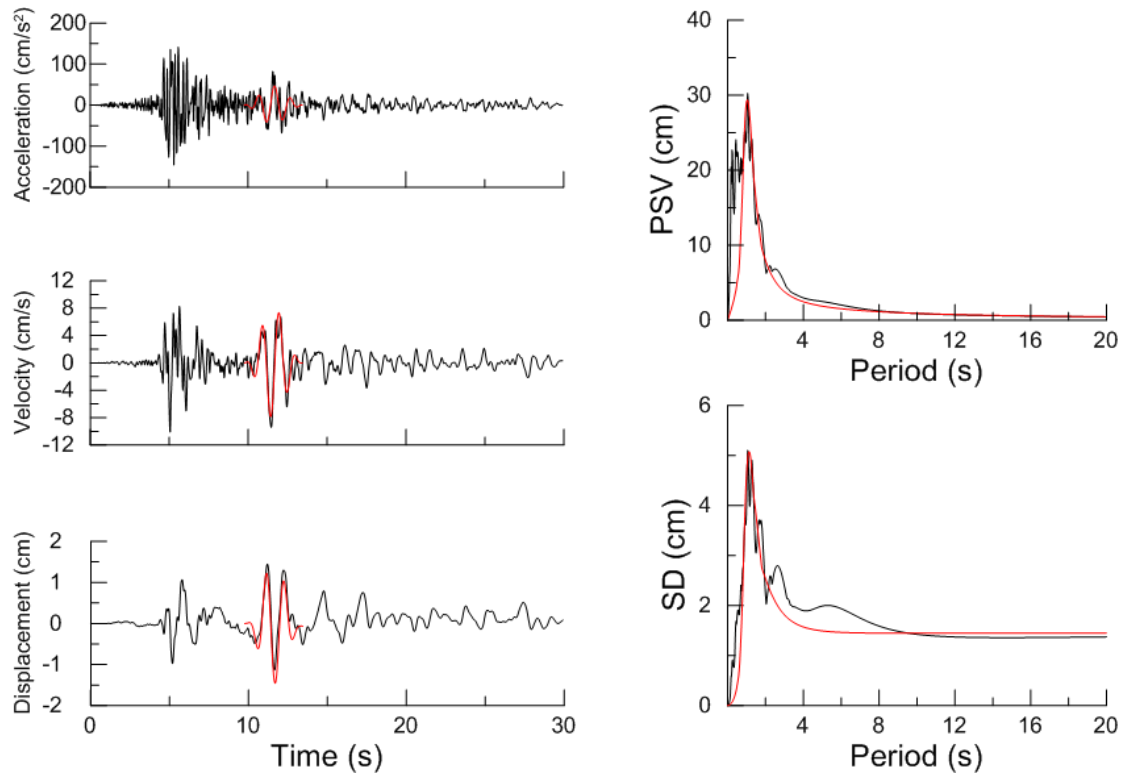
Χρονοϊστορίες και φάσματα της σεισμικής καταγραφής 1077T της βάσης NGA



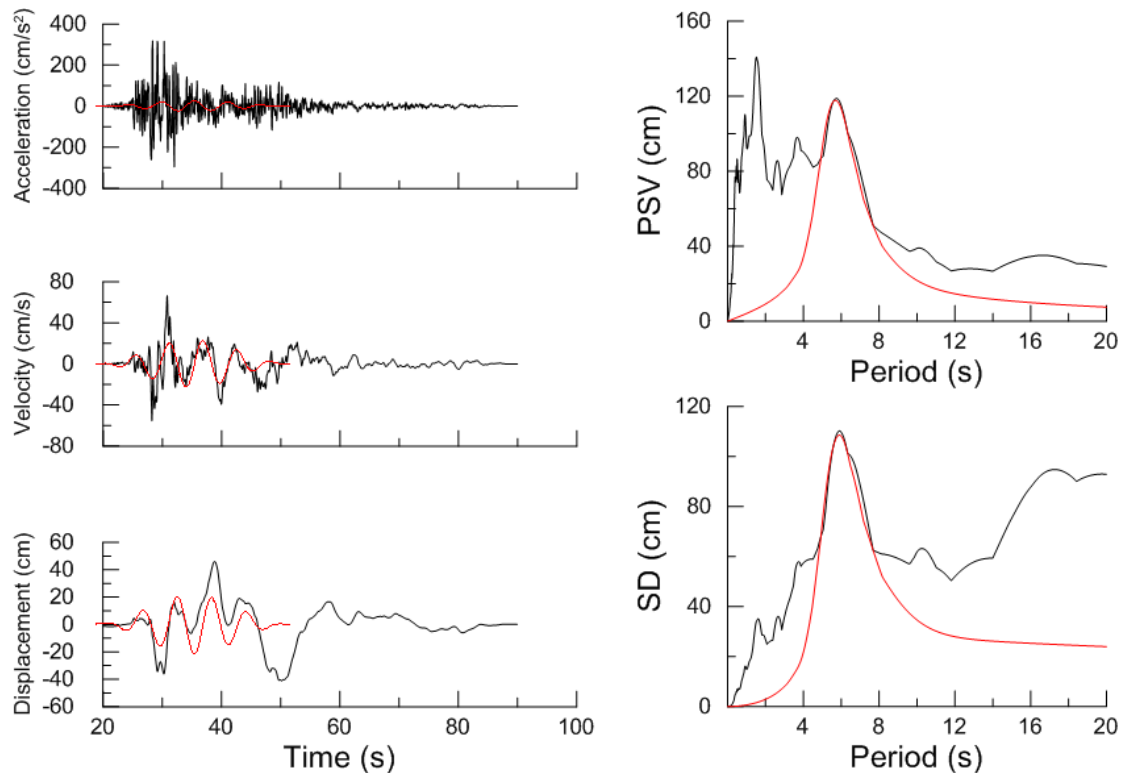
Χρονοϊστορίες και φάσματα της σεισμικής καταγραφής 338T της βάσης NGA



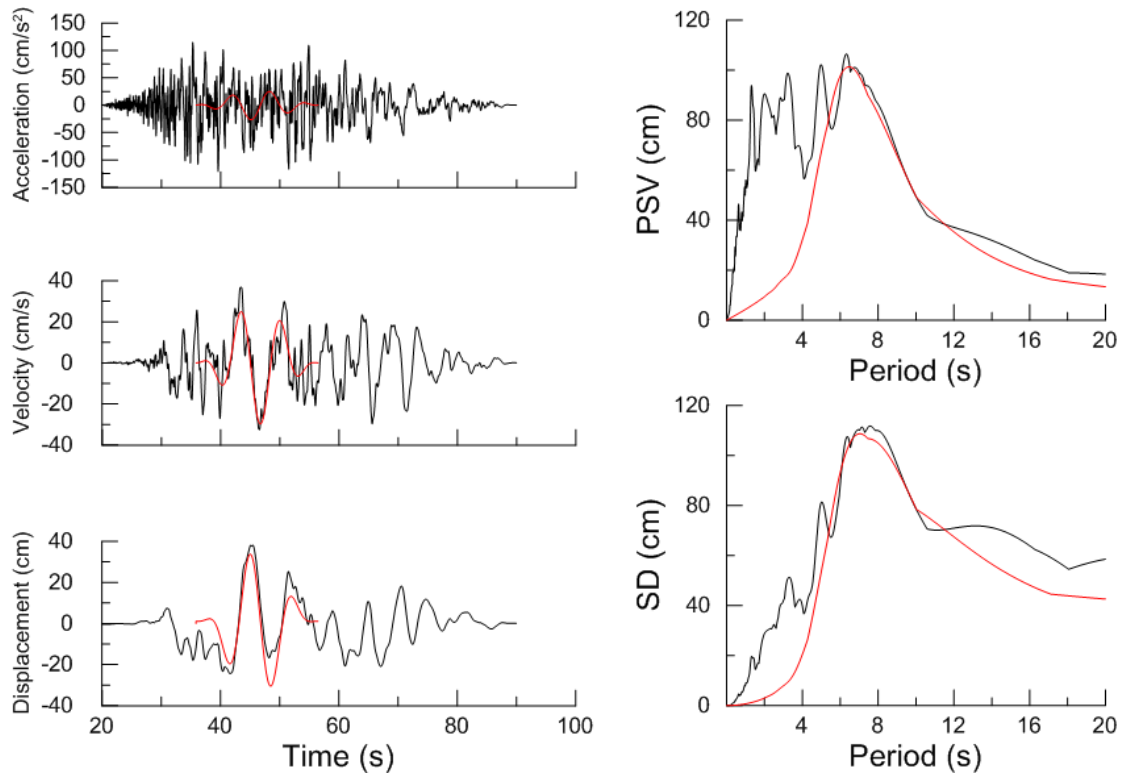
Χρονοϊστορίες και φάσματα της σεισμικής καταγραφής 1529T της βάσης NGA



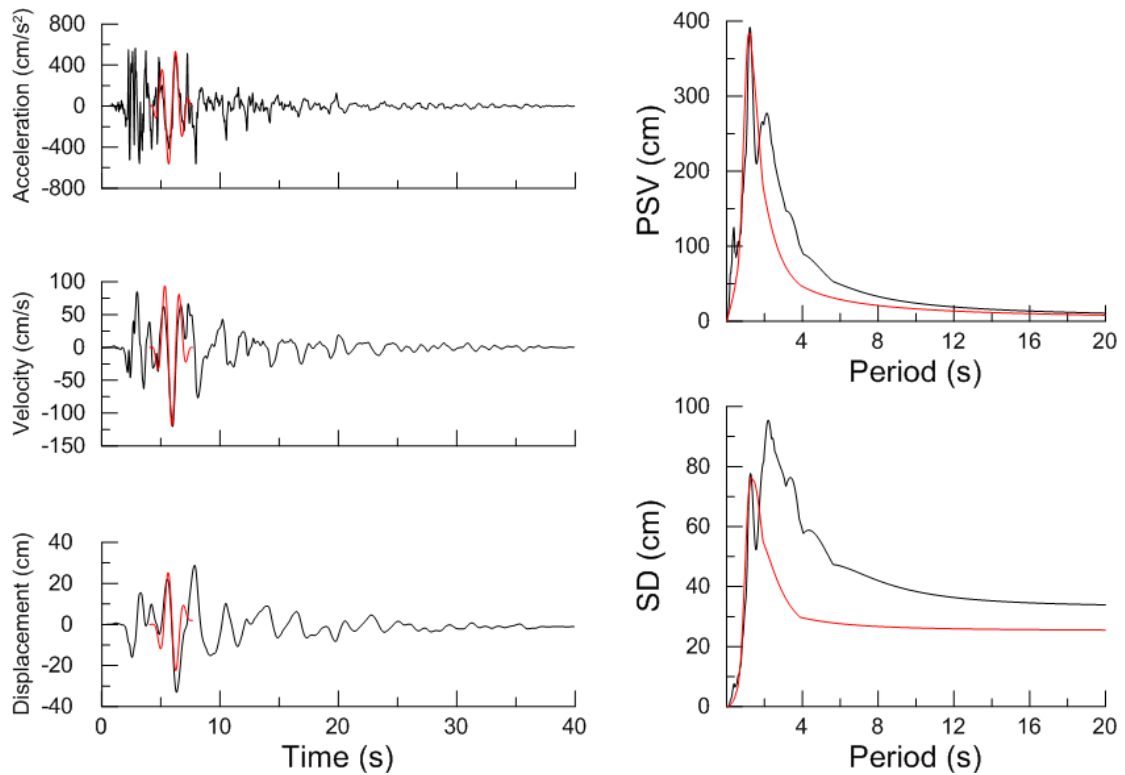
Χρονοϊστορίες και φάσματα της σεισμικής καταγραφής 645T της βάσης NGA



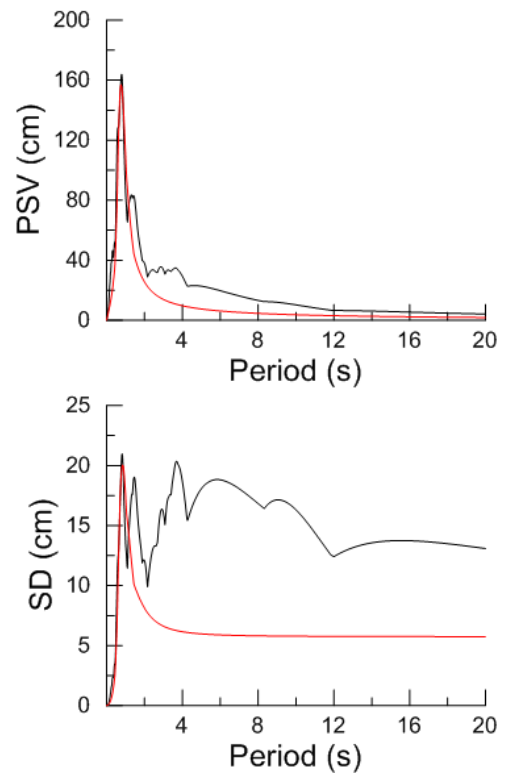
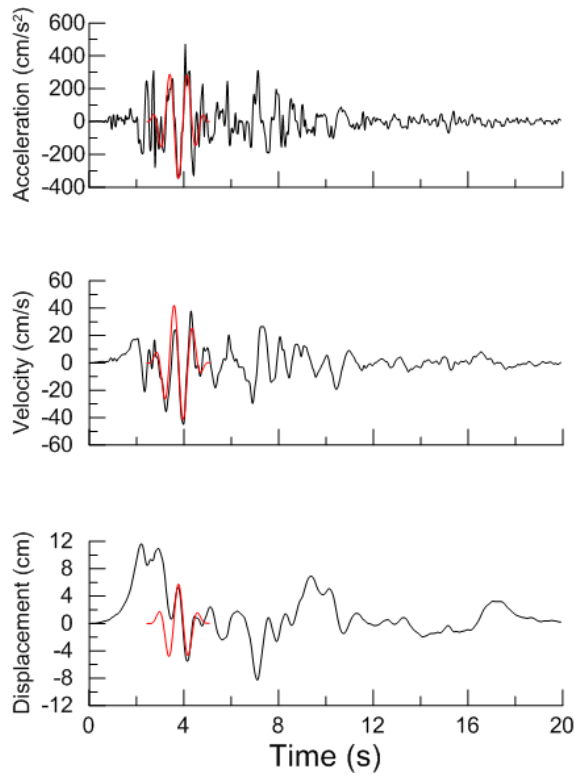
Χρονοϊστορίες και φάσματα της σεισμικής καταγραφής 1504T της βάσης NGA



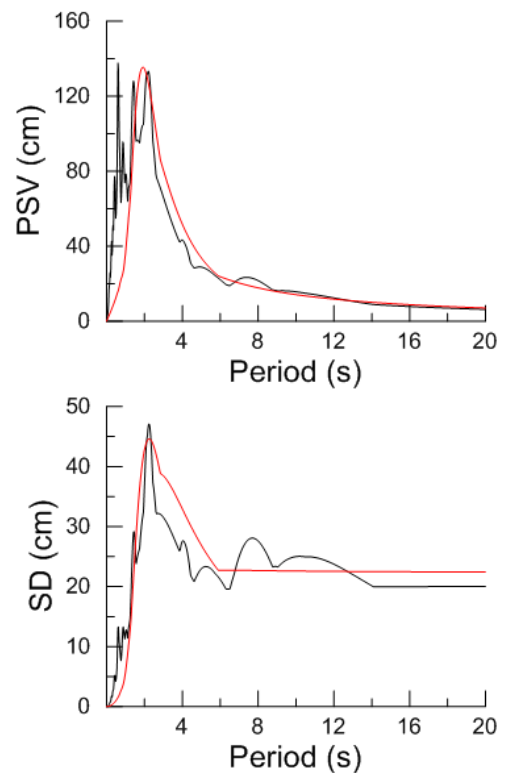
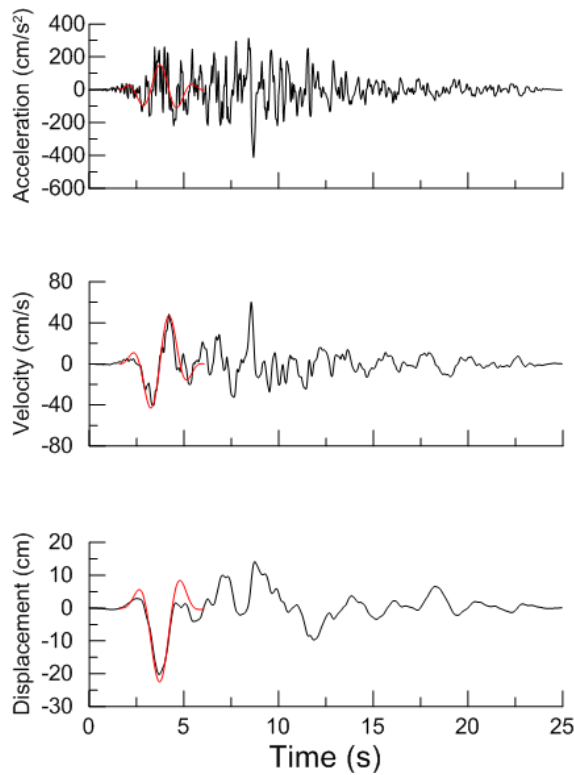
Χρονοϊστορίες και φάσματα της σεισμικής καταγραφής 1534L της βάσης NGA



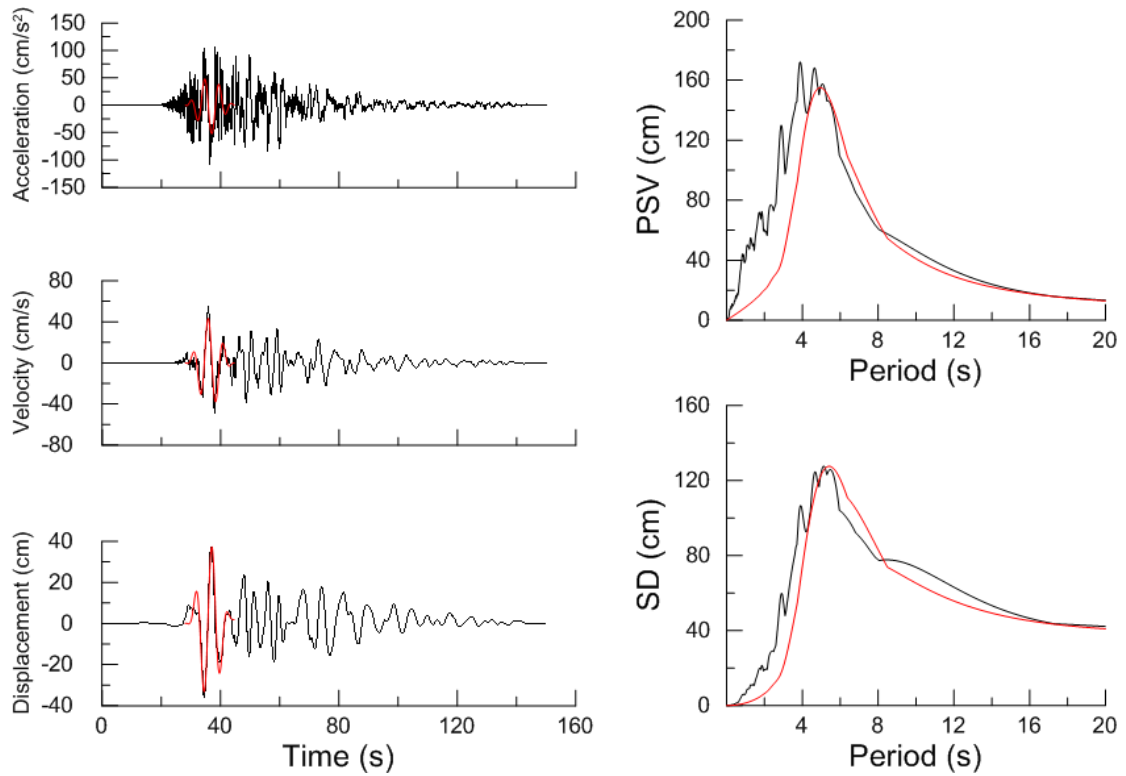
Χρονοϊστορίες και φάσματα της σεισμικής καταγραφής 1120T της βάσης NGA



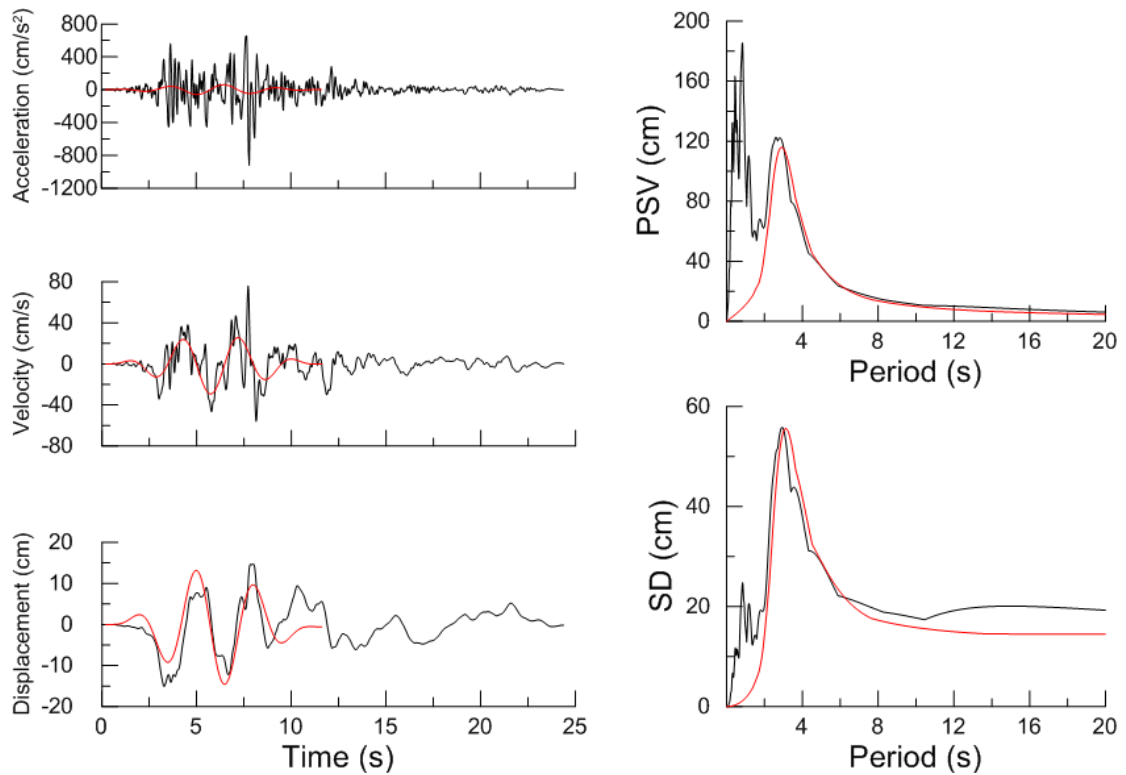
Χρονοϊστορίες και φάσματα της σεισμικής καταγραφής 753T της βάσης NGA



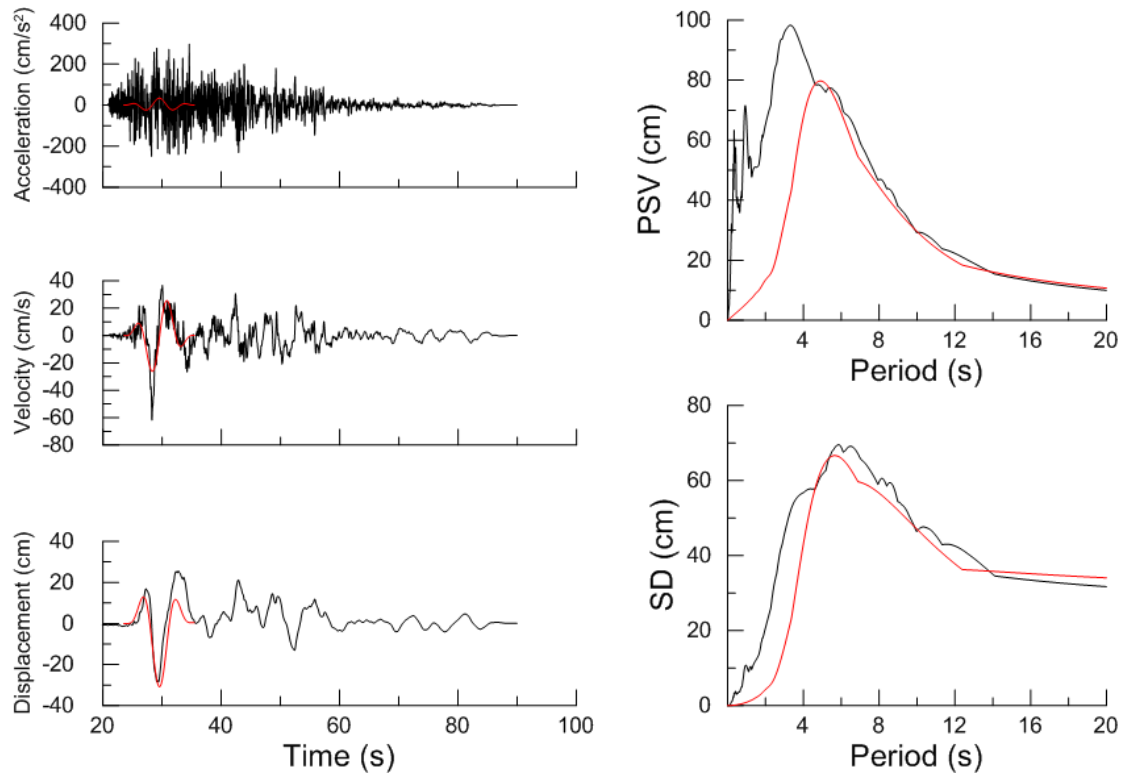
Χρονοϊστορίες και φάσματα της σεισμικής καταγραφής 959T της βάσης NGA



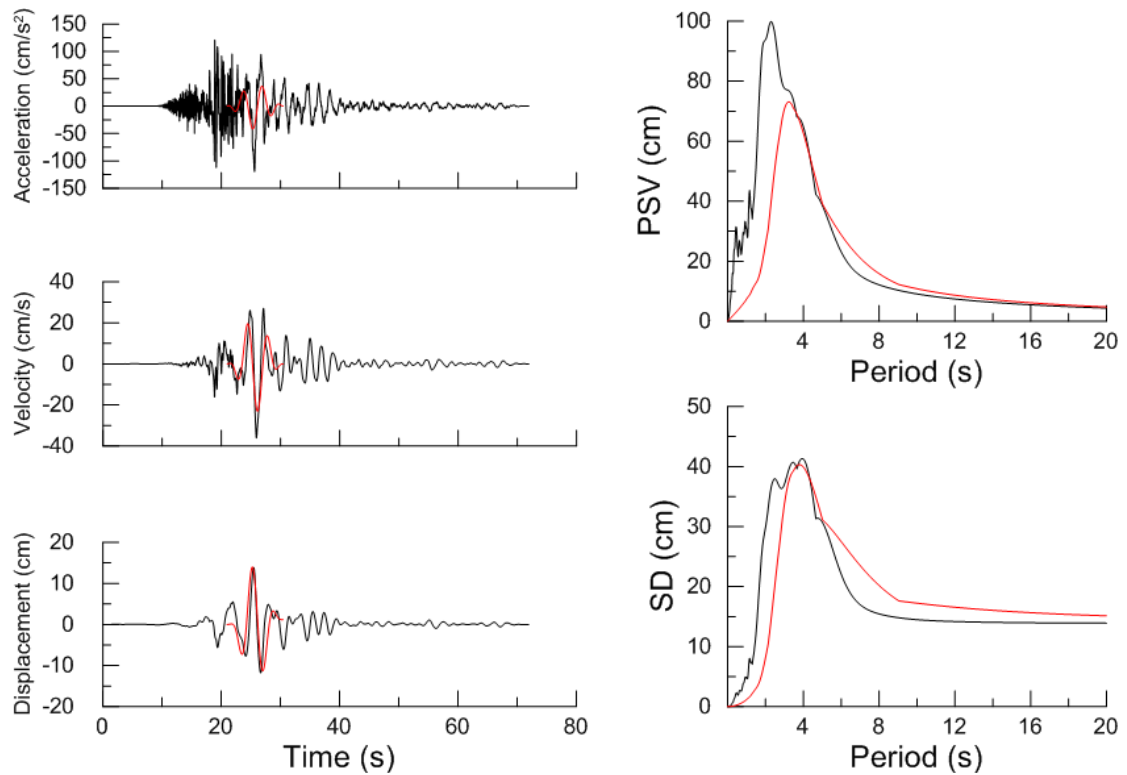
Χρονοϊστορίες και φάσματα της σεισμικής καταγραφής 1238T της βάσης NGA



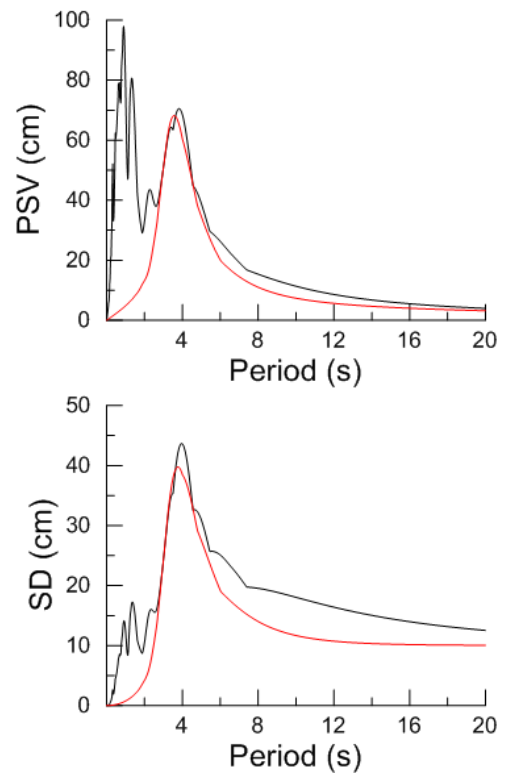
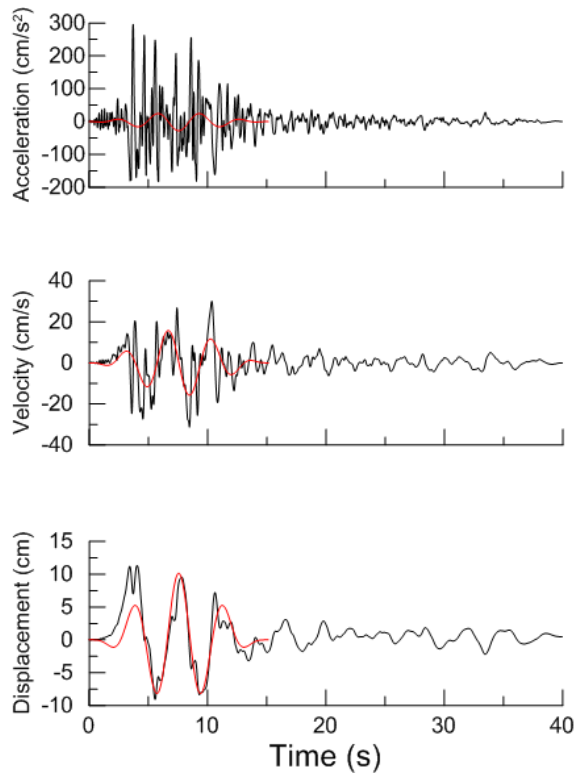
Χρονοϊστορίες και φάσματα της σεισμικής καταγραφής 1004L της βάσης NGA



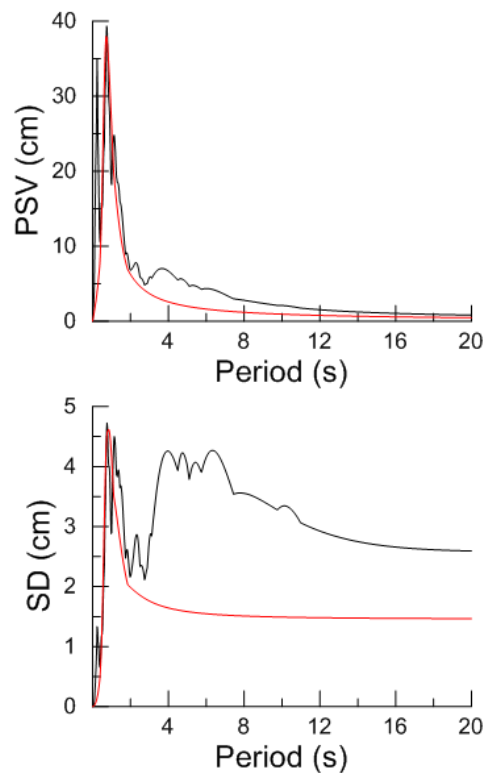
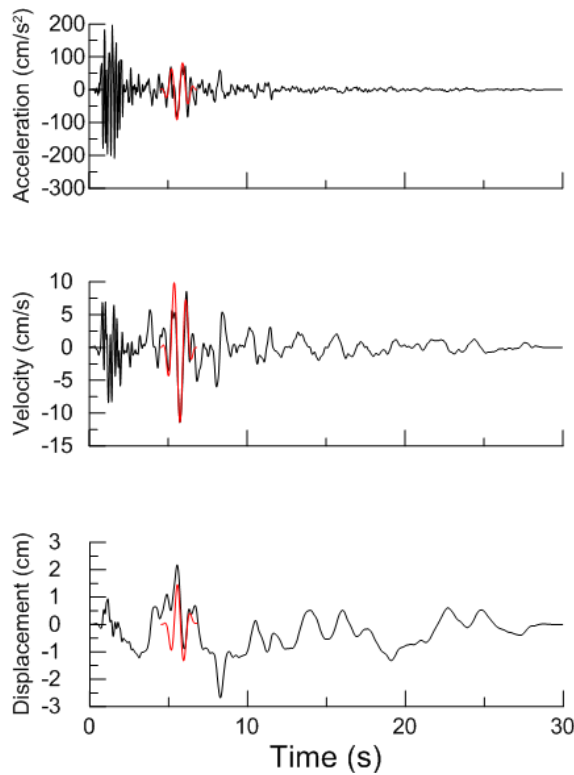
Χρονοϊστορίες και φάσματα της σεισμικής καταγραφής 1511L της βάσης NGA



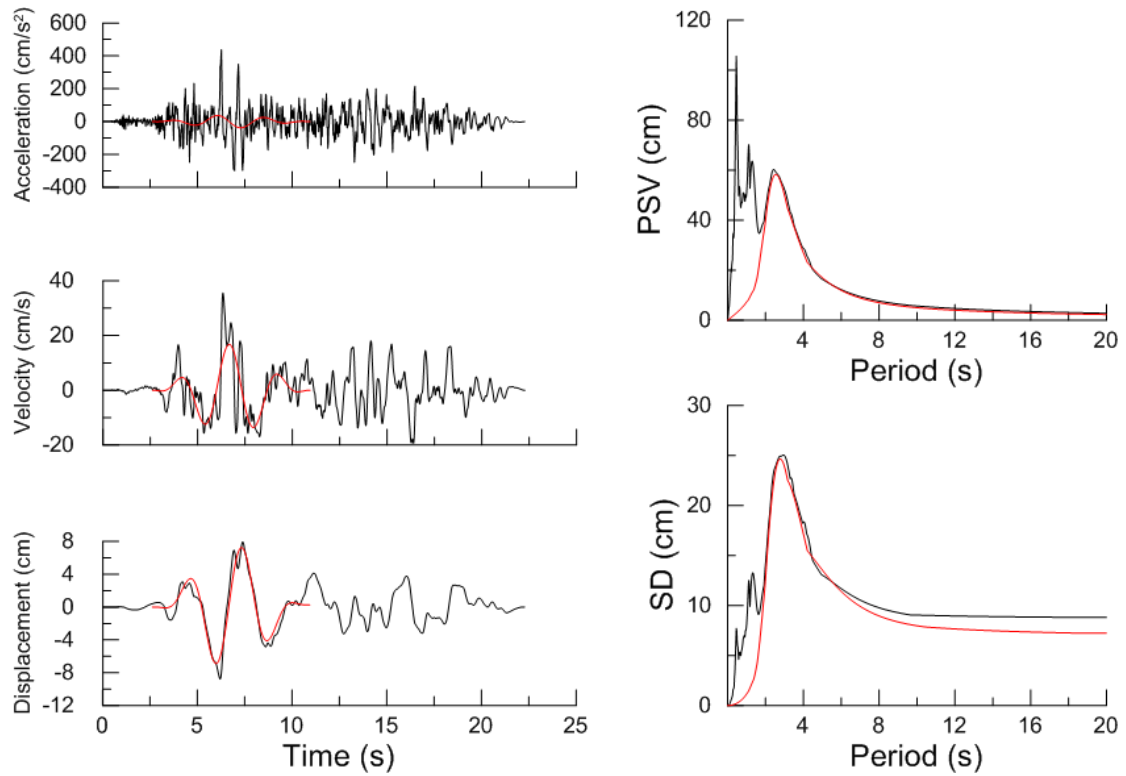
Χρονοϊστορίες και φάσματα της σεισμικής καταγραφής 3317T της βάσης NGA



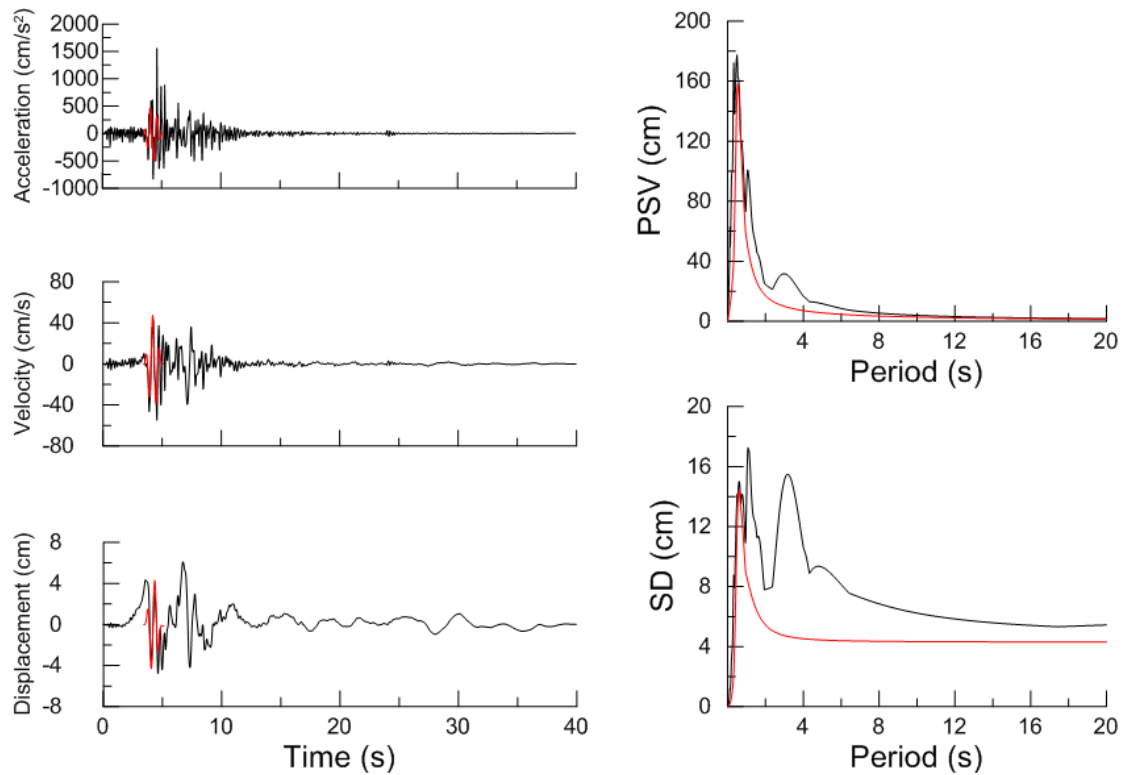
Χρονοϊστορίες και φάσματα της σεισμικής καταγραφής 1052L της βάσης NGA



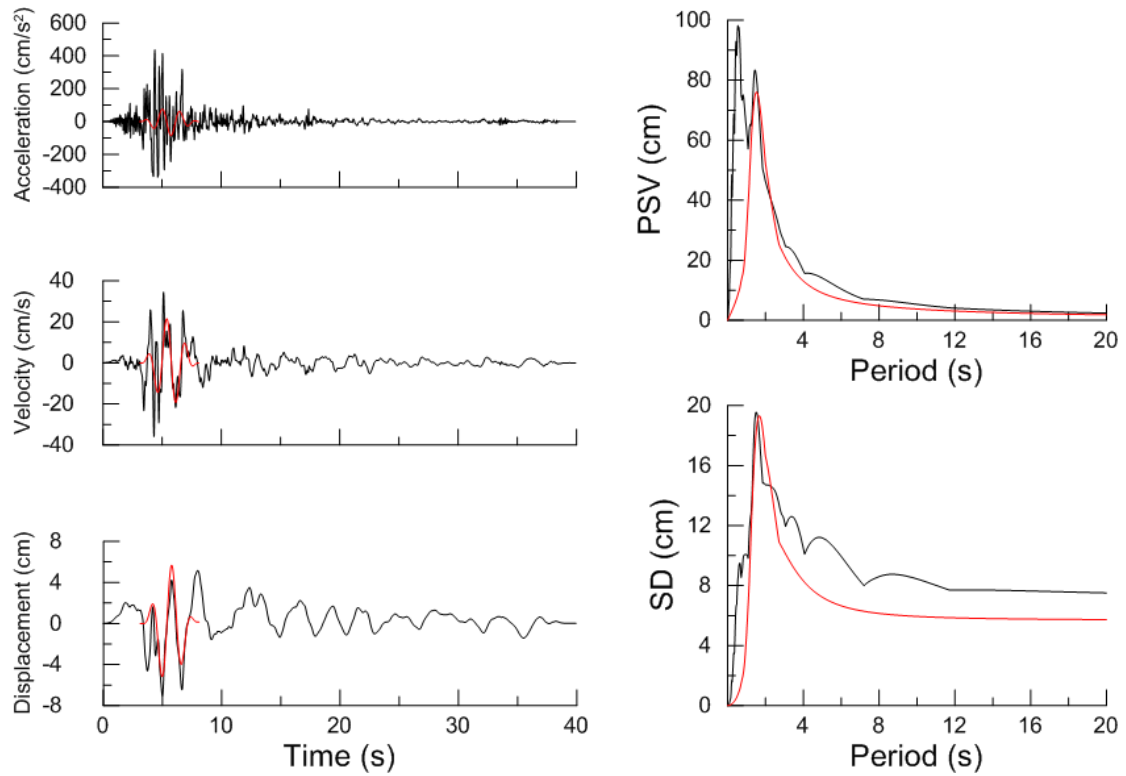
Χρονοϊστορίες και φάσματα της σεισμικής καταγραφής 459L της βάσης NGA



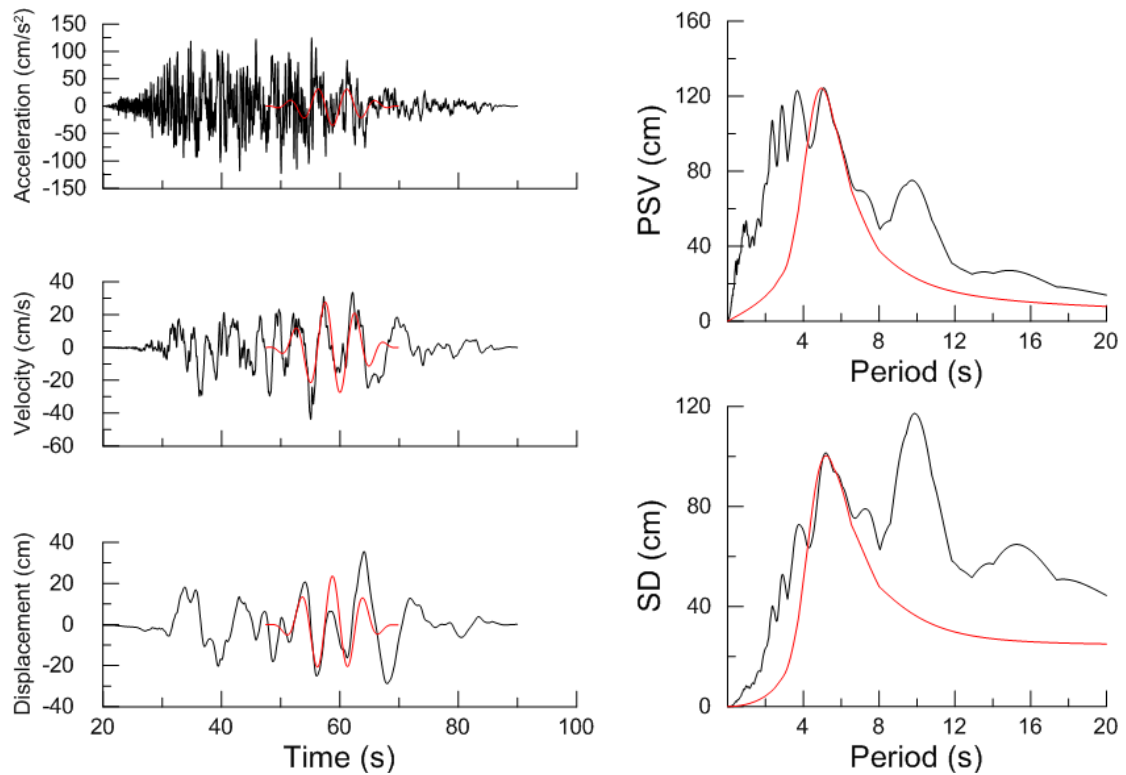
Χρονοϊστορίες και φάσματα της σεισμικής καταγραφής 725L της βάσης NGA



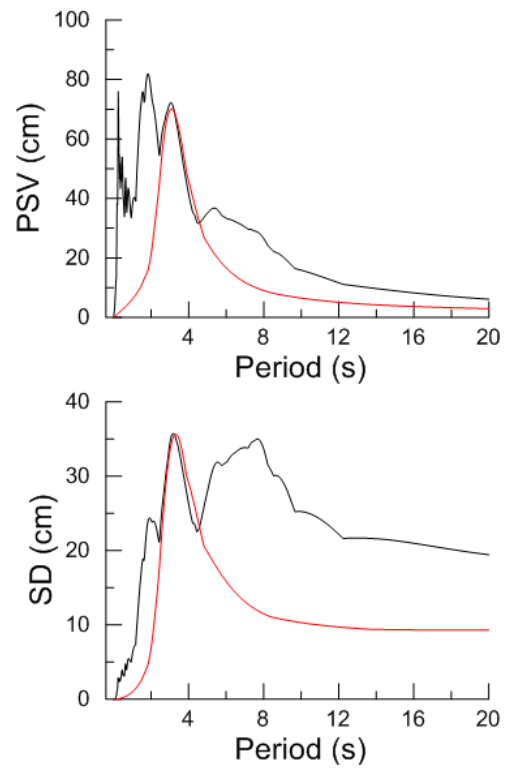
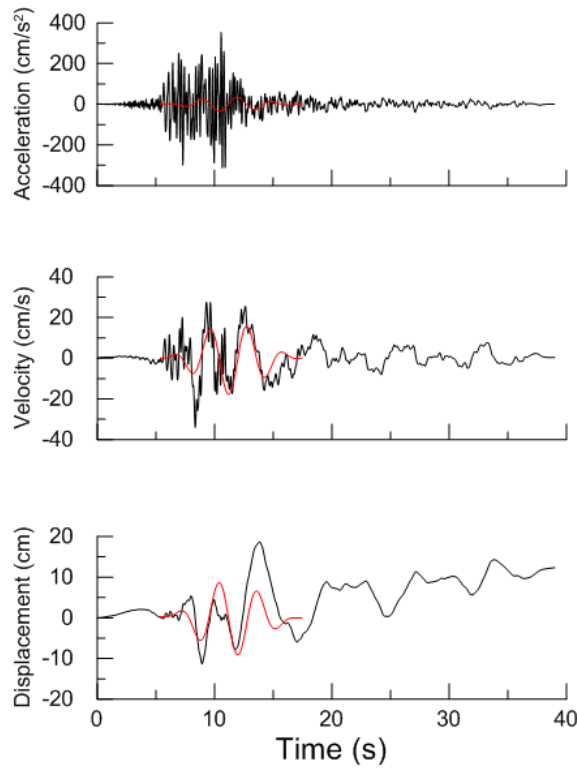
Χρονοϊστορίες και φάσματα της σεισμικής καταγραφής 1051L της βάσης NGA



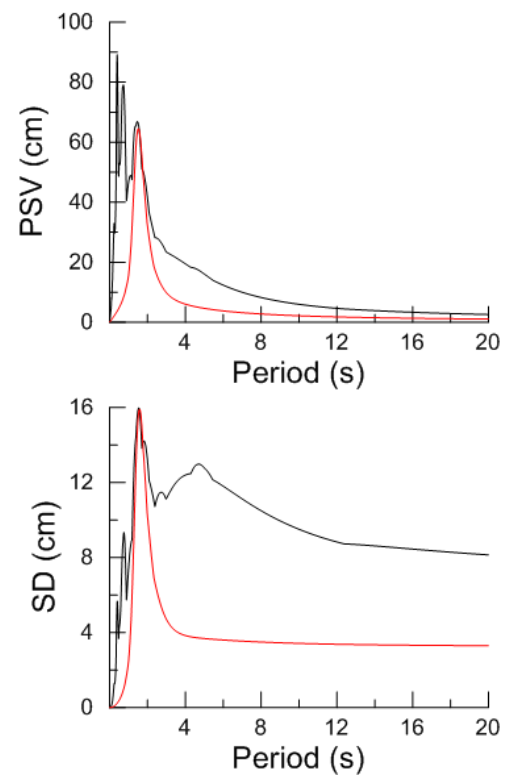
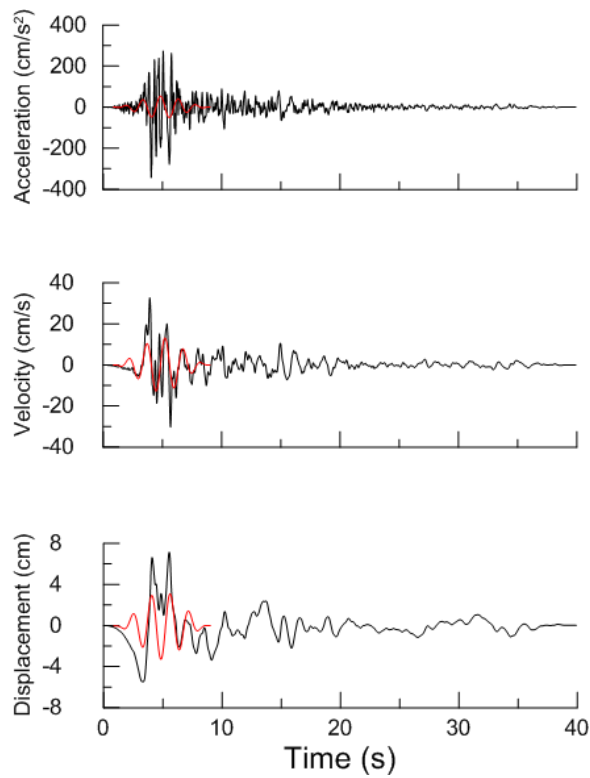
Χρονοϊστορίες και φάσματα της σεισμικής καταγραφής 558L της βάσης NGA



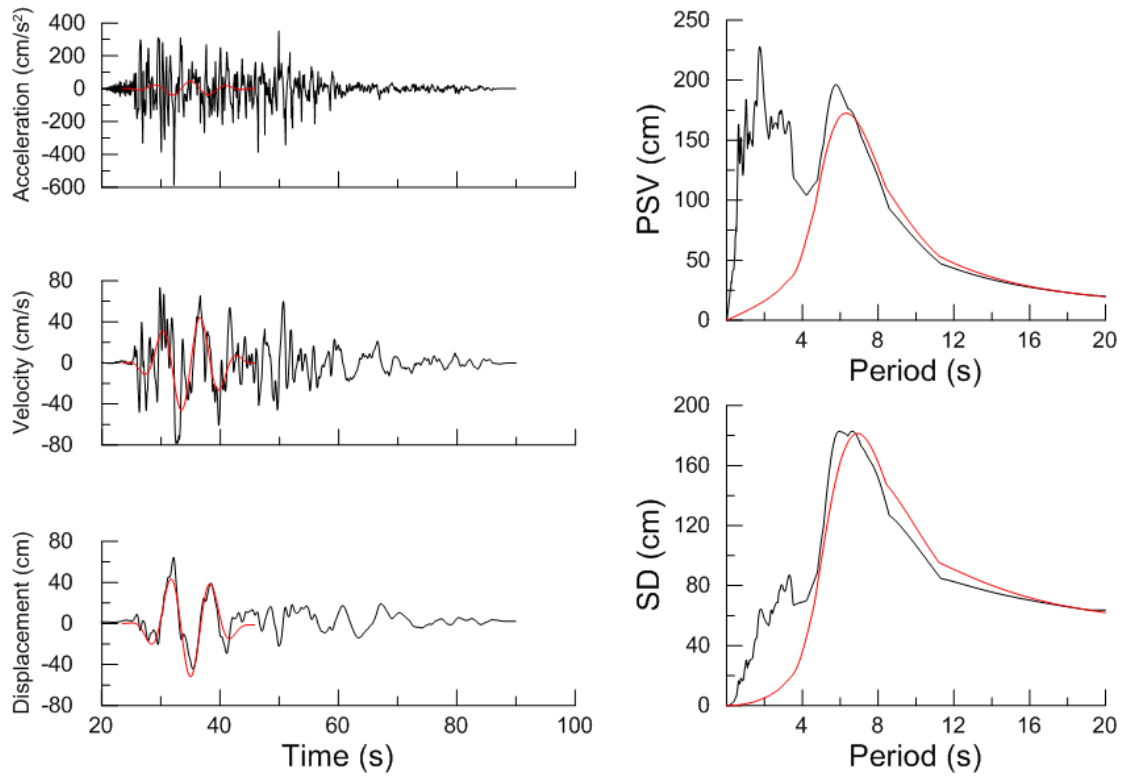
Χρονοϊστορίες και φάσματα της σεισμικής καταγραφής 1533T της βάσης NGA



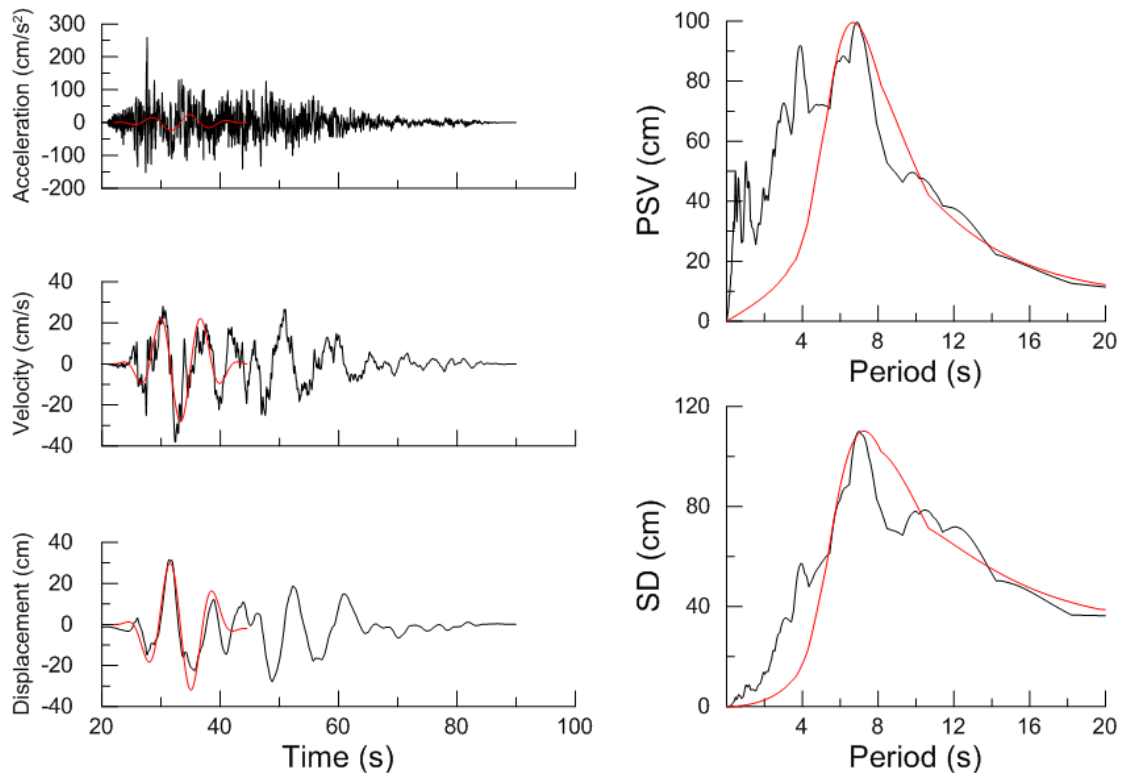
Χρονοϊστορίες και φάσματα της σεισμικής καταγραφής 174L της βάσης NGA



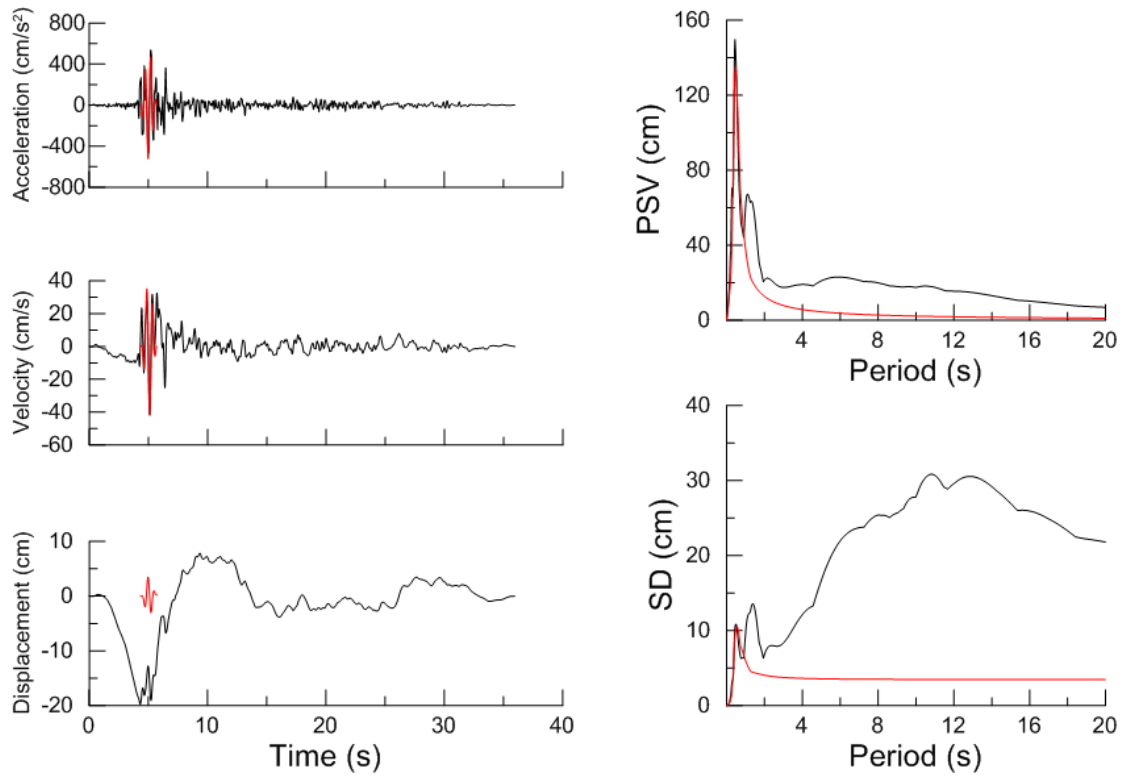
Χρονοϊστορίες και φάσματα της σεισμικής καταγραφής 766L της βάσης NGA



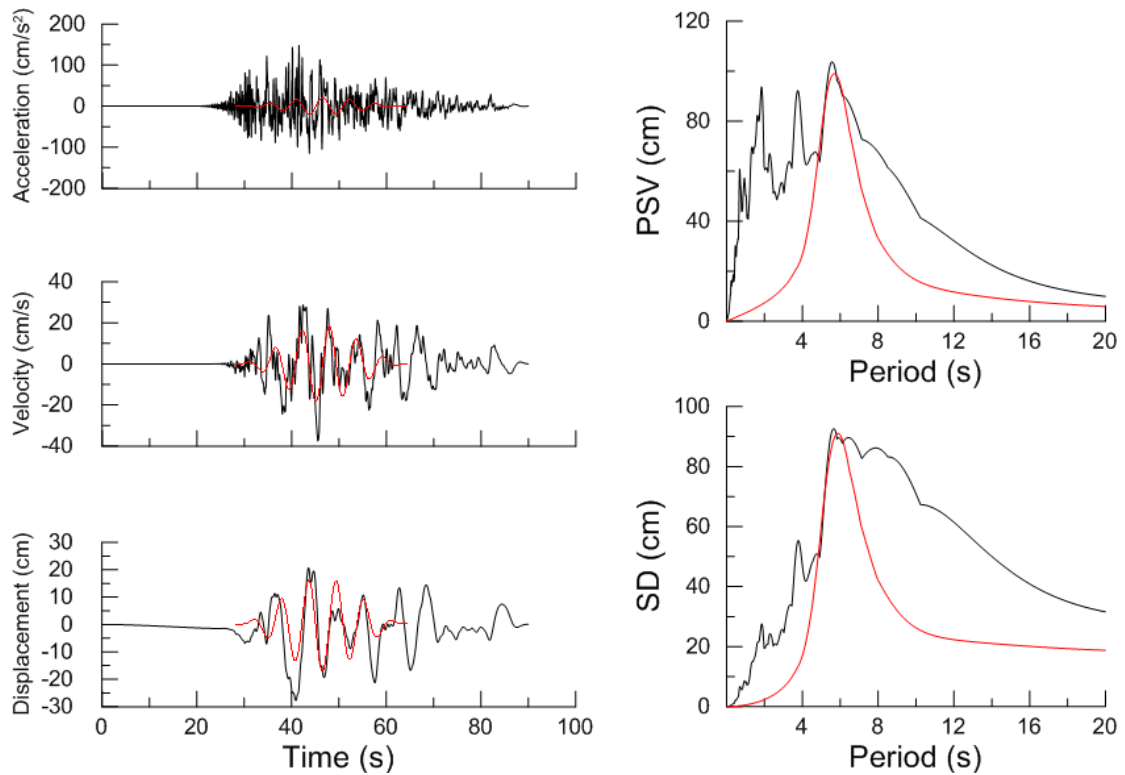
Χρονοϊστορίες και φάσματα της σεισμικής καταγραφής 1503T της βάσης NGA



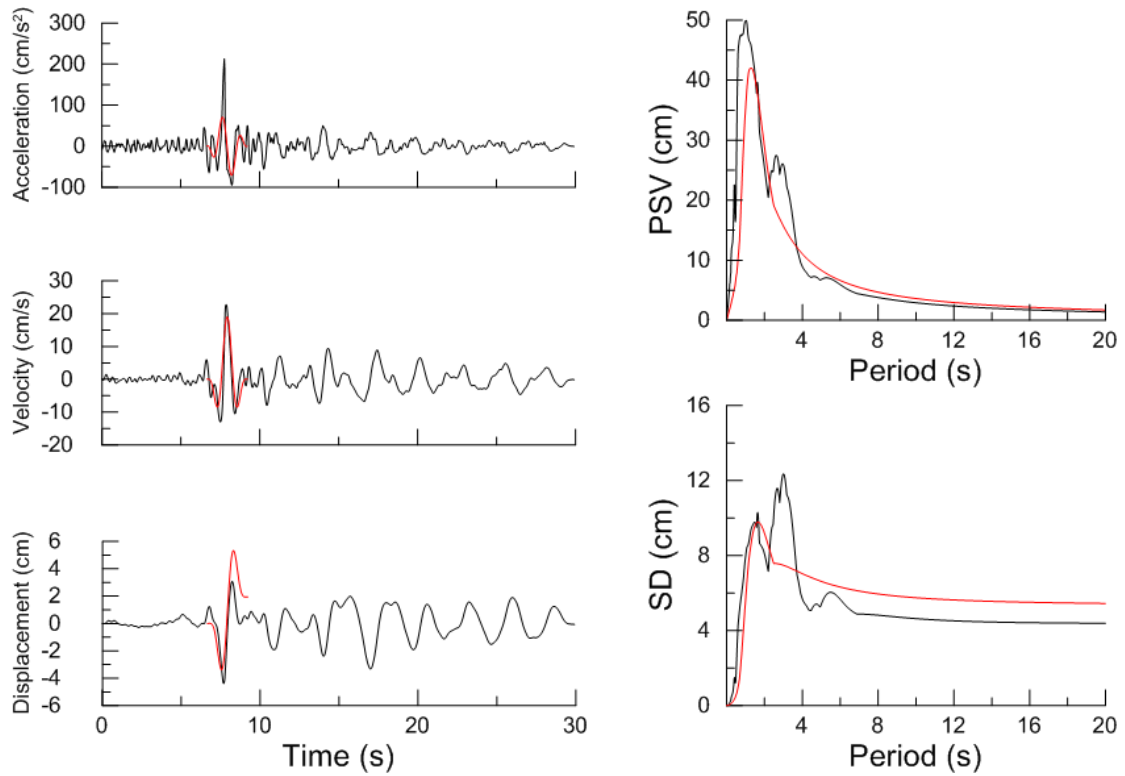
Χρονοϊστορίες και φάσματα της σεισμικής καταγραφής 1510T της βάσης NGA



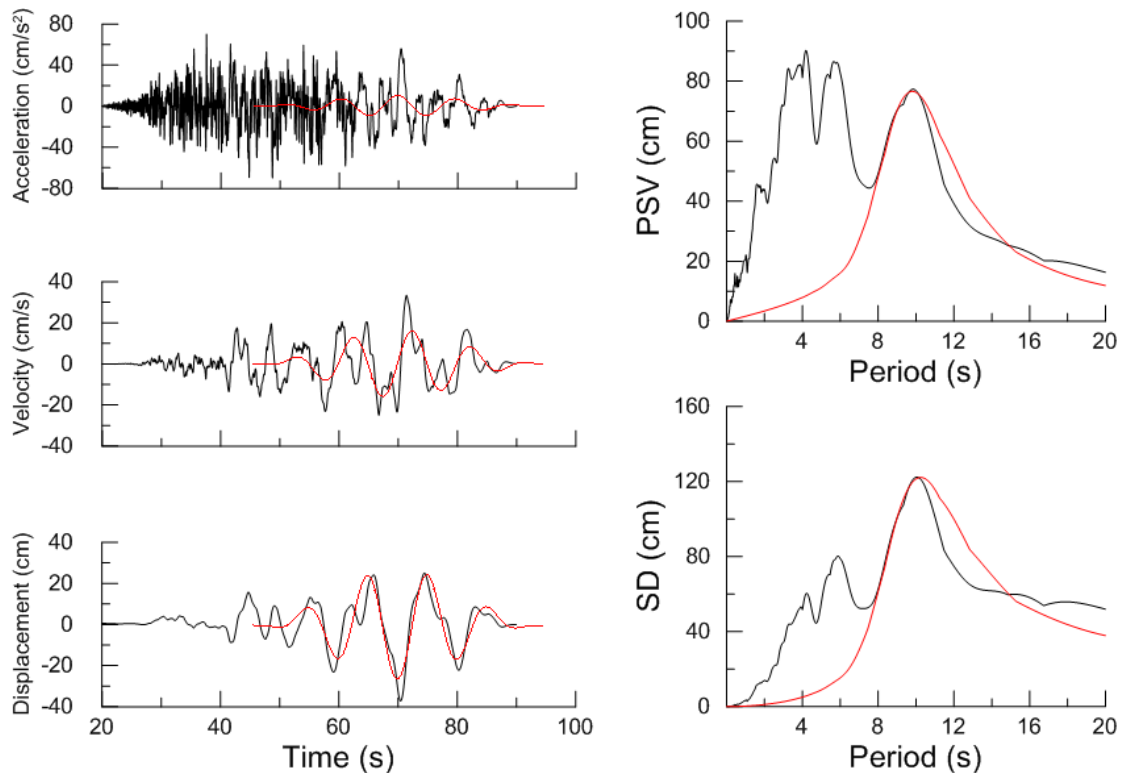
Χρονοϊστορίες και φάσματα της σεισμικής καταγραφής 829T της βάσης NGA



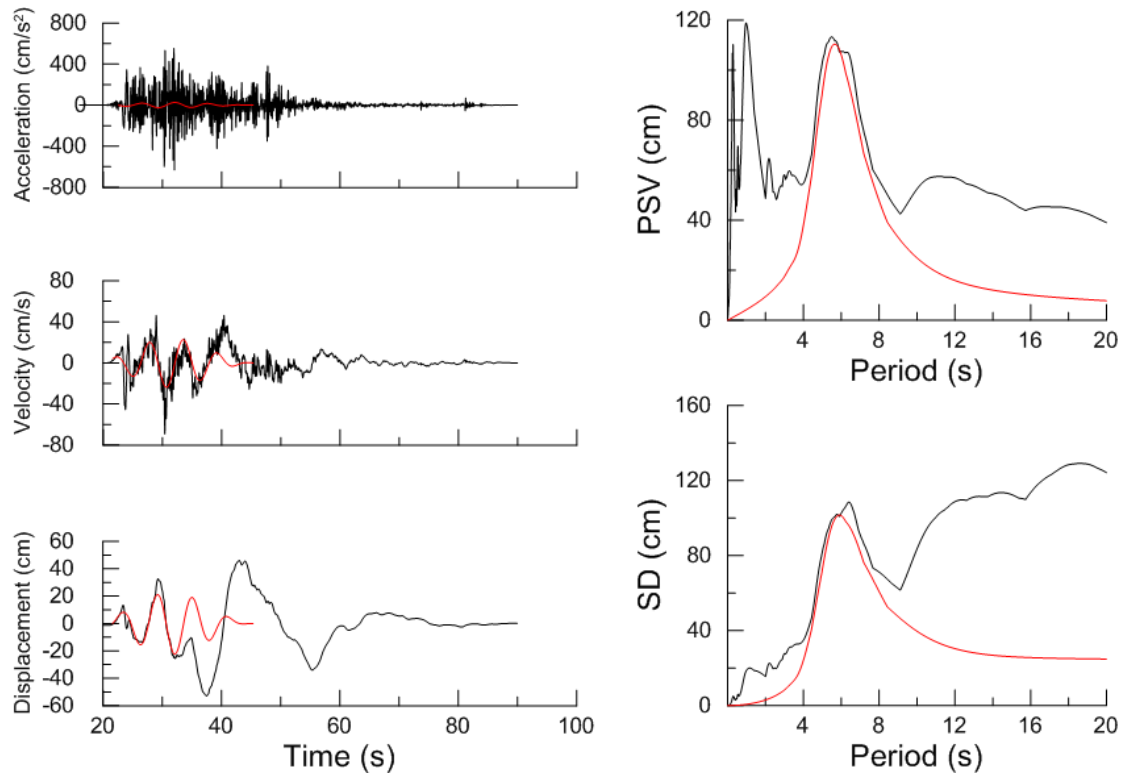
Χρονοϊστορίες και φάσματα της σεισμικής καταγραφής 1194T της βάσης NGA



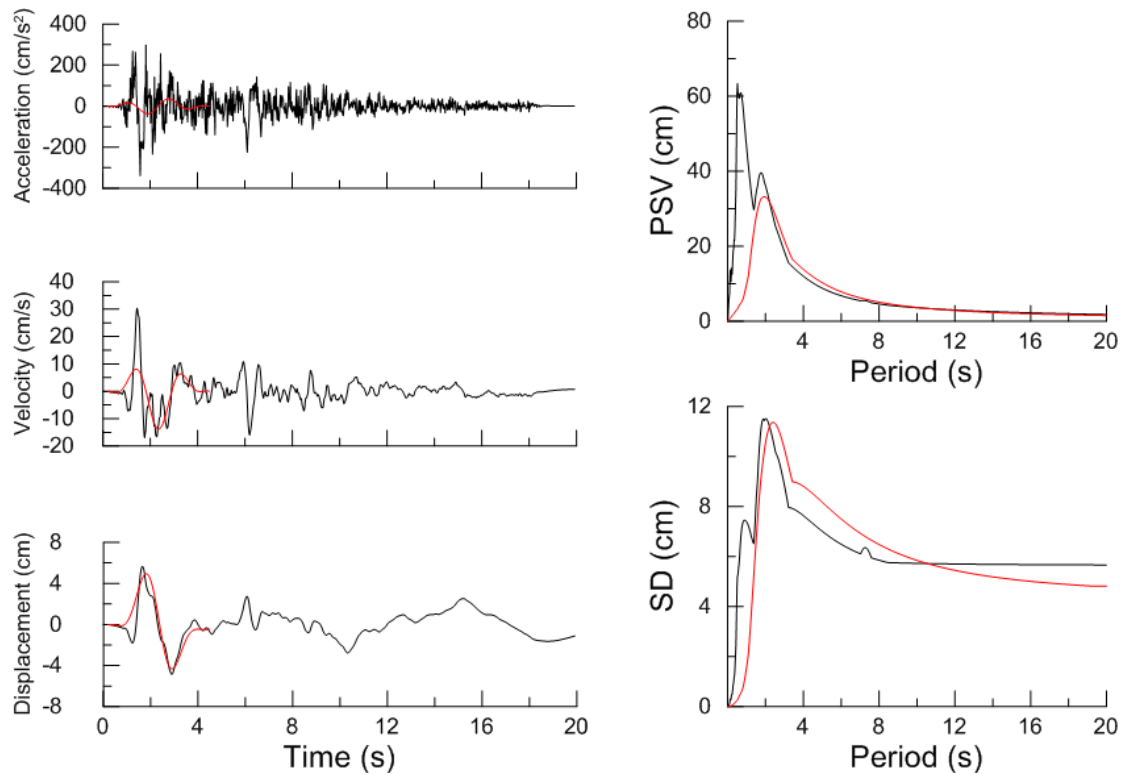
Χρονοϊστορίες και φάσματα της σεισμικής καταγραφής 503T της βάσης NGA



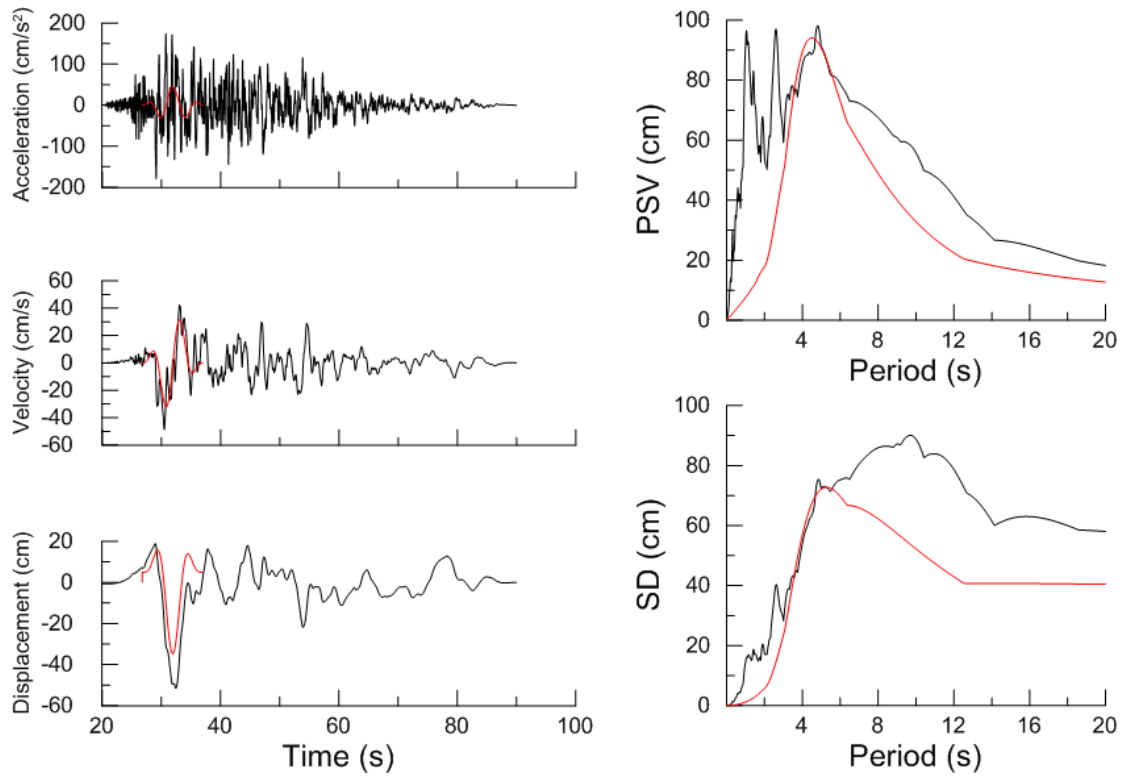
Χρονοϊστορίες και φάσματα της σεισμικής καταγραφής 1538T της βάσης NGA



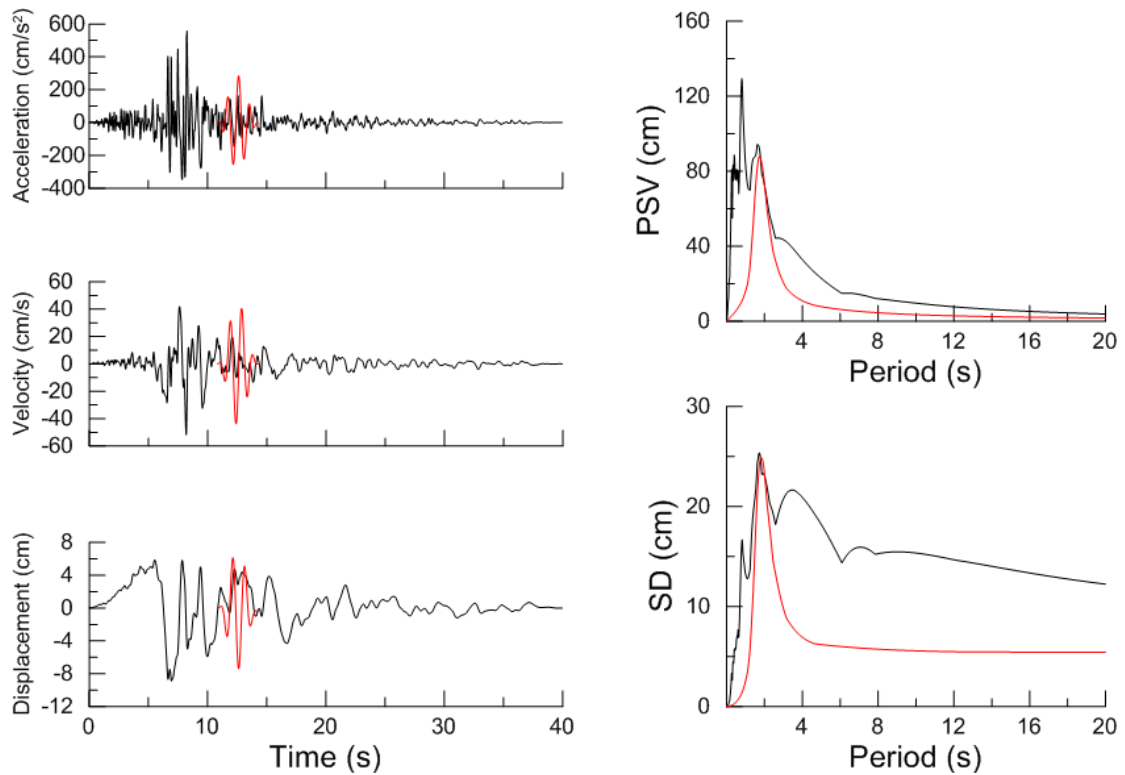
Χρονοϊστορίες και φάσματα της σεισμικής καταγραφής 1507T της βάσης NGA



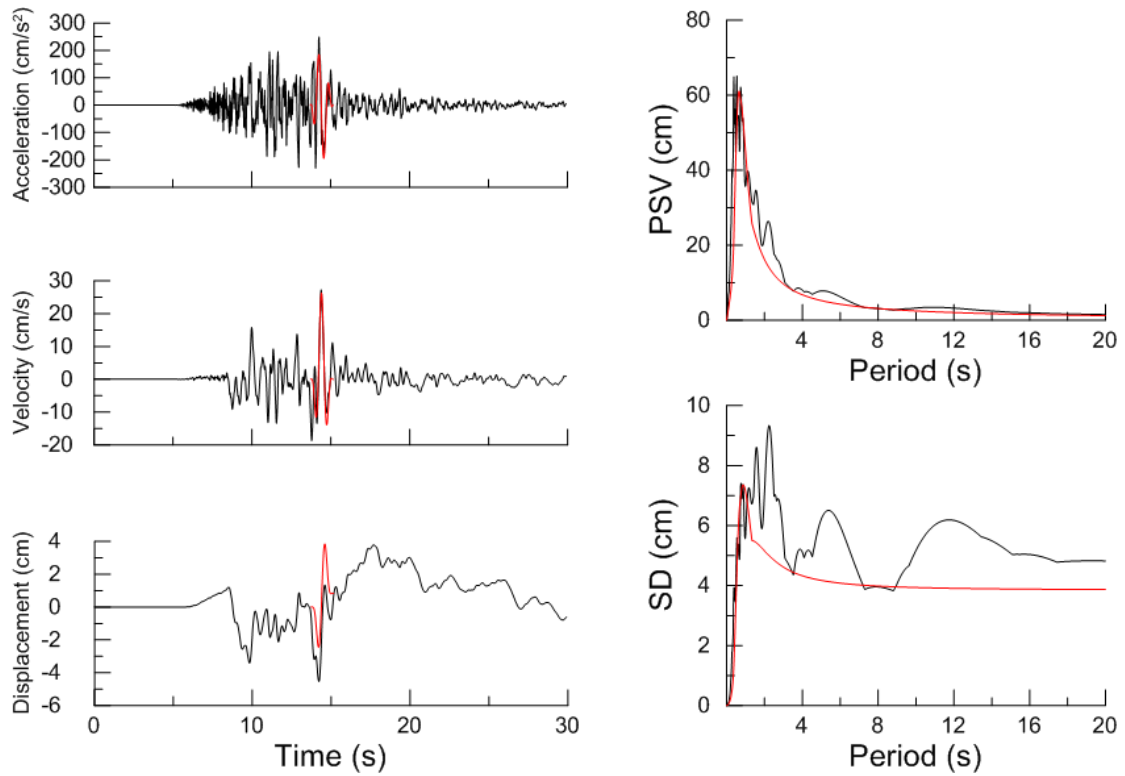
Χρονοϊστορίες και φάσματα της σεισμικής καταγραφής 496T της βάσης NGA



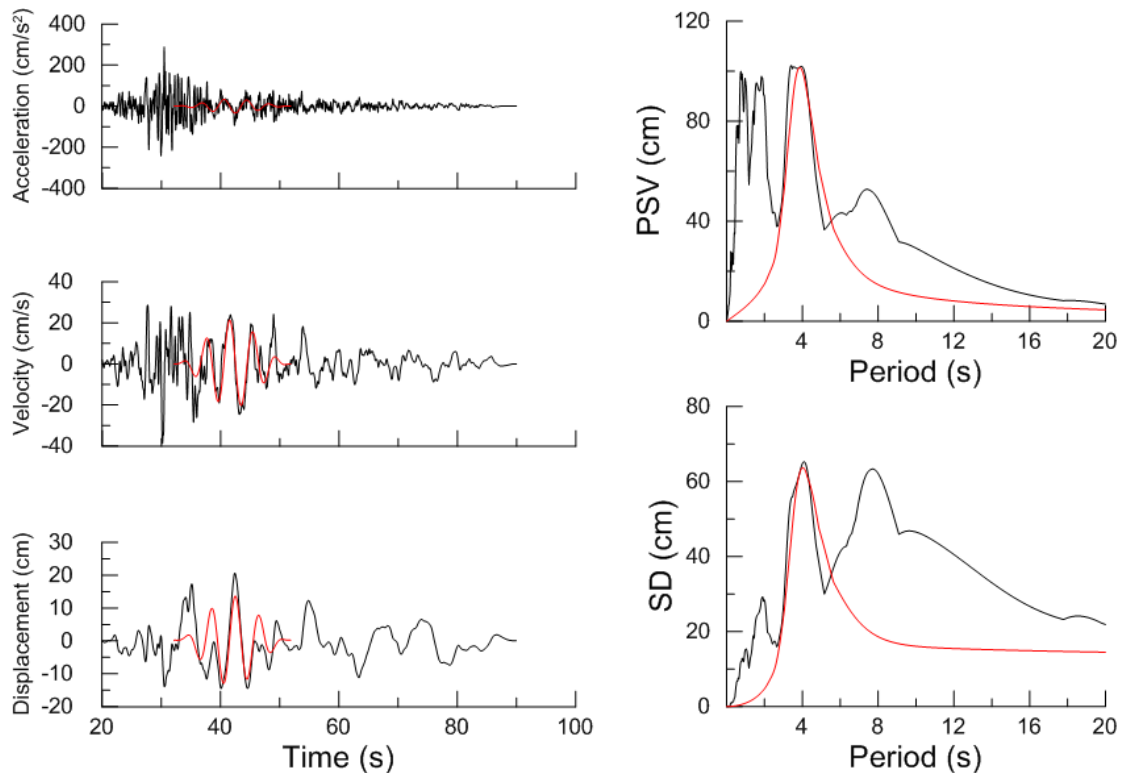
Χρονοϊστορίες και φάσματα της σεισμικής καταγραφής 1541L της βάσης NGA



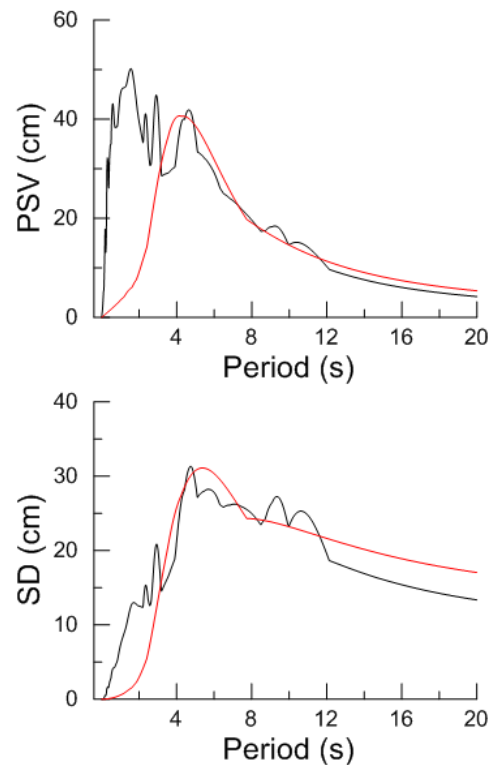
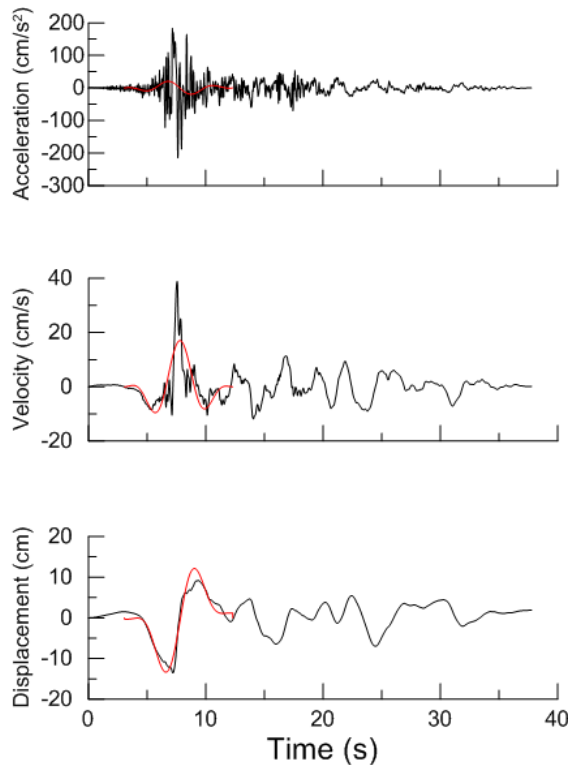
Χρονοϊστορίες και φάσματα της σεισμικής καταγραφής 963T της βάσης NGA



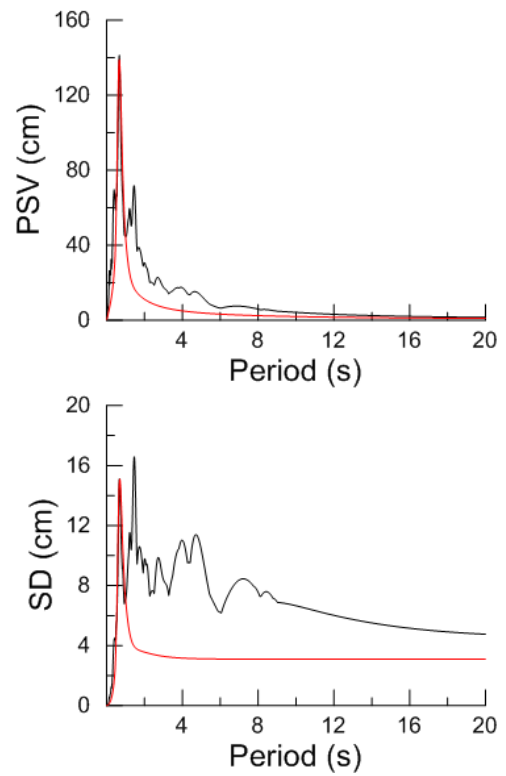
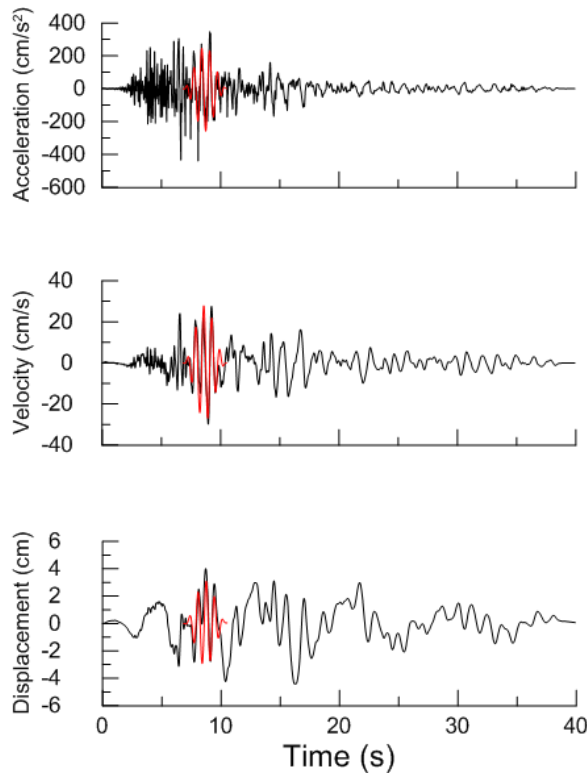
Χρονοϊστορίες και φάσματα της σεισμικής καταγραφής 1012L της βάσης NGA



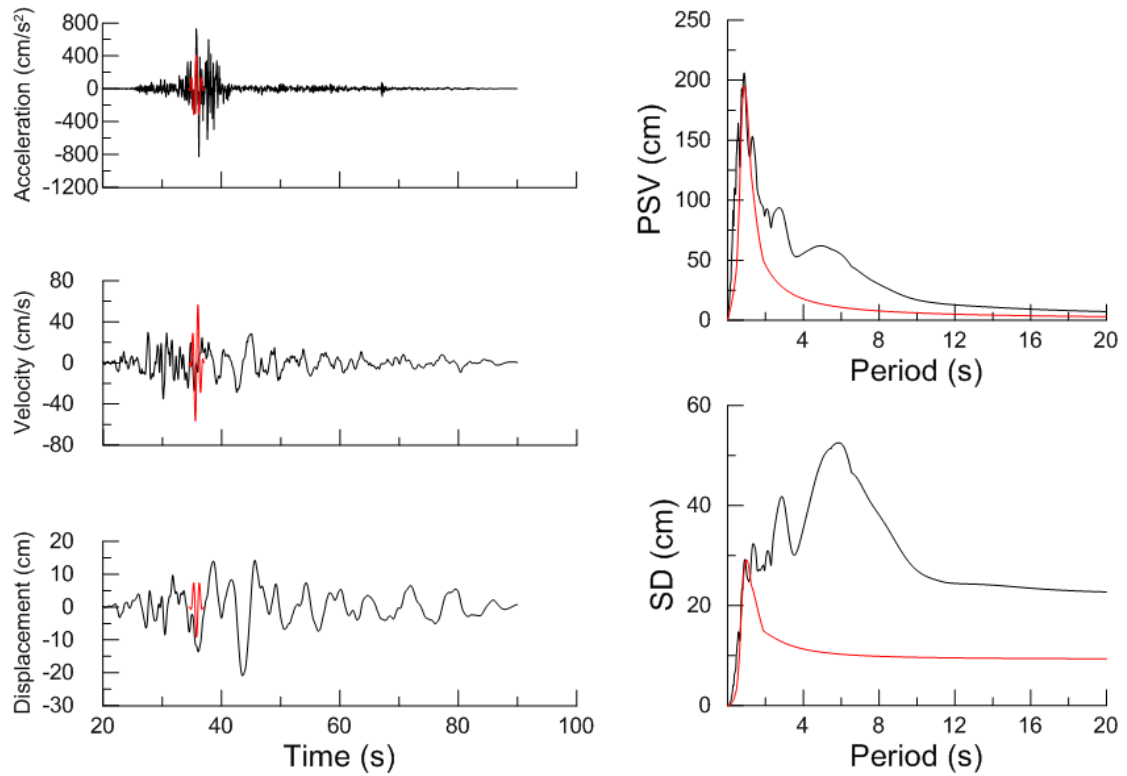
Χρονοϊστορίες και φάσματα της σεισμικής καταγραφής 1203L της βάσης NGA



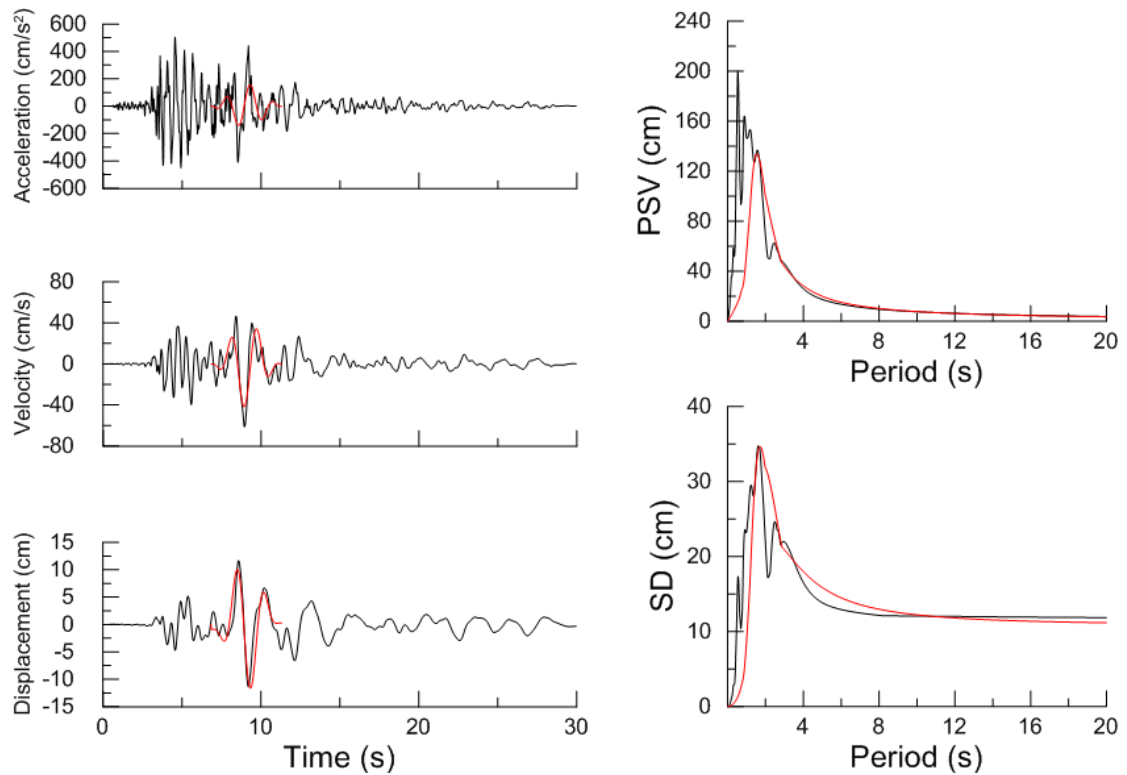
Χρονοϊστορίες και φάσματα της σεισμικής καταγραφής 161T της βάσης NGA



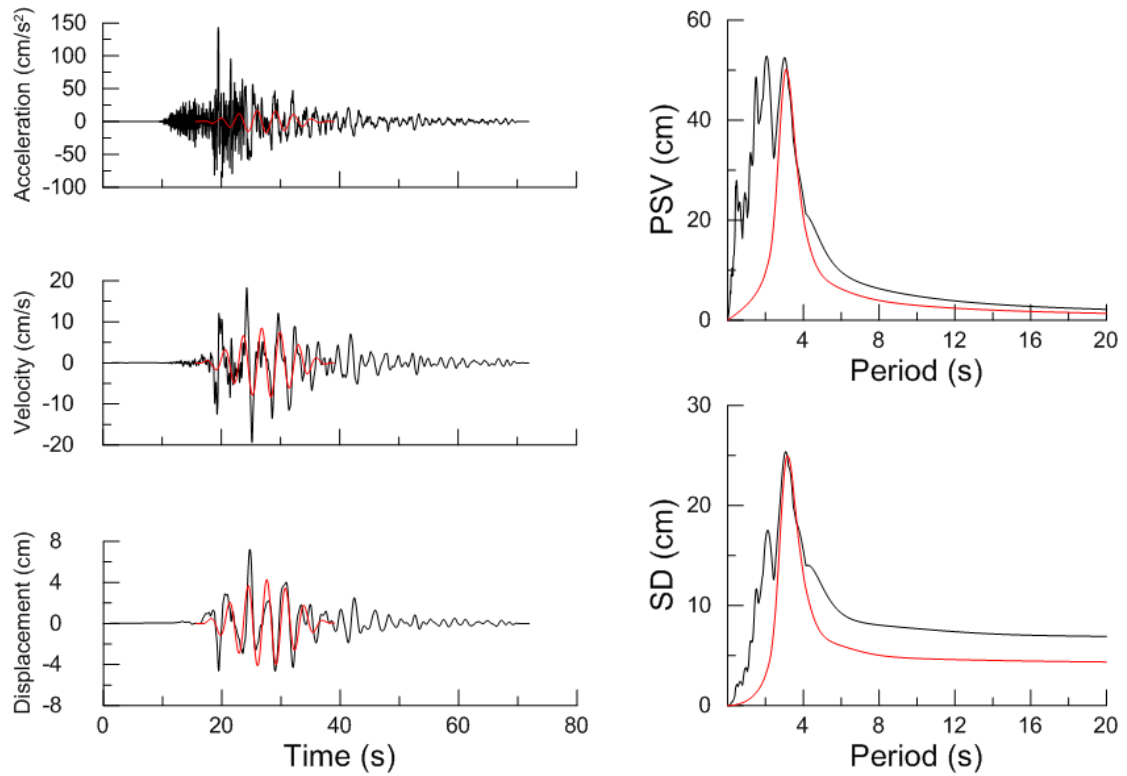
Χρονοϊστορίες και φάσματα της σεισμικής καταγραφής 752T της βάσης NGA



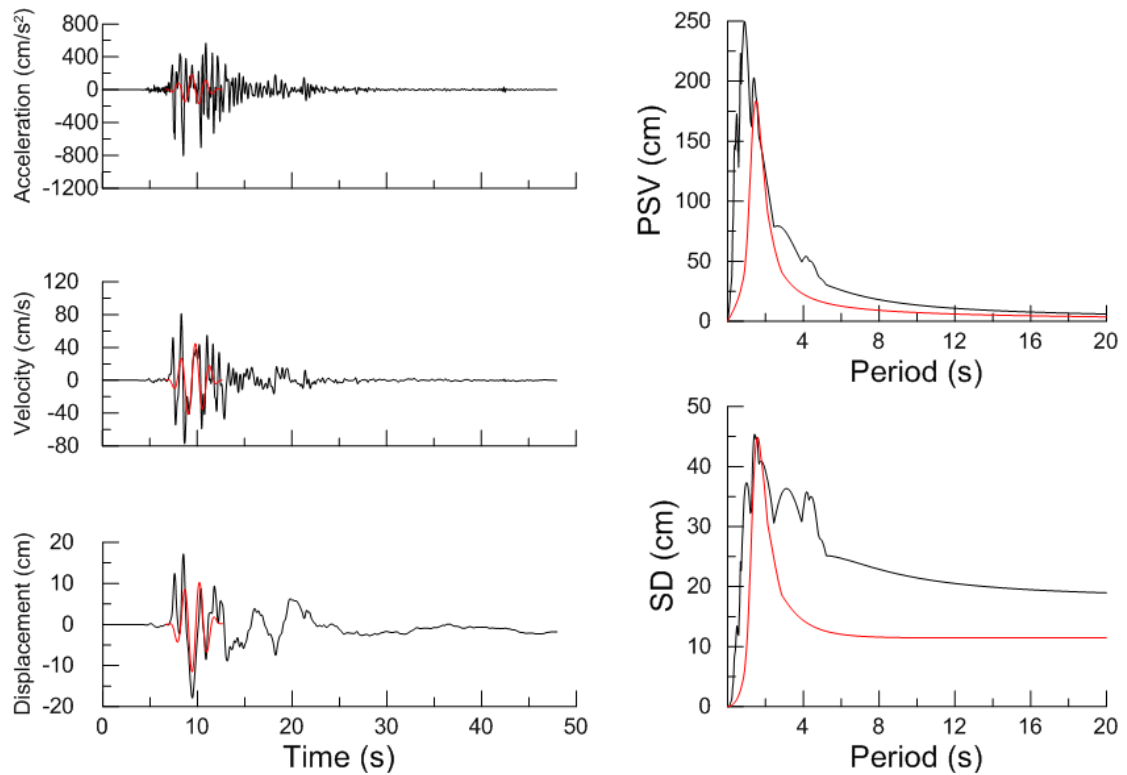
Χρονοϊστορίες και φάσματα της σεισμικής καταγραφής 1197T της βάσης NGA



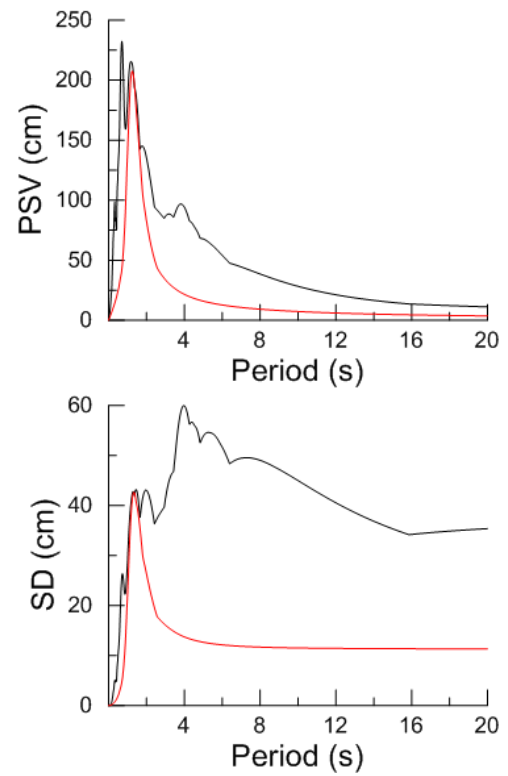
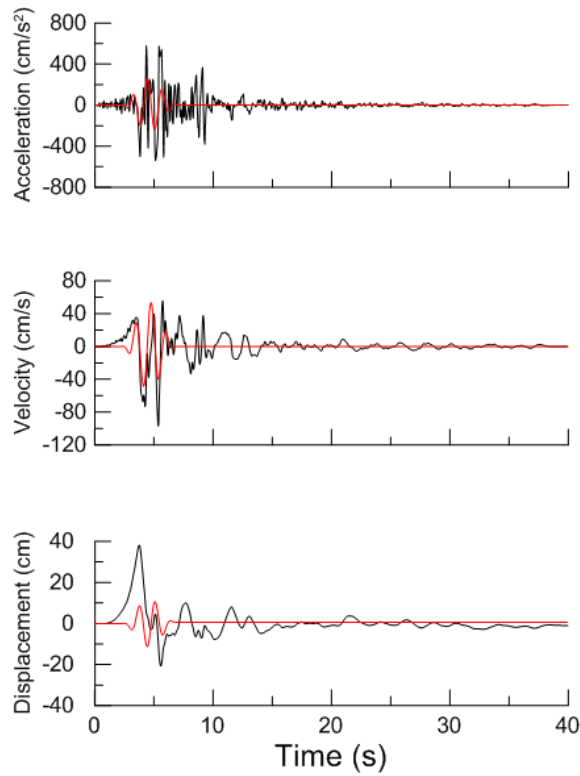
Χρονοϊστορίες και φάσματα της σεισμικής καταγραφής 953T της βάσης NGA



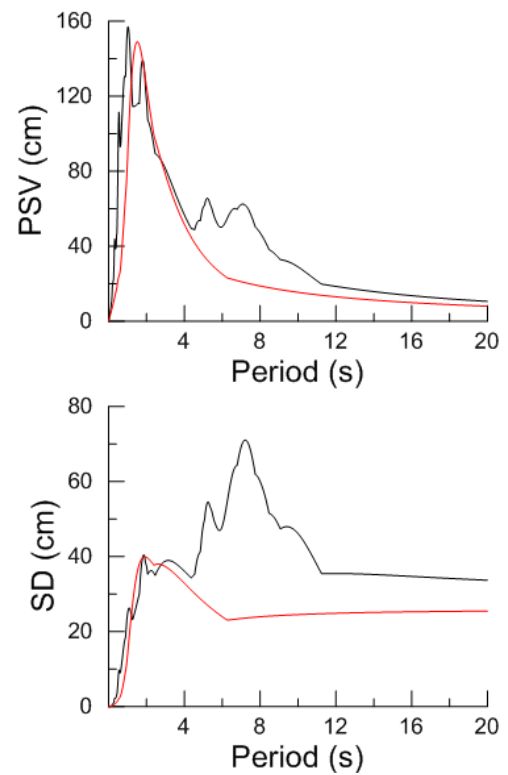
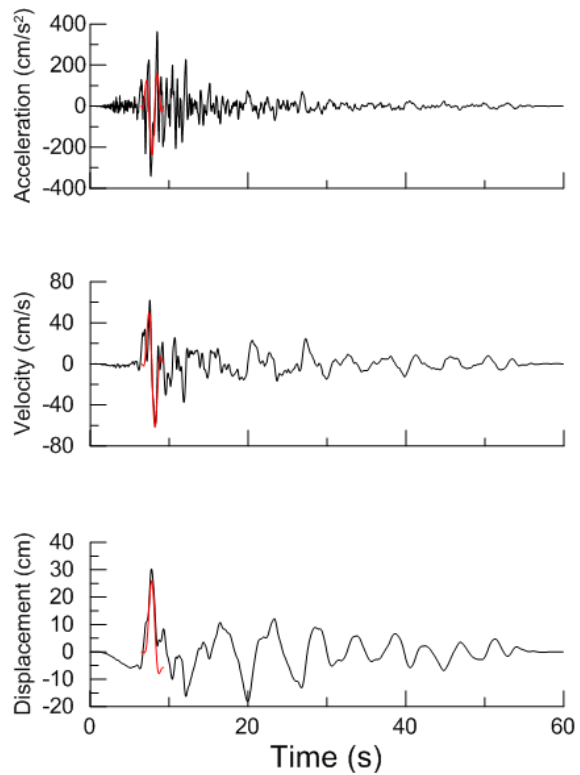
Χρονοϊστορίες και φάσματα της σεισμικής καταγραφής 3317L της βάσης NGA



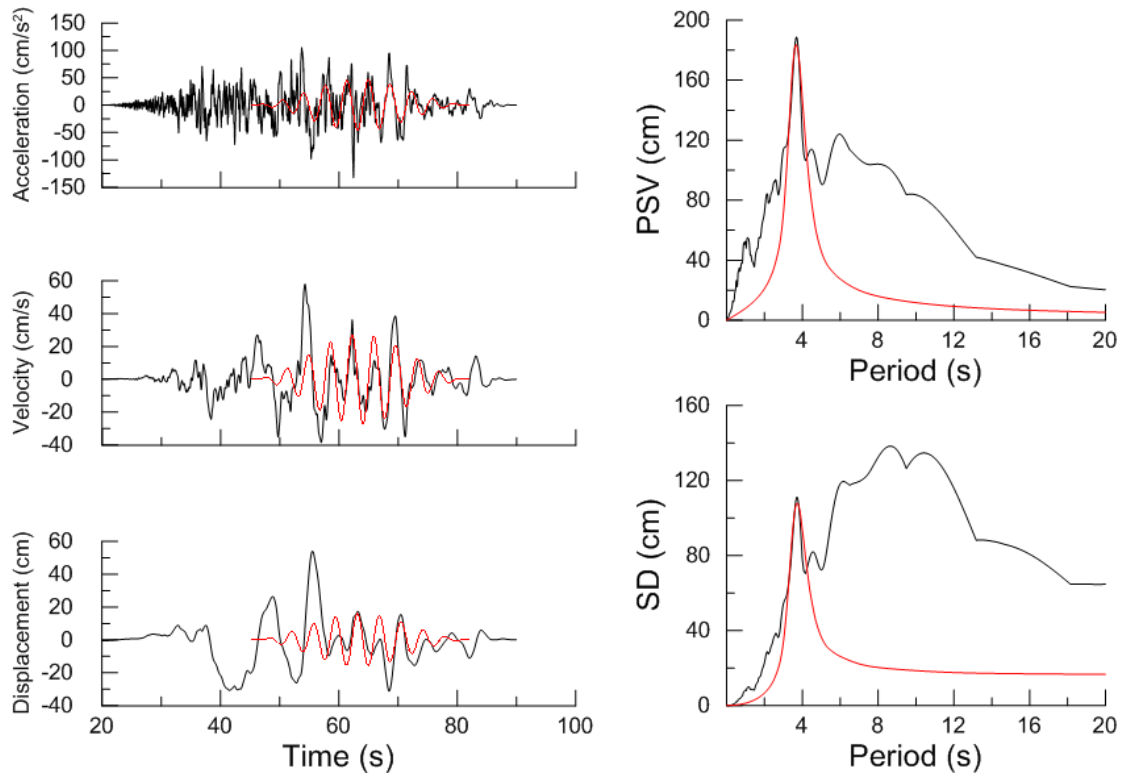
Χρονοϊστορίες και φάσματα της σεισμικής καταγραφής 1106L της βάσης NGA



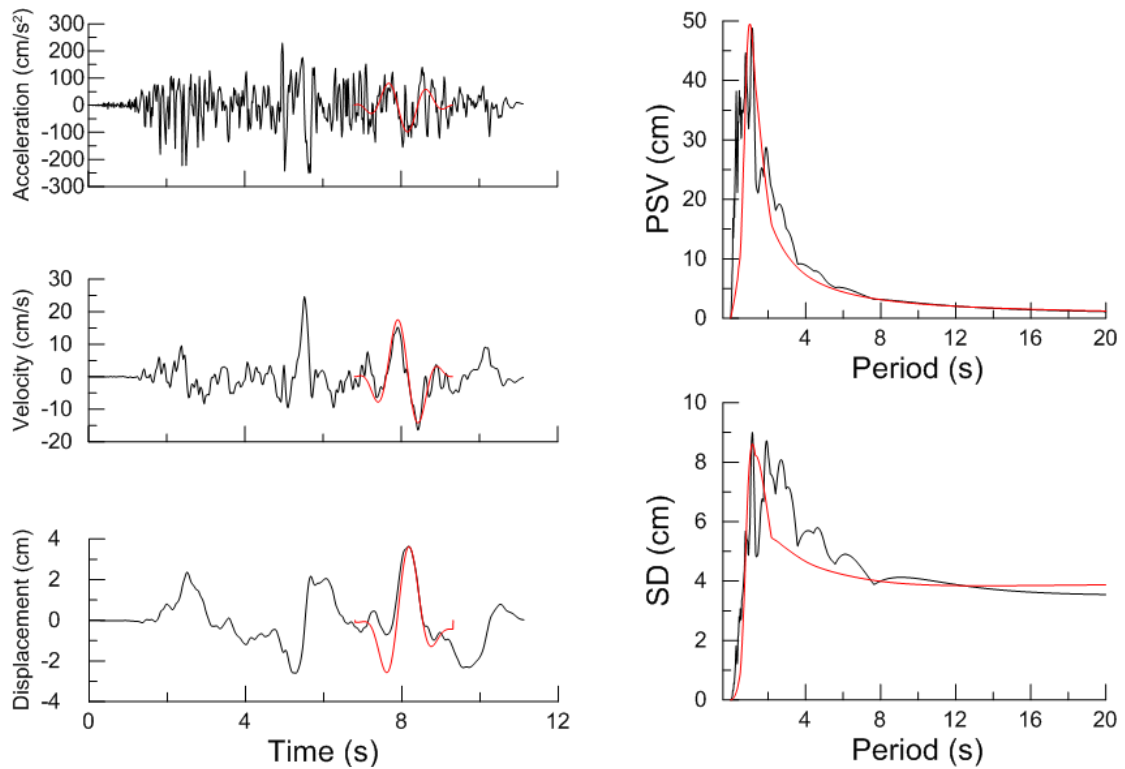
Χρονοϊστορίες και φάσματα της σεισμικής καταγραφής 1044T της βάσης NGA



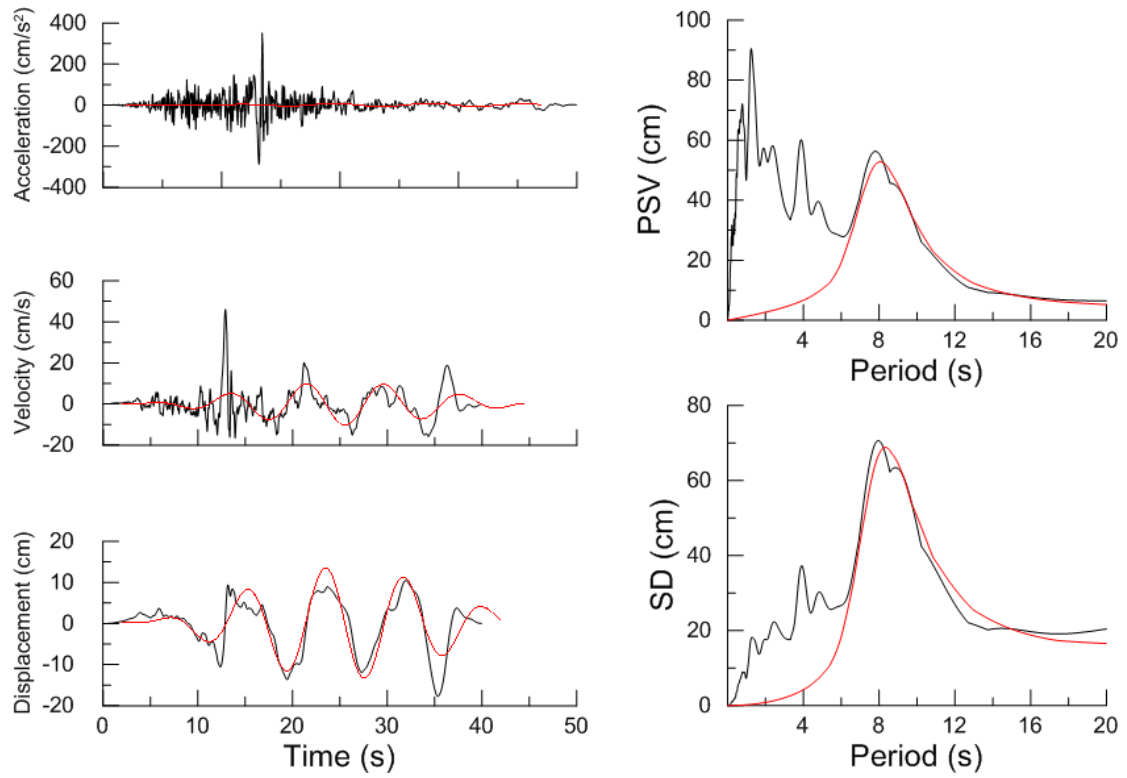
Χρονοϊστορίες και φάσματα της σεισμικής καταγραφής 776L της βάσης NGA



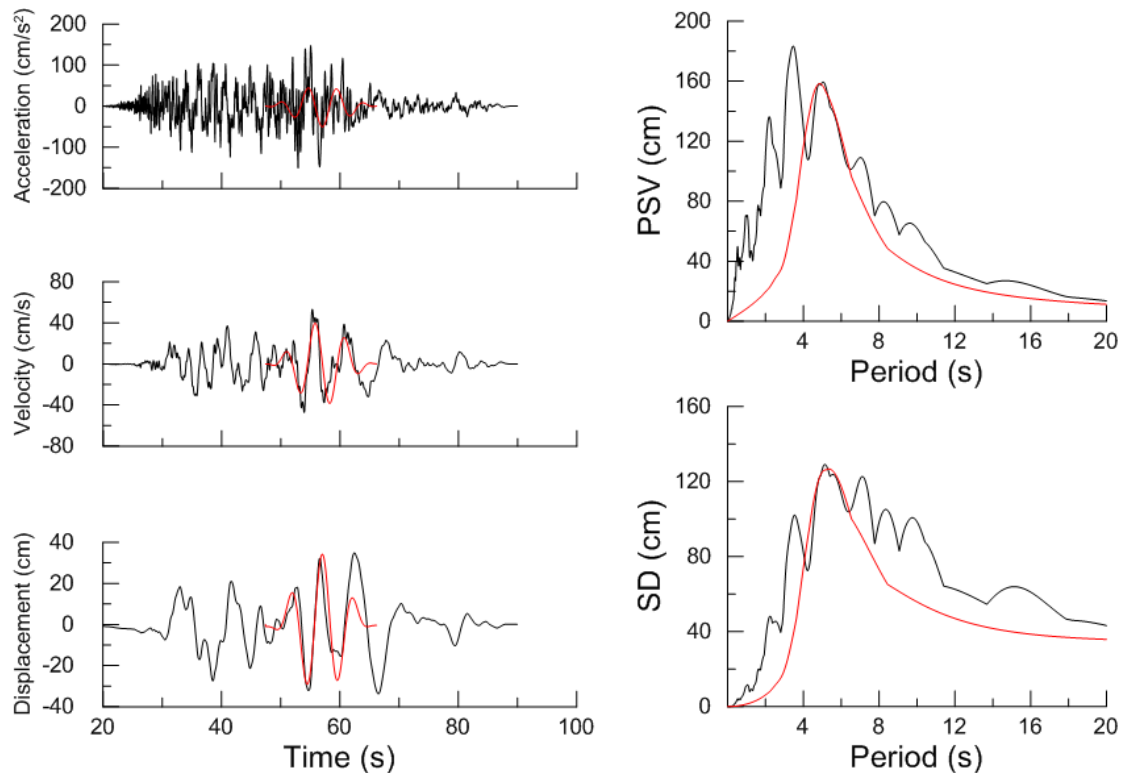
Χρονοϊστορίες και φάσματα της σεισμικής καταγραφής 1537L της βάσης NGA



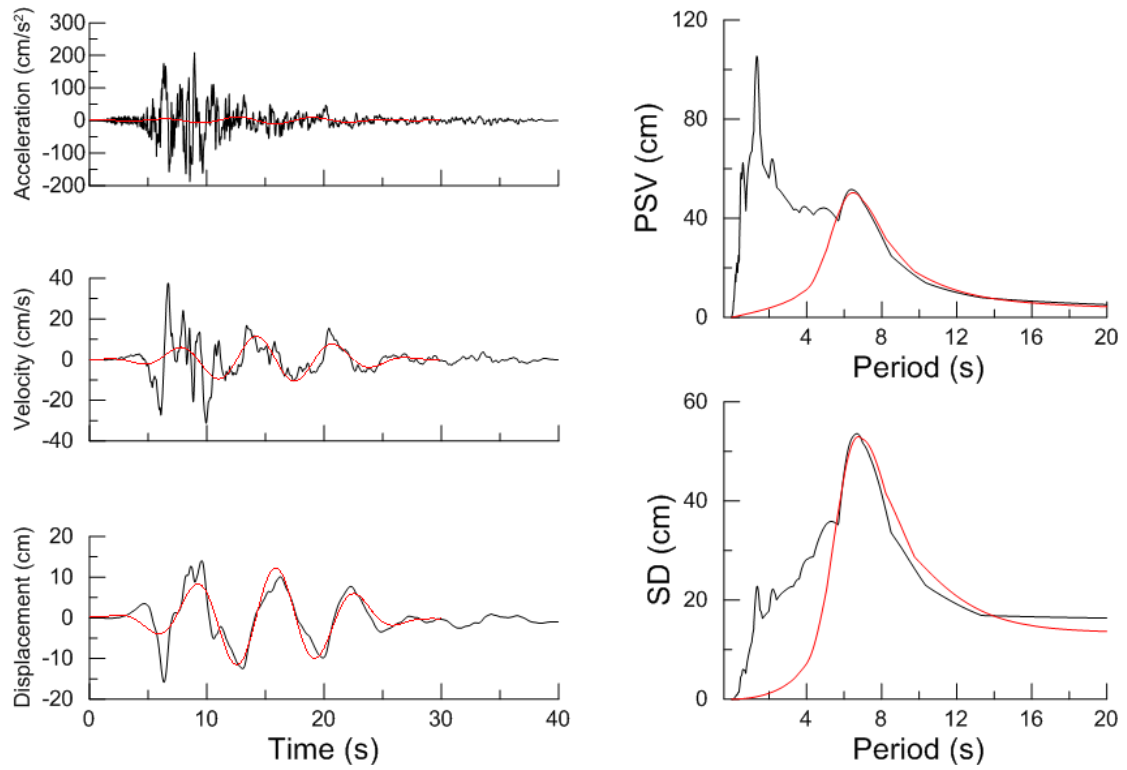
Χρονοϊστορίες και φάσματα της σεισμικής καταγραφής 158T της βάσης NGA



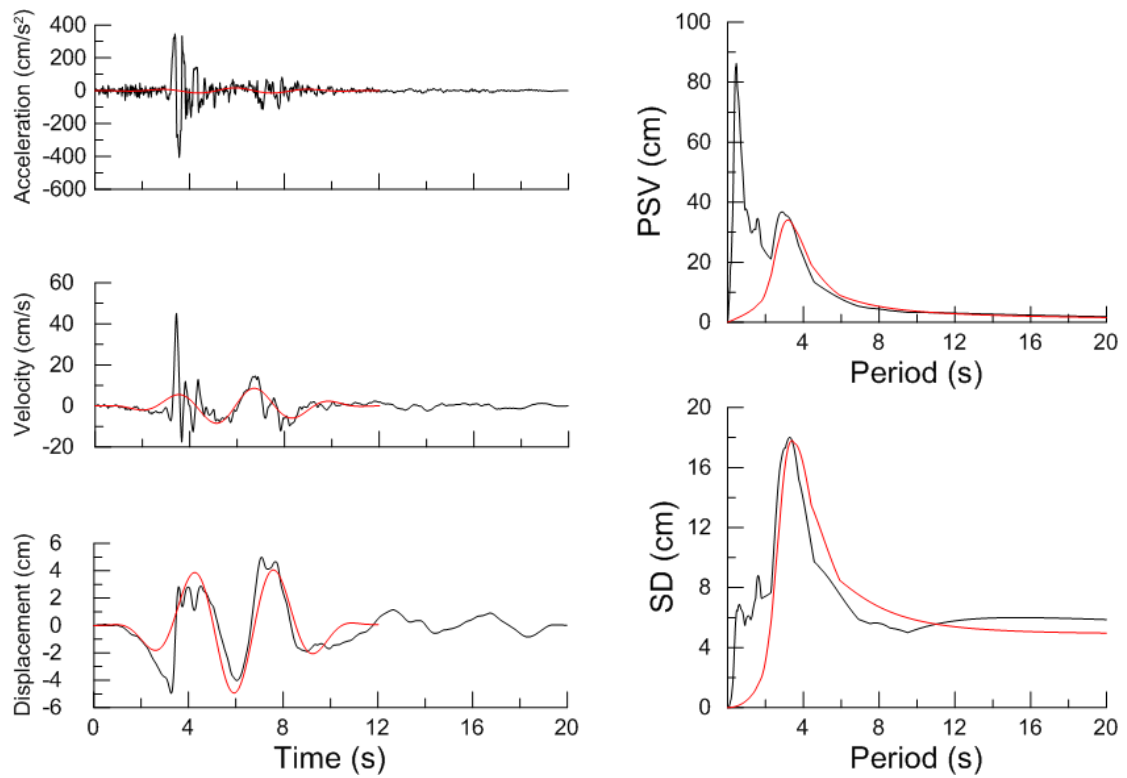
Χρονοϊστορίες και φάσματα της σεισμικής καταγραφής 721L της βάσης NGA



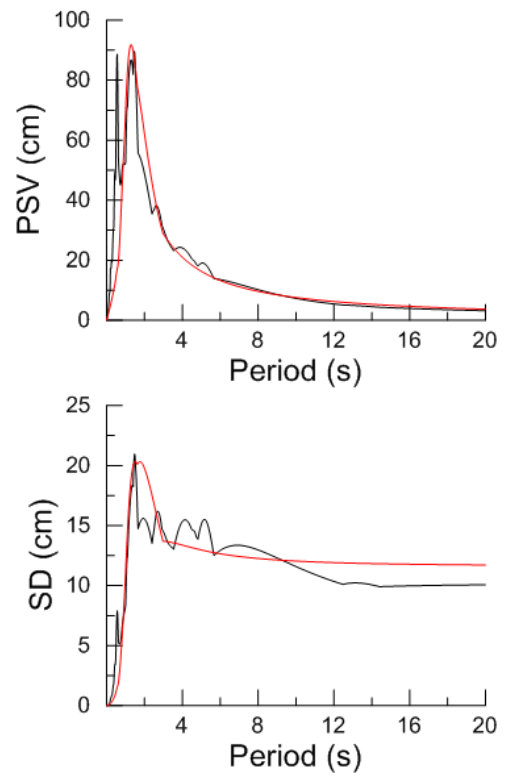
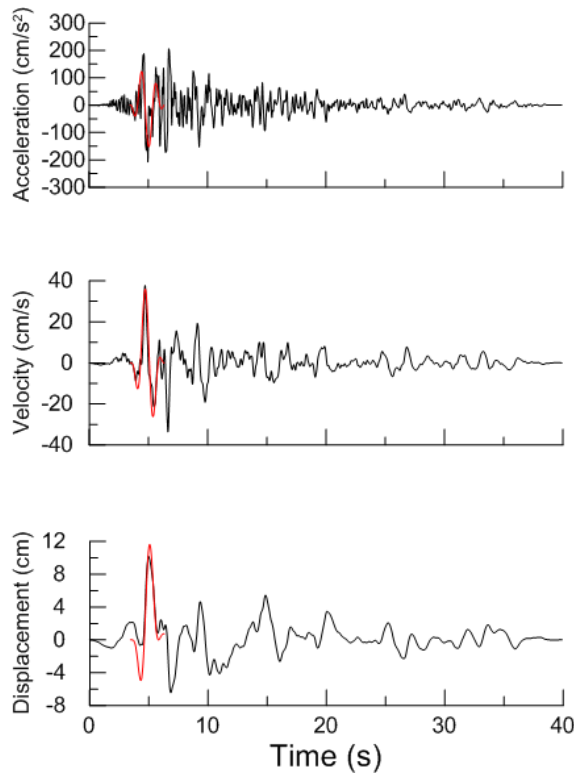
Χρονοϊστορίες και φάσματα της σεισμικής καταγραφής 1535T της βάσης NGA



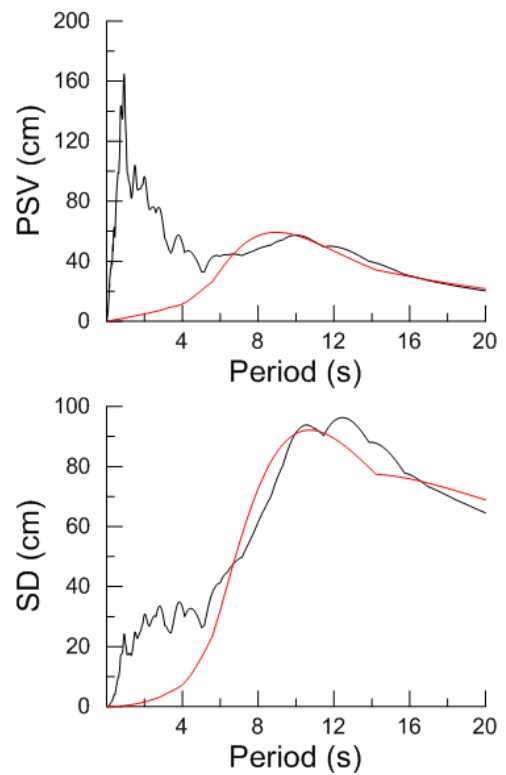
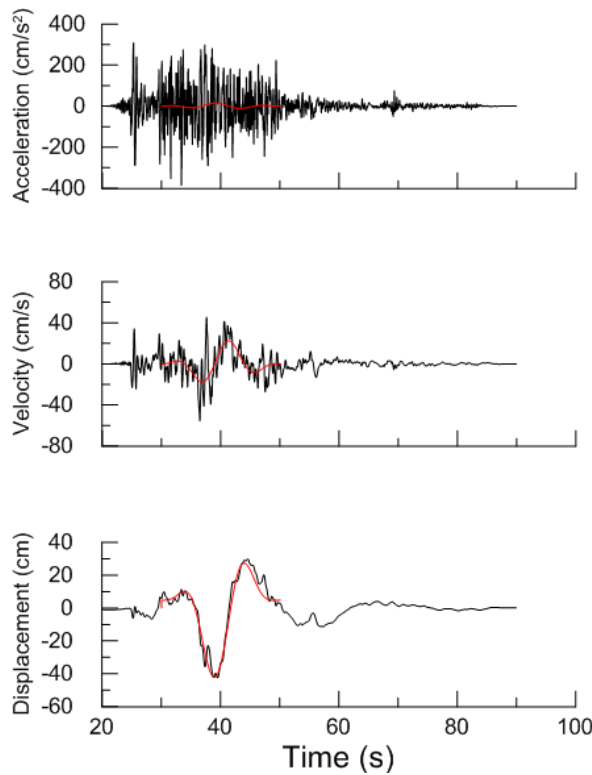
Χρονοϊστορίες και φάσματα της σεισμικής καταγραφής 170L της βάσης NGA



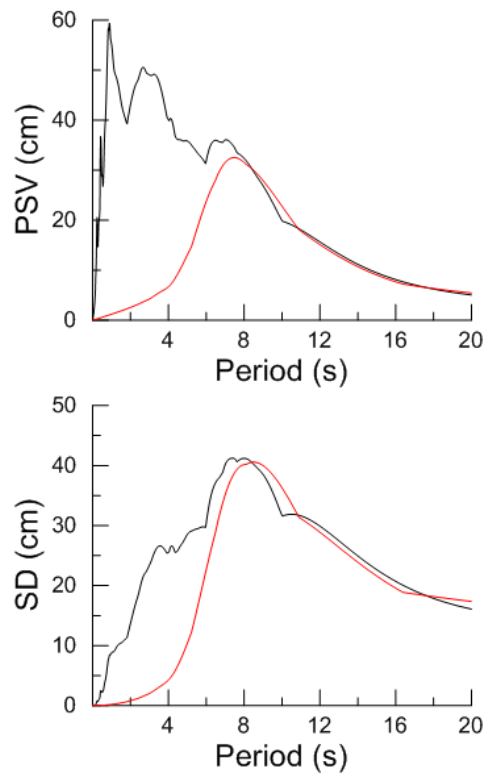
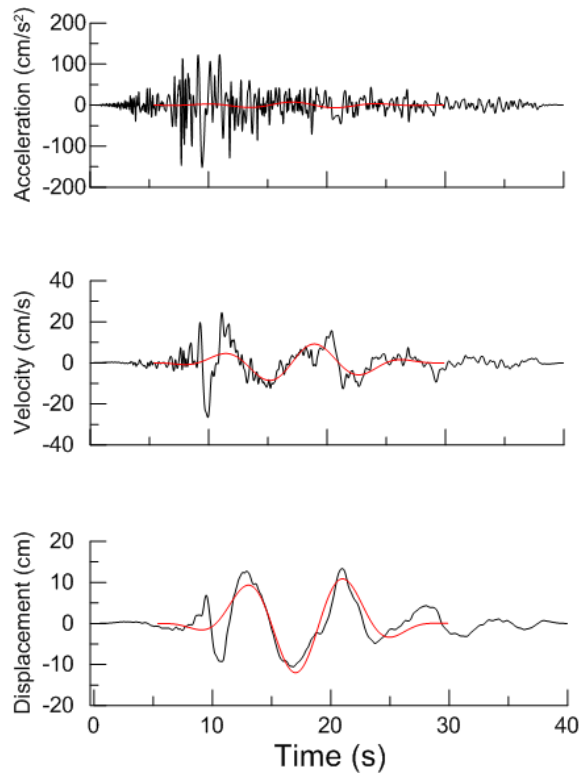
Χρονοϊστορίες και φάσματα της σεισμικής καταγραφής 1050L της βάσης NGA



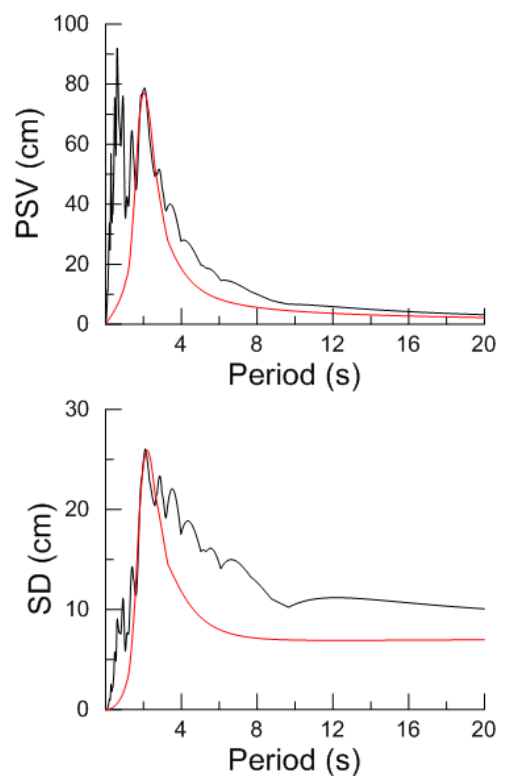
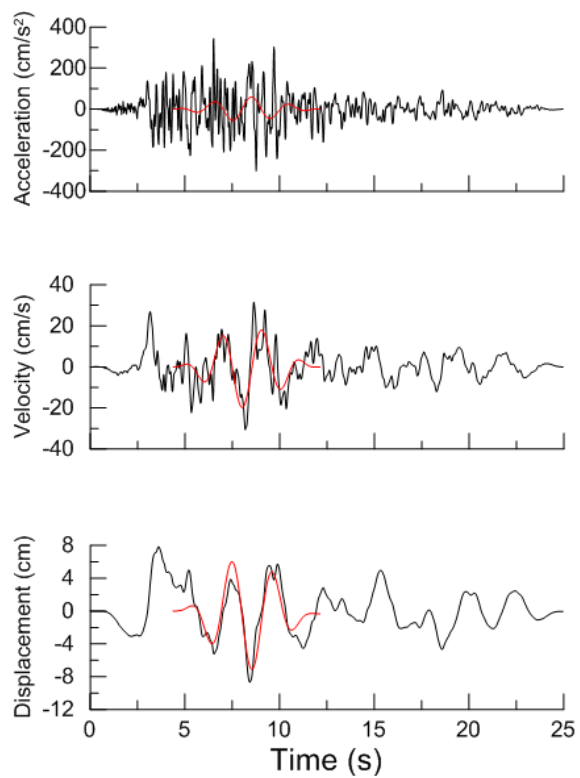
Χρονοϊστορίες και φάσματα της σεισμικής καταγραφής 768T της βάσης NGA



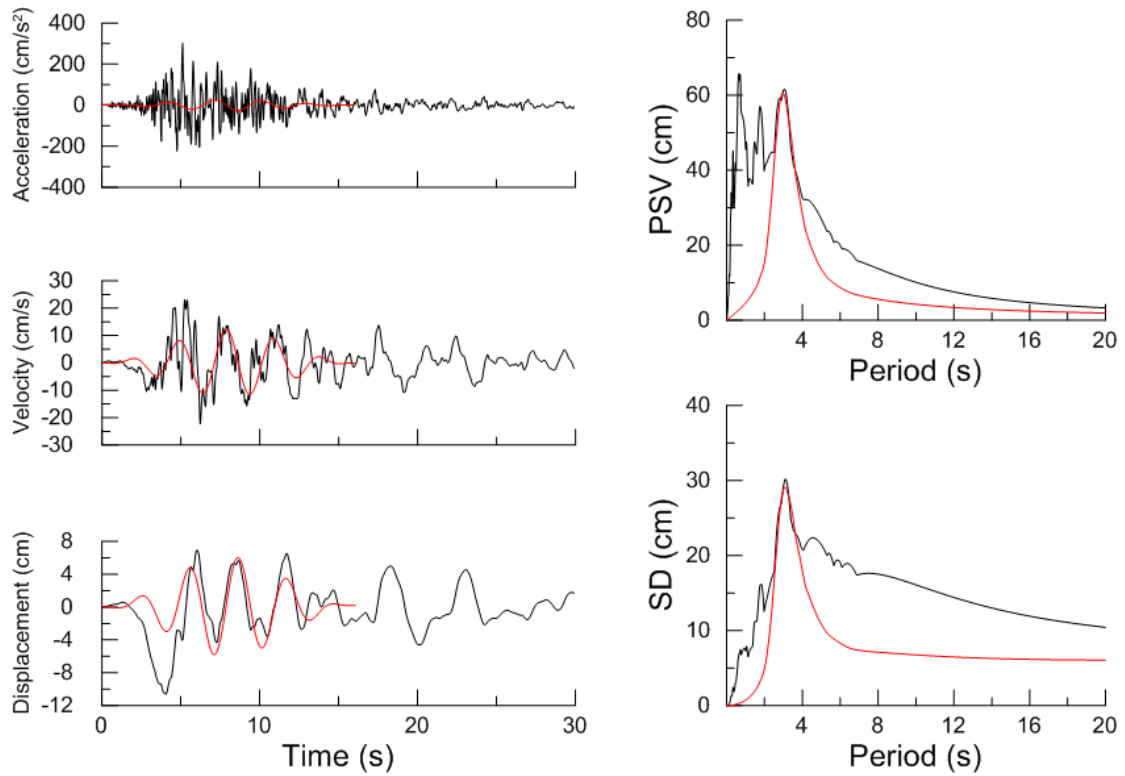
Χρονοϊστορίες και φάσματα της σεισμικής καταγραφής 1508T της βάσης NGA



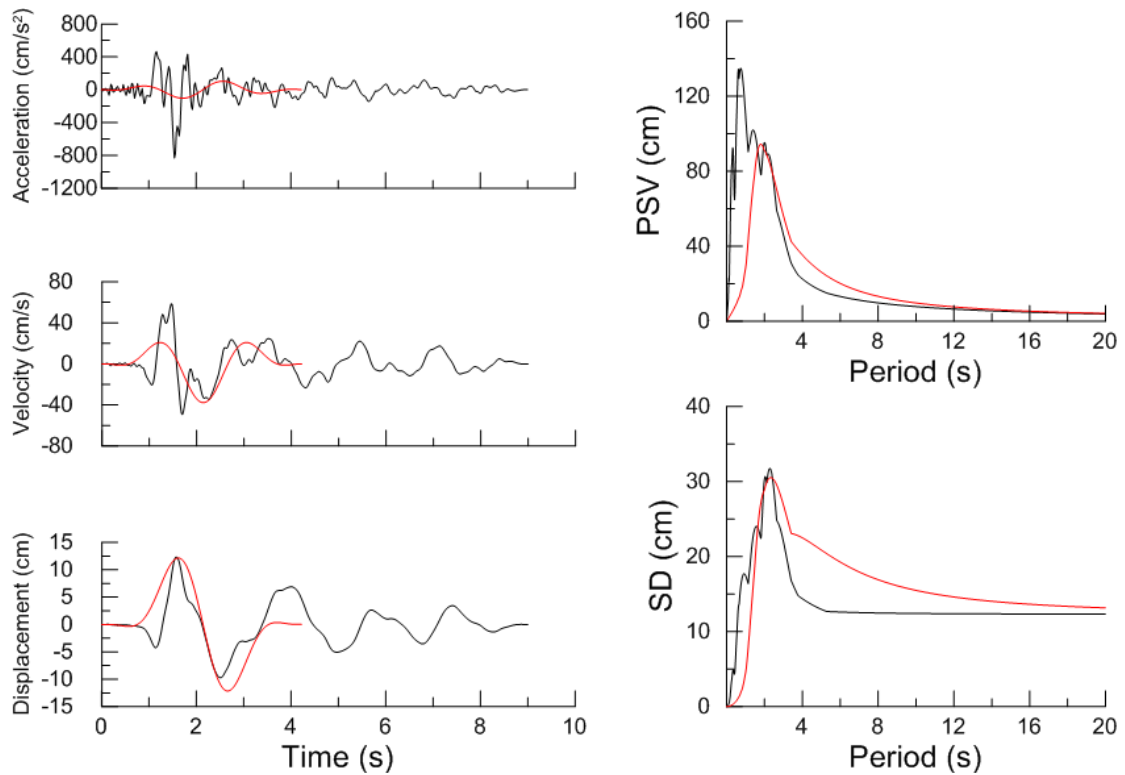
Χρονοϊστορίες και φάσματα της σεισμικής καταγραφής 316T της βάσης NGA



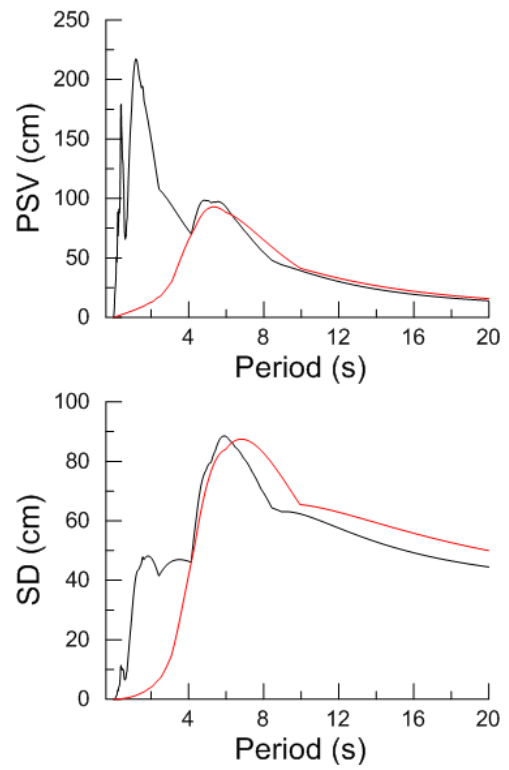
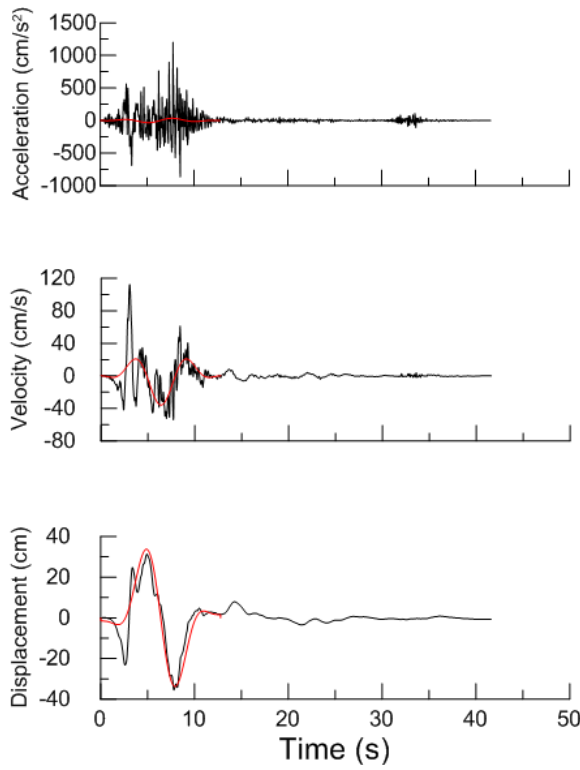
Χρονοϊστορίες και φάσματα της σεισμικής καταγραφής 959L της βάσης NGA



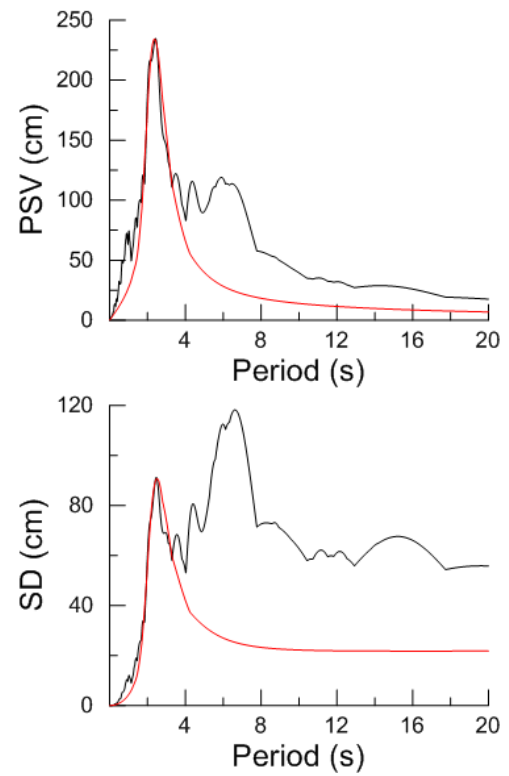
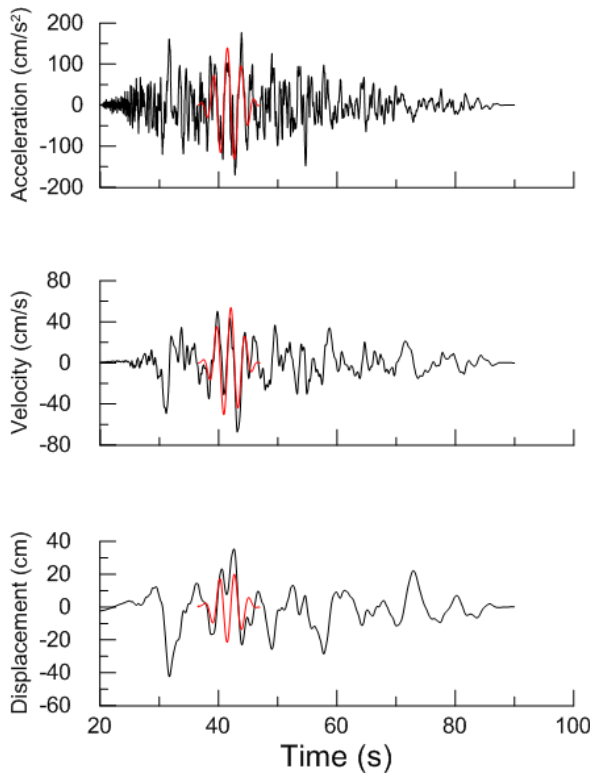
Χρονοϊστορίες και φάσματα της σεισμικής καταγραφής 949T της βάσης NGA



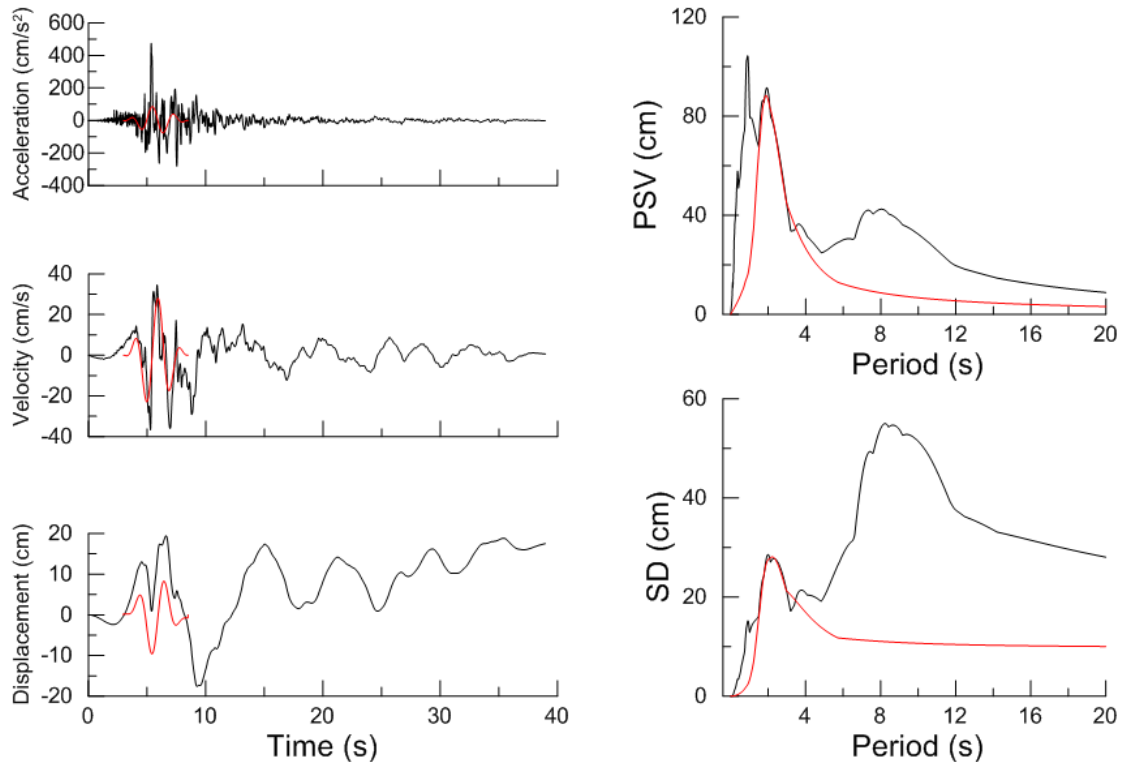
Χρονοϊστορίες και φάσματα της σεισμικής καταγραφής 568L της βάσης NGA



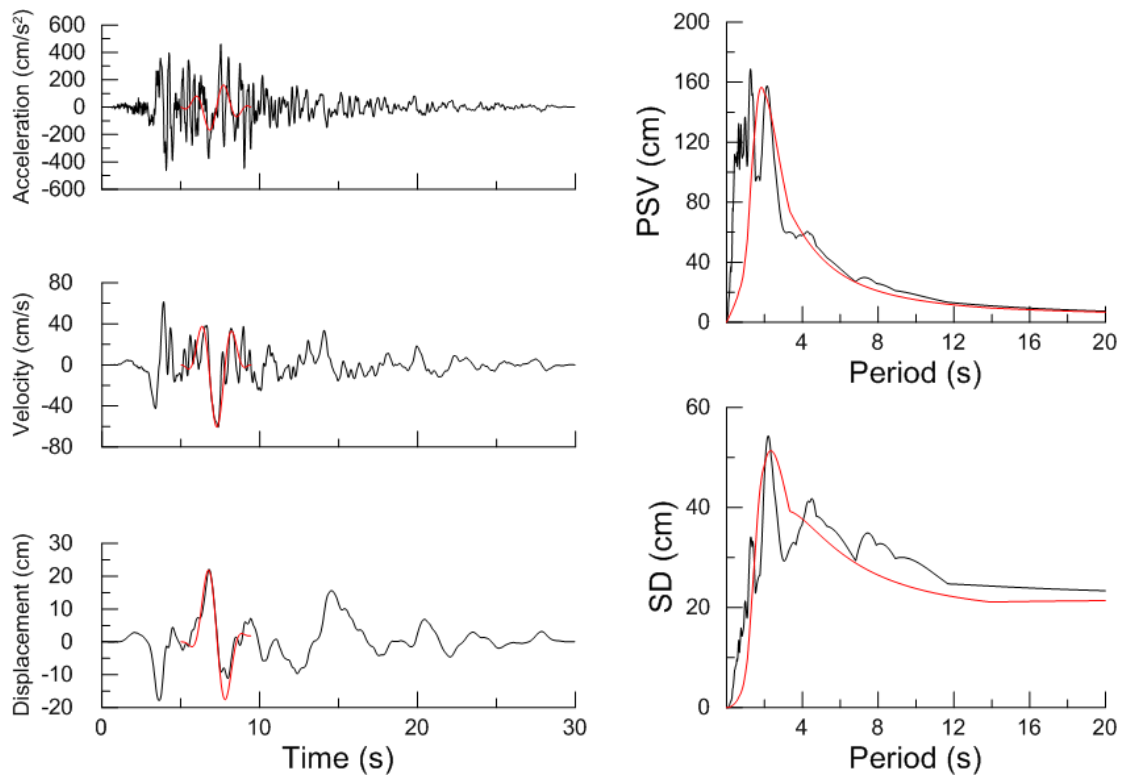
Χρονοϊστορίες και φάσματα της σεισμικής καταγραφής 77L της βάσης NGA



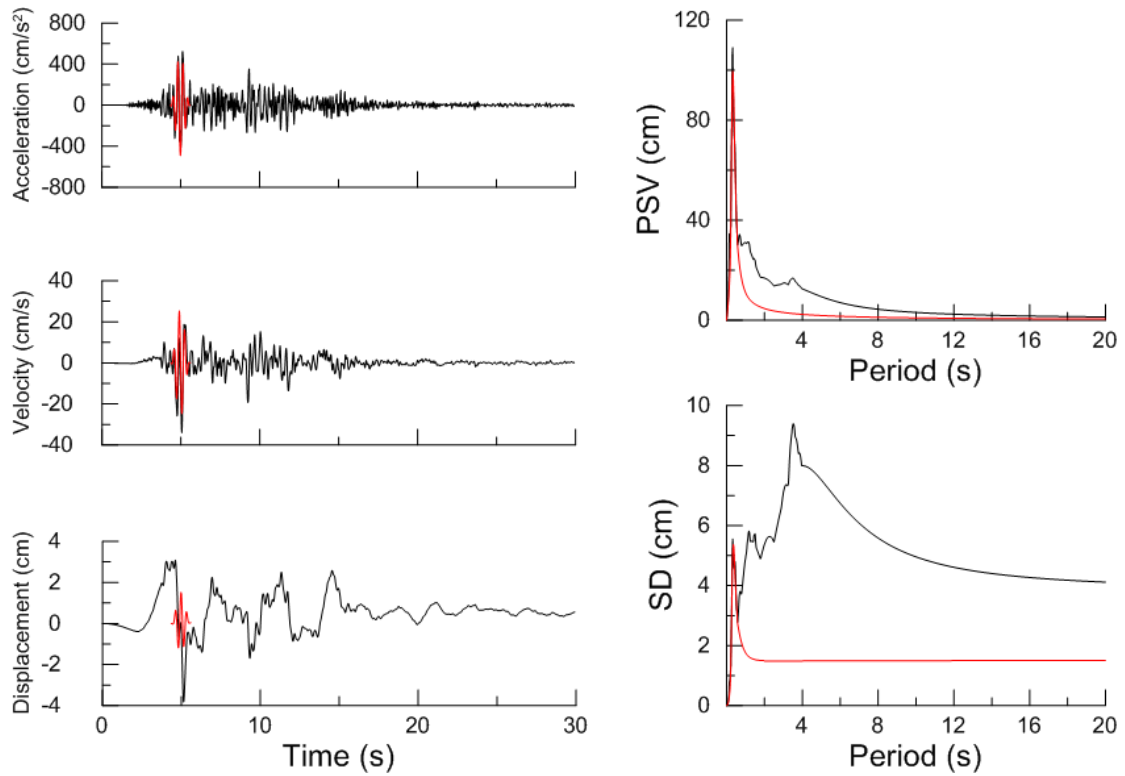
Χρονοϊστορίες και φάσματα της σεισμικής καταγραφής 1536L της βάσης NGA



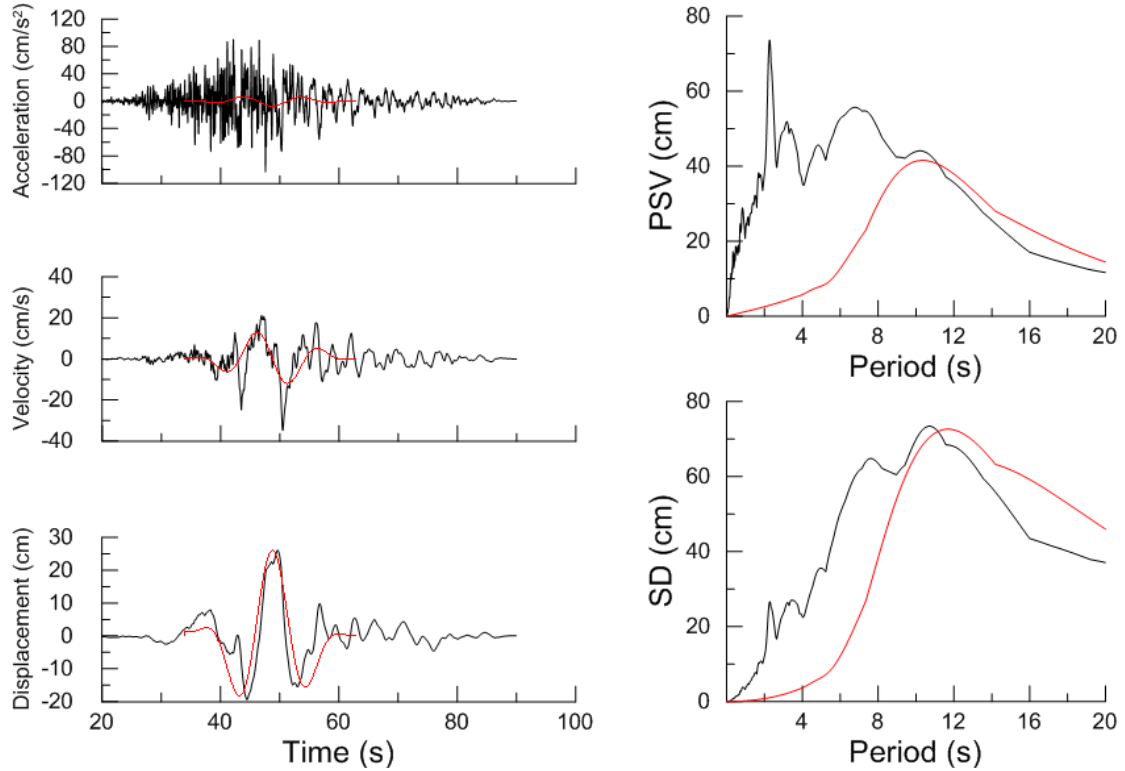
Χρονοϊστορίες και φάσματα της σεισμικής καταγραφής 179L της βάσης NGA



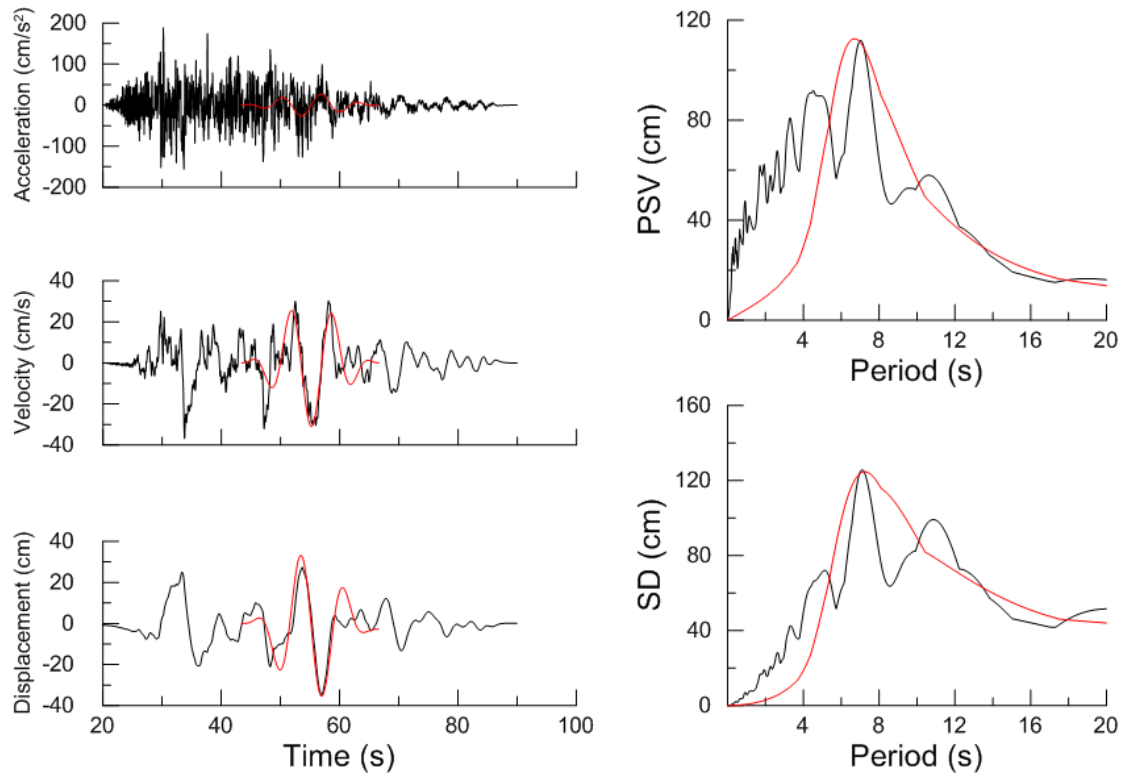
Χρονοϊστορίες και φάσματα της σεισμικής καταγραφής 1048T της βάσης NGA



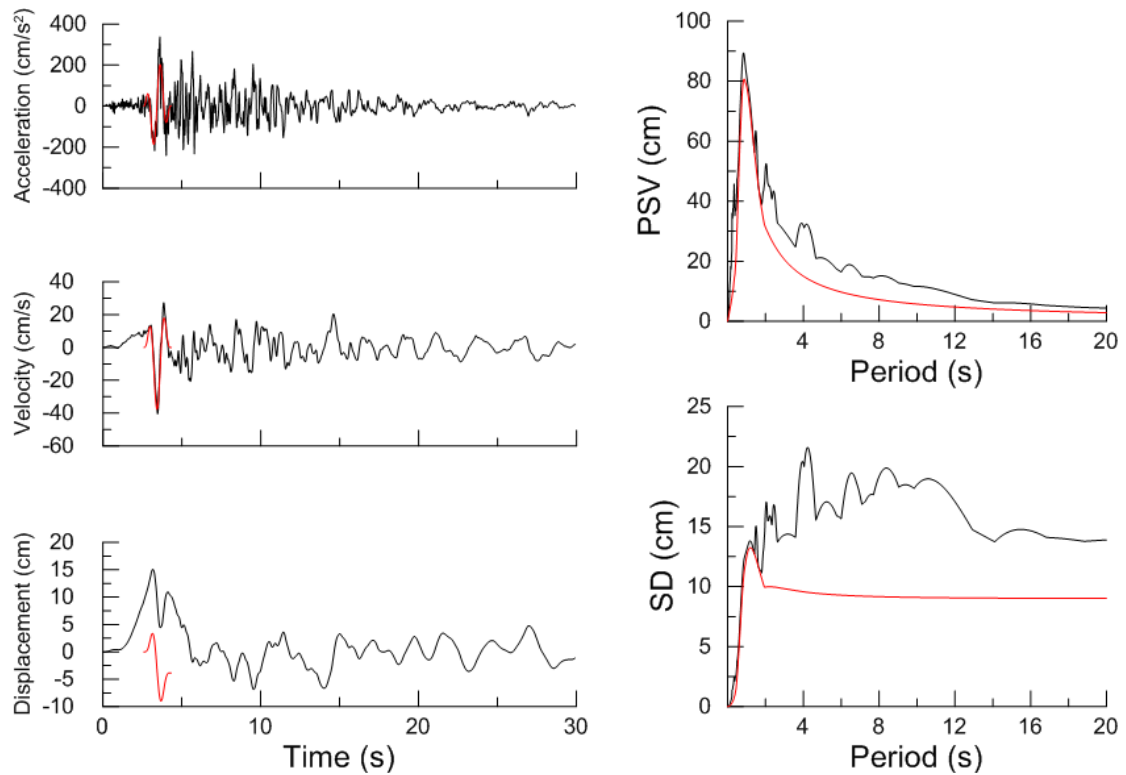
Χρονοϊστορίες και φάσματα της σεισμικής καταγραφής 901L της βάσης NGA



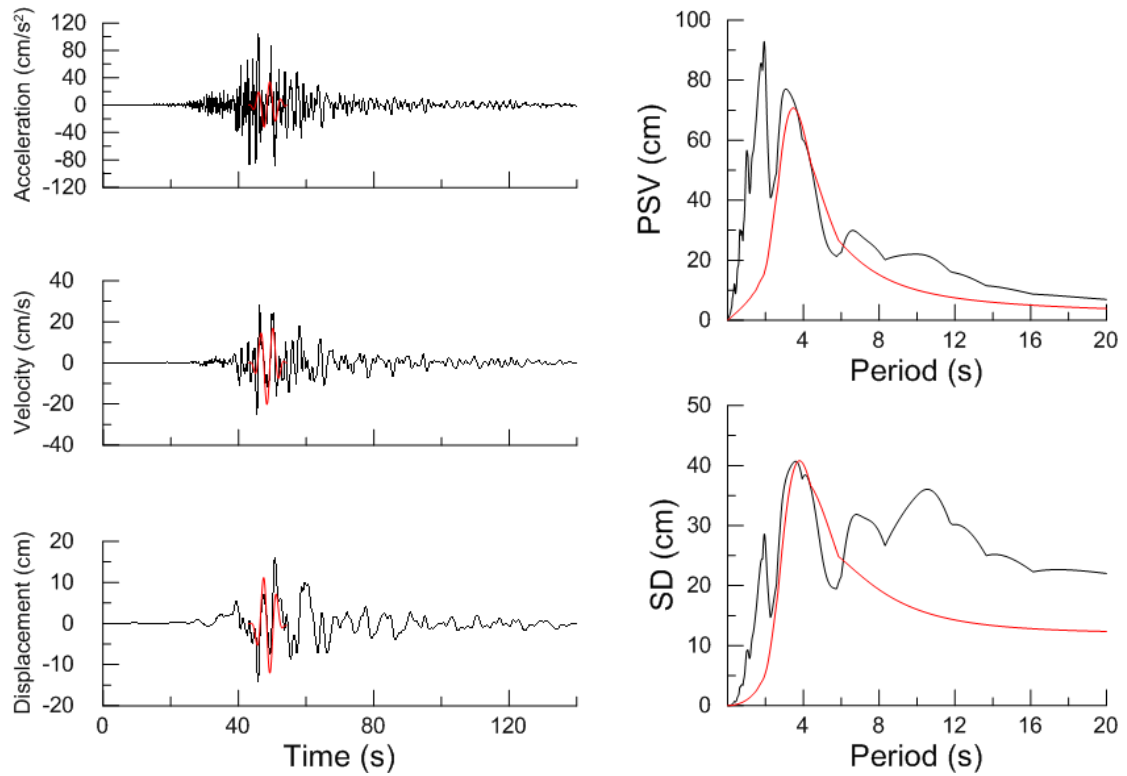
Χρονοϊστορίες και φάσματα της σεισμικής καταγραφής 1526T της βάσης NGA



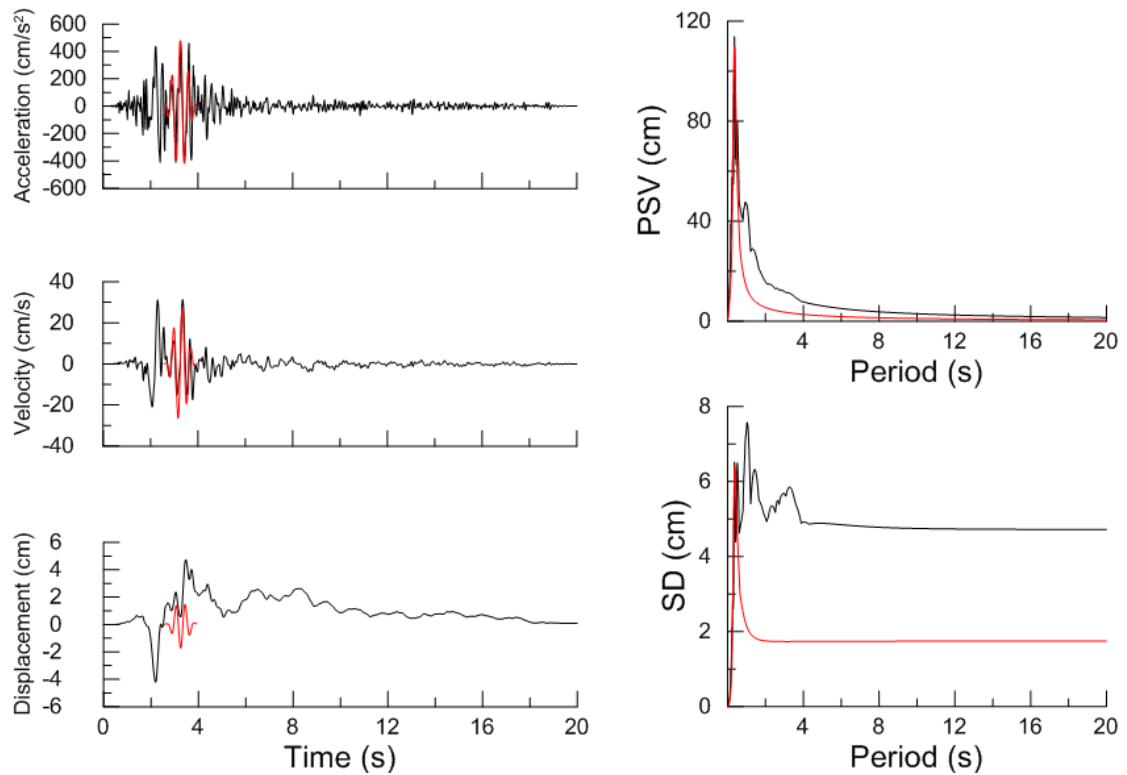
Χρονοϊστορίες και φάσματα της σεισμικής καταγραφής 1545T της βάσης NGA



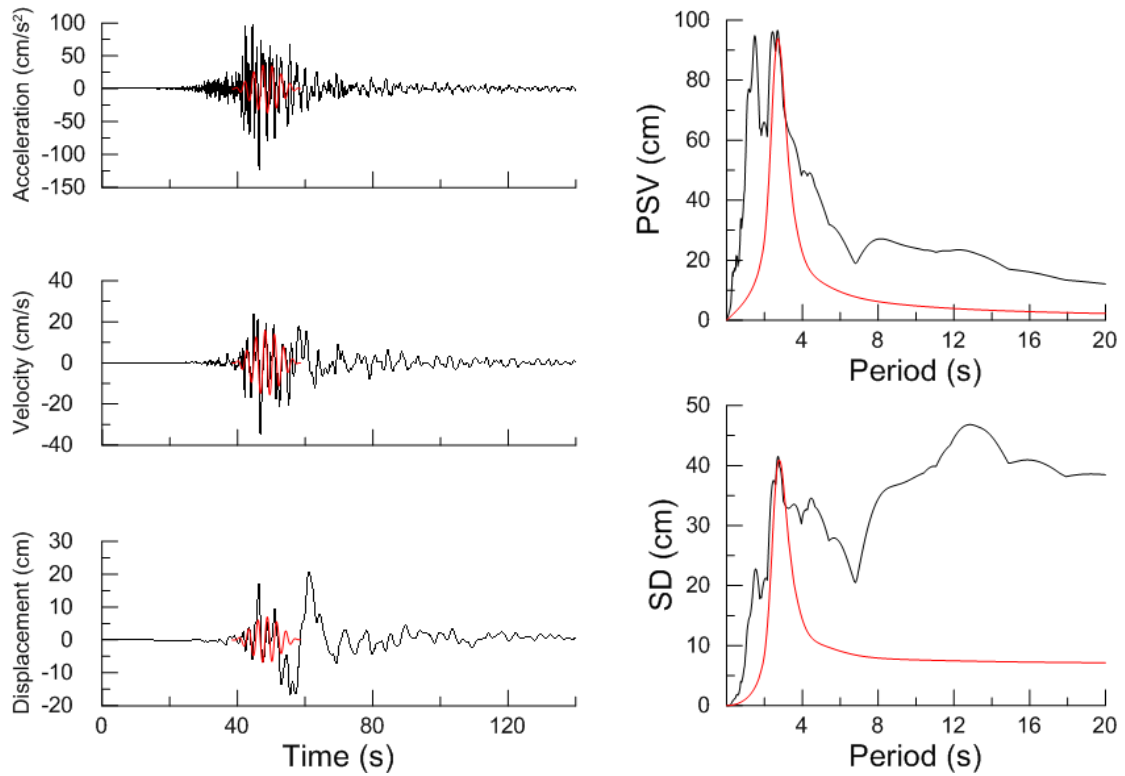
Χρονοϊστορίες και φάσματα της σεισμικής καταγραφής 949L της βάσης NGA



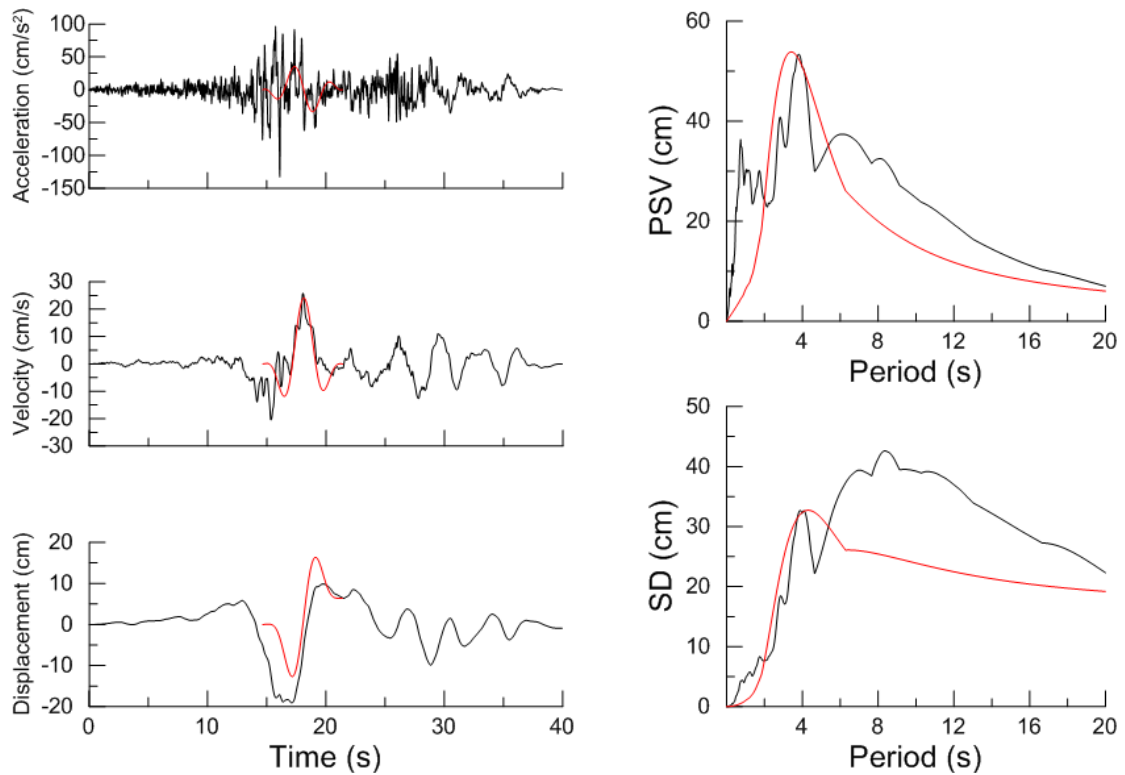
Χρονοϊστορίες και φάσματα της σεισμικής καταγραφής 1410L της βάσης NGA



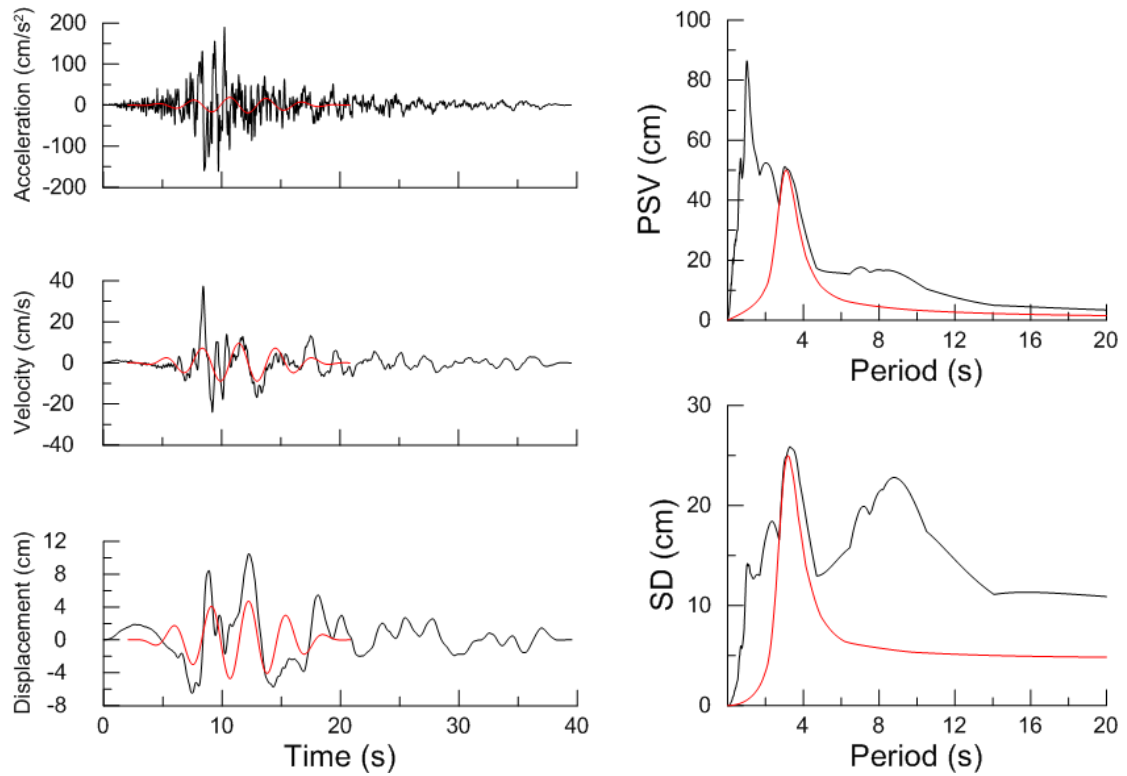
Χρονοϊστορίες και φάσματα της σεισμικής καταγραφής 540T της βάσης NGA



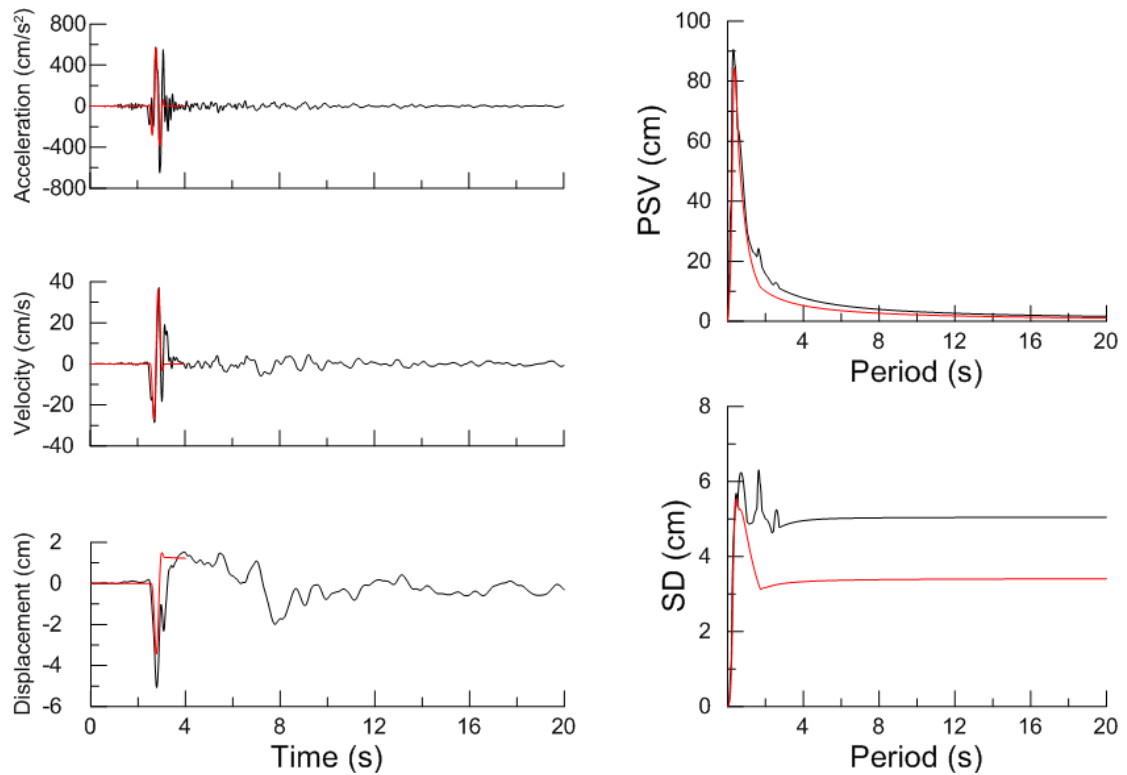
Χρονοϊστορίες και φάσματα της σεισμικής καταγραφής 1410T της βάσης NGA



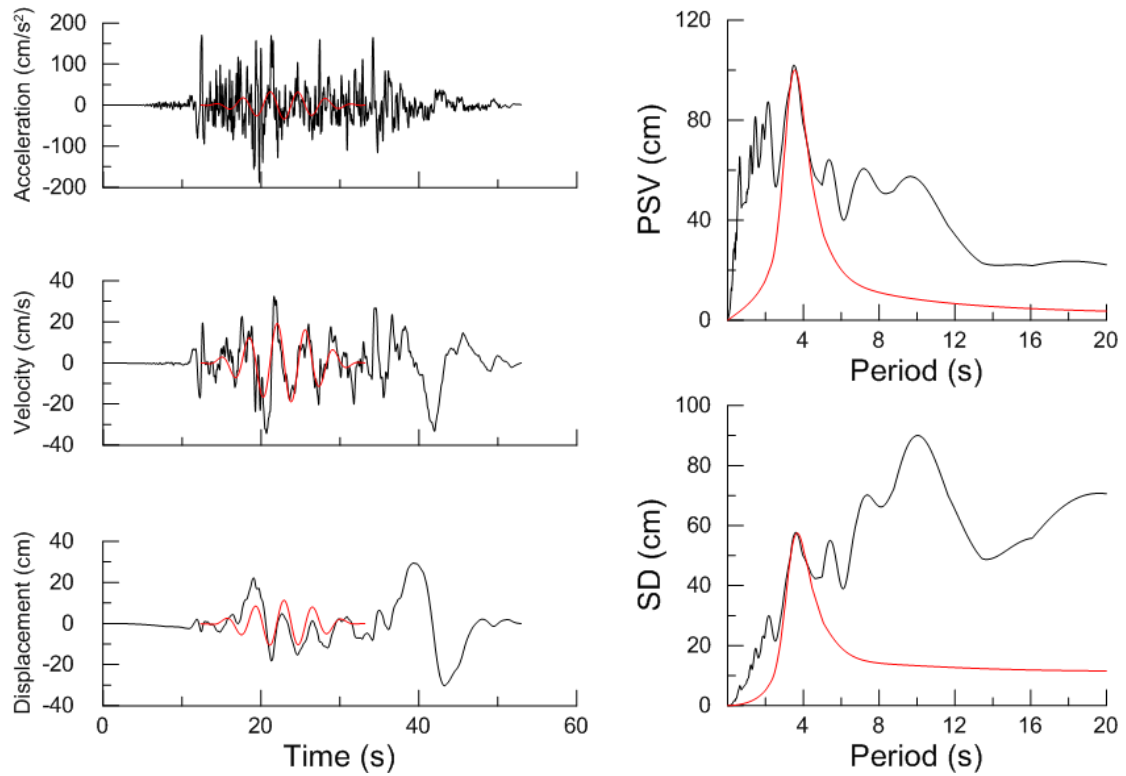
Χρονοϊστορίες και φάσματα της σεισμικής καταγραφής 838T της βάσης NGA



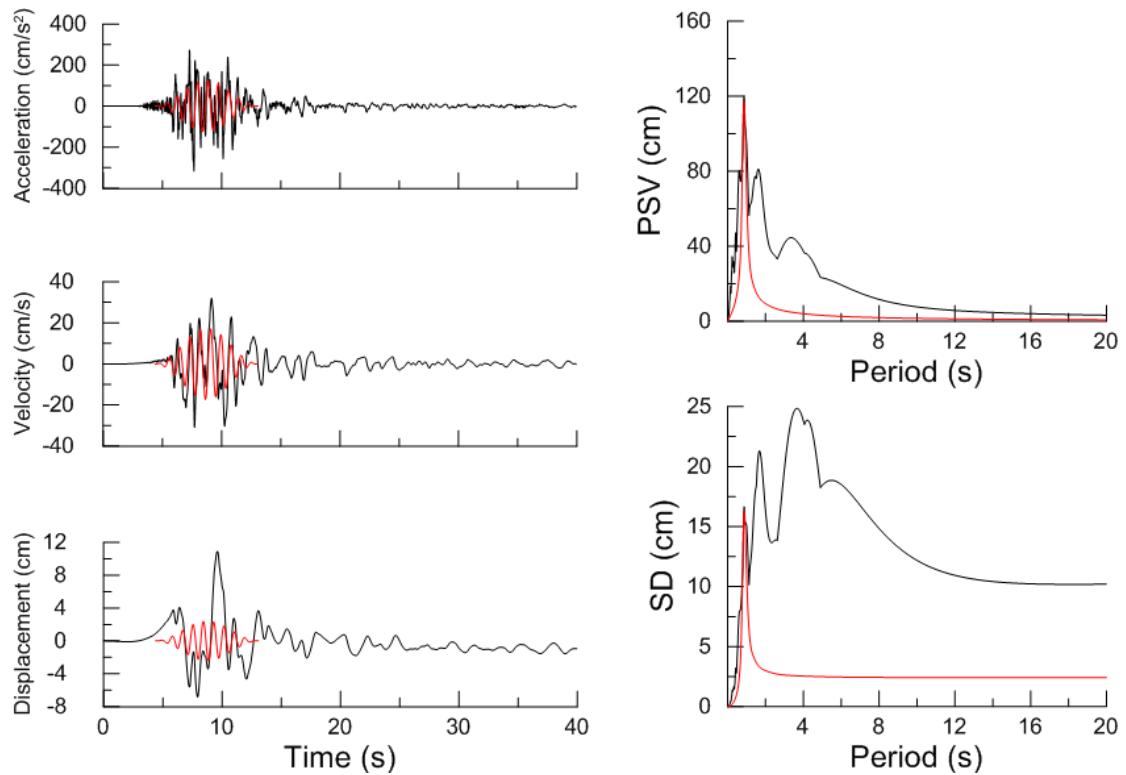
Χρονοϊστορίες και φάσματα της σεισμικής καταγραφής 787L της βάσης NGA



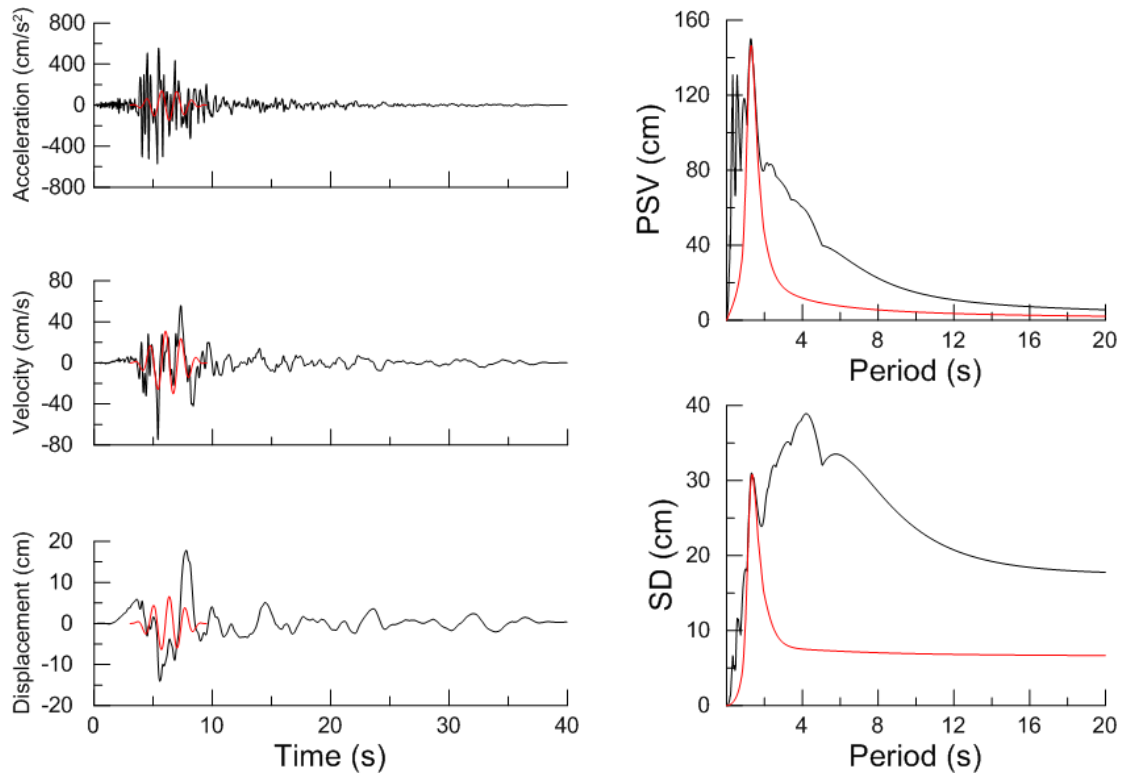
Χρονοϊστορίες και φάσματα της σεισμικής καταγραφής 418L της βάσης NGA



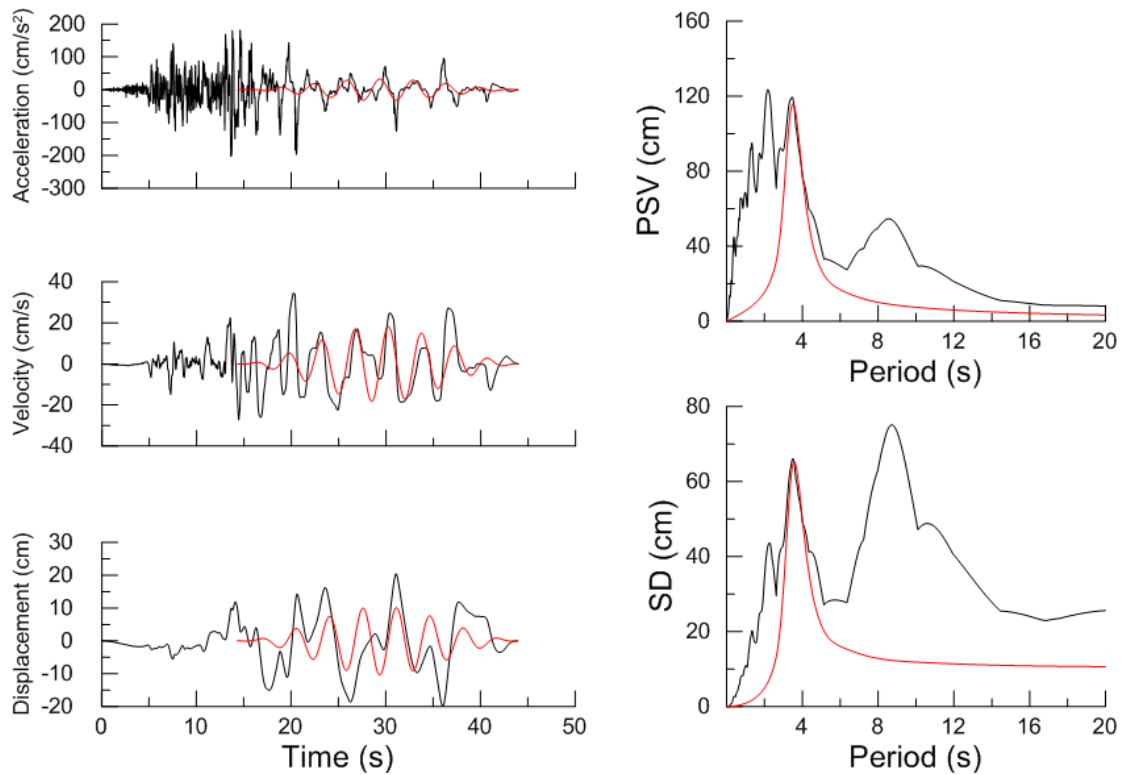
Χρονοϊστορίες και φάσματα της σεισμικής καταγραφής 1462T της βάσης NGA



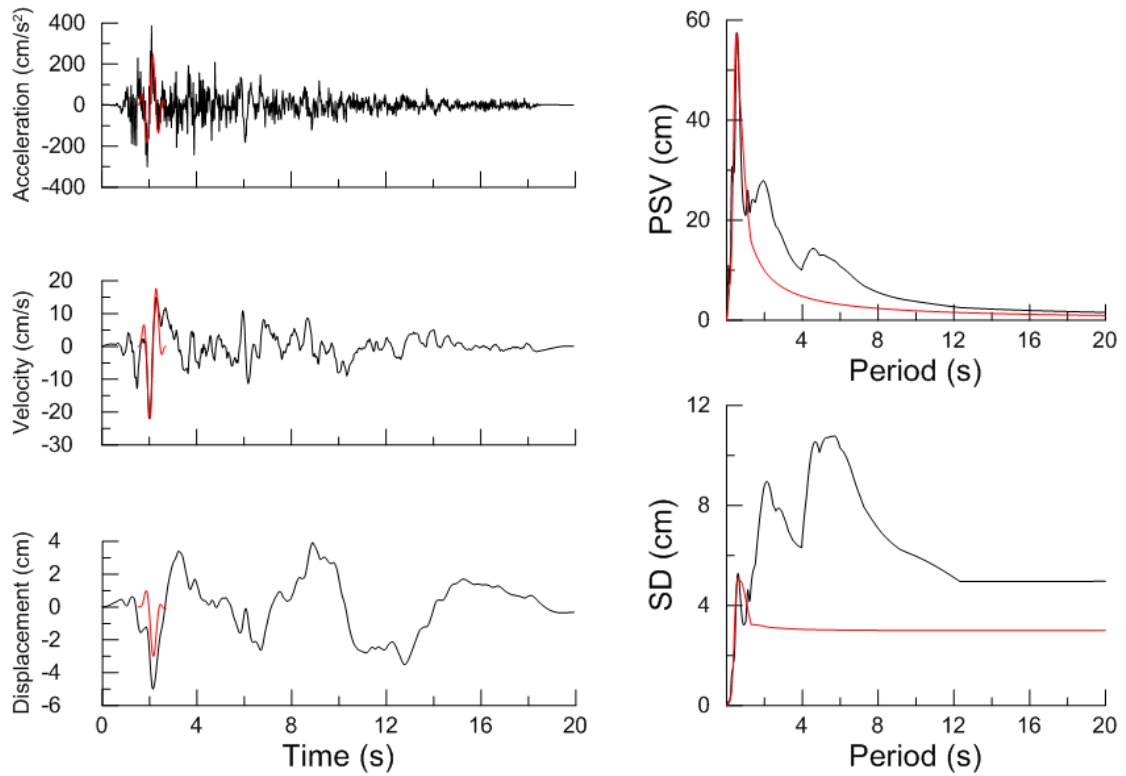
Χρονοϊστορίες και φάσματα της σεισμικής καταγραφής 2734T της βάσης NGA



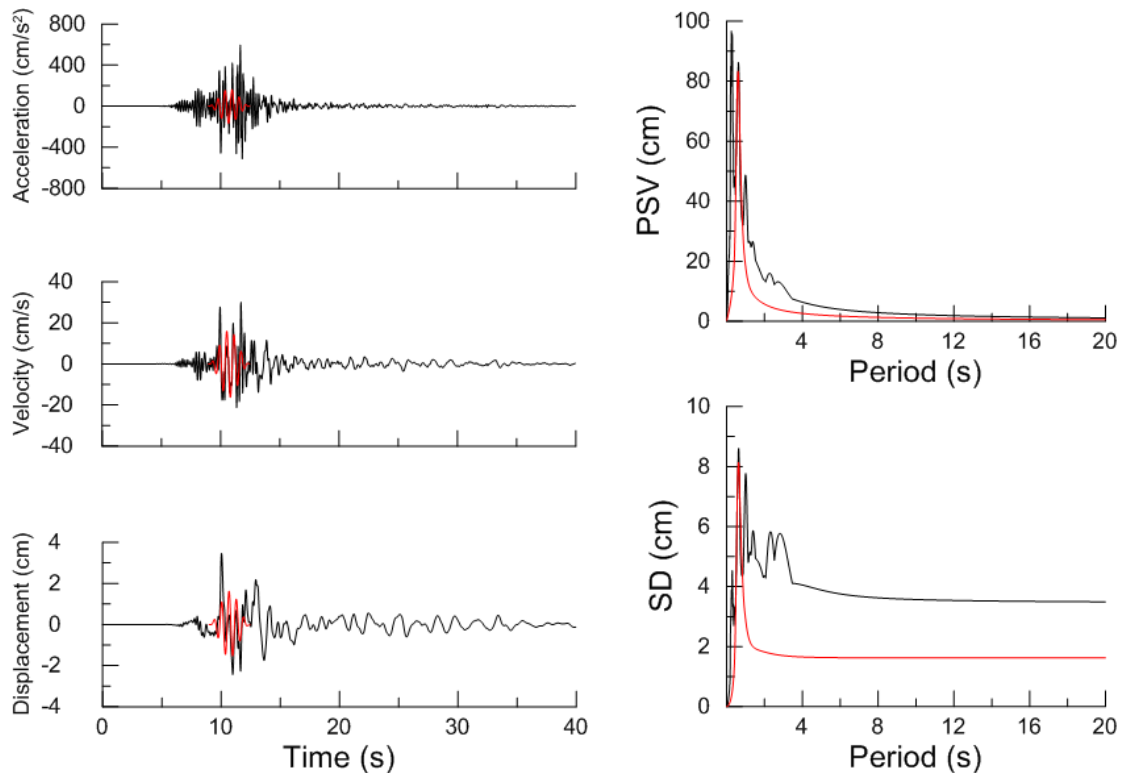
Χρονοϊστορίες και φάσματα της σεισμικής καταγραφής 1044L της βάσης NGA



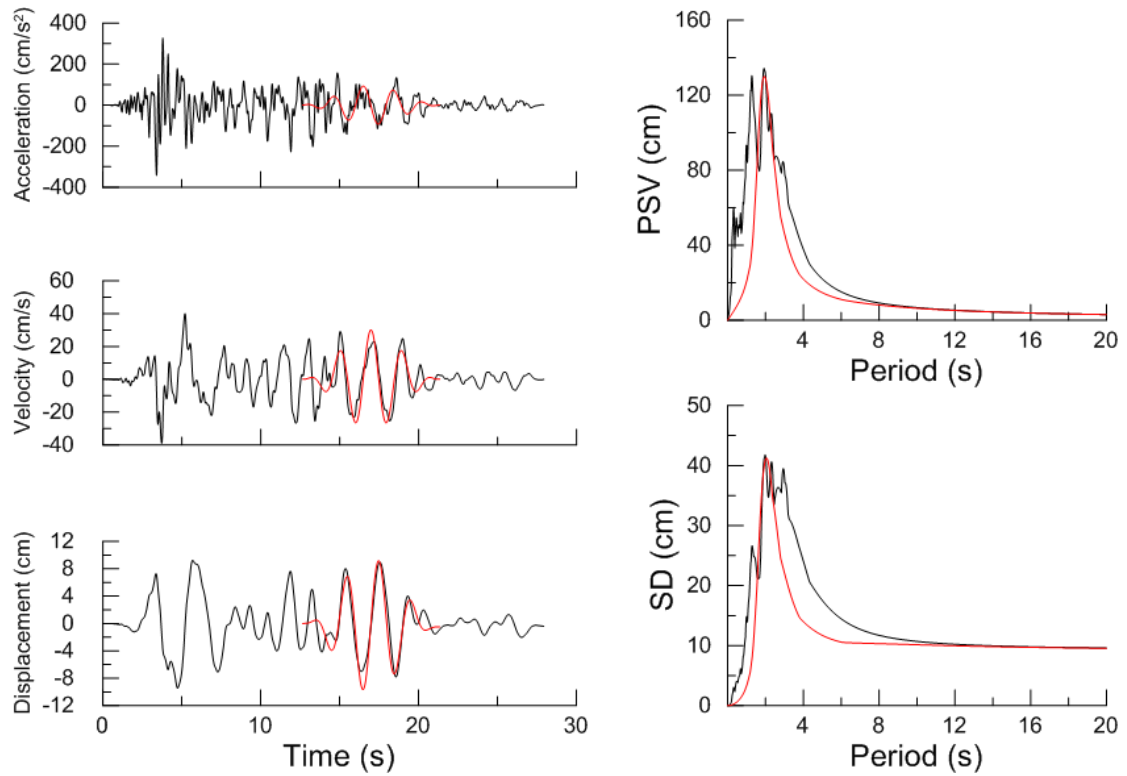
Χρονοϊστορίες και φάσματα της σεισμικής καταγραφής 729T της βάσης NGA



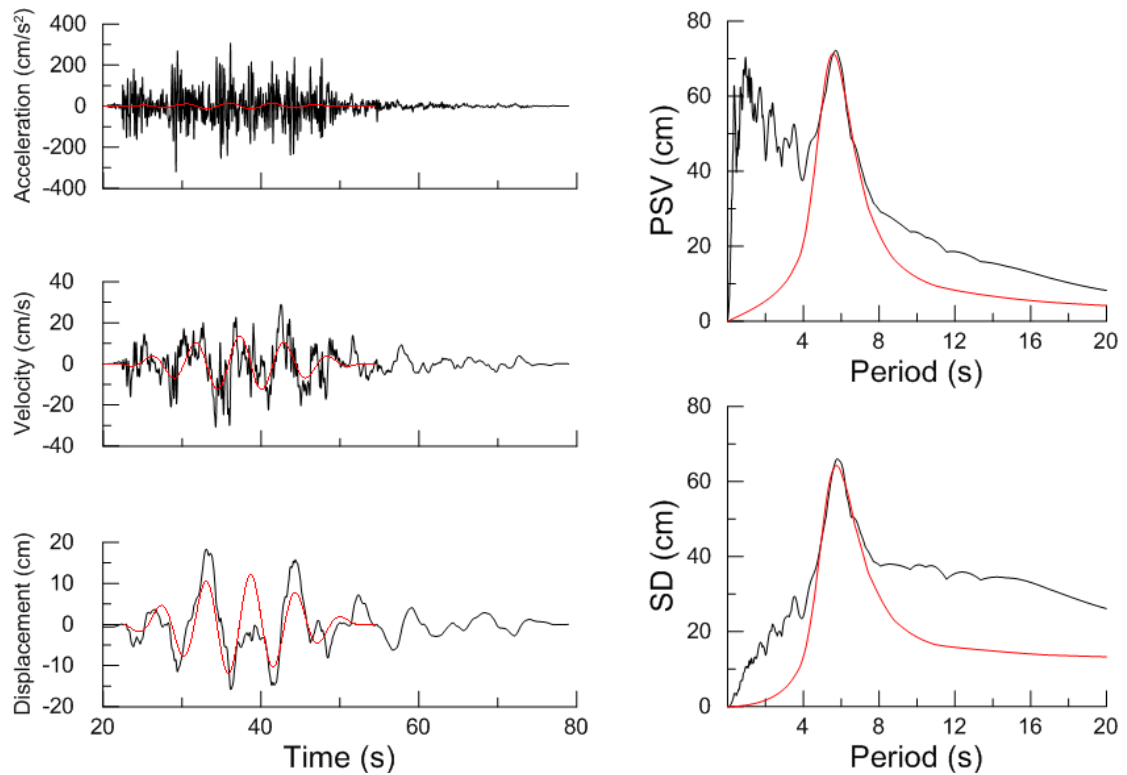
Χρονοϊστορίες και φάσματα της σεισμικής καταγραφής 496L της βάσης NGA



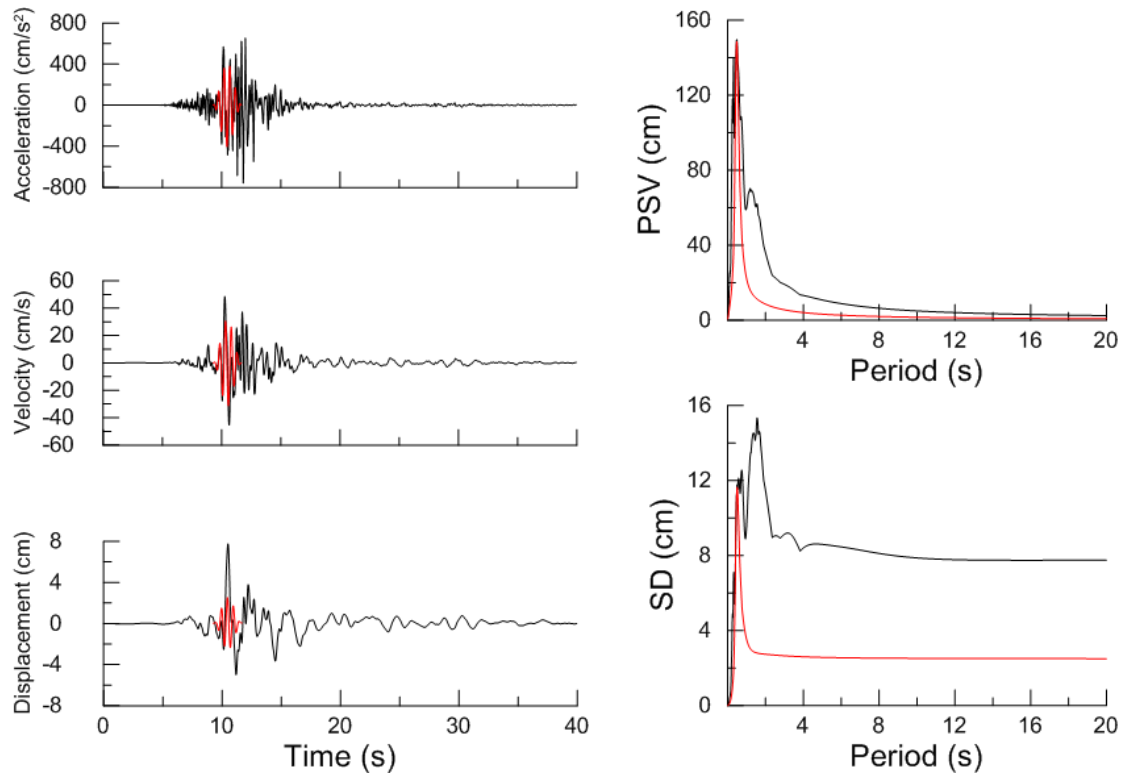
Χρονοϊστορίες και φάσματα της σεισμικής καταγραφής 3474T της βάσης NGA



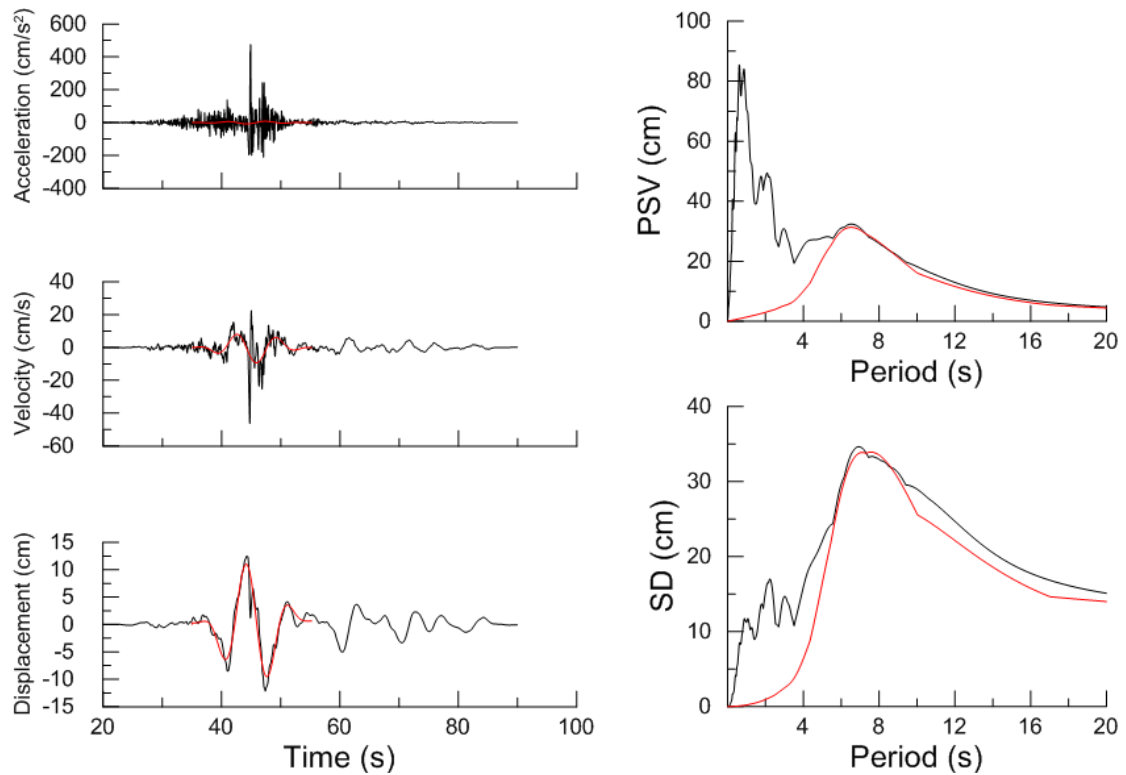
Χρονοϊστορίες και φάσματα της σεισμικής καταγραφής 1141L της βάσης NGA



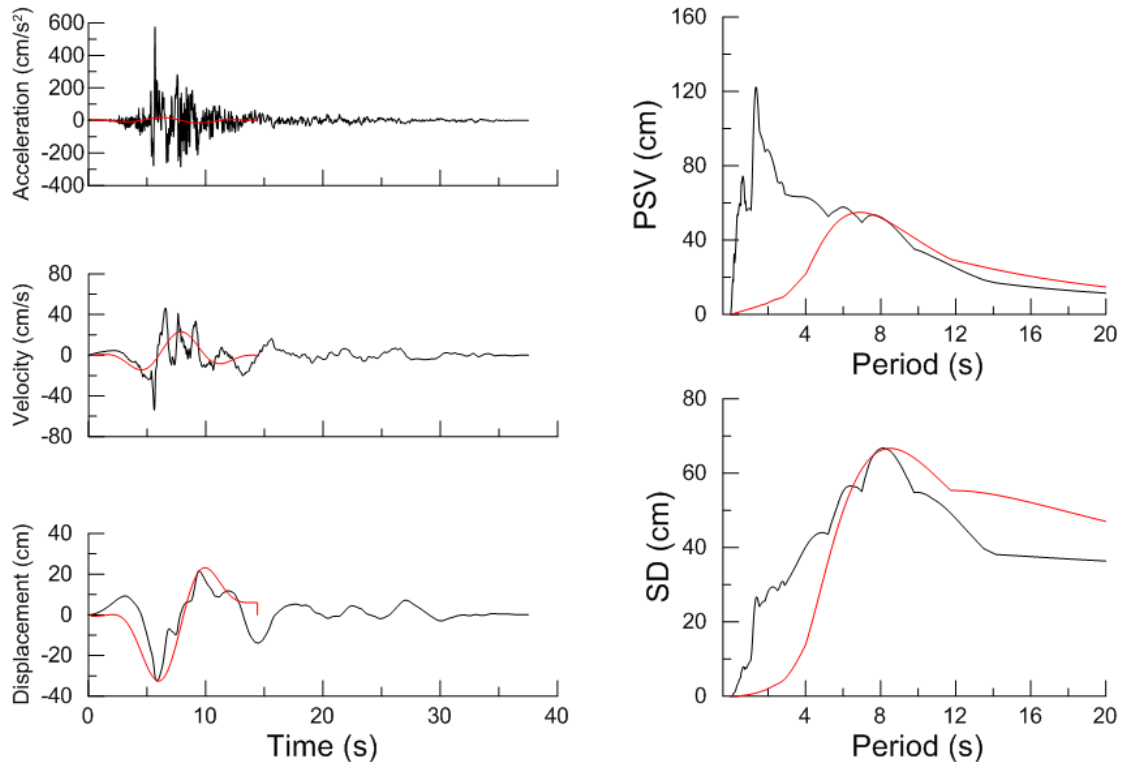
Χρονοϊστορίες και φάσματα της σεισμικής καταγραφής 1521L της βάσης NGA



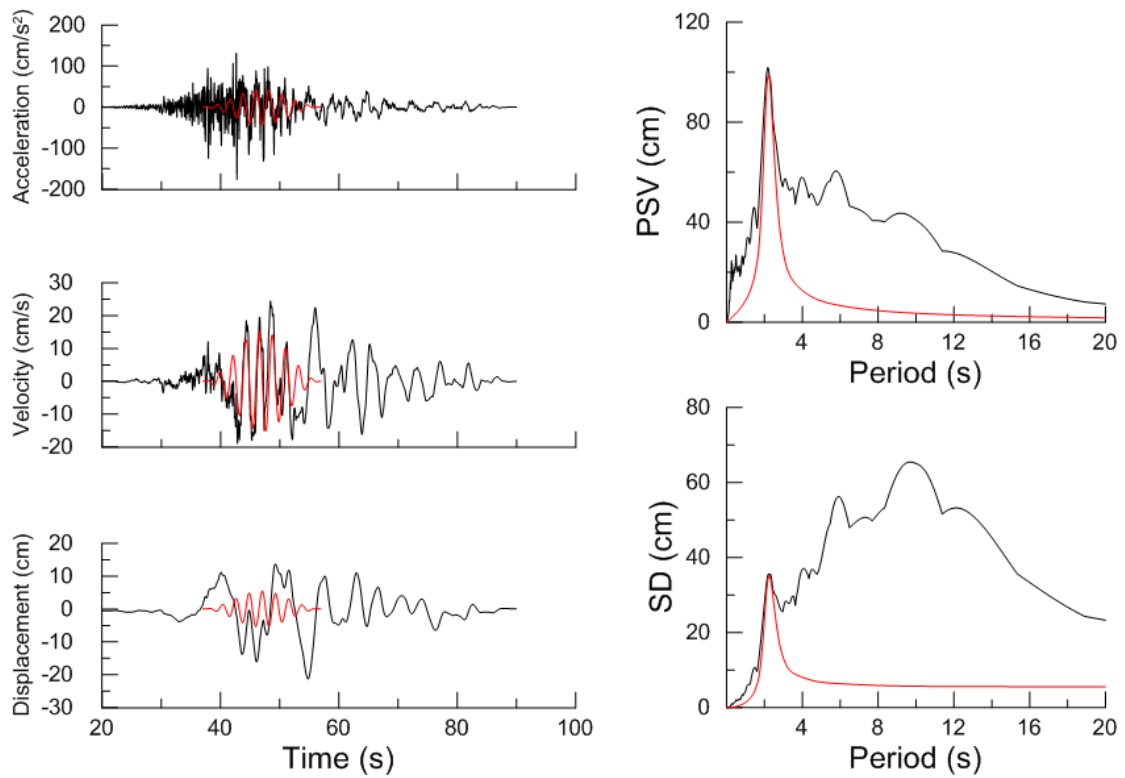
Χρονοϊστορίες και φάσματα της σεισμικής καταγραφής 3474L της βάσης NGA



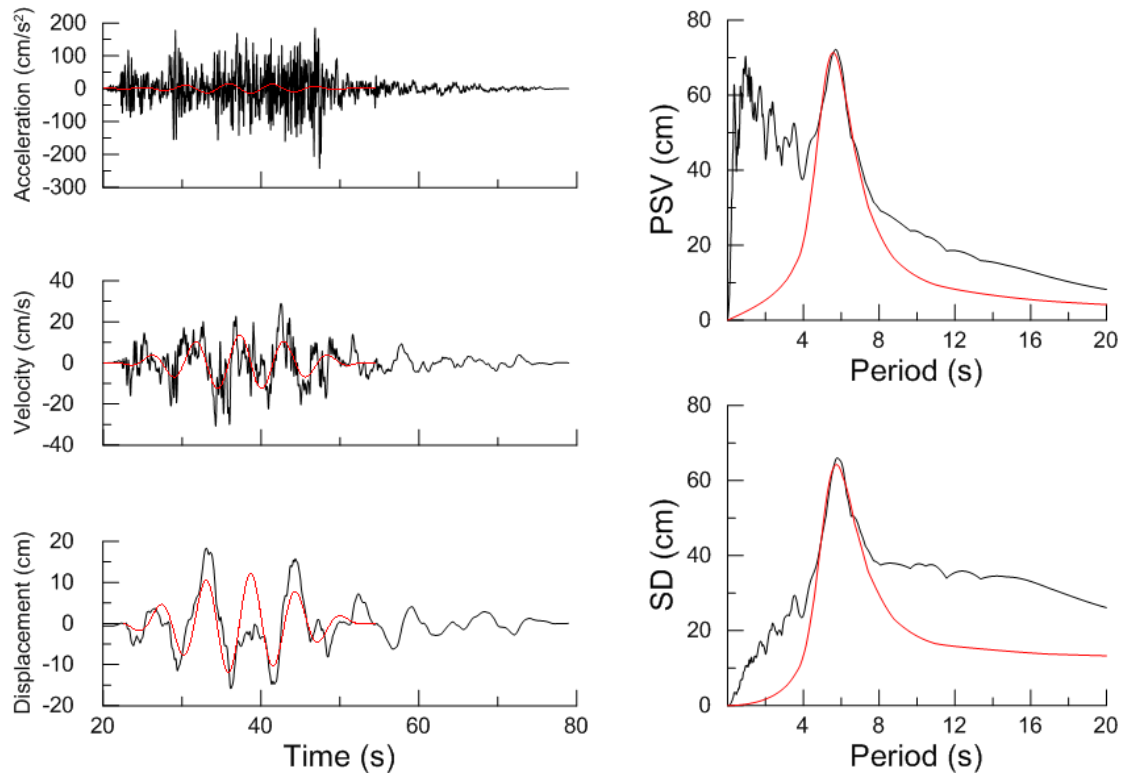
Χρονοϊστορίες και φάσματα της σεισμικής καταγραφής 1485T της βάσης NGA



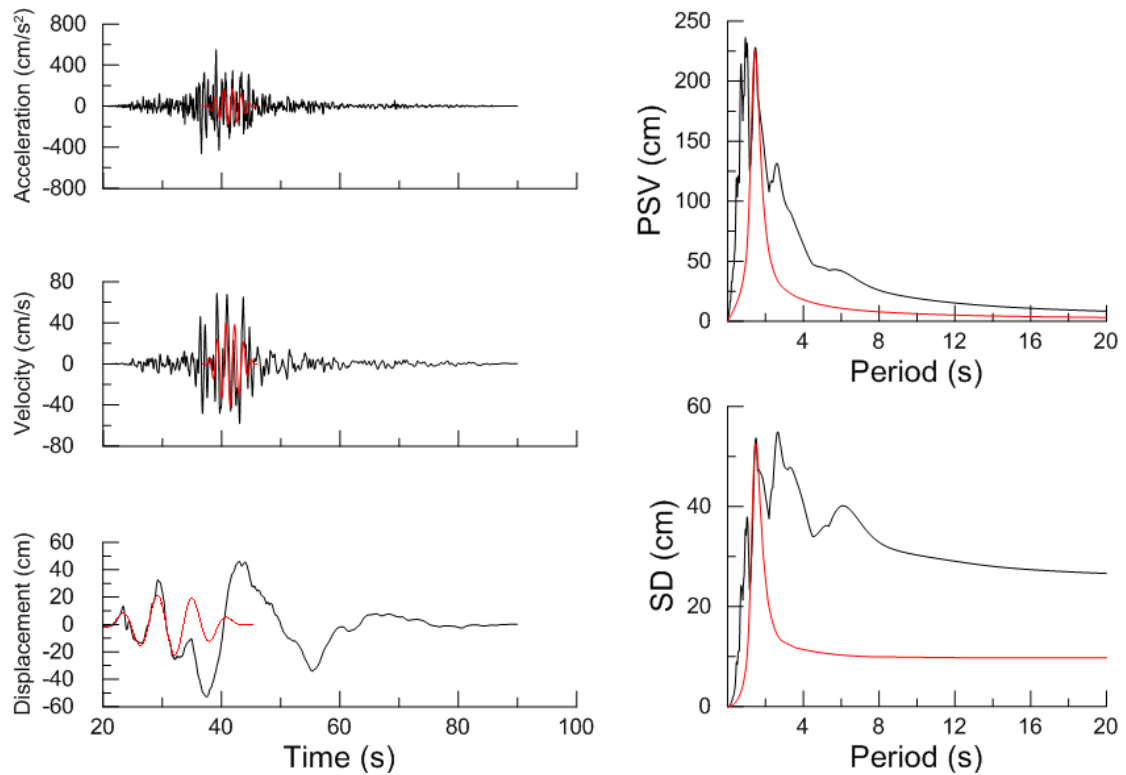
Χρονοϊστορίες και φάσματα της σεισμικής καταγραφής 183L της βάσης NGA



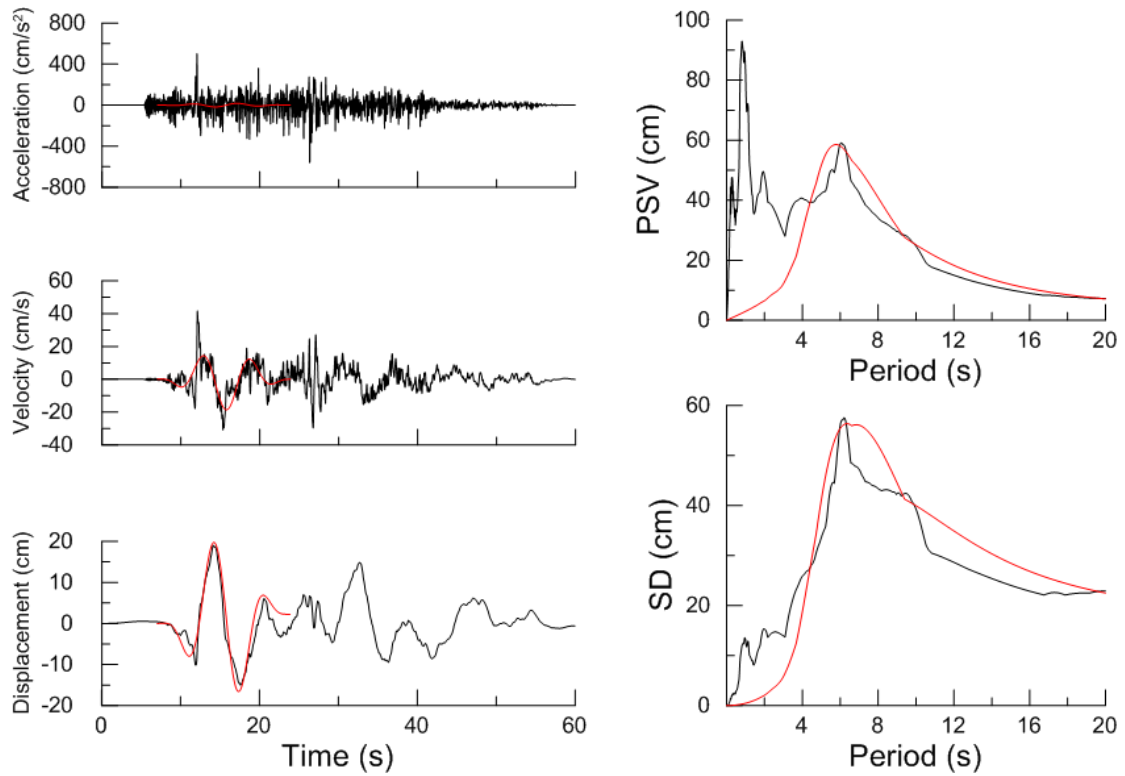
Χρονοϊστορίες και φάσματα της σεισμικής καταγραφής 1478T της βάσης NGA



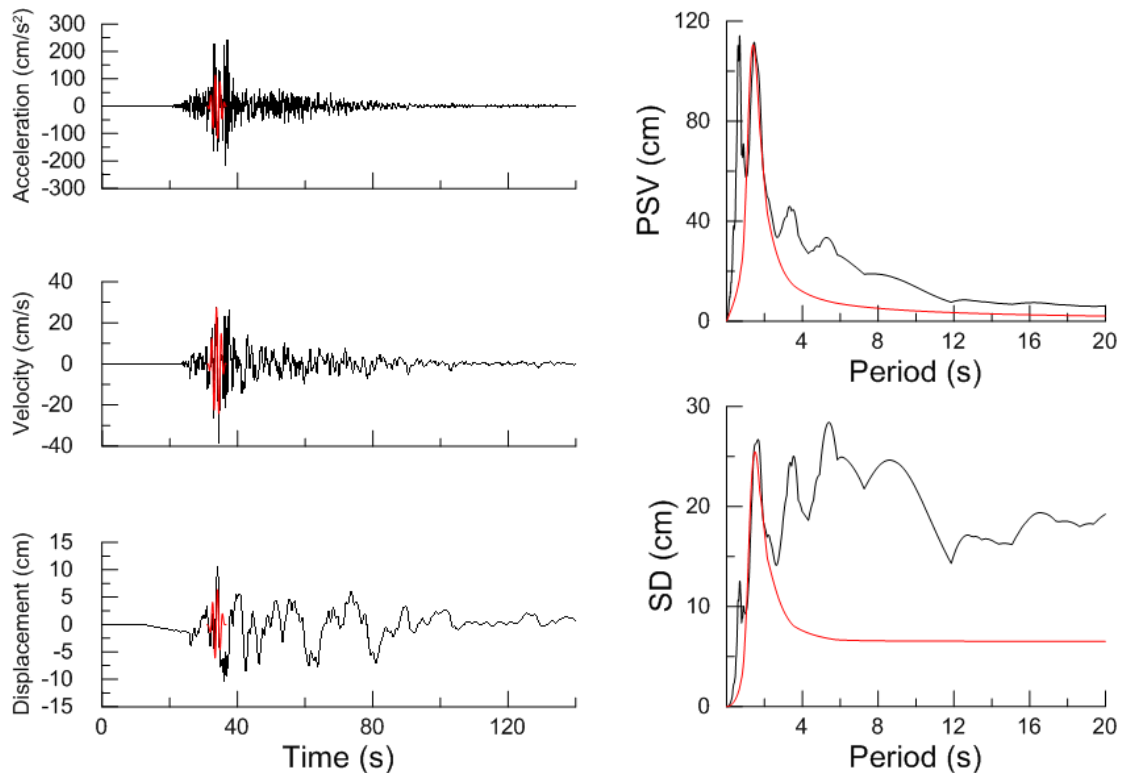
Χρονοϊστορίες και φάσματα της σεισμικής καταγραφής 1521T της βάσης NGA



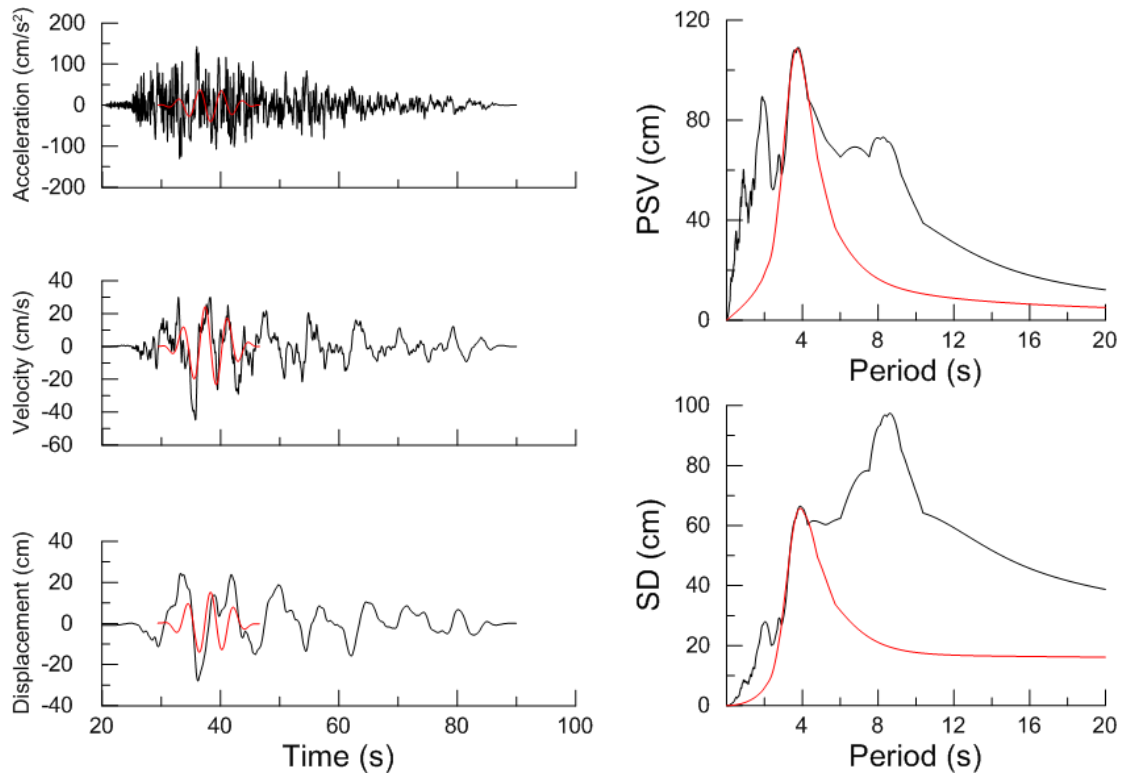
Χρονοϊστορίες και φάσματα της σεισμικής καταγραφής 1509L της βάσης NGA



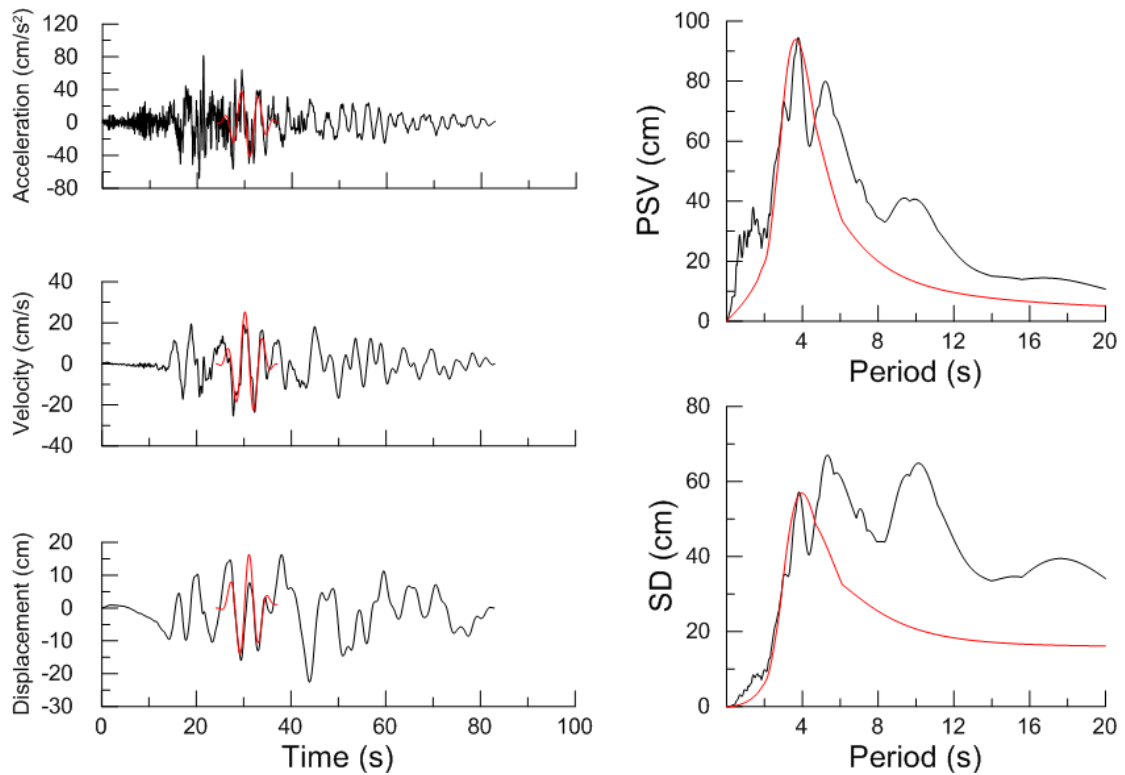
Χρονοϊστορίες και φάσματα της σεισμικής καταγραφής 1596T της βάσης NGA



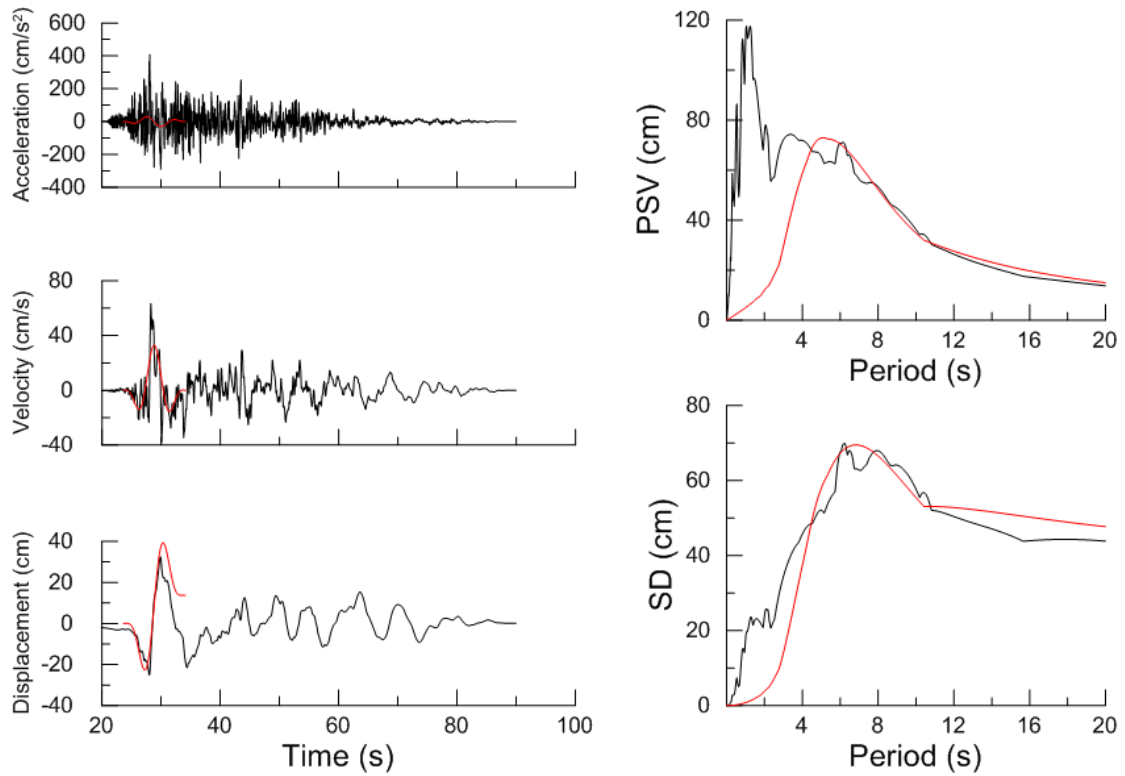
Χρονοϊστορίες και φάσματα της σεισμικής καταγραφής 1201T της βάσης NGA



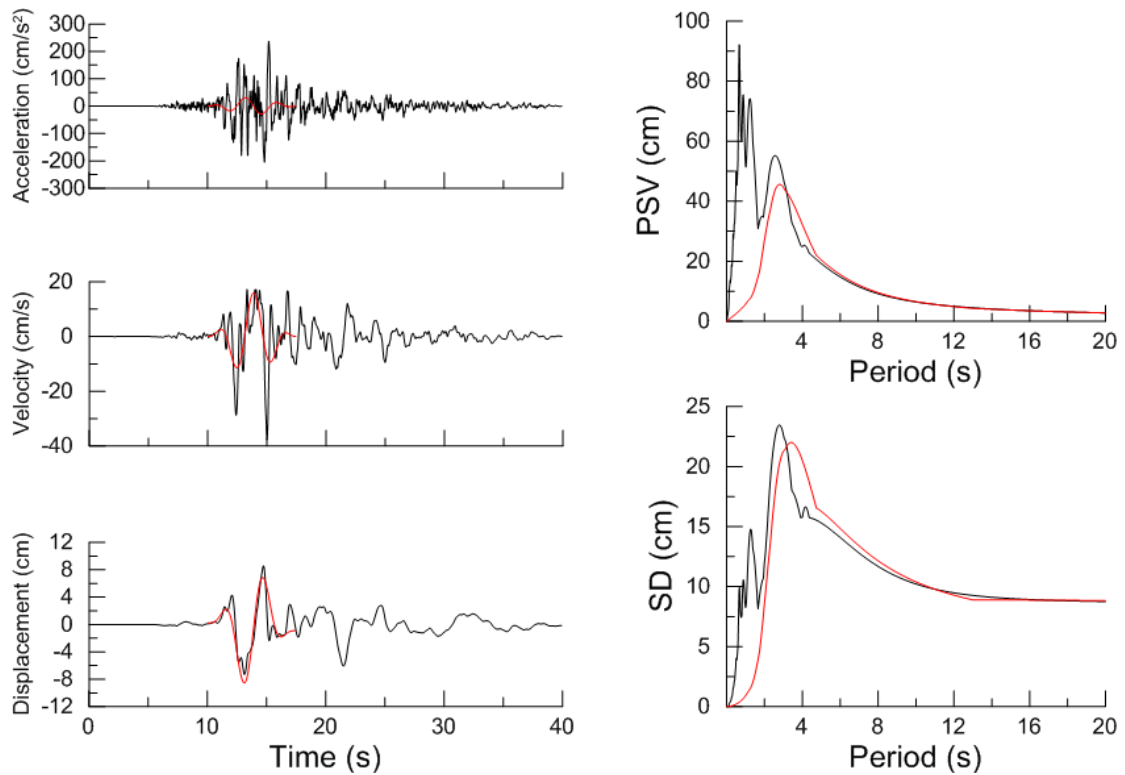
Χρονοϊστορίες και φάσματα της σεισμικής καταγραφής 1541T της βάσης NGA



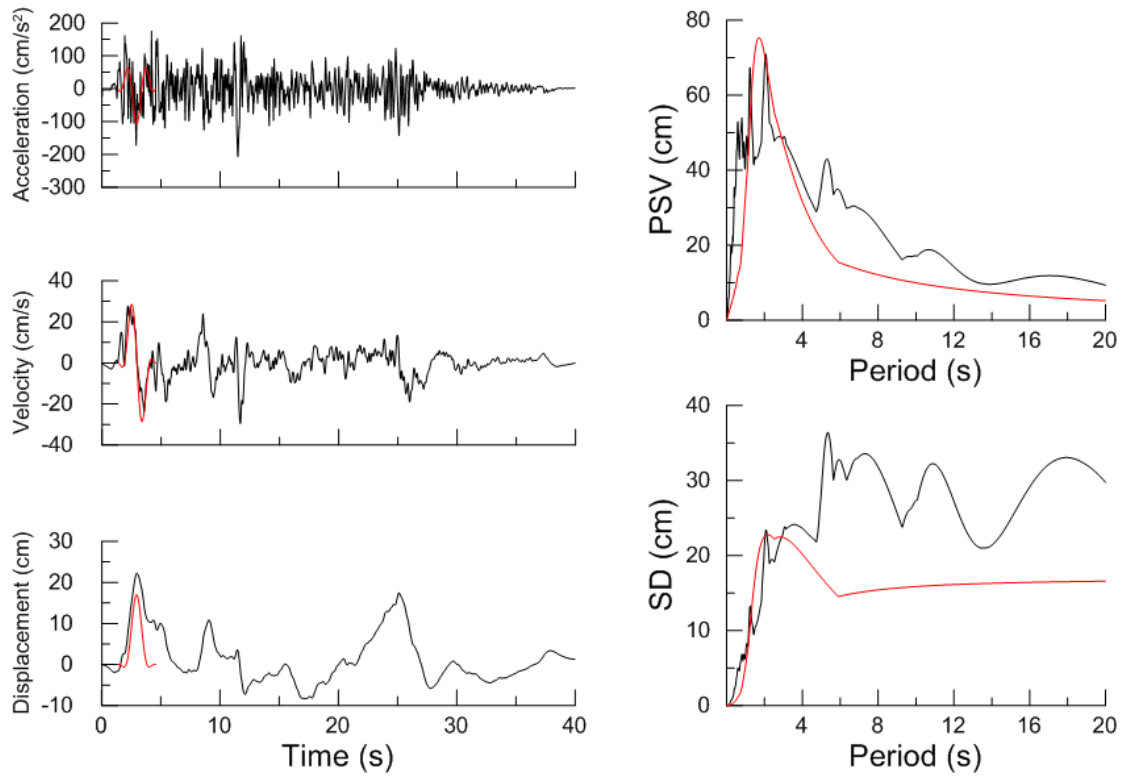
Χρονοϊστορίες και φάσματα της σεισμικής καταγραφής 1629L της βάσης NGA



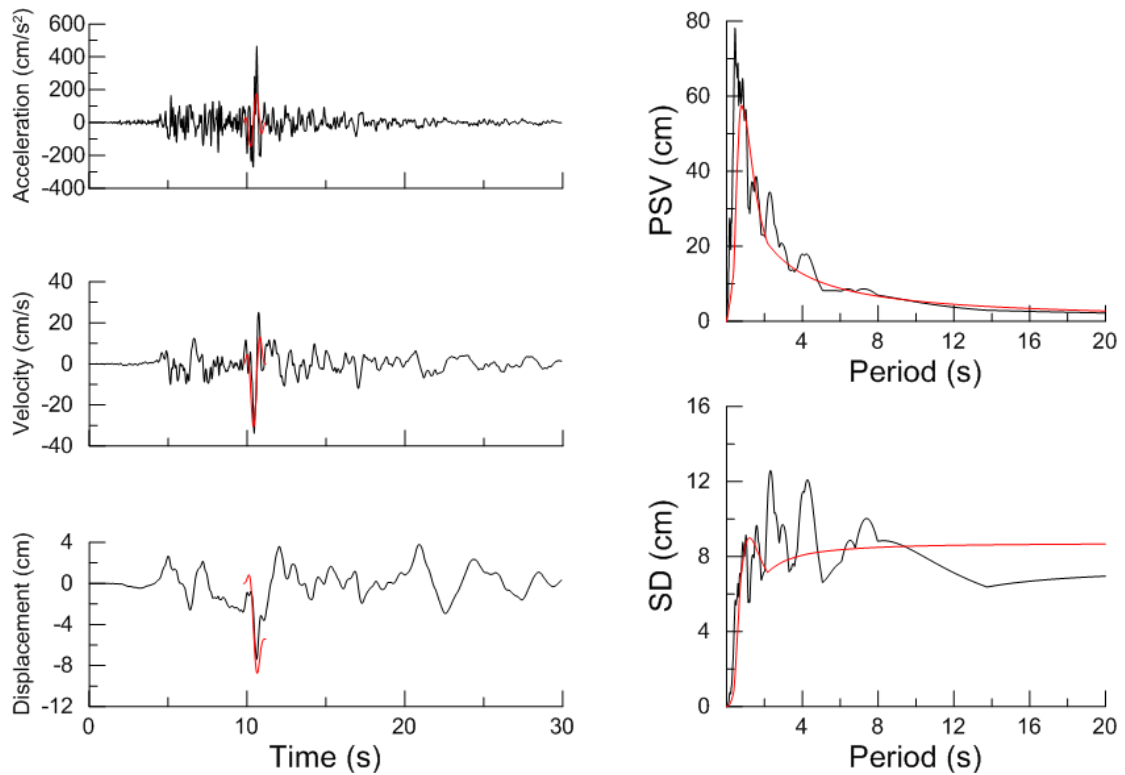
Χρονοϊστορίες και φάσματα της σεισμικής καταγραφής 1511T της βάσης NGA



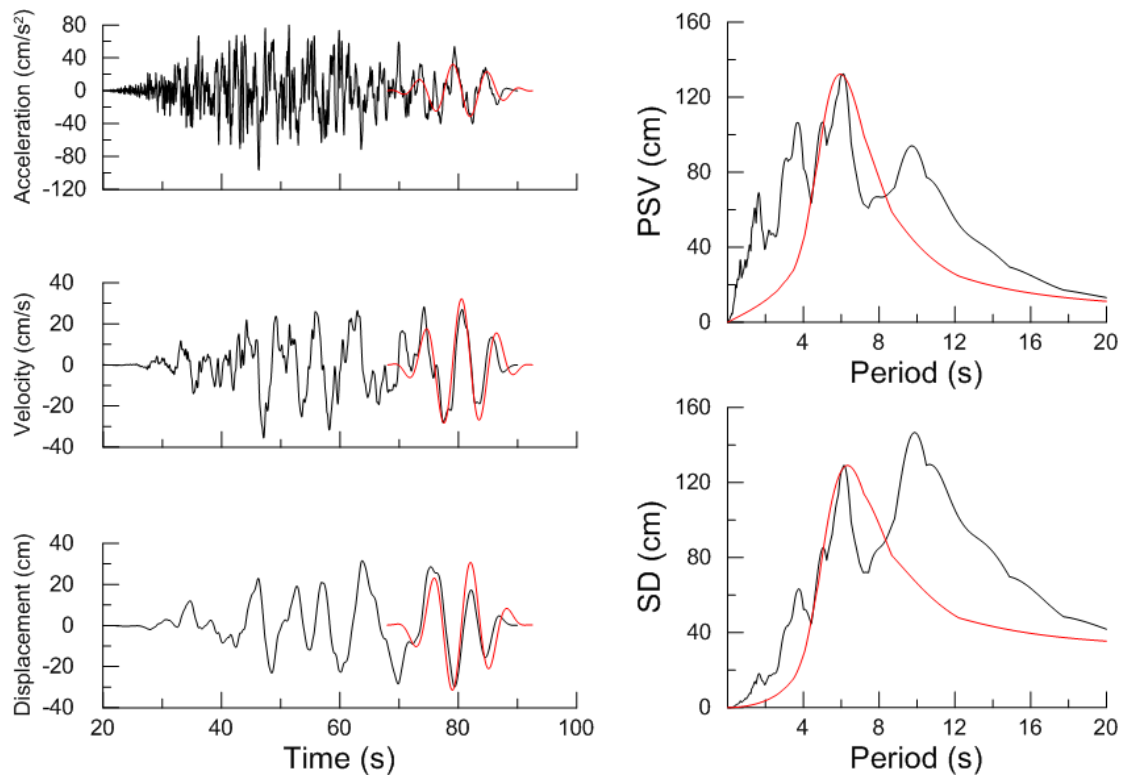
Χρονοϊστορίες και φάσματα της σεισμικής καταγραφής 1116L της βάσης NGA



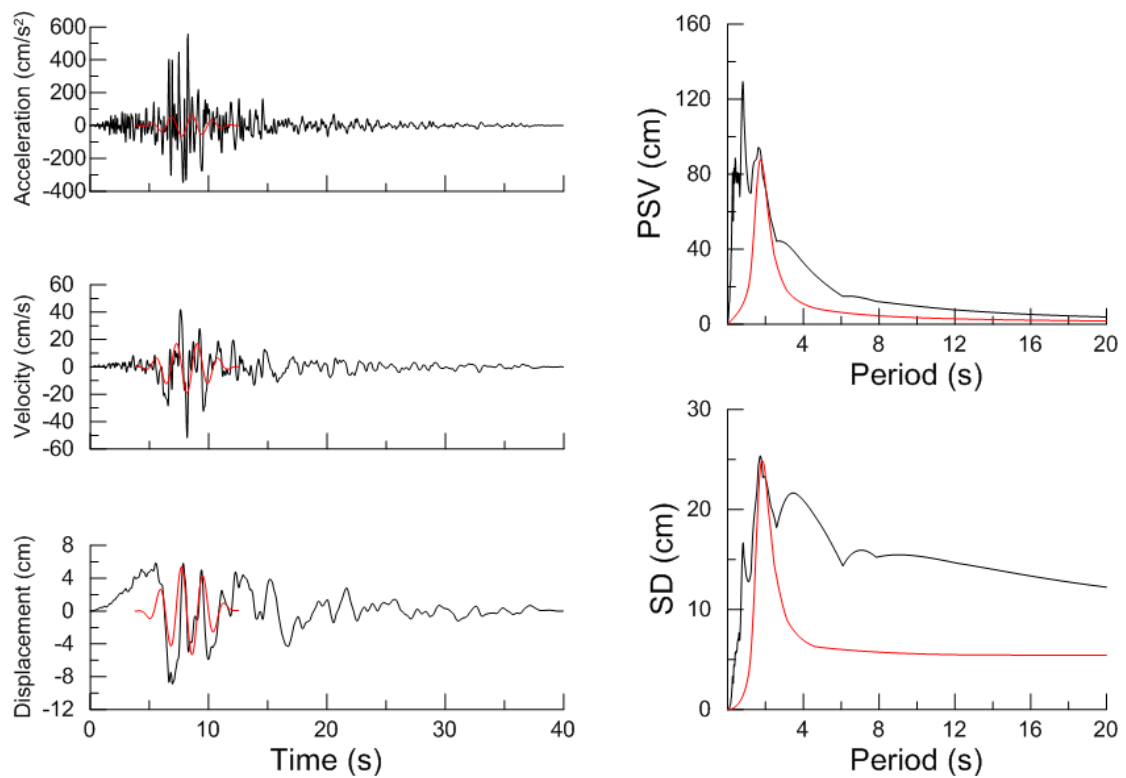
Χρονοϊστορίες και φάσματα της σεισμικής καταγραφής 6T της βάσης NGA



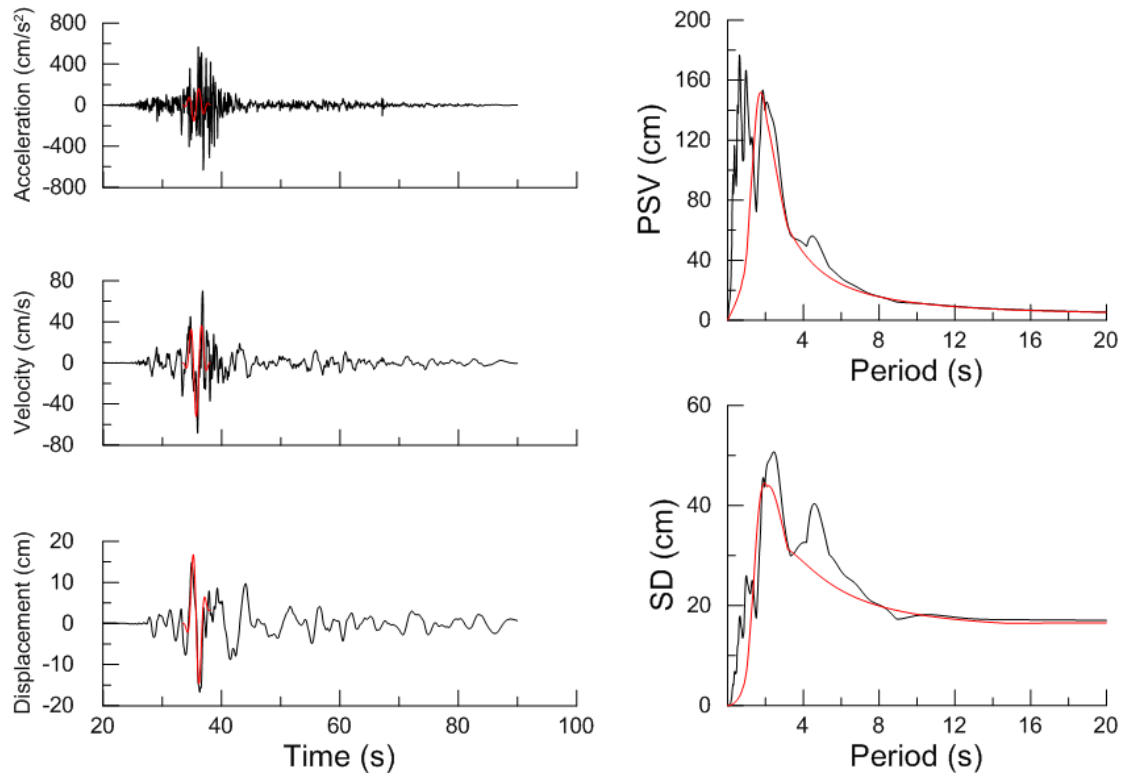
Χρονοϊστορίες και φάσματα της σεισμικής καταγραφής 1003L της βάσης NGA



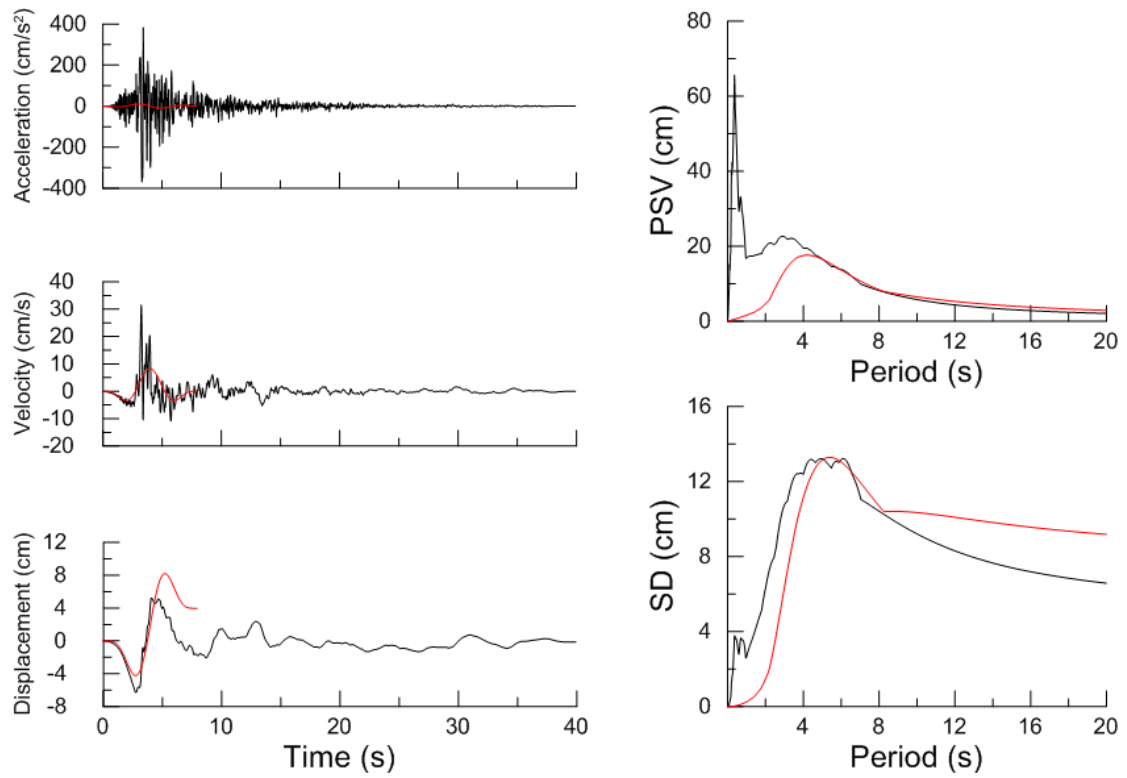
Χρονοϊστορίες και φάσματα της σεισμικής καταγραφής 1537T της βάσης NGA



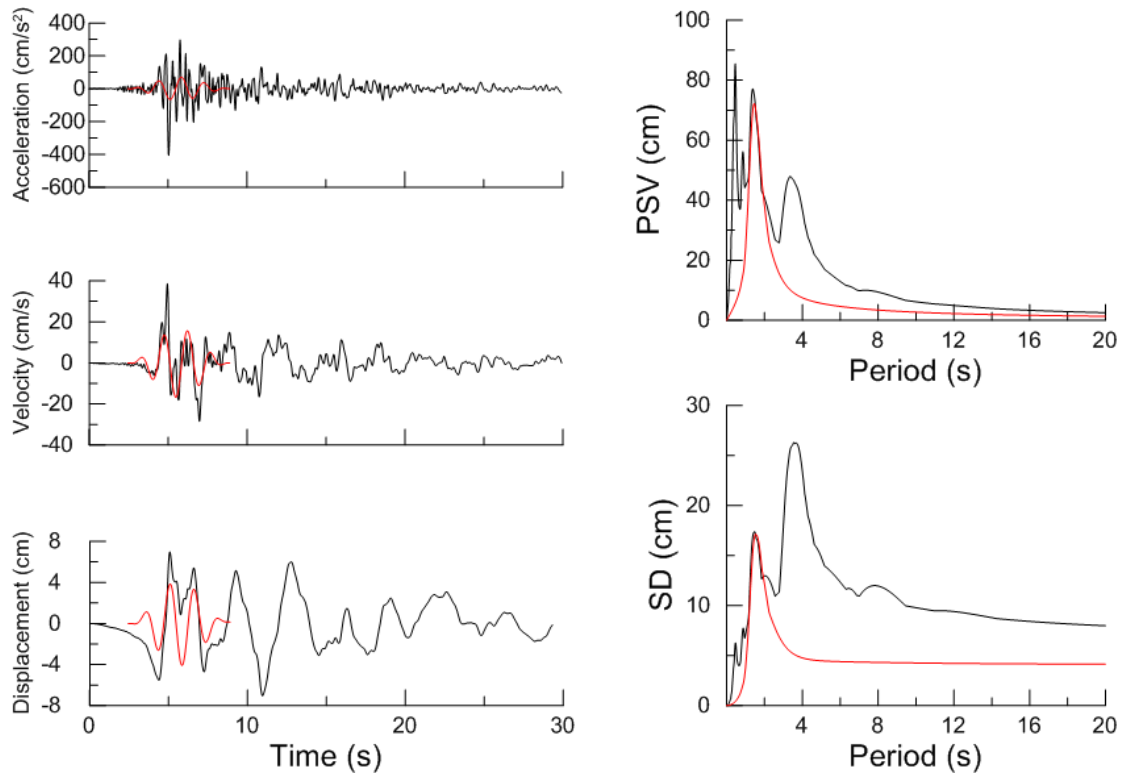
Χρονοϊστορίες και φάσματα της σεισμικής καταγραφής 963L της βάσης NGA



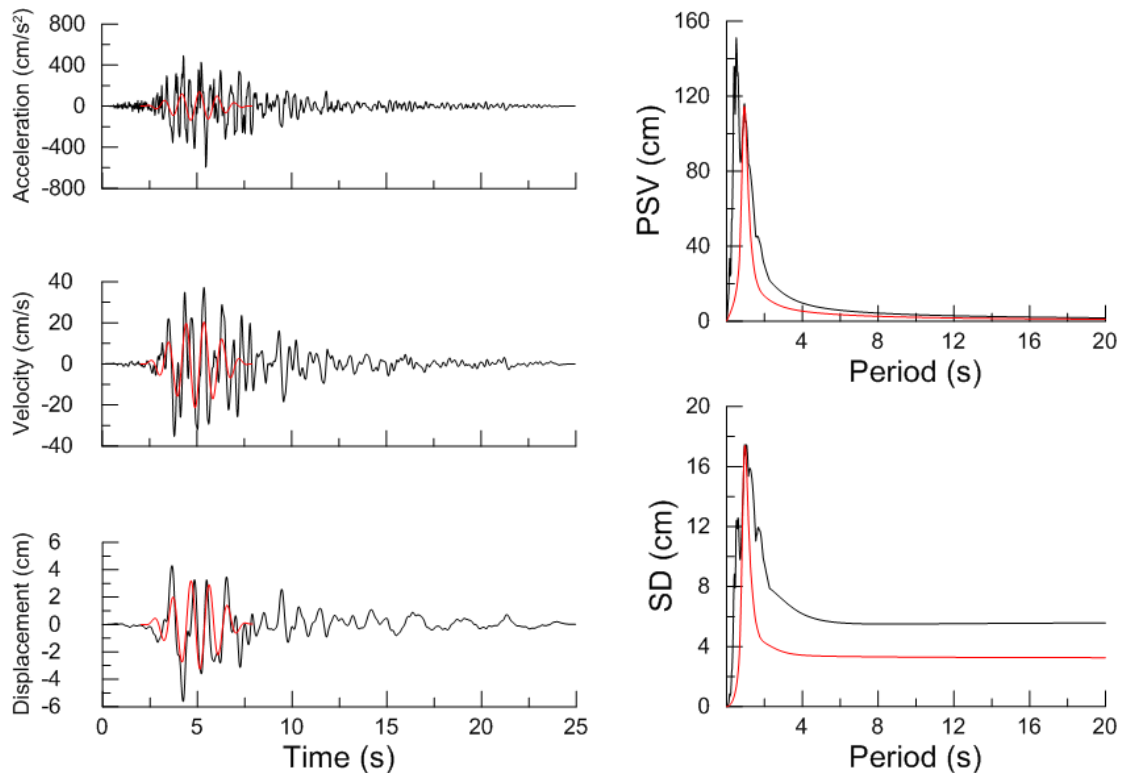
Χρονοϊστορίες και φάσματα της σεισμικής καταγραφής 1197L της βάσης NGA



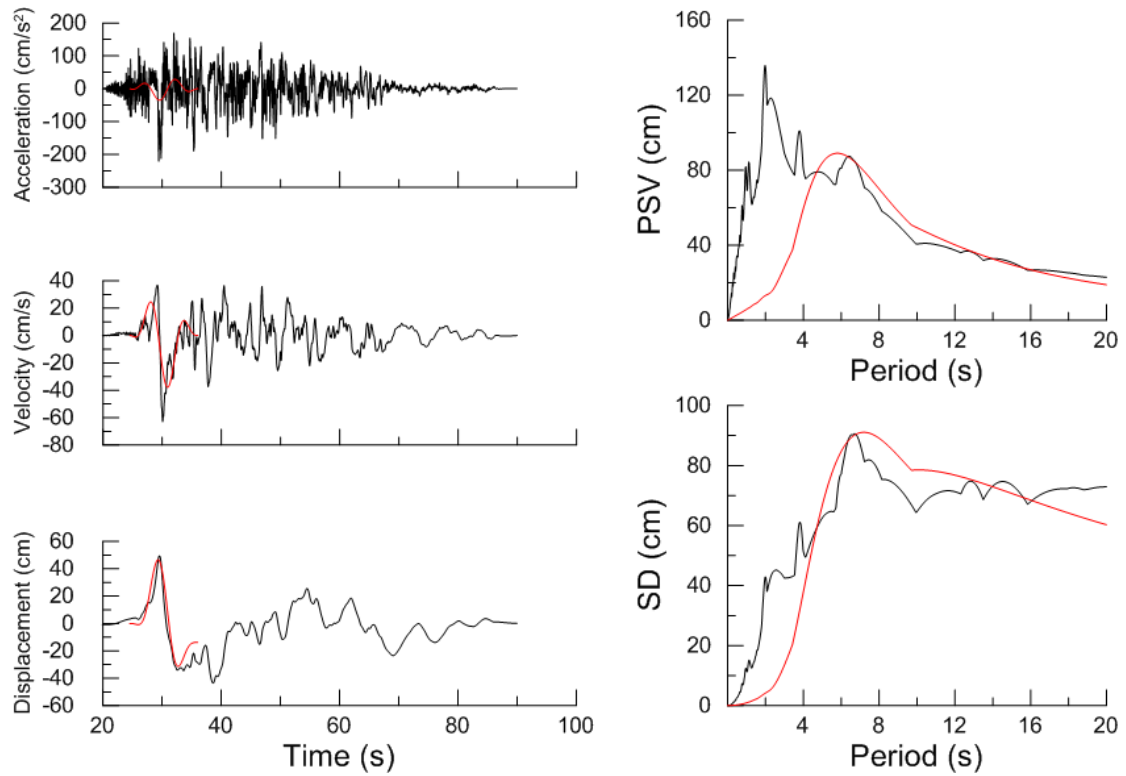
Χρονοϊστορίες και φάσματα της σεισμικής καταγραφής 765L της βάσης NGA



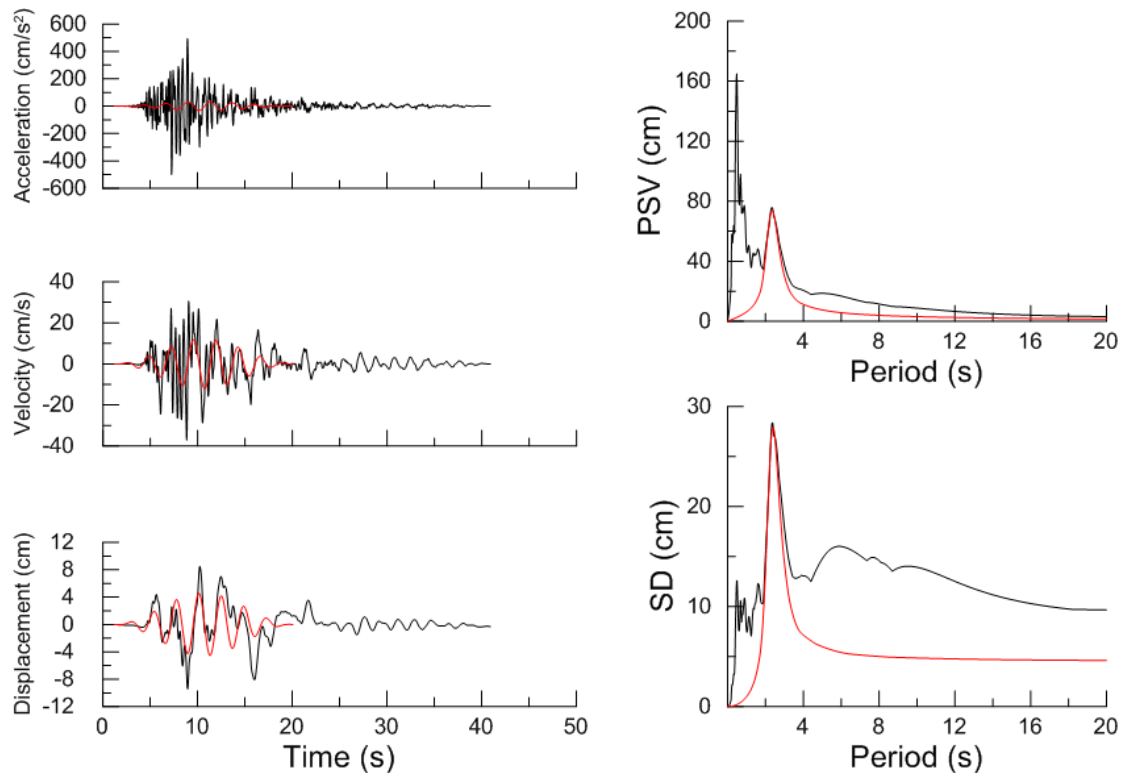
Χρονοϊστορίες και φάσματα της σεισμικής καταγραφής 768L της βάσης NGA



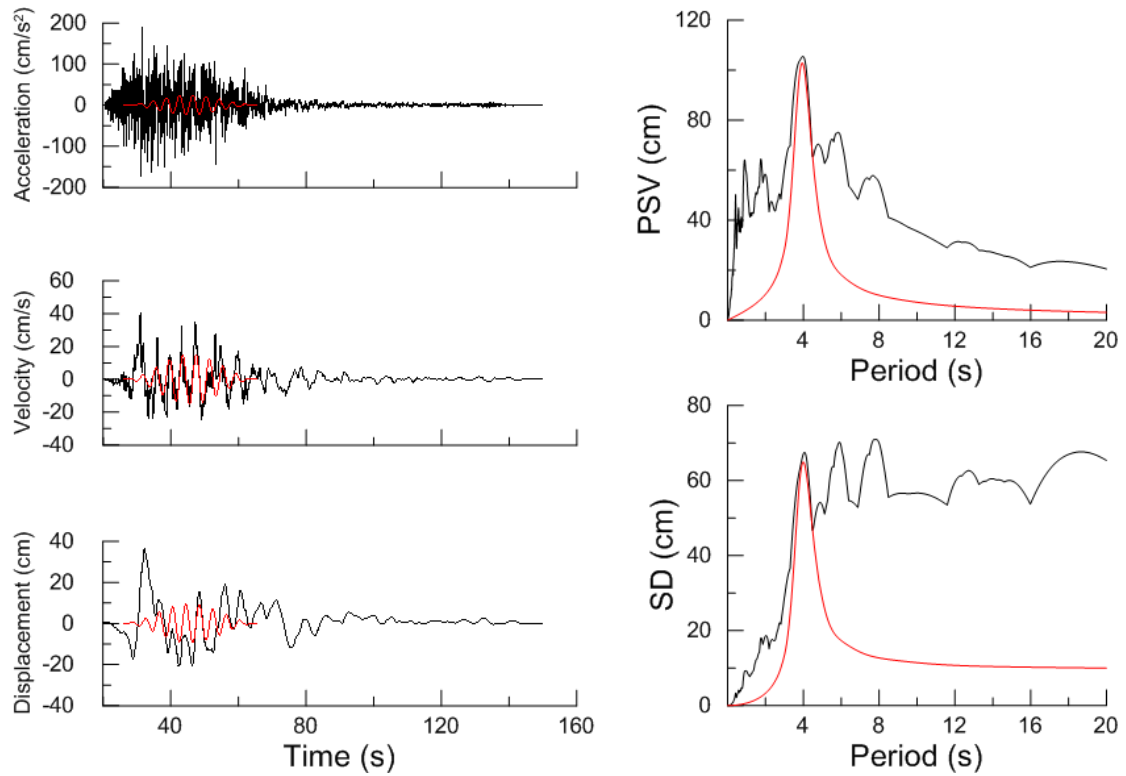
Χρονοϊστορίες και φάσματα της σεισμικής καταγραφής 1080T της βάσης NGA



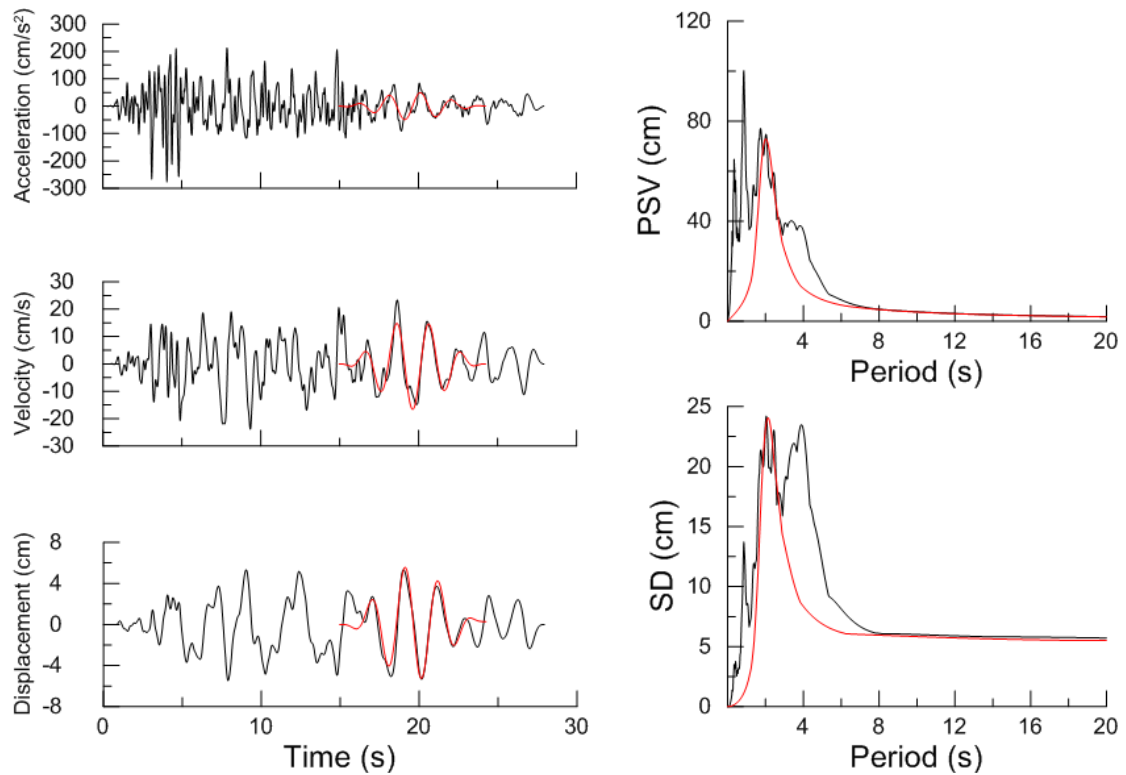
Χρονοϊστορίες και φάσματα της σεισμικής καταγραφής 1545L της βάσης NGA



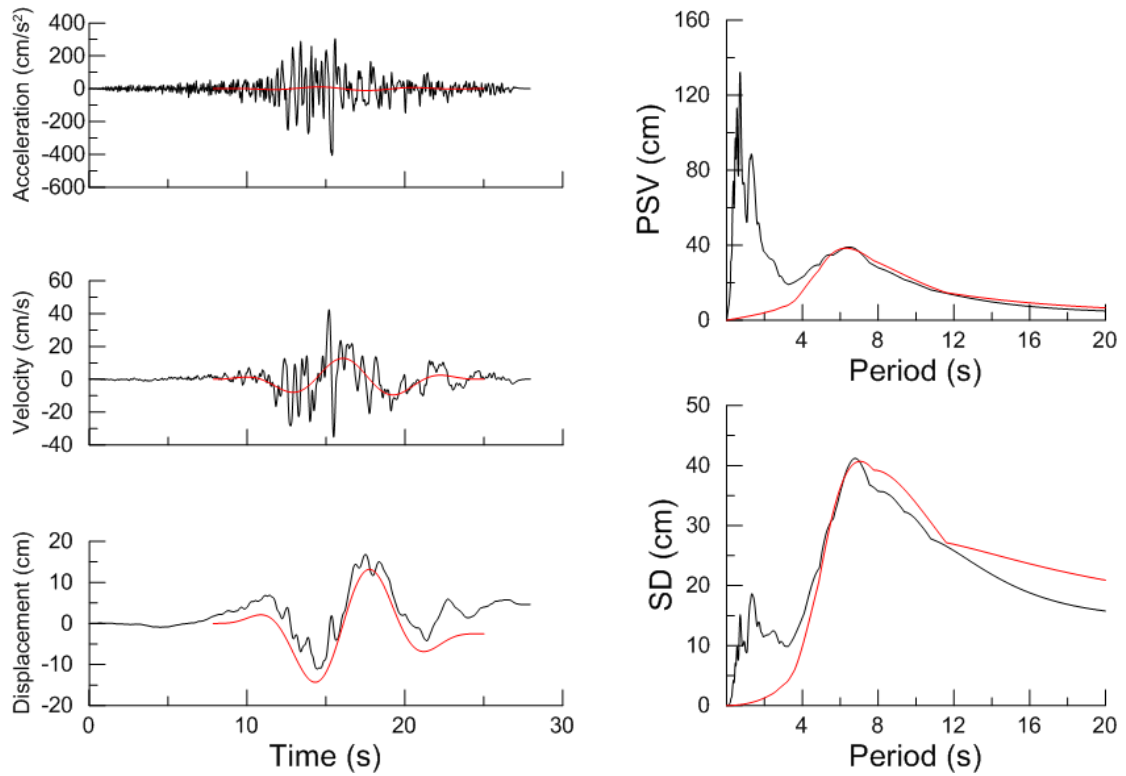
Χρονοϊστορίες και φάσματα της σεισμικής καταγραφής 1111L της βάσης NGA



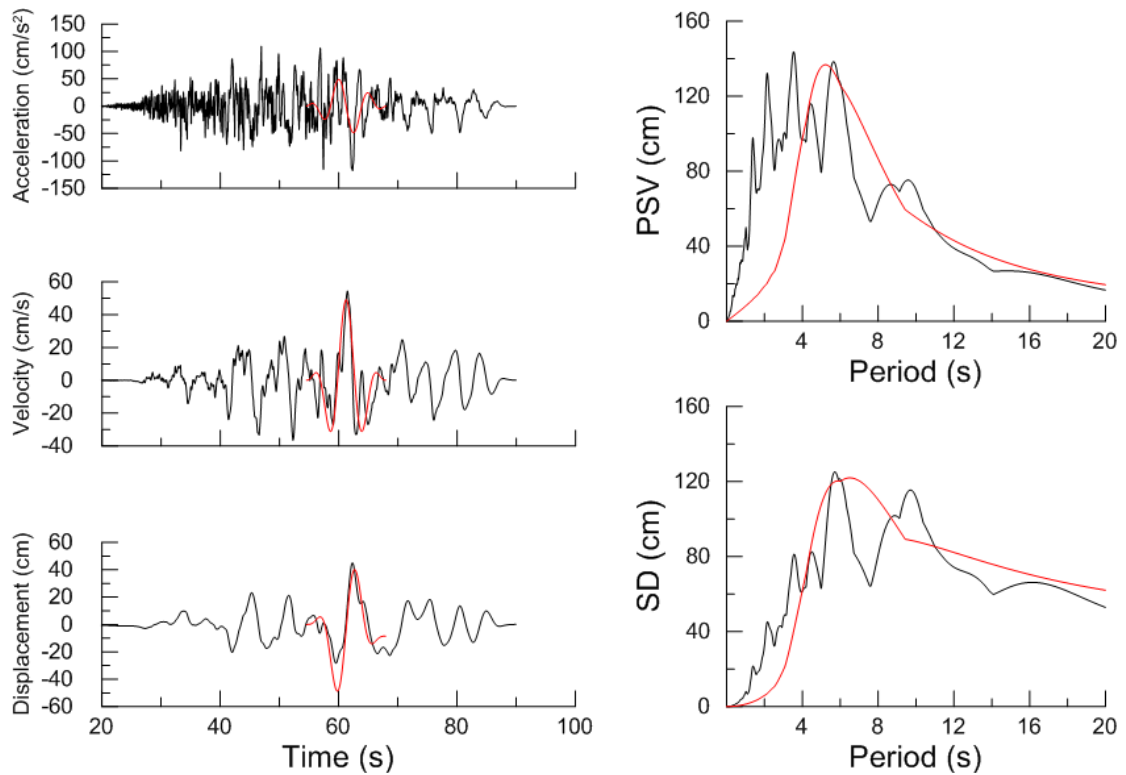
Χρονοϊστορίες και φάσματα της σεισμικής καταγραφής 1551T της βάσης NGA



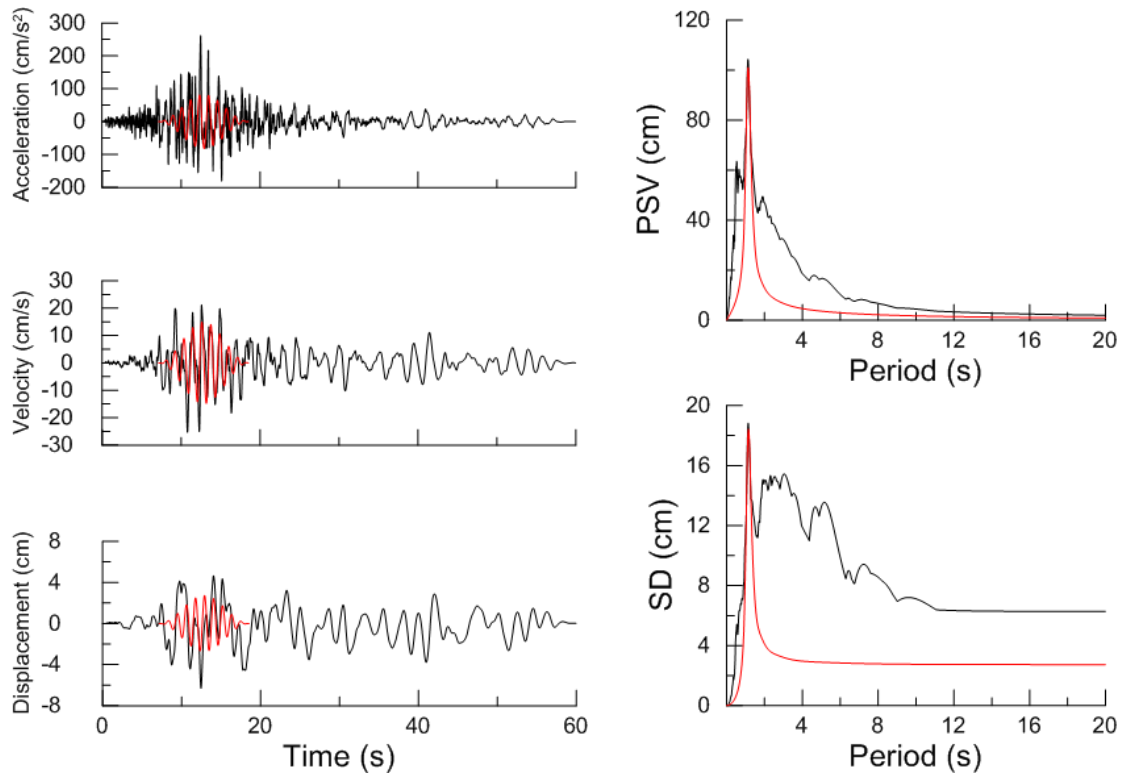
Χρονοϊστορίες και φάσματα της σεισμικής καταγραφής 1141T της βάσης NGA



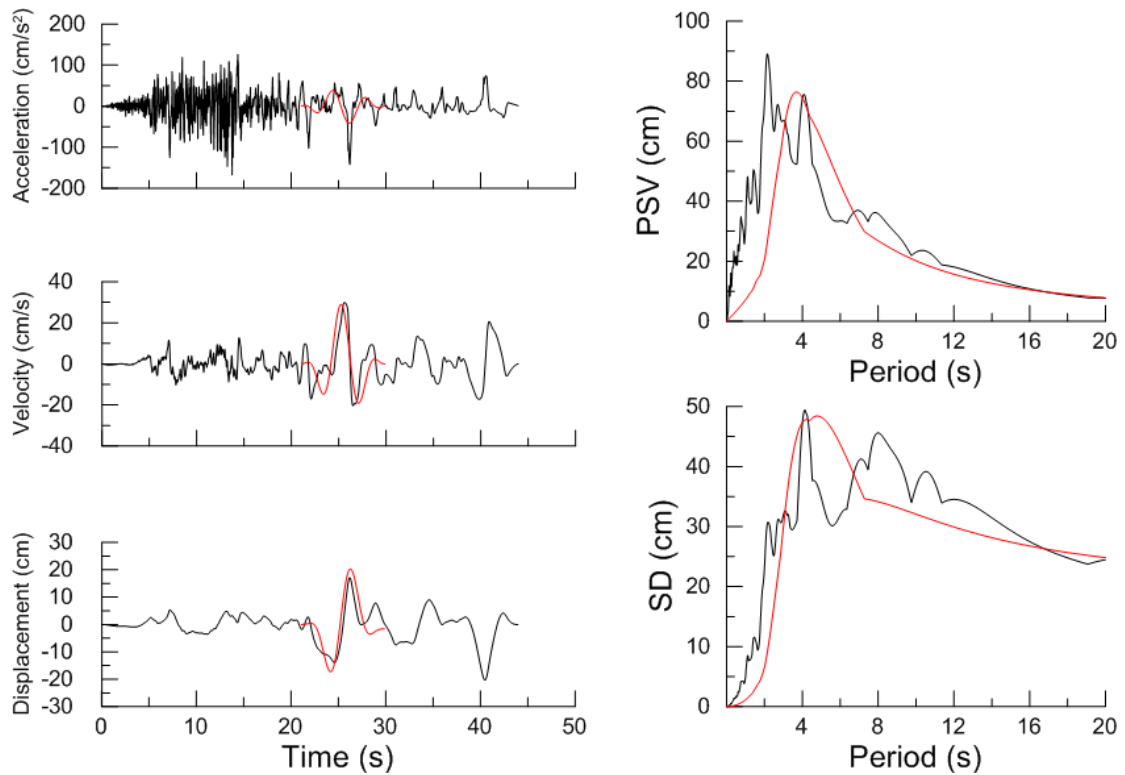
Χρονοϊστορίες και φάσματα της σεισμικής καταγραφής 848T της βάσης NGA



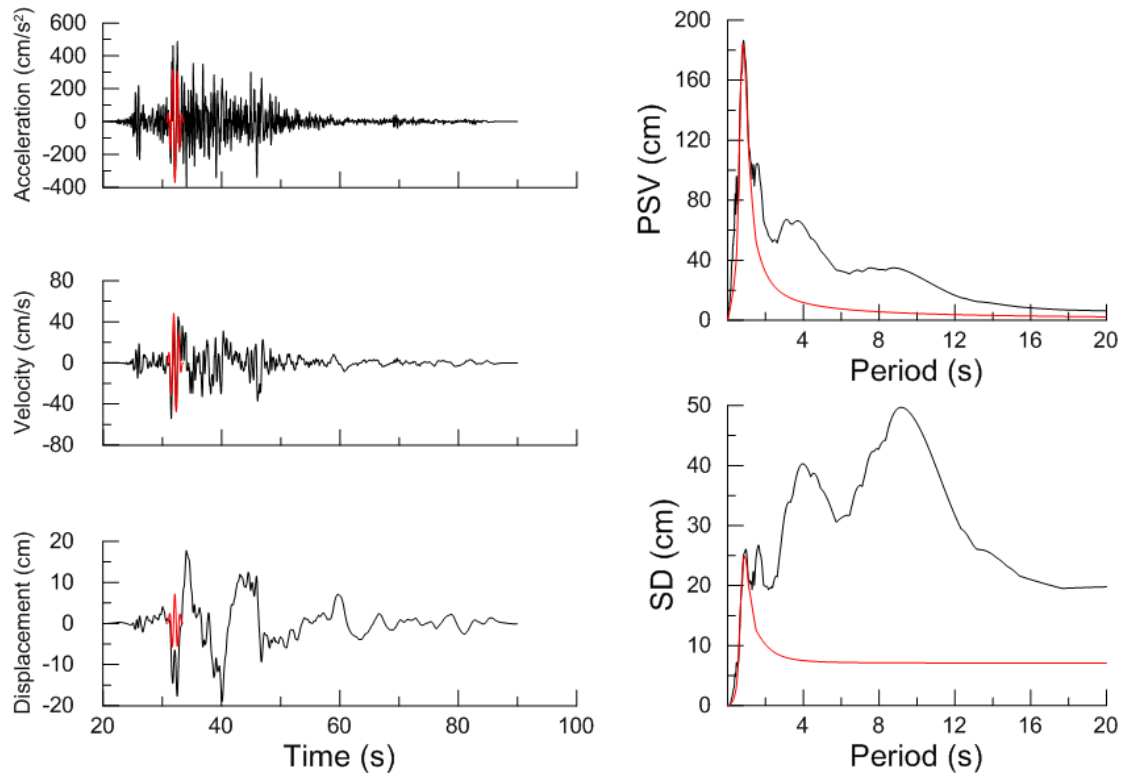
Χρονοϊστορίες και φάσματα της σεισμικής καταγραφής 1542T της βάσης NGA



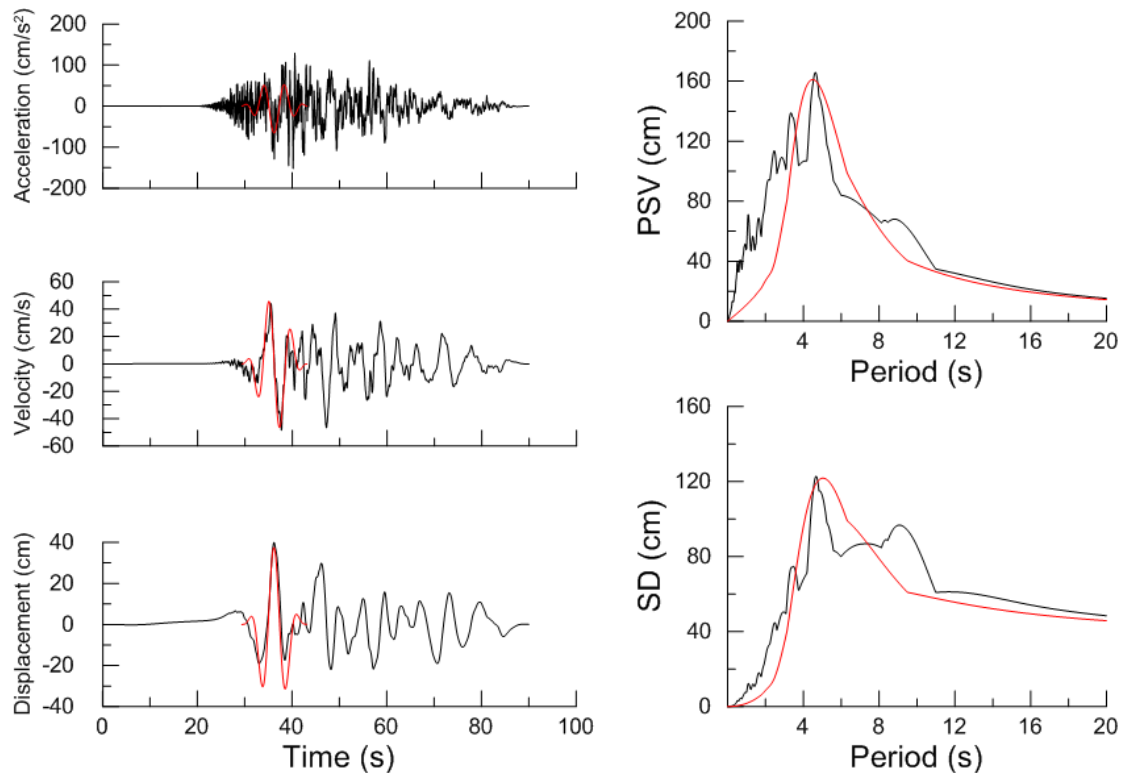
Χρονοϊστορίες και φάσματα της σεισμικής καταγραφής 759L της βάσης NGA



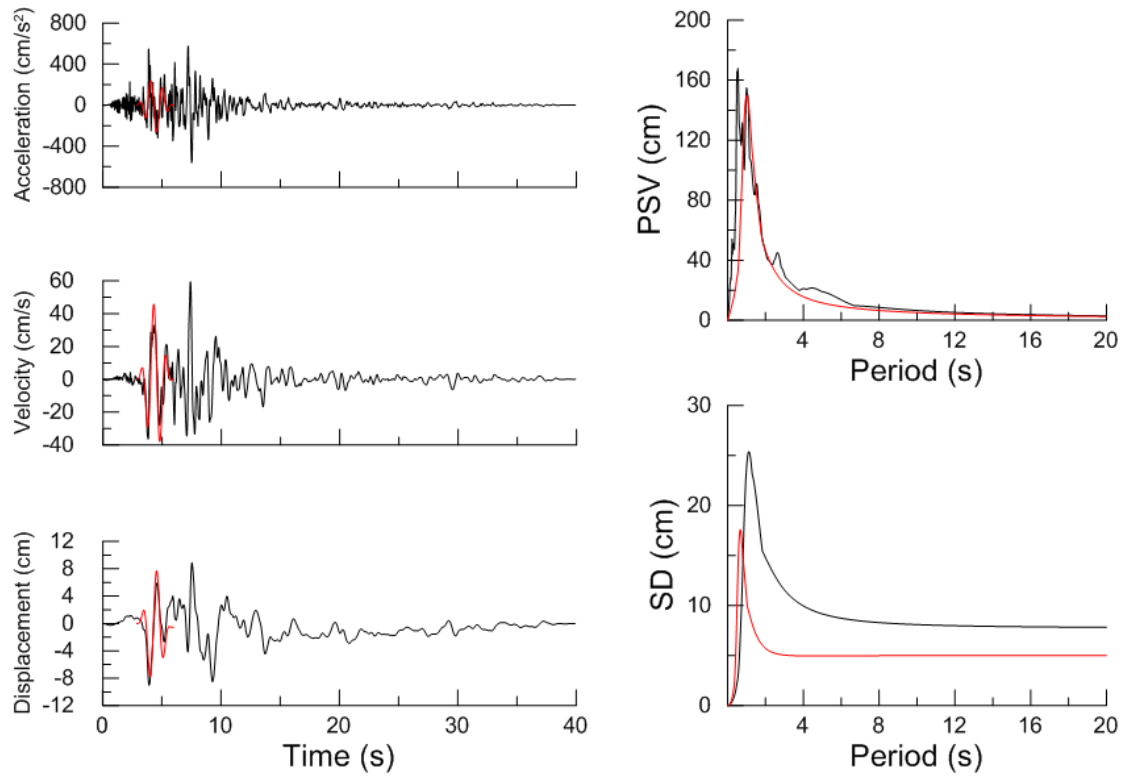
Χρονοϊστορίες και φάσματα της σεισμικής καταγραφής 729L της βάσης NGA



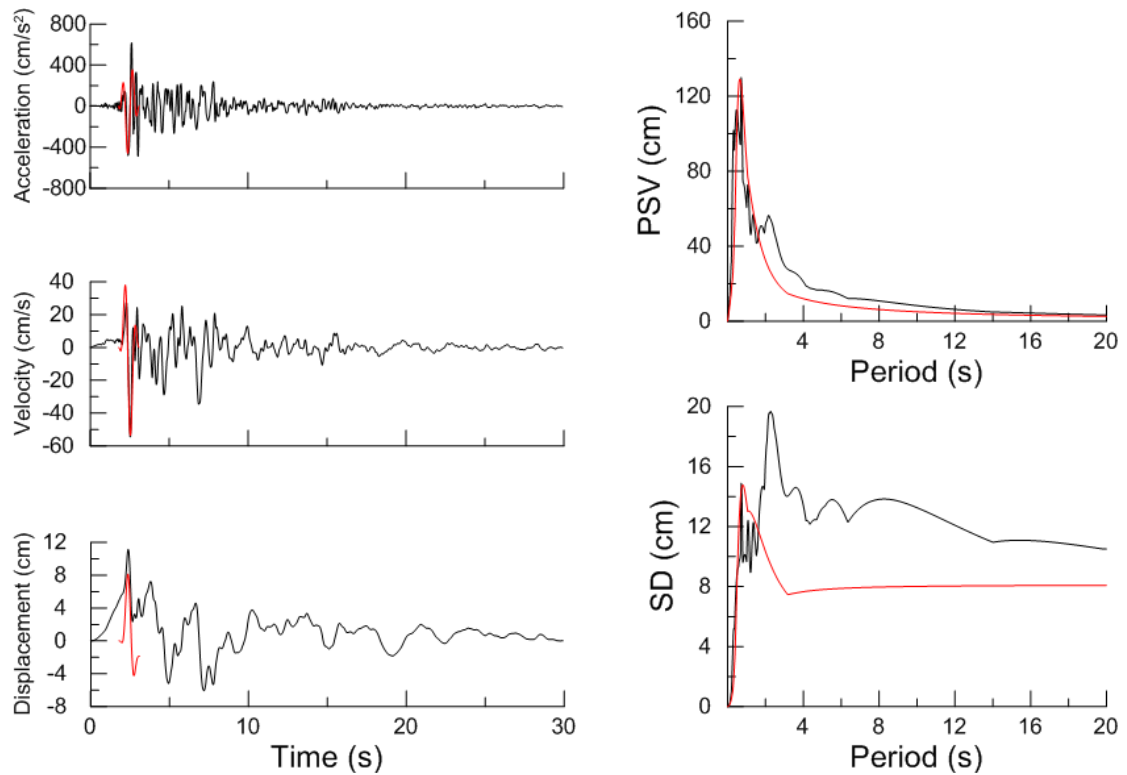
Χρονοϊστορίες και φάσματα της σεισμικής καταγραφής 1508L της βάσης NGA



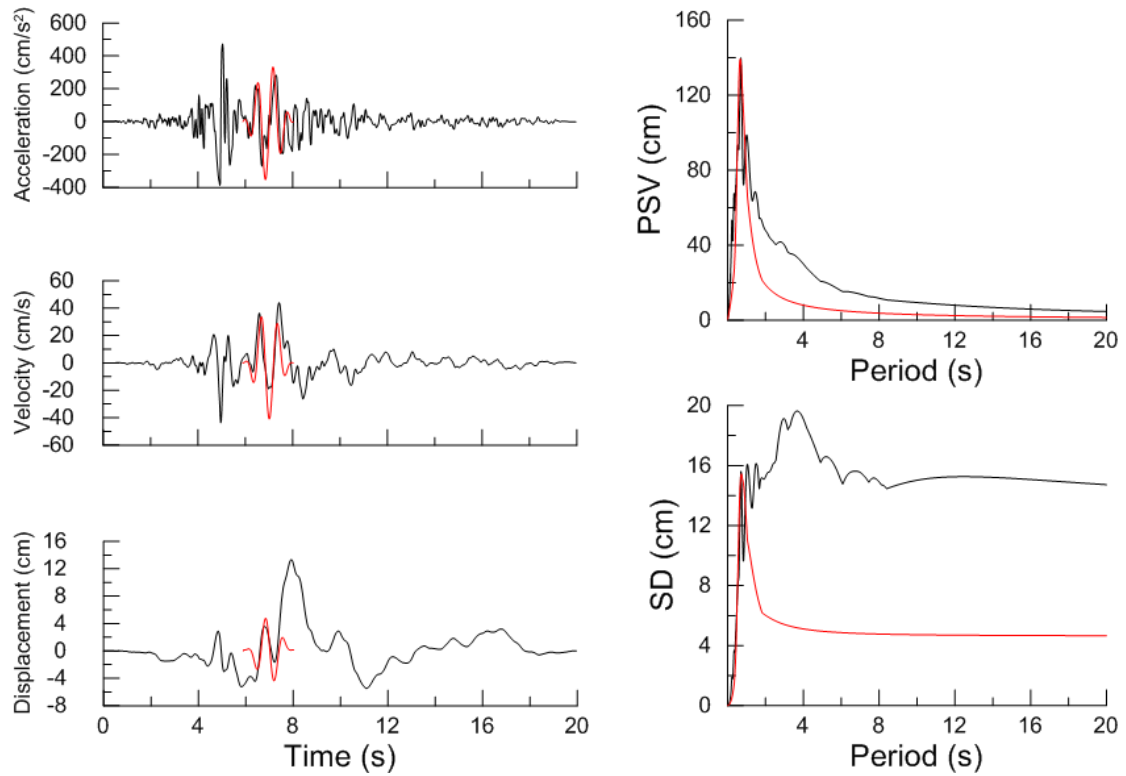
Χρονοϊστορίες και φάσματα της σεισμικής καταγραφής 1194L της βάσης NGA



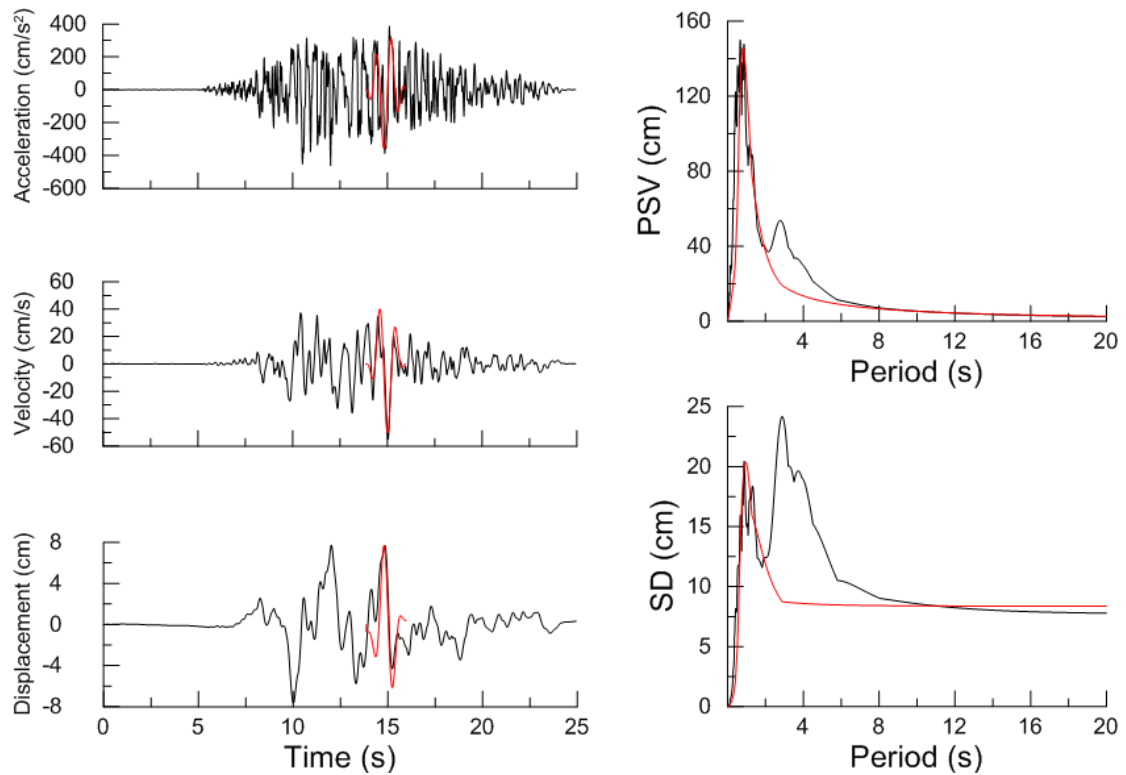
Χρονοϊστορίες και φάσματα της σεισμικής καταγραφής 368L της βάσης NGA



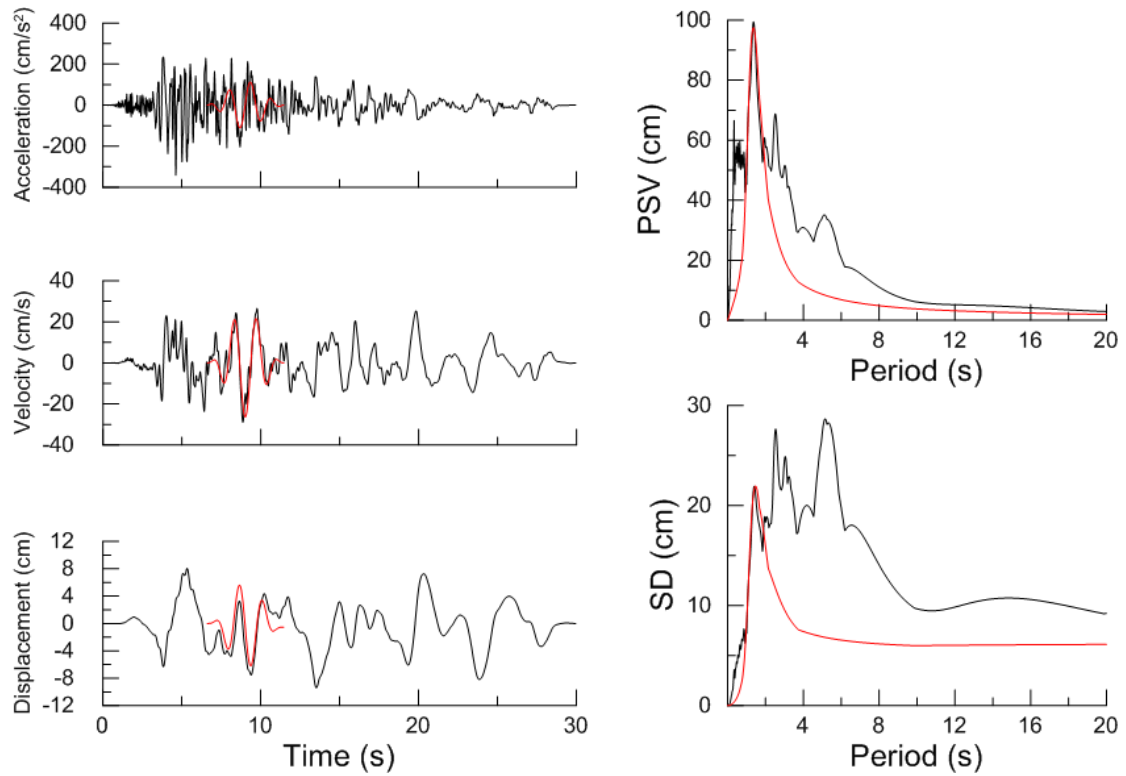
Χρονοϊστορίες και φάσματα της σεισμικής καταγραφής 753L της βάσης NGA



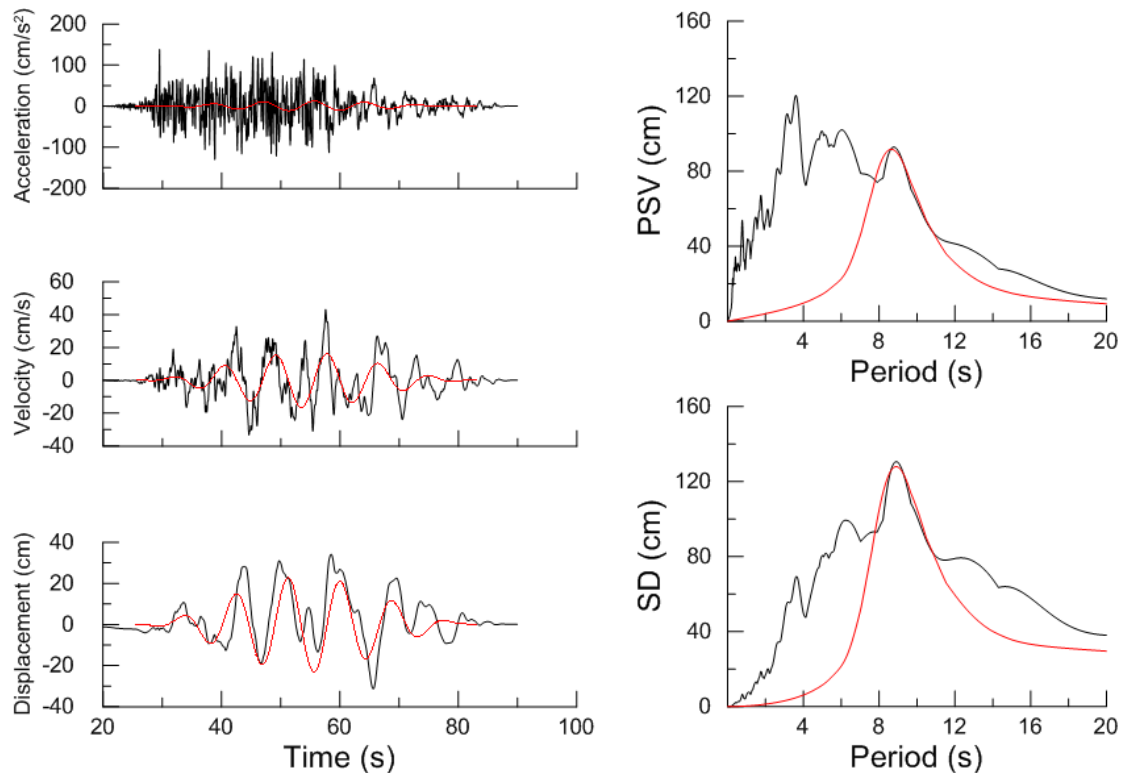
Χρονοϊστορίες και φάσματα της σεισμικής καταγραφής 960T της βάσης NGA



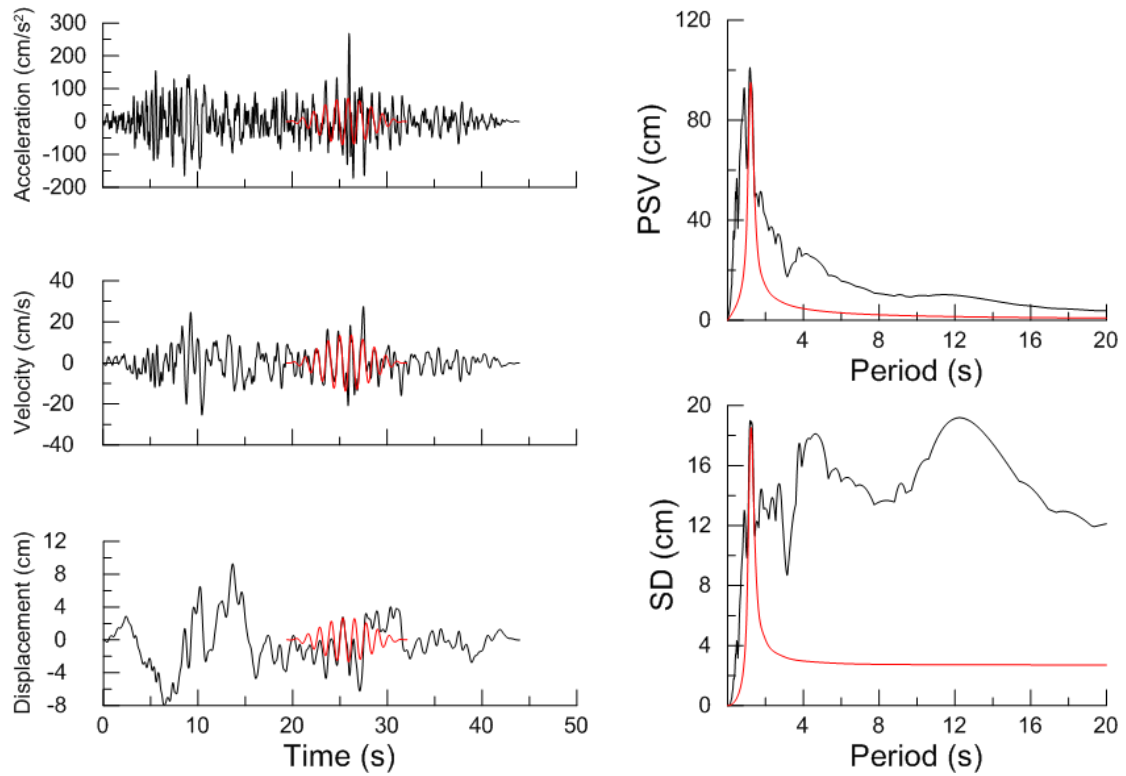
Χρονοϊστορίες και φάσματα της σεισμικής καταγραφής 741L της βάσης NGA



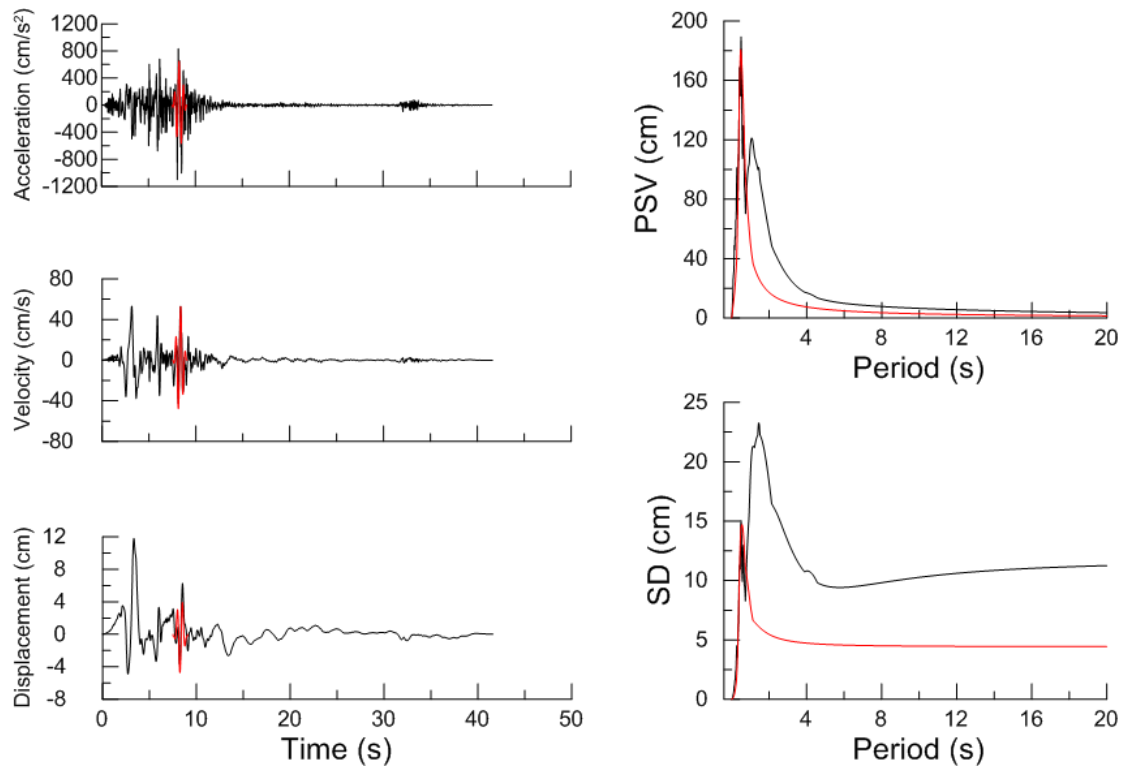
Χρονοϊστορίες και φάσματα της σεισμικής καταγραφής 1048L της βάσης NGA



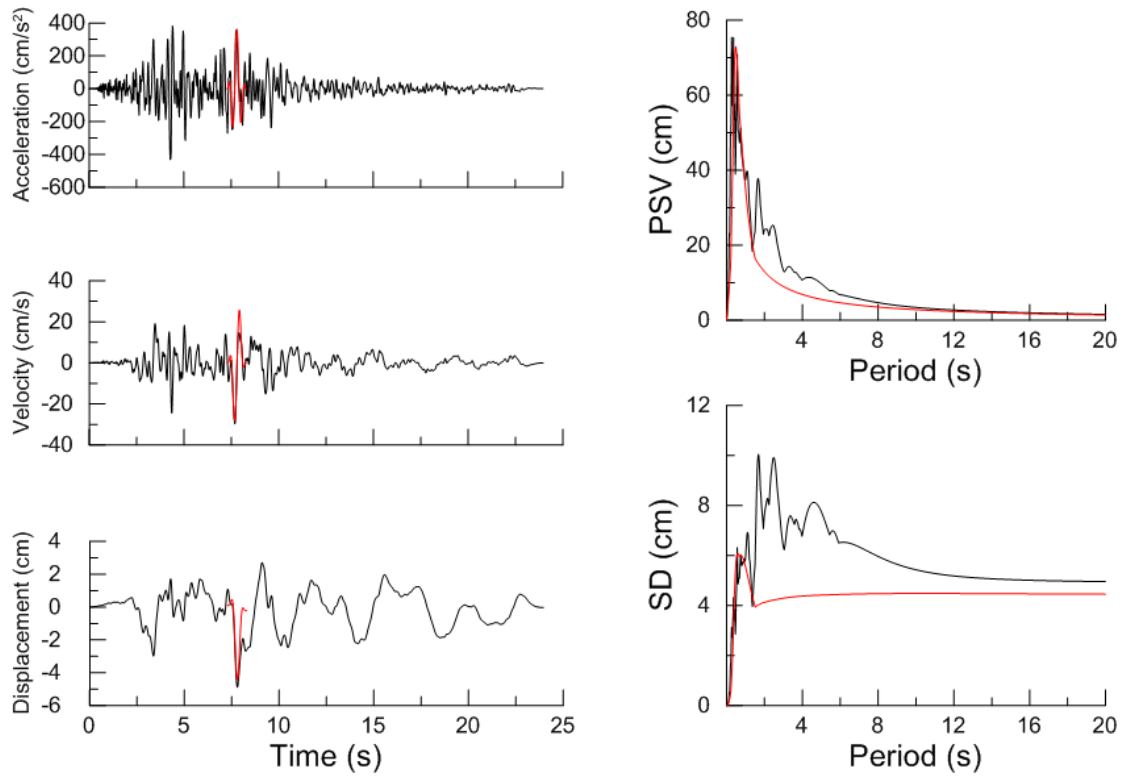
Χρονοϊστορίες και φάσματα της σεισμικής καταγραφής 1500T της βάσης NGA



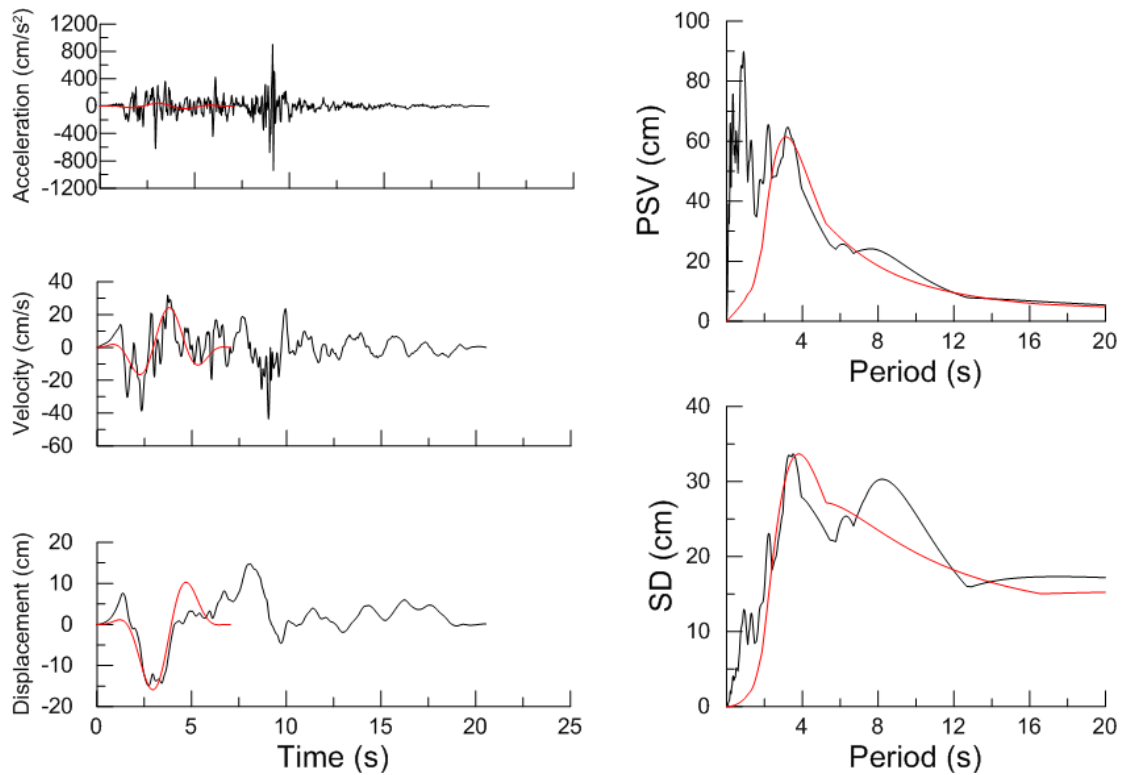
Χρονοϊστορίες και φάσματα της σεισμικής καταγραφής 864L της βάσης NGA



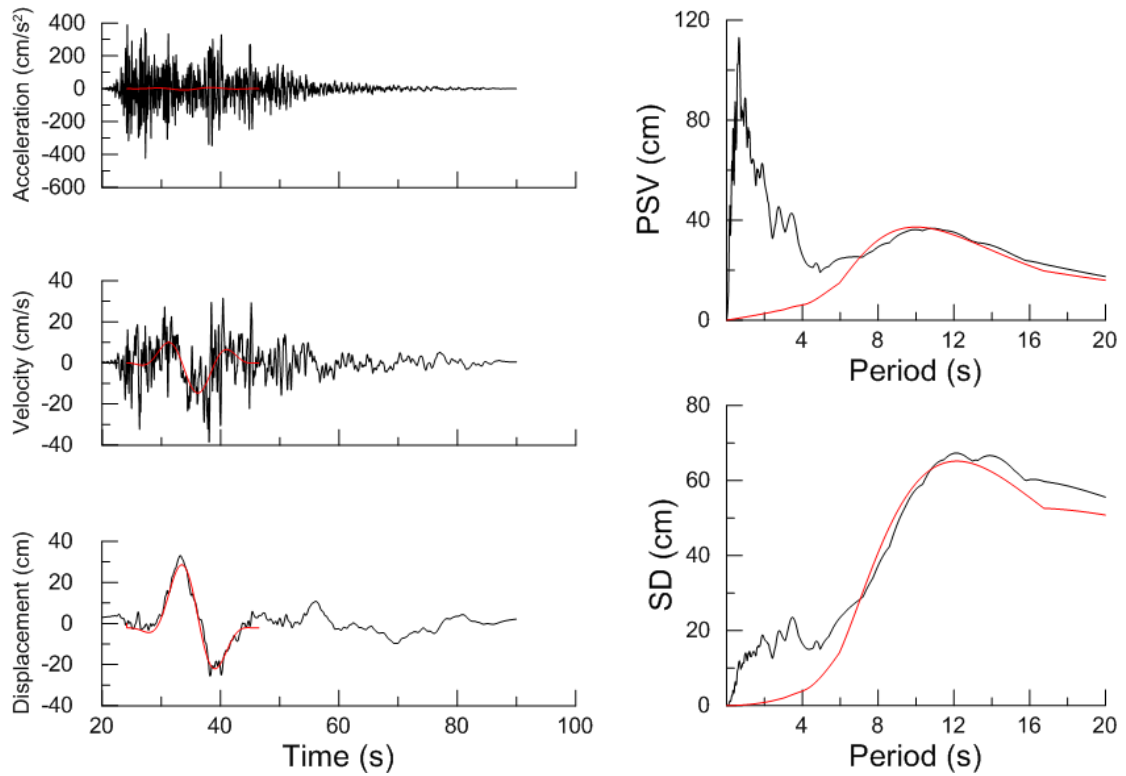
Χρονοϊστορίες και φάσματα της σεισμικής καταγραφής 77T της βάσης NGA



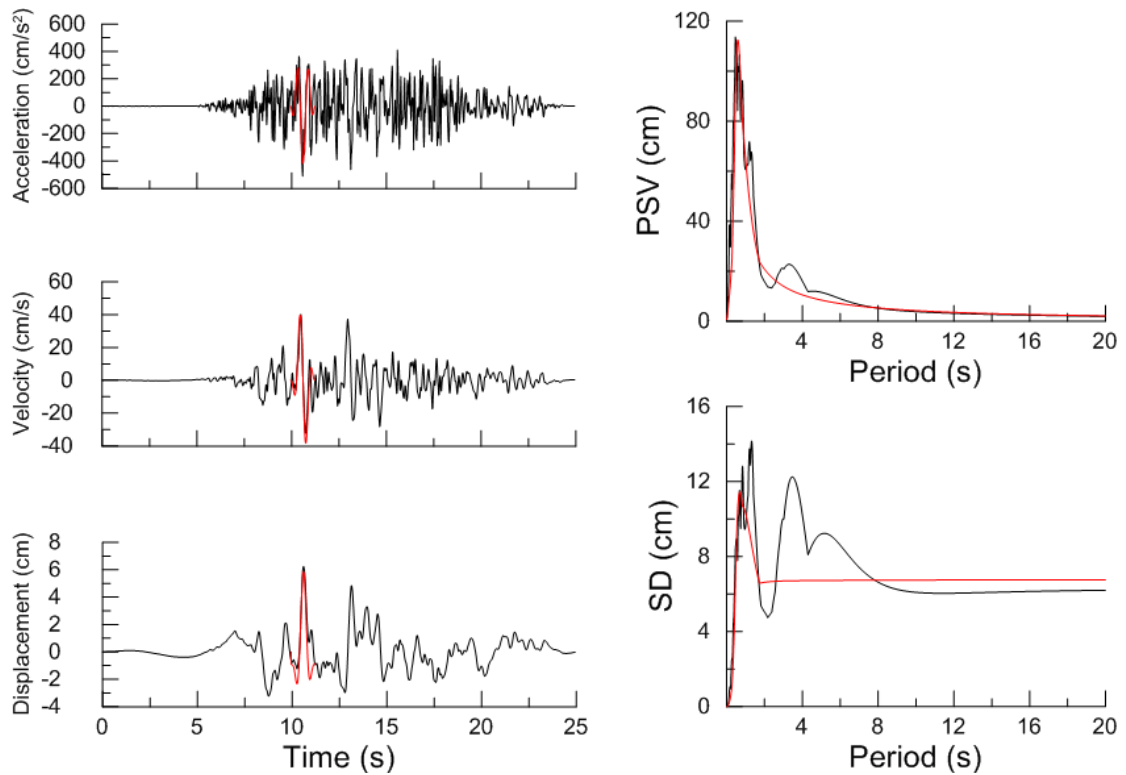
Χρονοϊστορίες και φάσματα της σεισμικής καταγραφής 952T της βάσης NGA



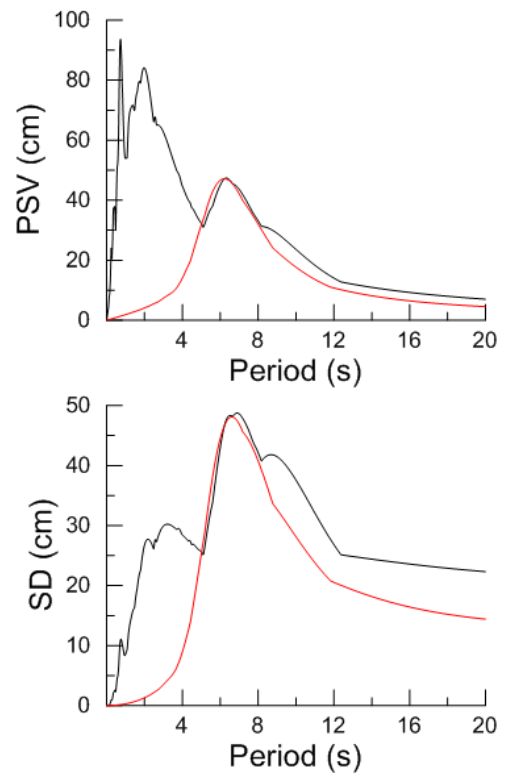
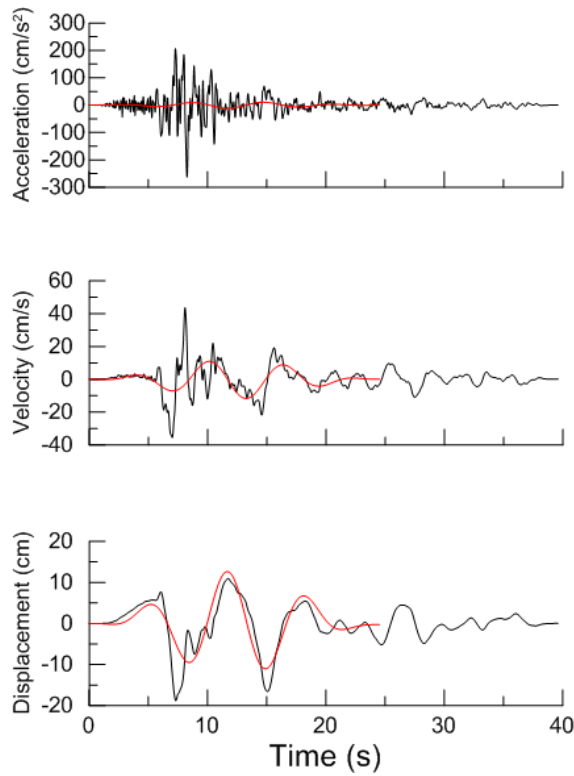
Χρονοϊστορίες και φάσματα της σεισμικής καταγραφής 495T της βάσης NGA



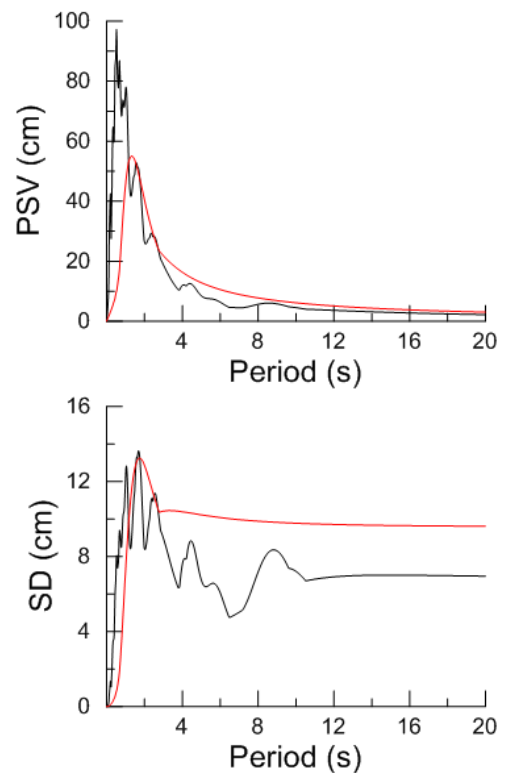
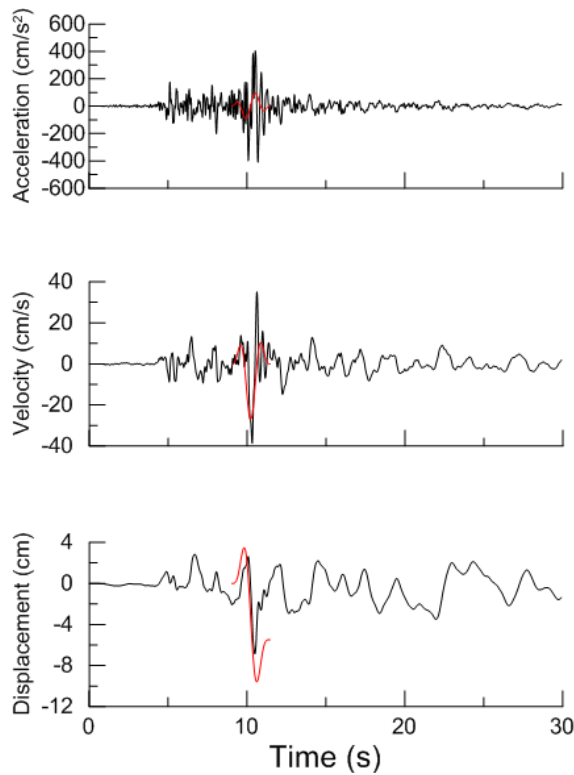
Χρονοϊστορίες και φάσματα της σεισμικής καταγραφής 1512L της βάσης NGA



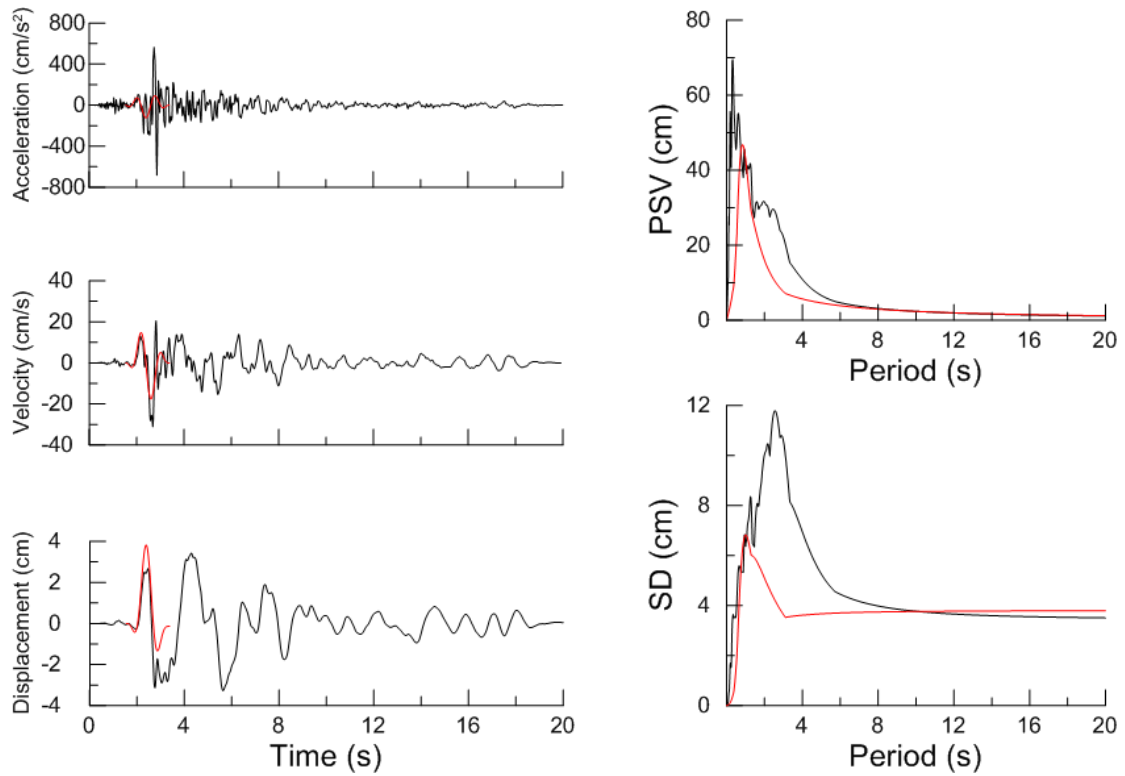
Χρονοϊστορίες και φάσματα της σεισμικής καταγραφής 741T της βάσης NGA



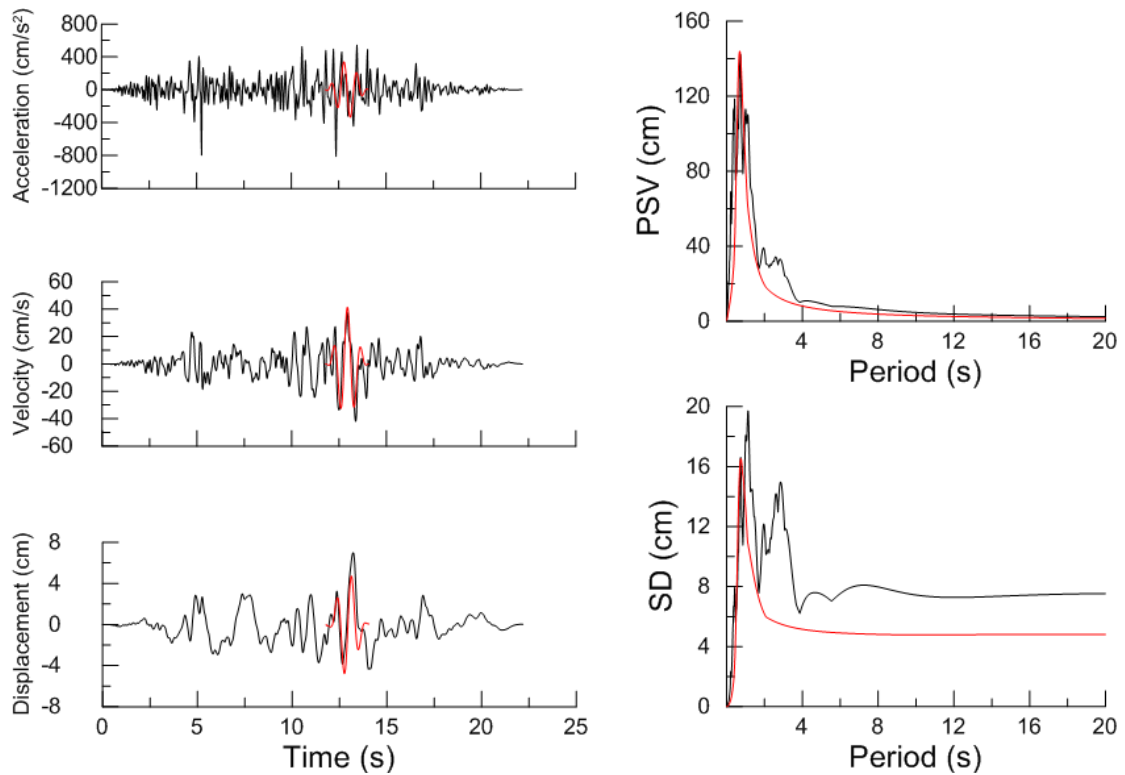
Χρονοϊστορίες και φάσματα της σεισμικής καταγραφής 778L της βάσης NGA



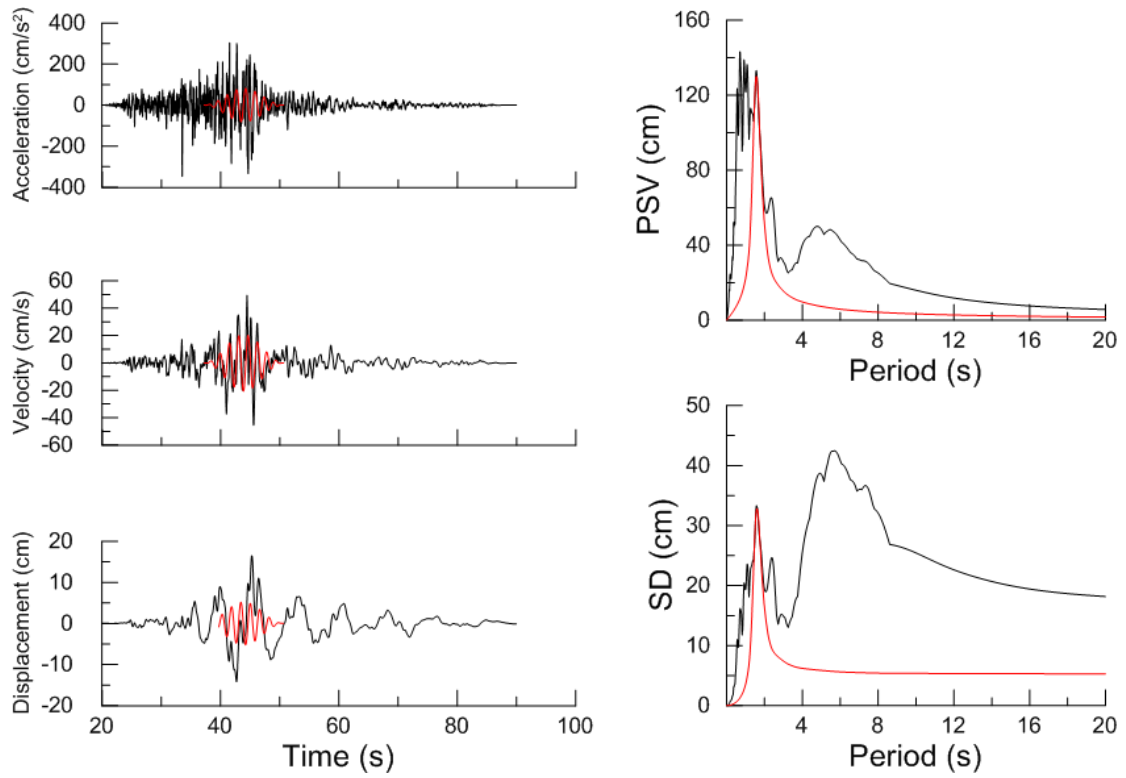
Χρονοϊστορίες και φάσματα της σεισμικής καταγραφής 1003T της βάσης NGA



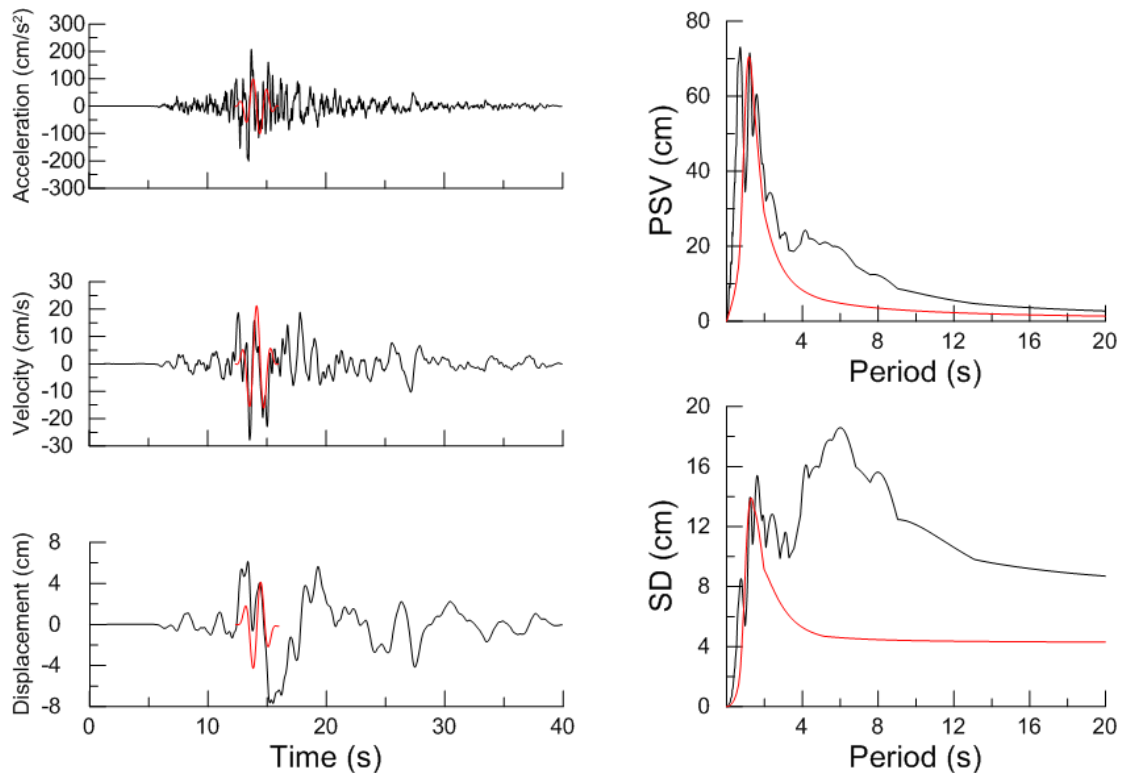
Χρονοϊστορίες και φάσματα της σεισμικής καταγραφής 529T της βάσης NGA



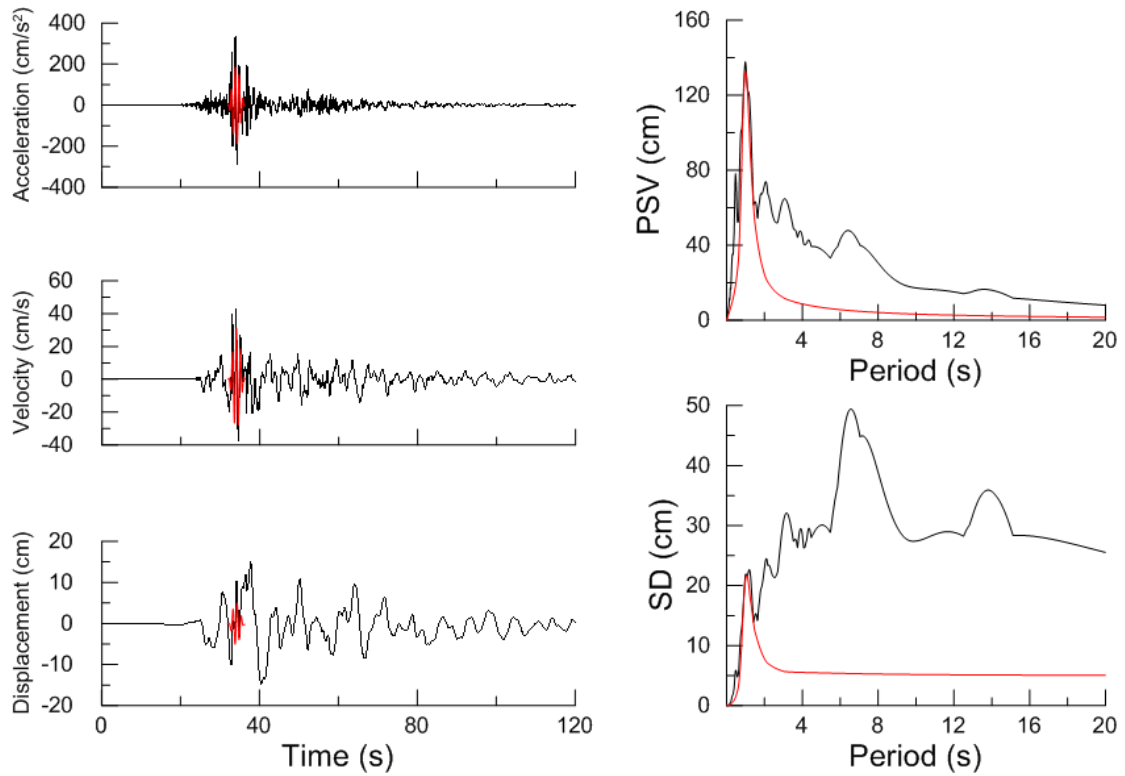
Χρονοϊστορίες και φάσματα της σεισμικής καταγραφής 727T της βάσης NGA



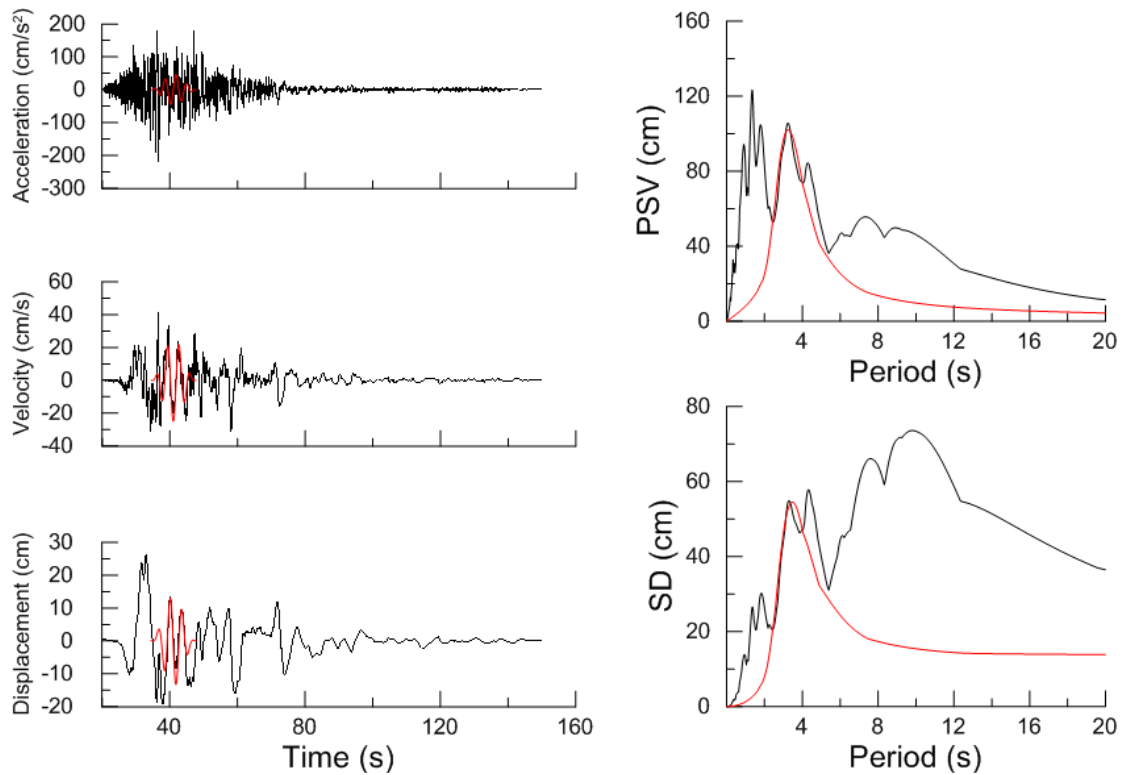
Χρονοϊστορίες και φάσματα της σεισμικής καταγραφής 1509T της βάσης NGA



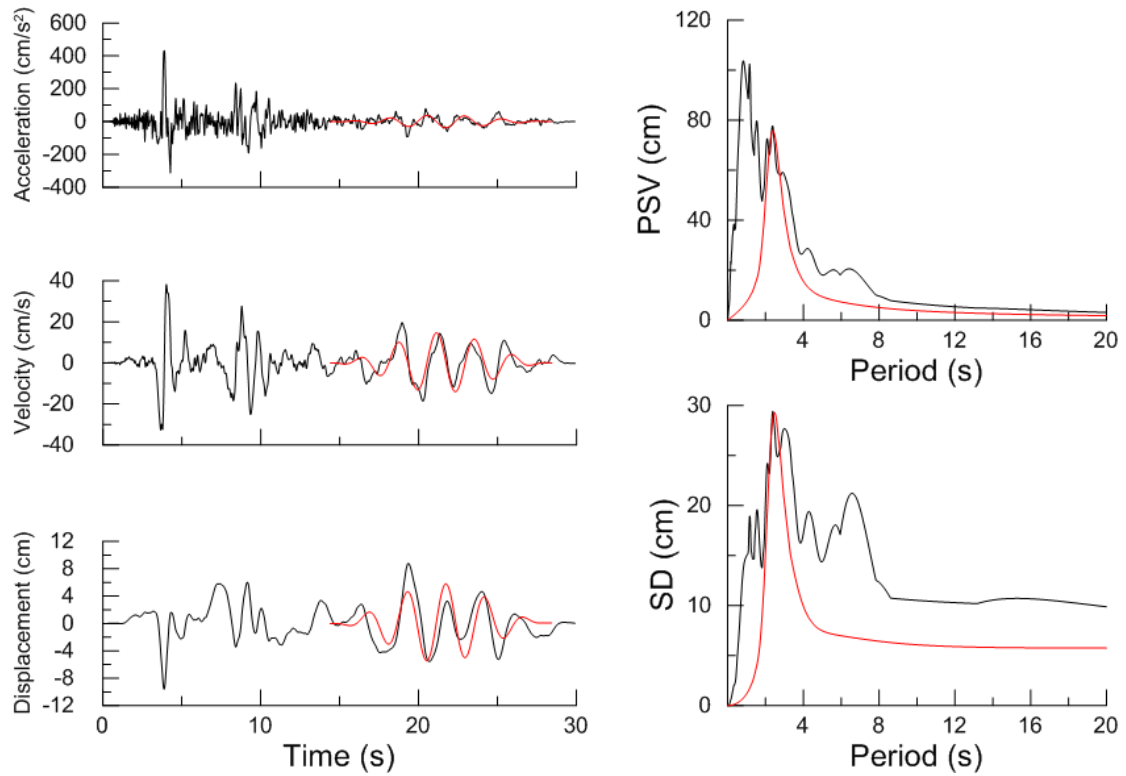
Χρονοϊστορίες και φάσματα της σεισμικής καταγραφής 1116T της βάσης NGA



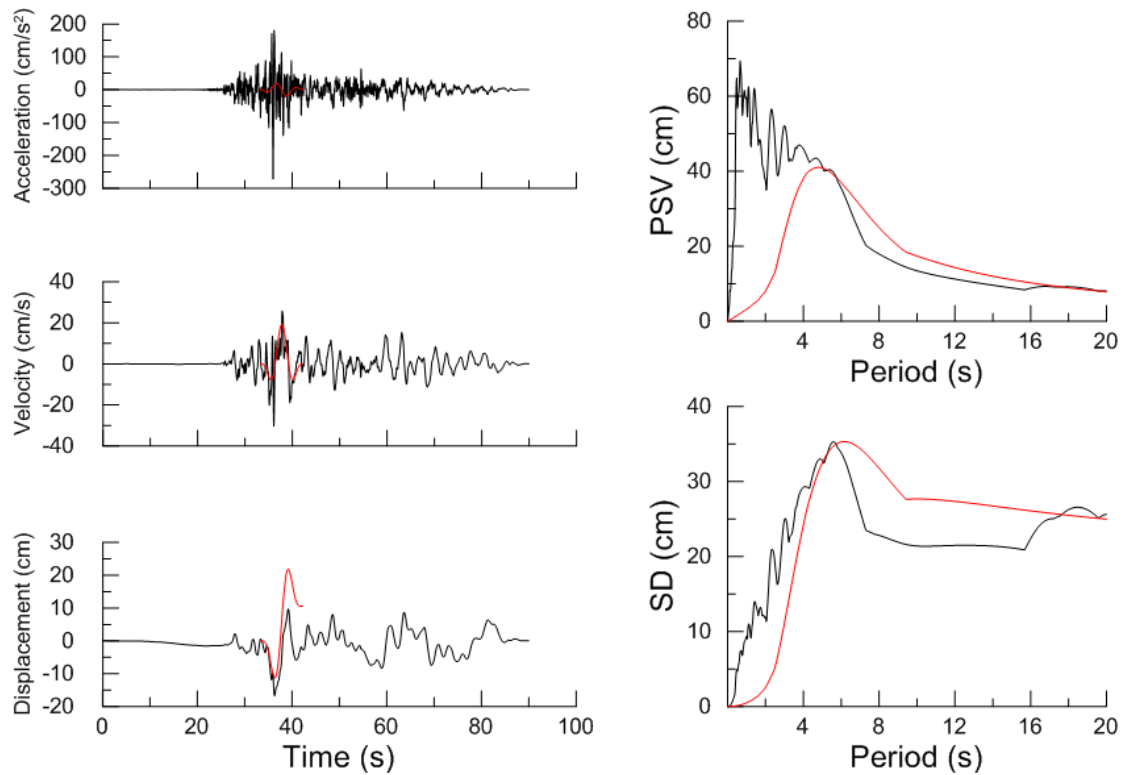
Χρονοϊστορίες και φάσματα της σεισμικής καταγραφής 1182L της βάσης NGA



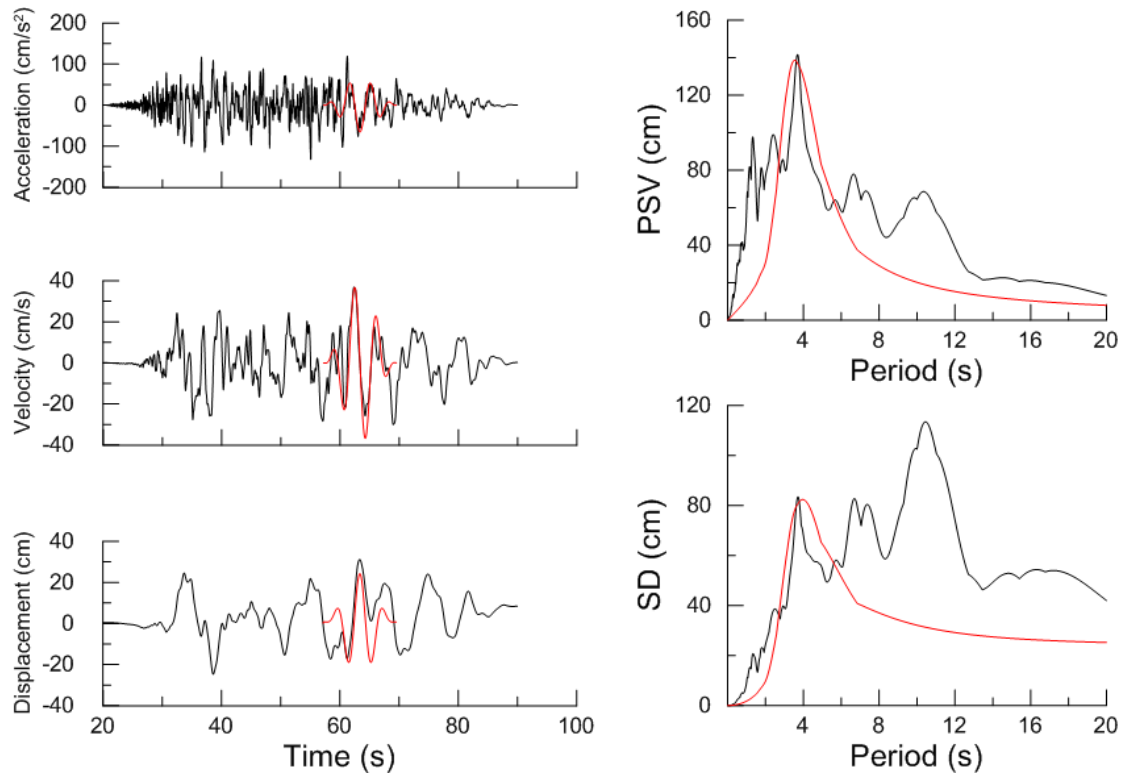
Χρονοϊστορίες και φάσματα της σεισμικής καταγραφής 1551L της βάσης NGA



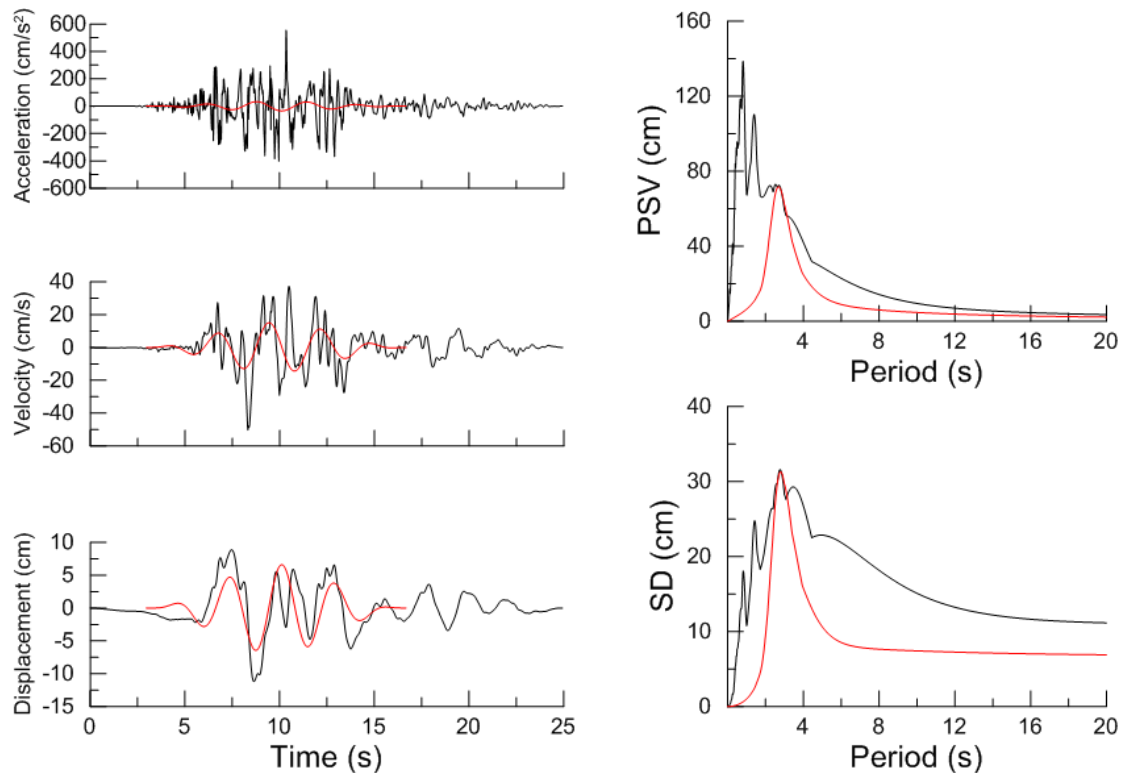
Χρονοϊστορίες και φάσματα της σεισμικής καταγραφής 1082T της βάσης NGA



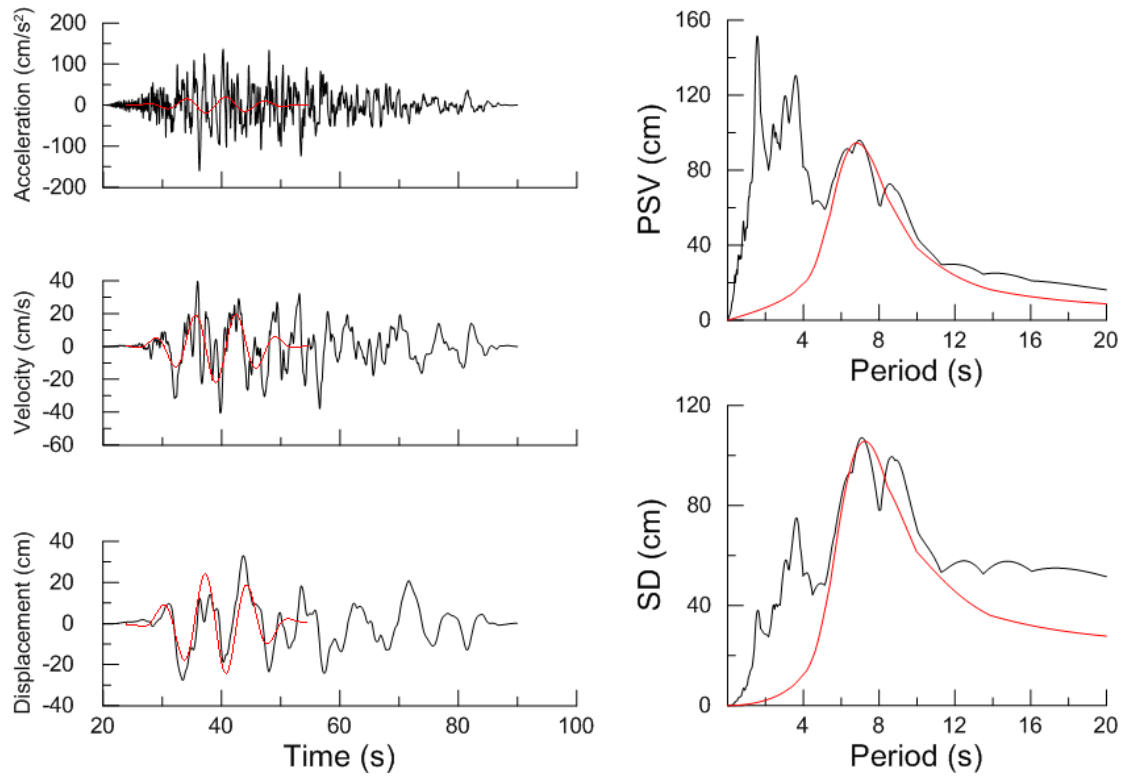
Χρονοϊστορίες και φάσματα της σεισμικής καταγραφής 1198L της βάσης NGA



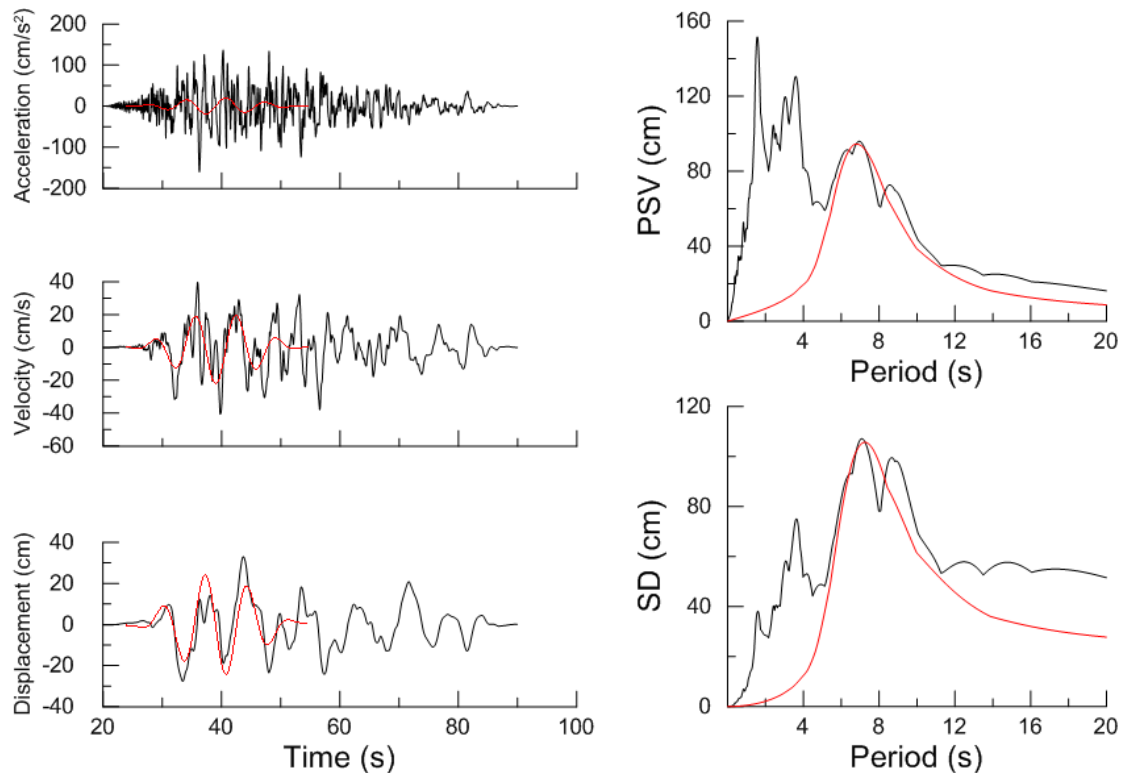
Χρονοϊστορίες και φάσματα της σεισμικής καταγραφής 1547T της βάσης NGA



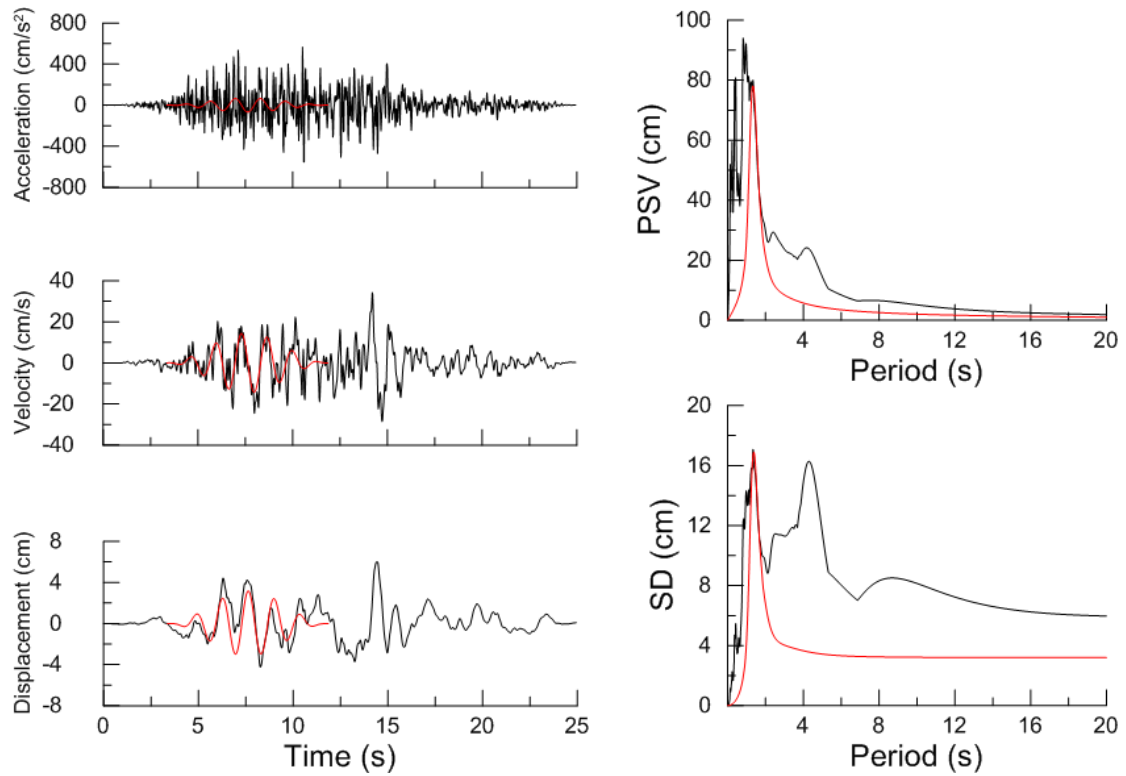
Χρονοϊστορίες και φάσματα της σεισμικής καταγραφής 779T της βάσης NGA



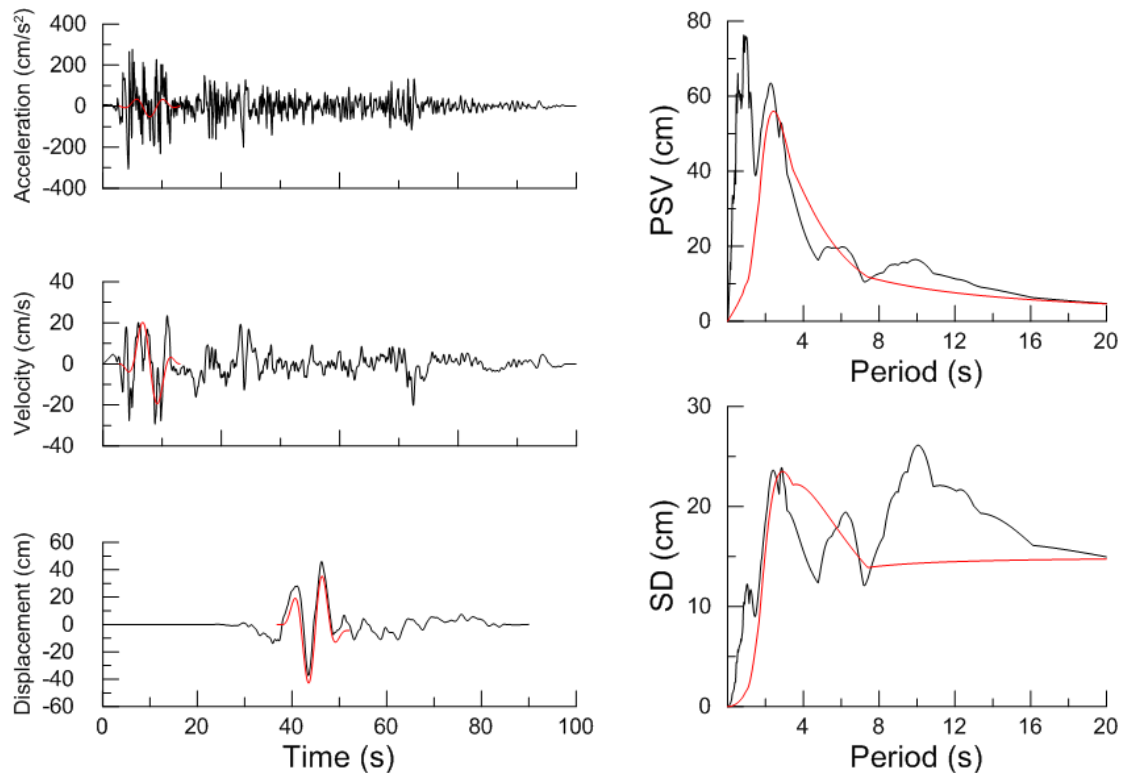
Χρονοϊστορίες και φάσματα της σεισμικής καταγραφής 1547L της βάσης NGA



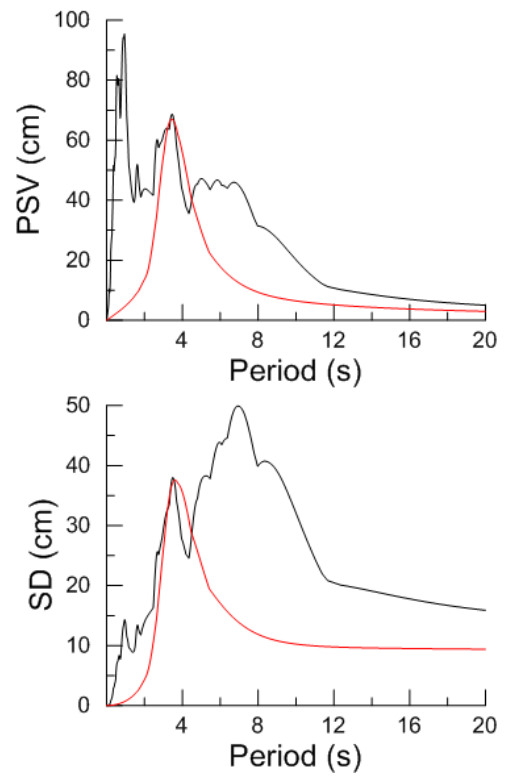
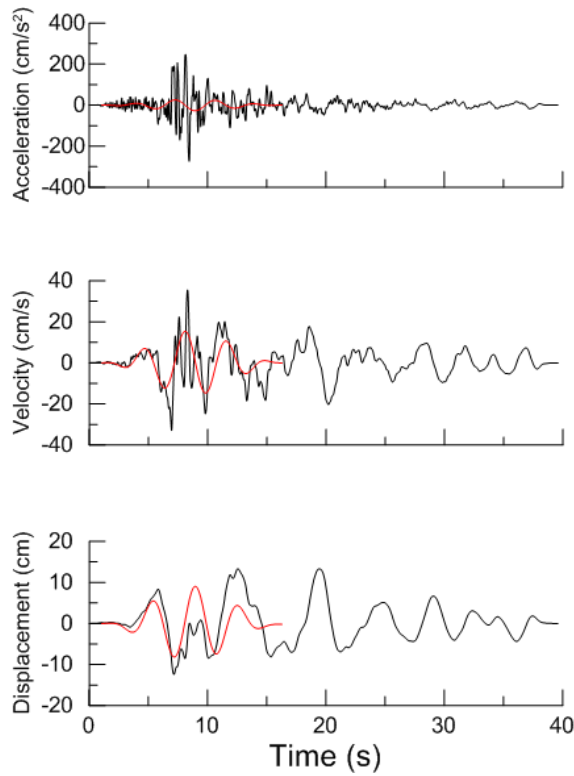
Χρονοϊστορίες και φάσματα της σεισμικής καταγραφής 1549L της βάσης NGA



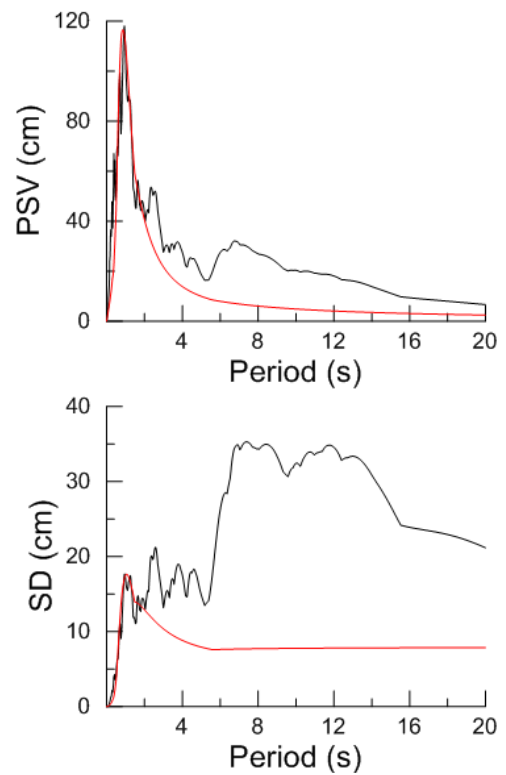
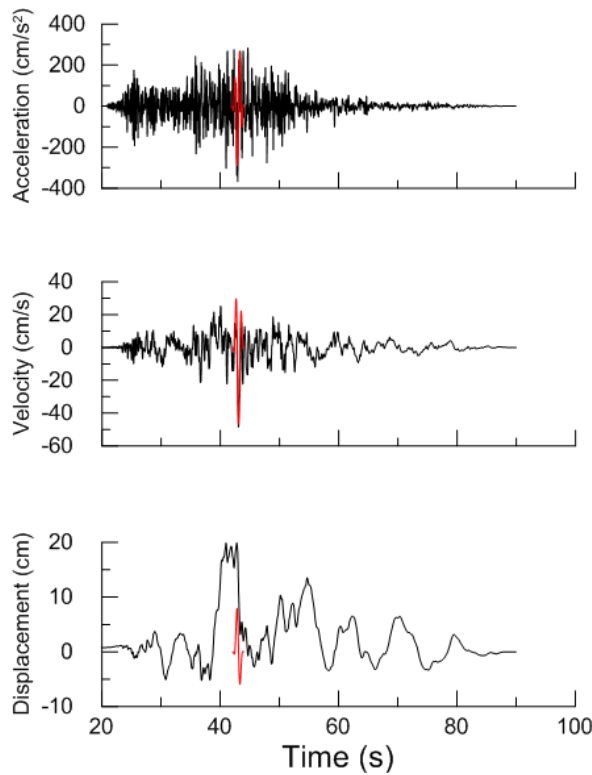
Χρονοϊστορίες και φάσματα της σεισμικής καταγραφής 811T της βάσης NGA



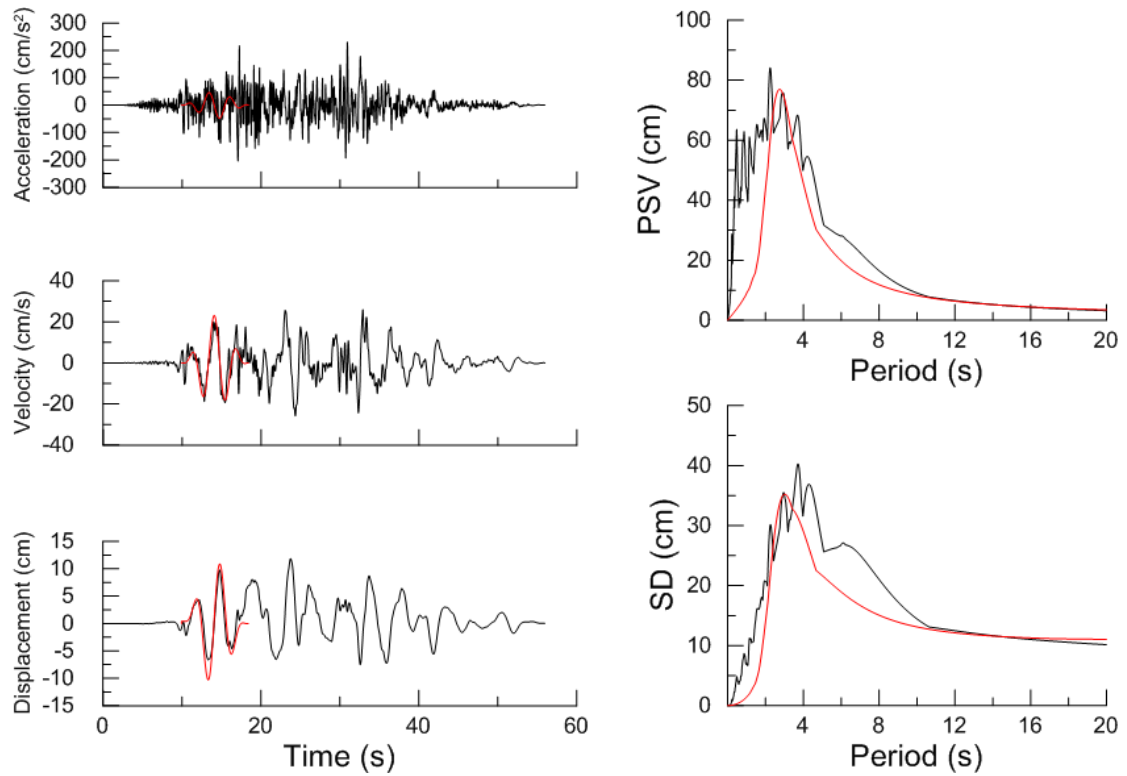
Χρονοϊστορίες και φάσματα της σεισμικής καταγραφής 6L της βάσης NGA



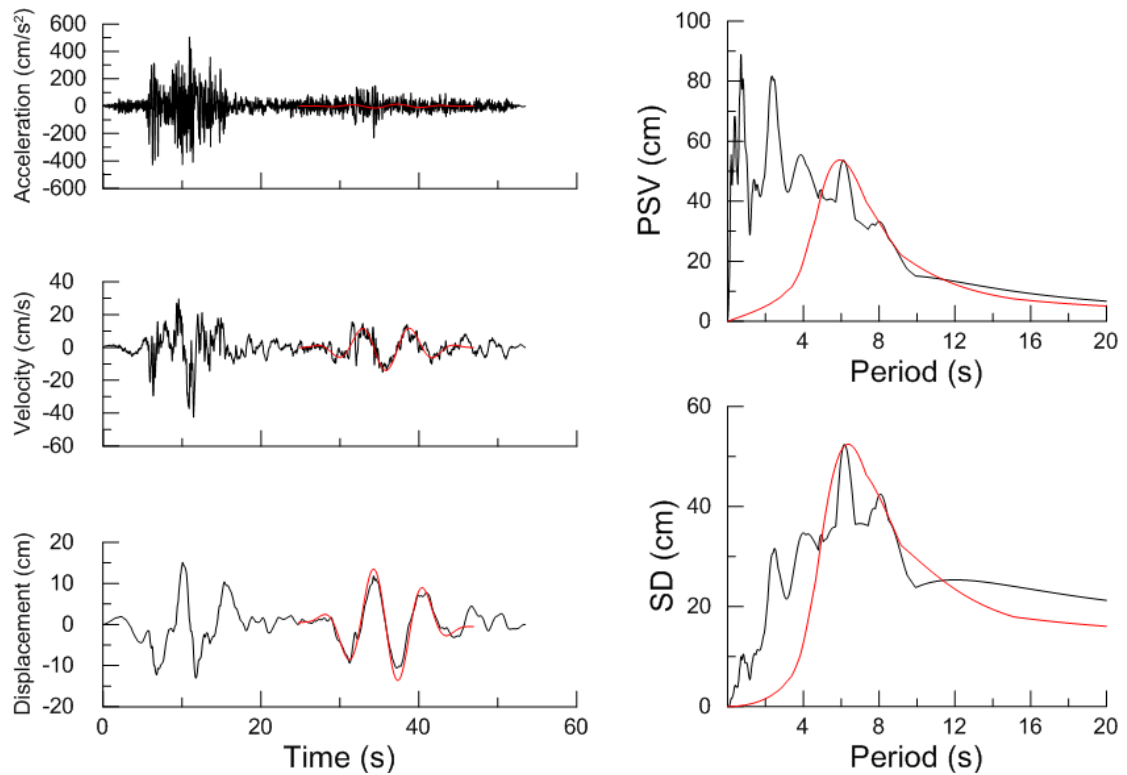
Χρονοϊστορίες και φάσματα της σεισμικής καταγραφής 778T της βάσης NGA



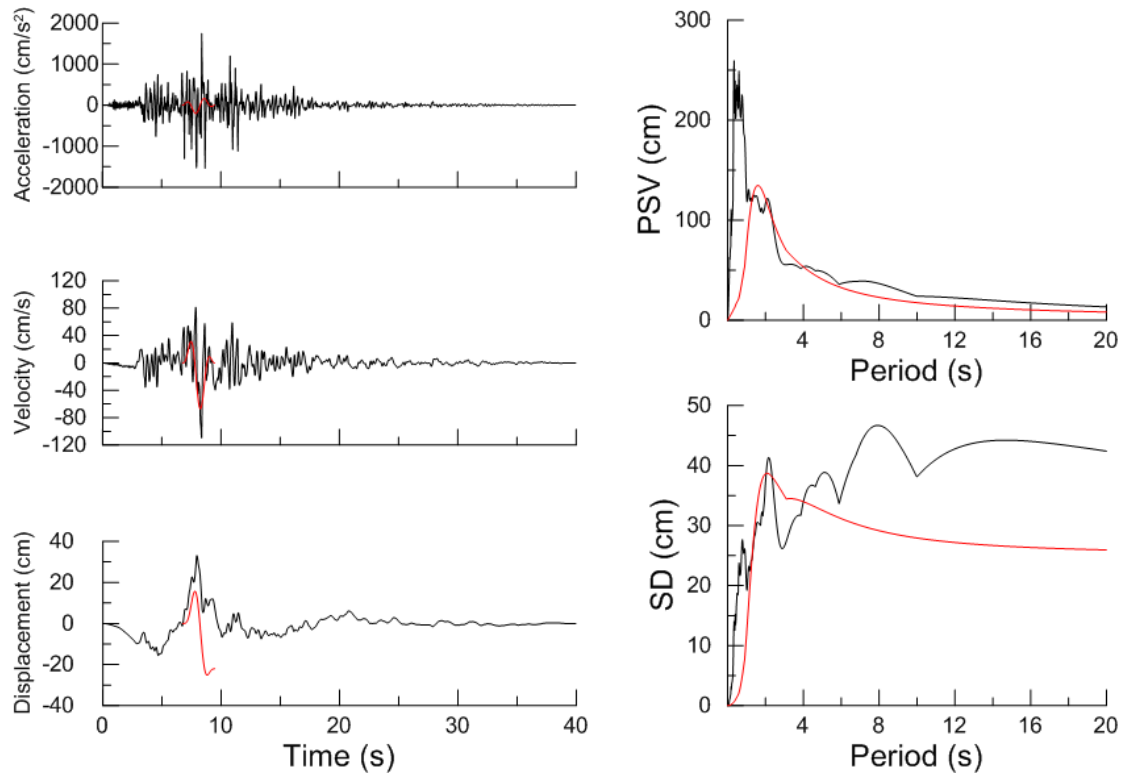
Χρονοϊστορίες και φάσματα της σεισμικής καταγραφής 1513T της βάσης NGA



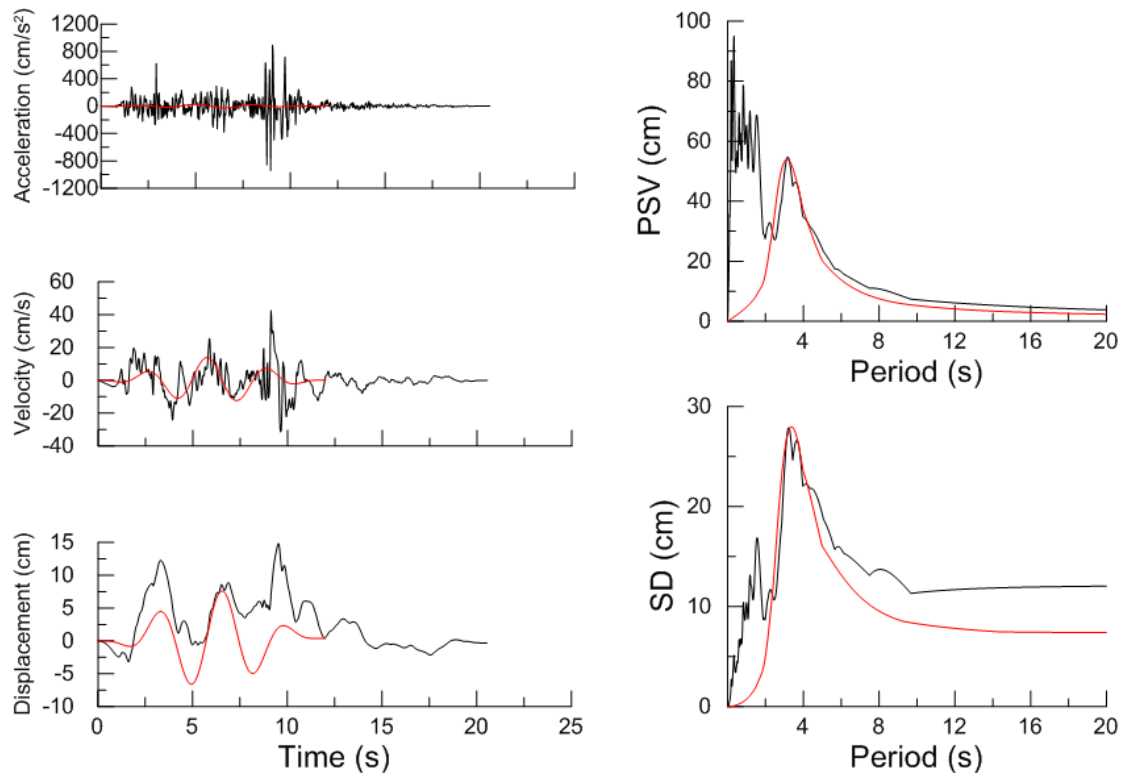
Χρονοϊστορίες και φάσματα της σεισμικής καταγραφής 1495L της βάσης NGA



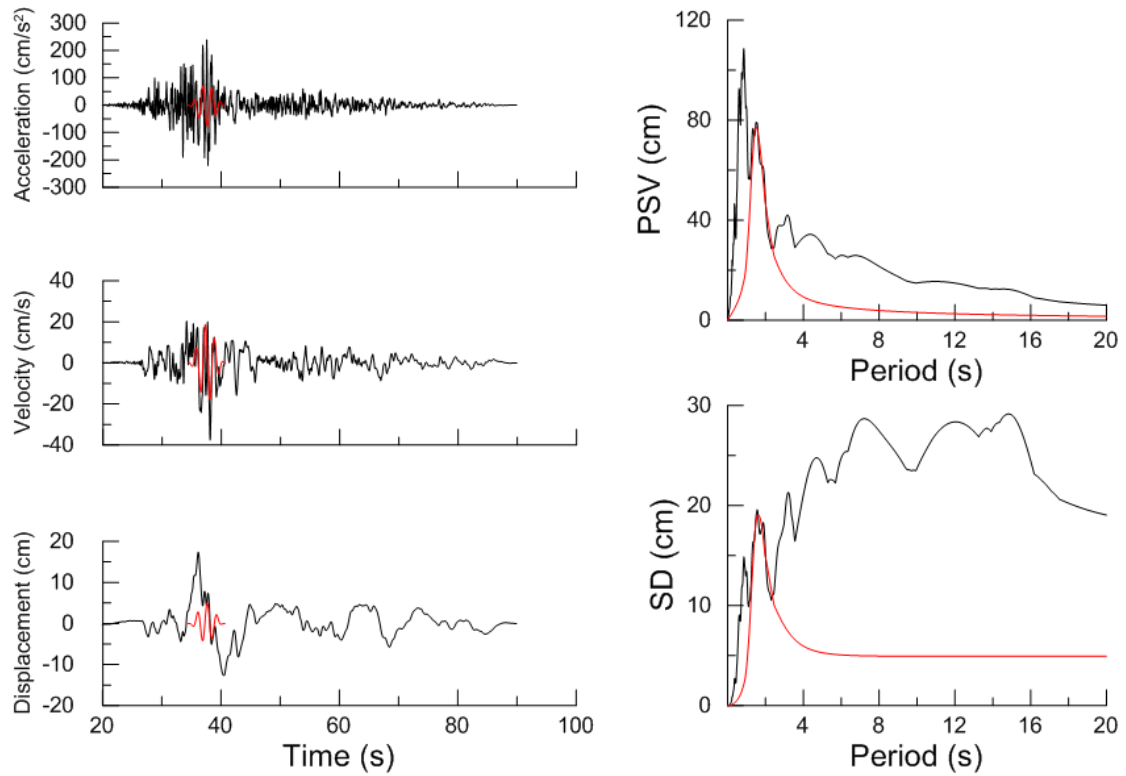
Χρονοϊστορίες και φάσματα της σεισμικής καταγραφής 1633L της βάσης NGA



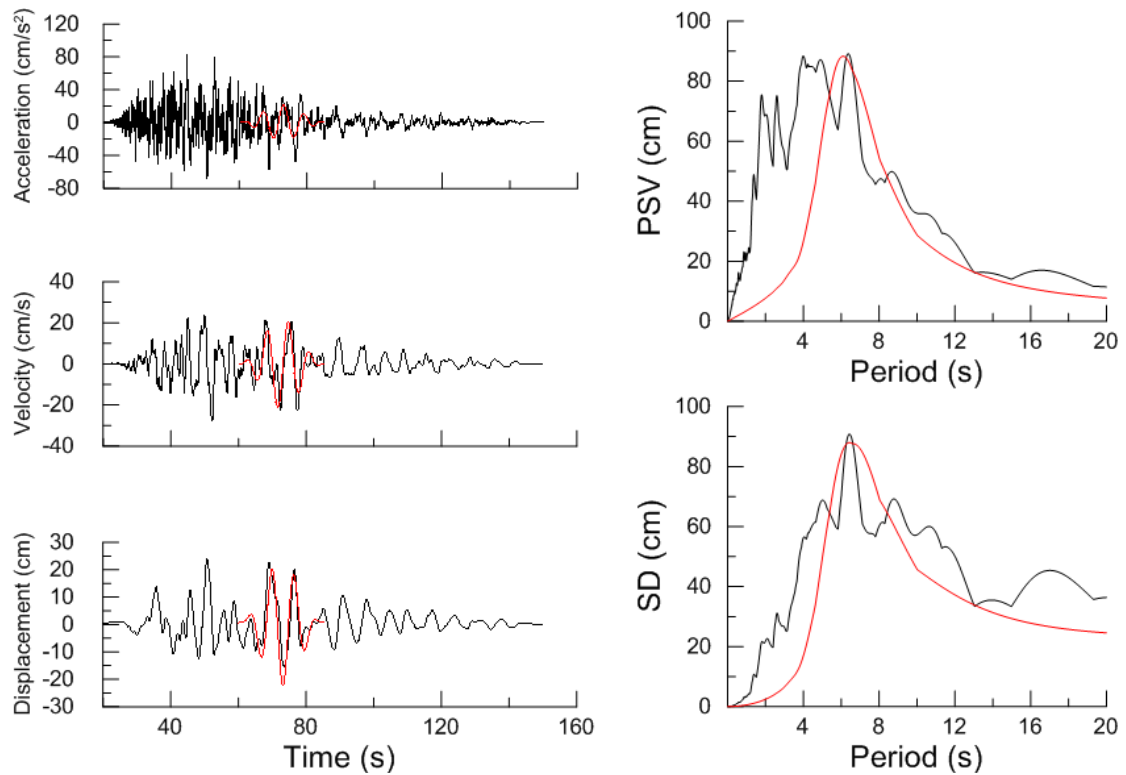
Χρονοϊστορίες και φάσματα της σεισμικής καταγραφής 1087L της βάσης NGA



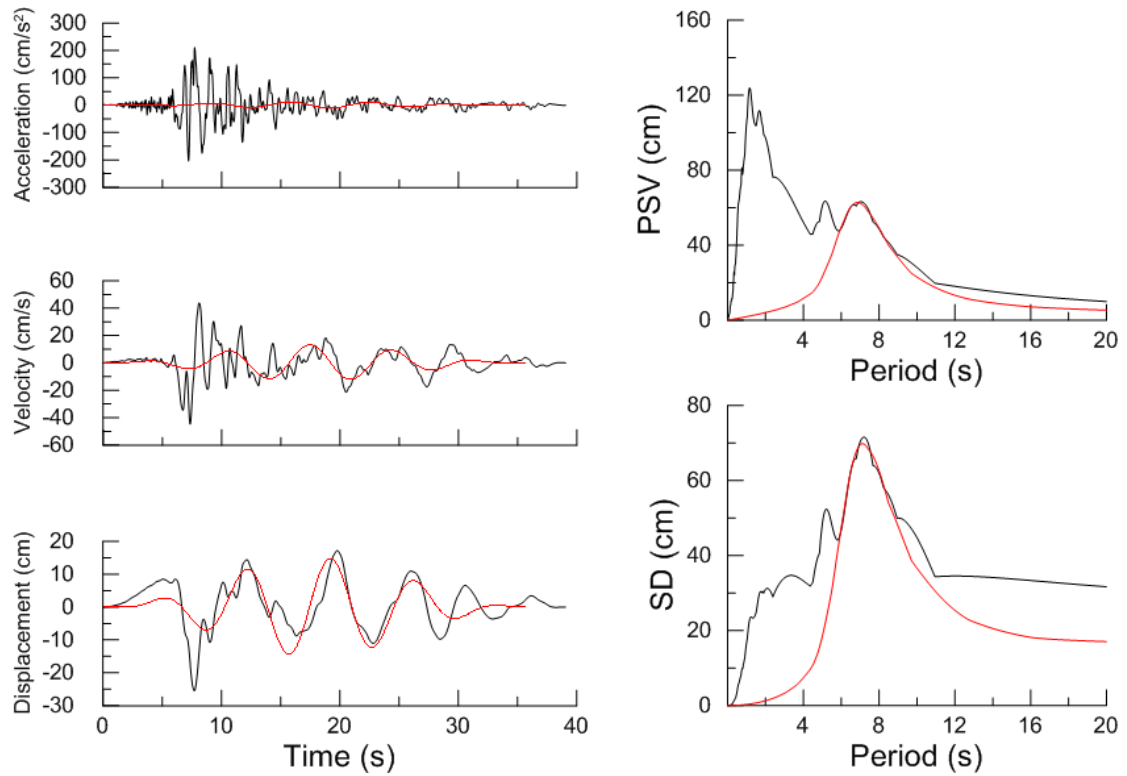
Χρονοϊστορίες και φάσματα της σεισμικής καταγραφής 495L της βάσης NGA



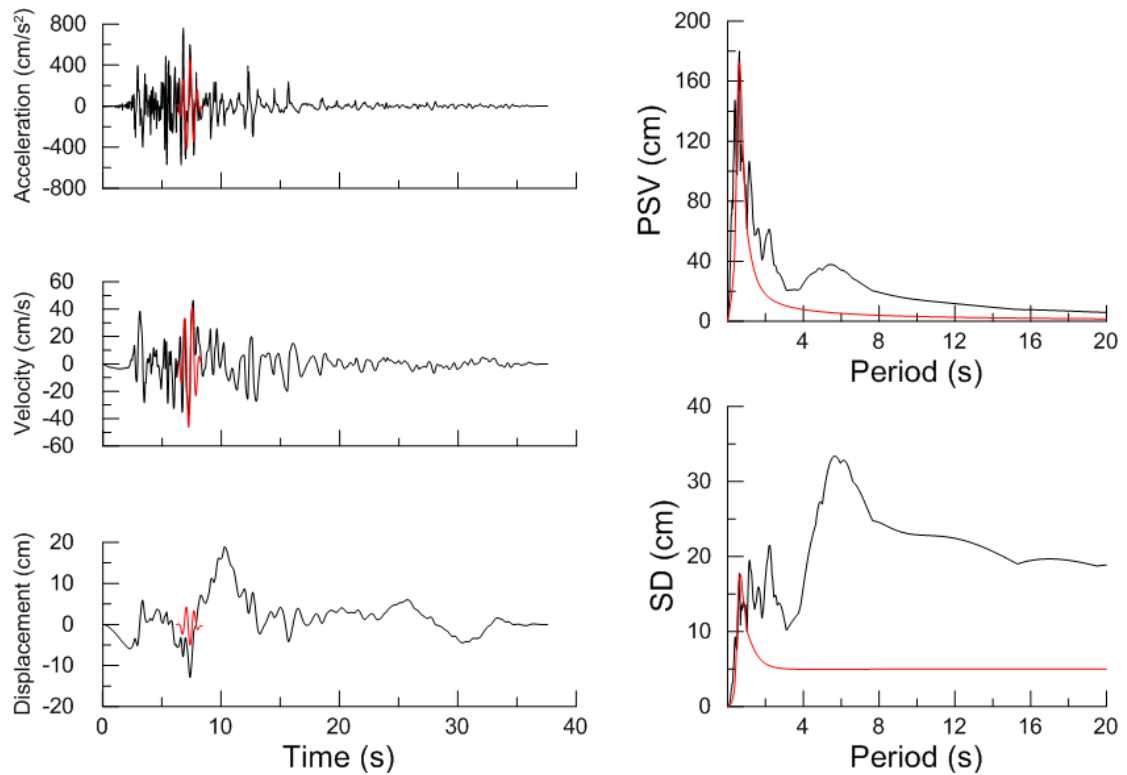
Χρονοϊστορίες και φάσματα της σεισμικής καταγραφής 1202T της βάσης NGA



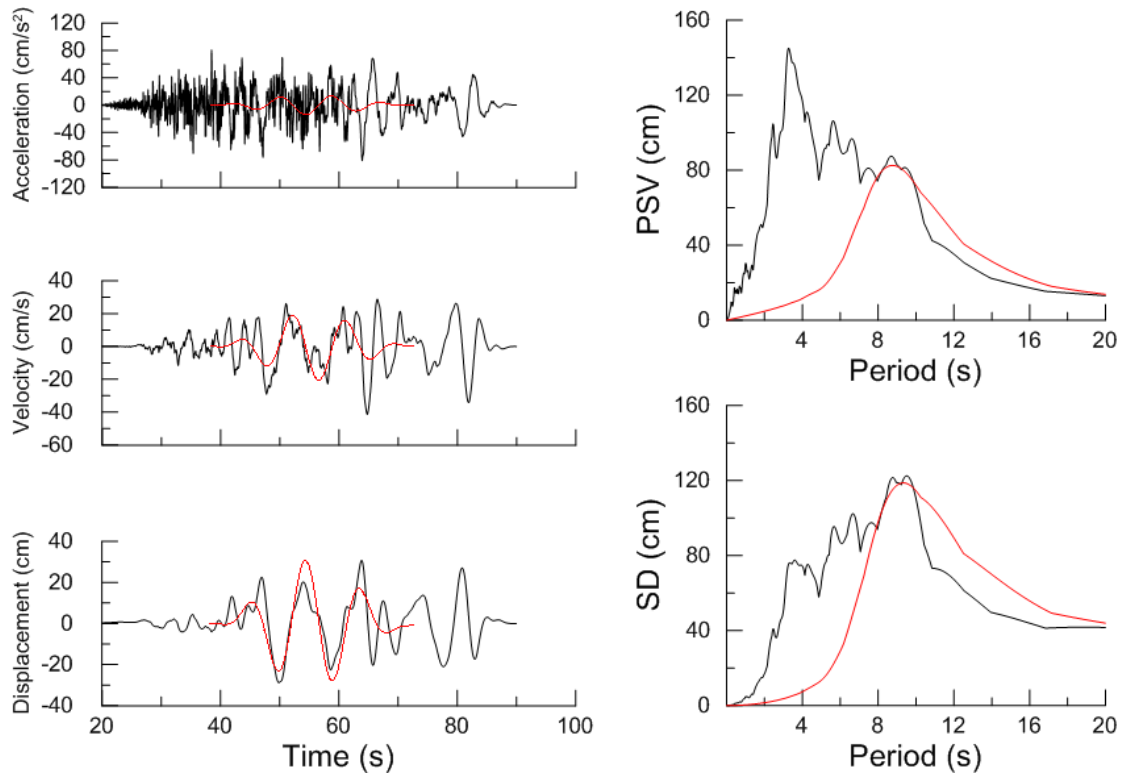
Χρονοϊστορίες και φάσματα της σεισμικής καταγραφής 1553L της βάσης NGA



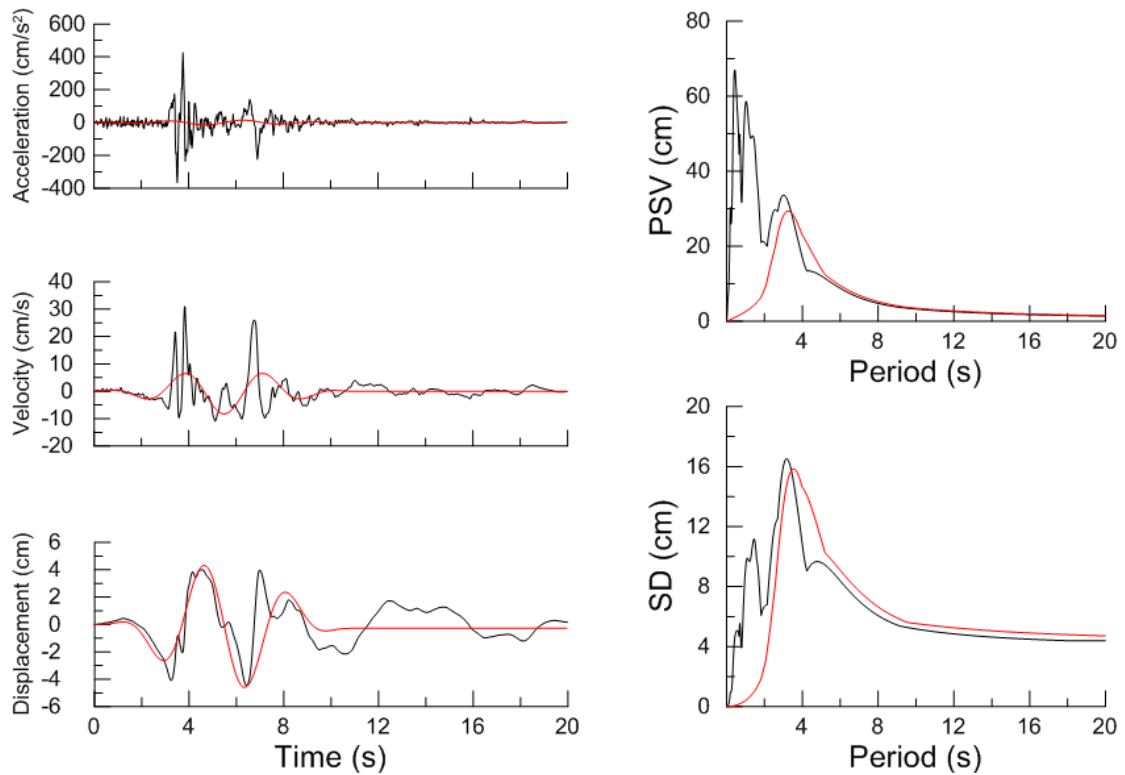
Χρονοϊστορίες και φάσματα της σεισμικής καταγραφής 777T της βάσης NGA



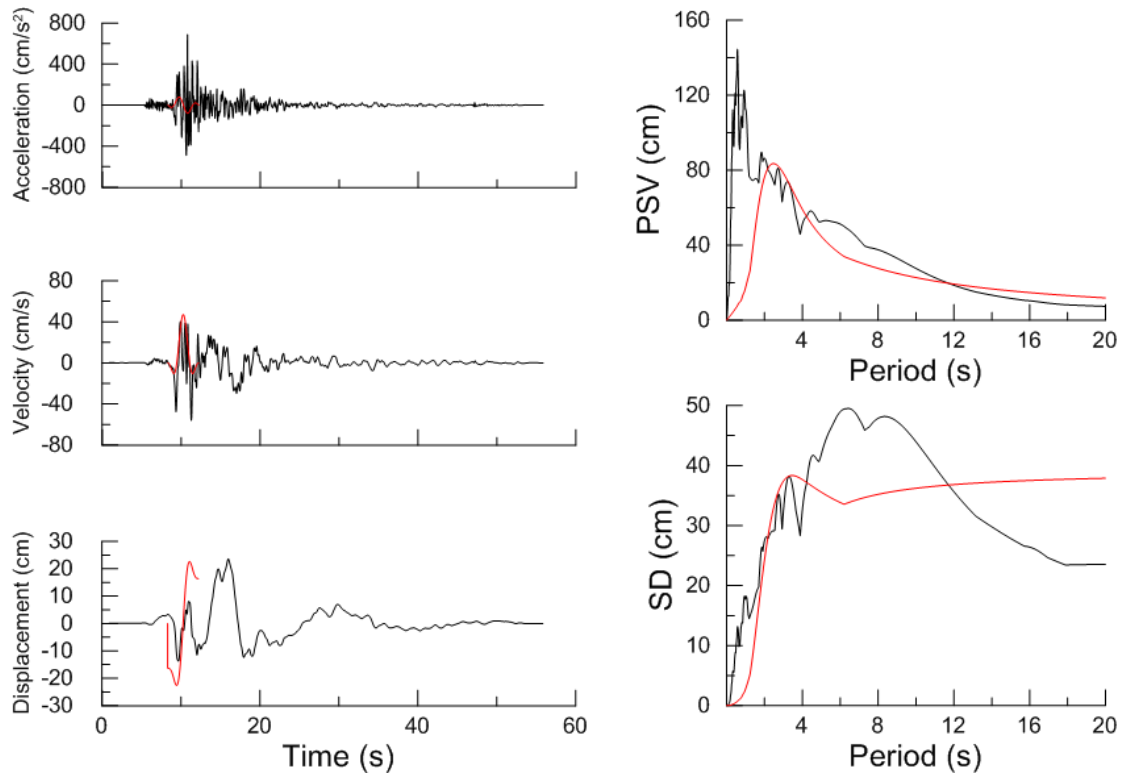
Χρονοϊστορίες και φάσματα της σεισμικής καταγραφής 160T της βάσης NGA



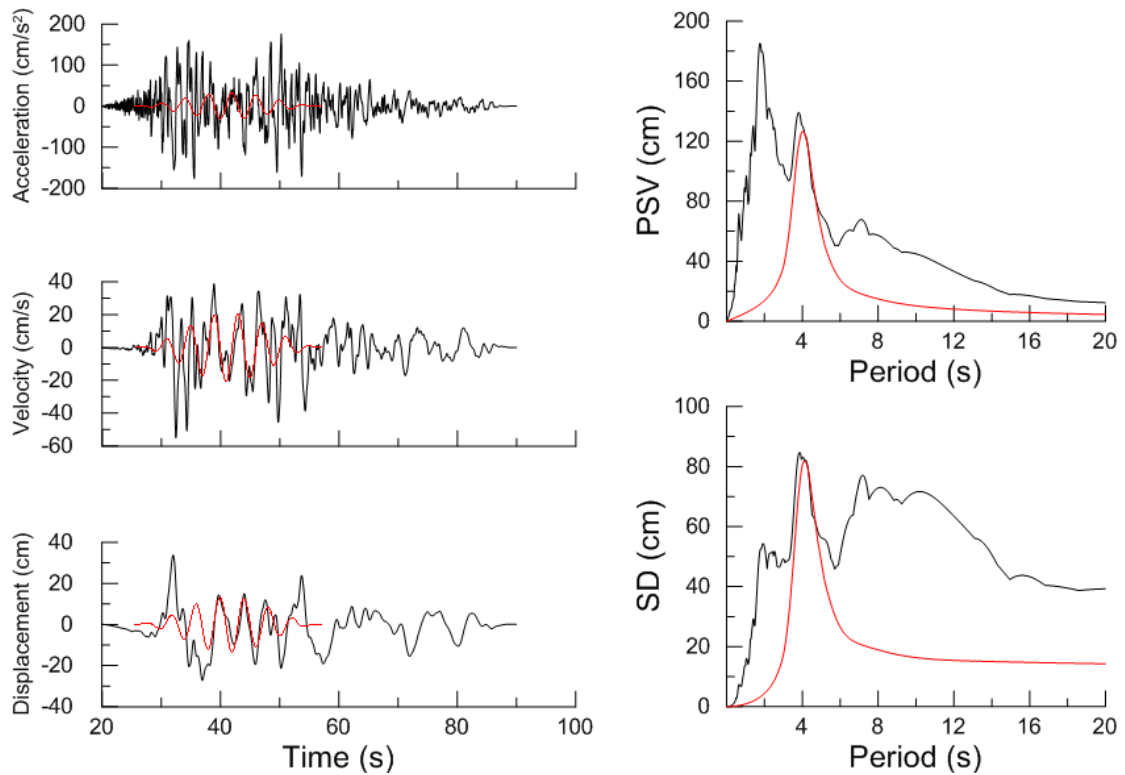
Χρονοϊστορίες και φάσματα της σεισμικής καταγραφής 1538L της βάσης NGA



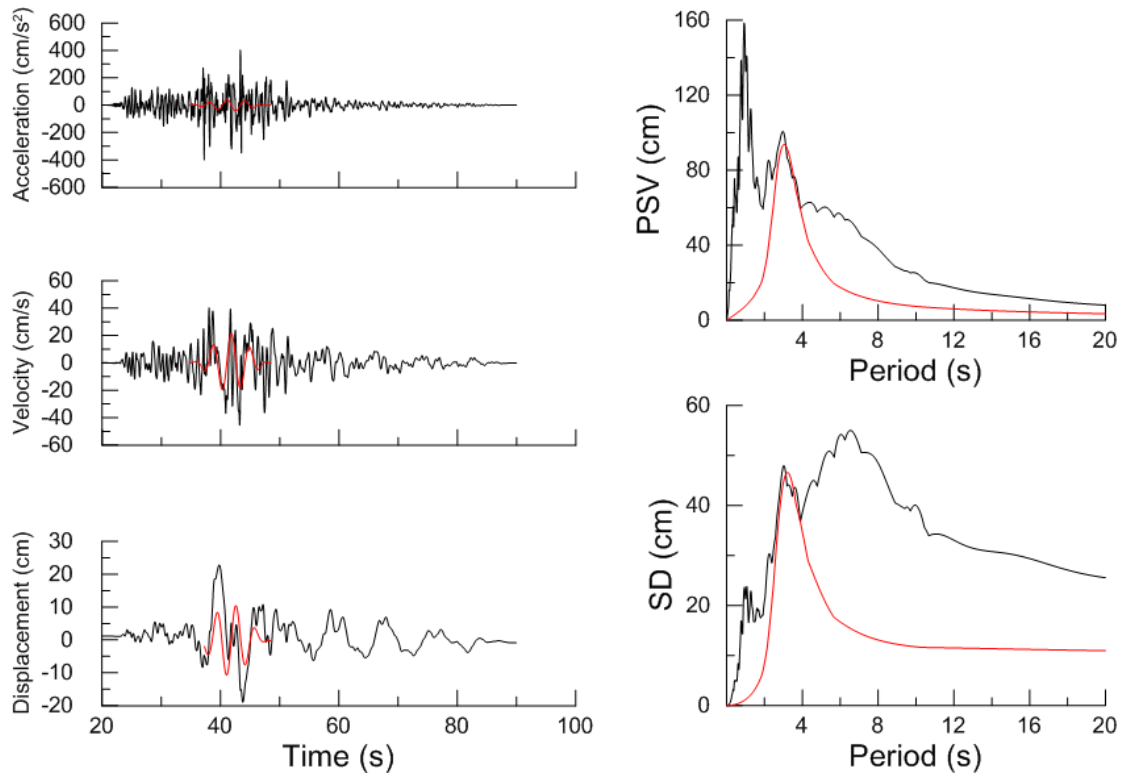
Χρονοϊστορίες και φάσματα της σεισμικής καταγραφής 1050T της βάσης NGA



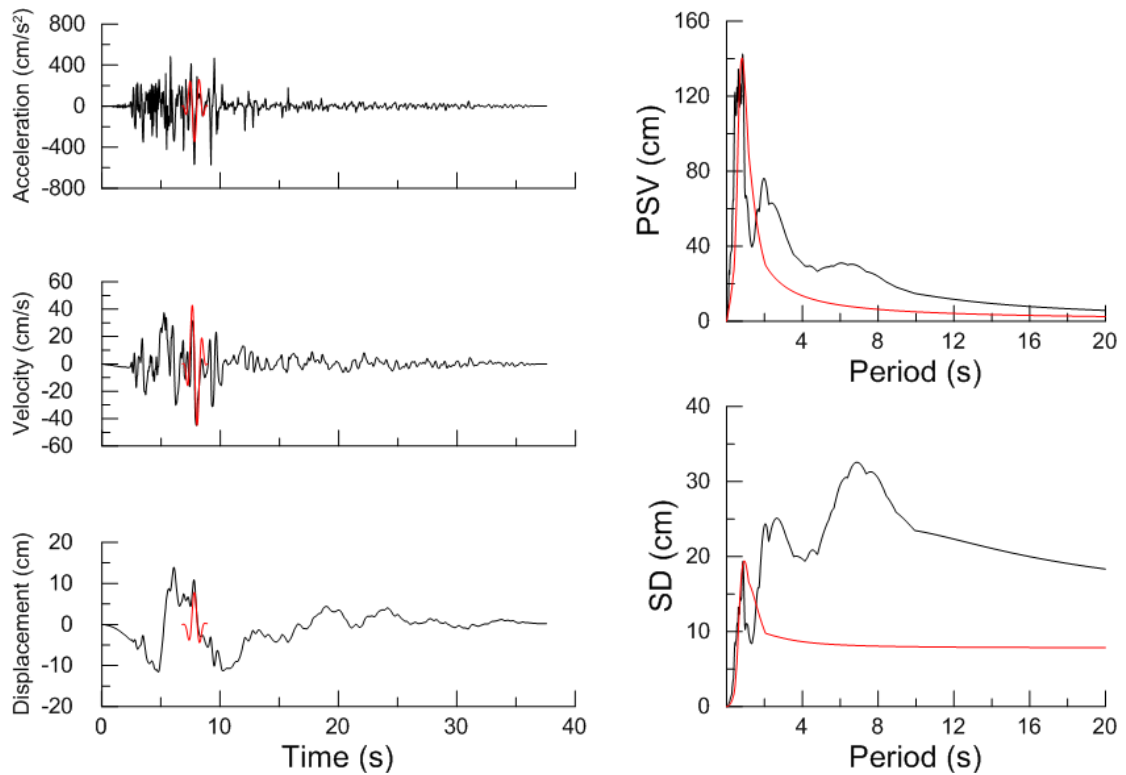
Χρονοϊστορίες και φάσματα της σεισμικής καταγραφής 1602L της βάσης NGA



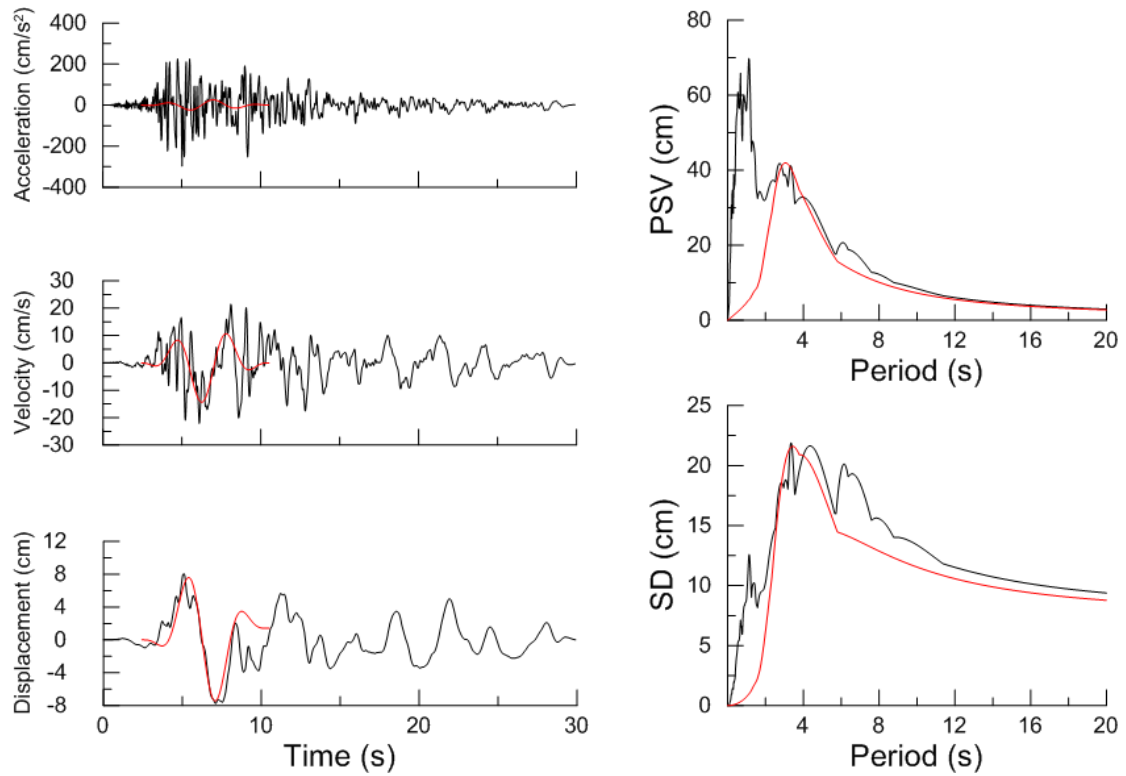
Χρονοϊστορίες και φάσματα της σεισμικής καταγραφής 1536T της βάσης NGA



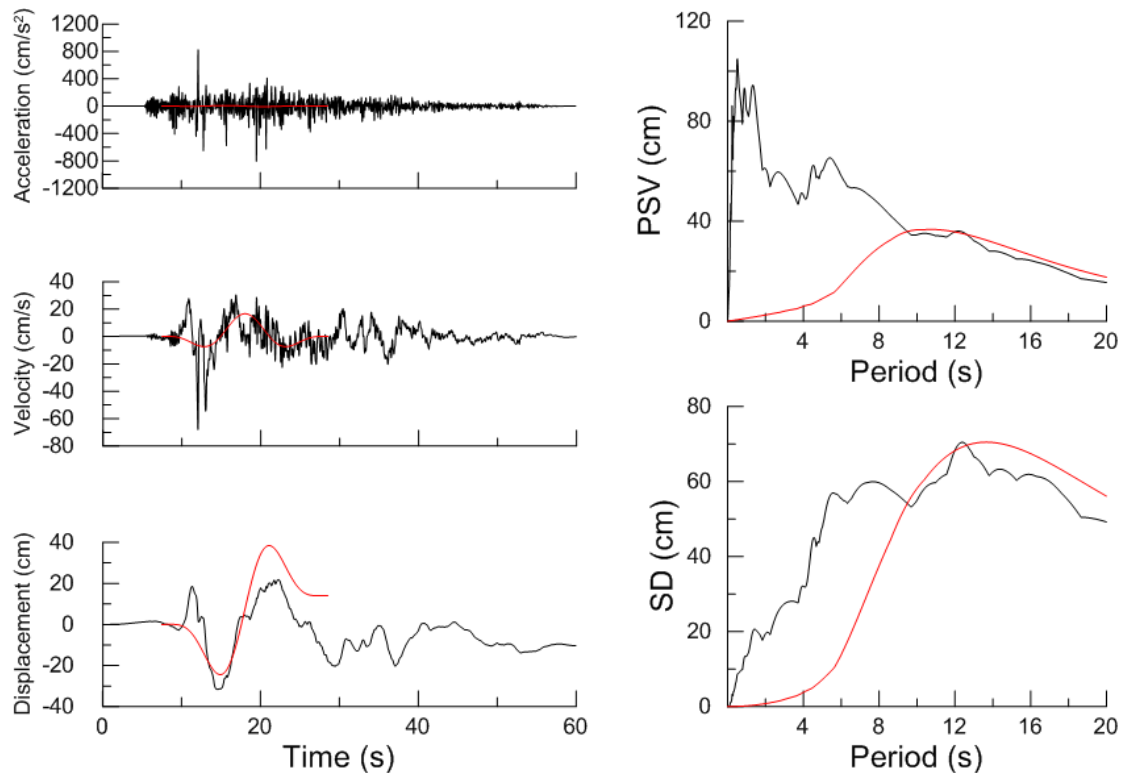
Χρονοϊστορίες και φάσματα της σεισμικής καταγραφής 1517T της βάσης NGA



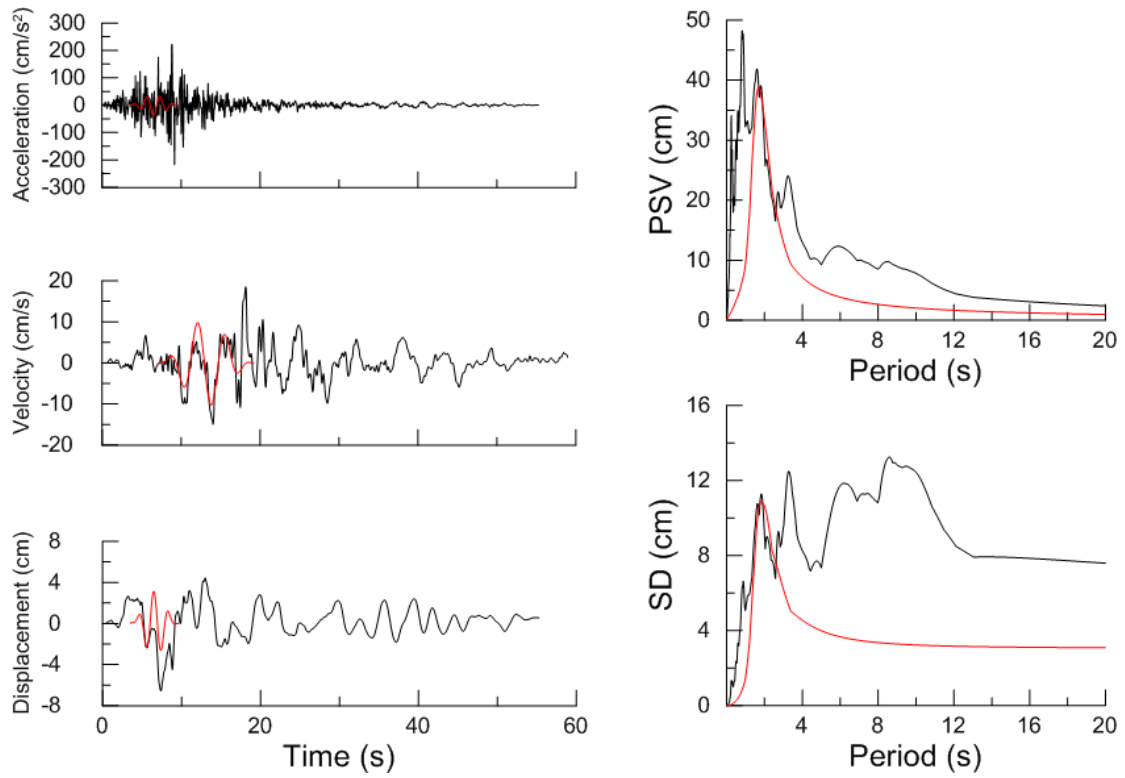
Χρονοϊστορίες και φάσματα της σεισμικής καταγραφής 160L της βάσης NGA



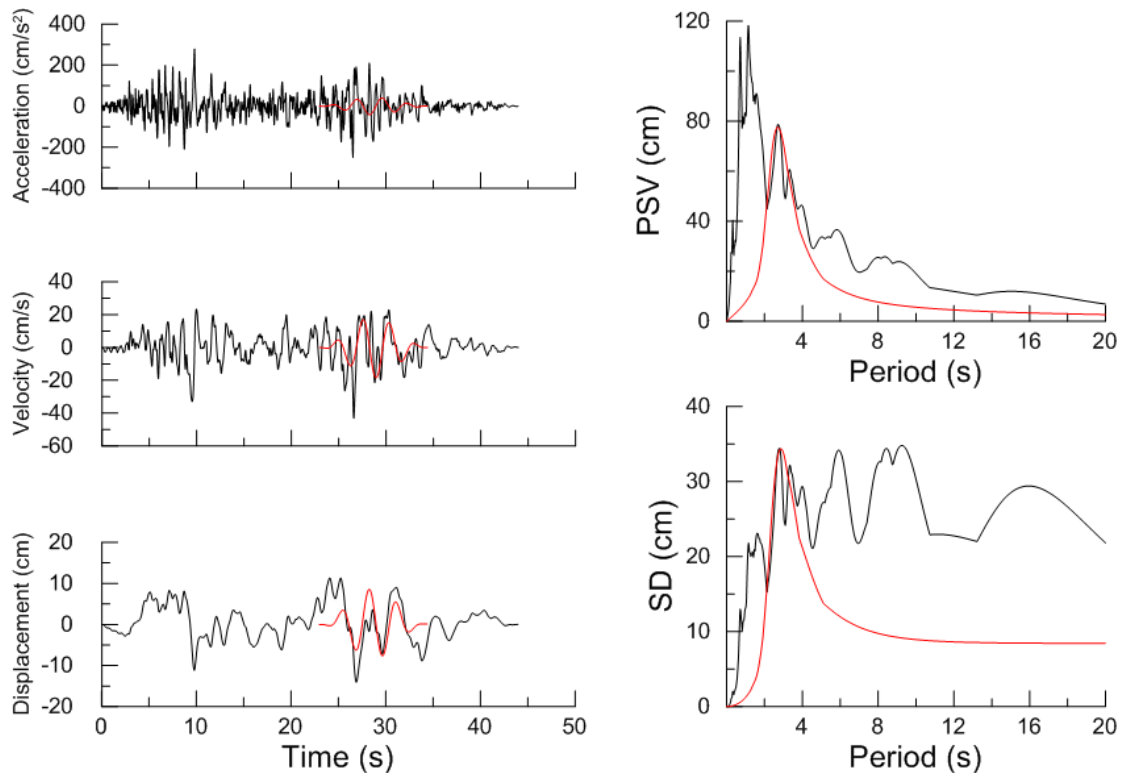
Χρονοϊστορίες και φάσματα της σεισμικής καταγραφής 1082L της βάσης NGA



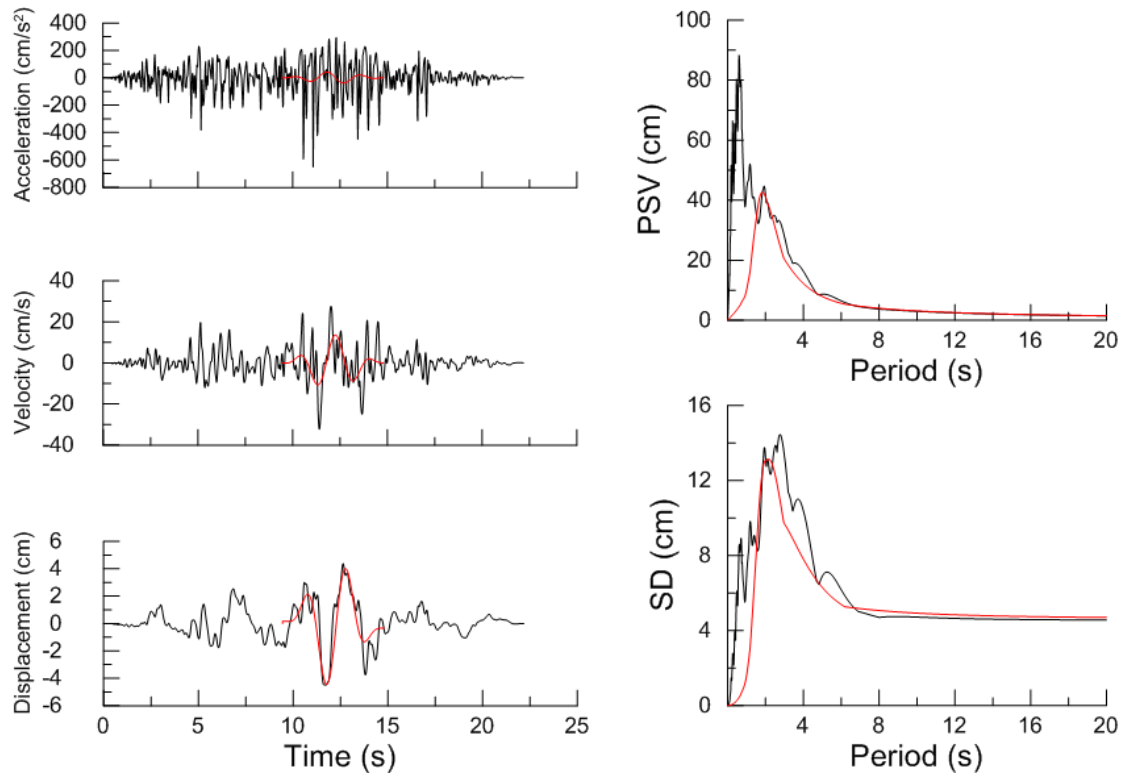
Χρονοϊστορίες και φάσματα της σεισμικής καταγραφής 1596L της βάσης NGA



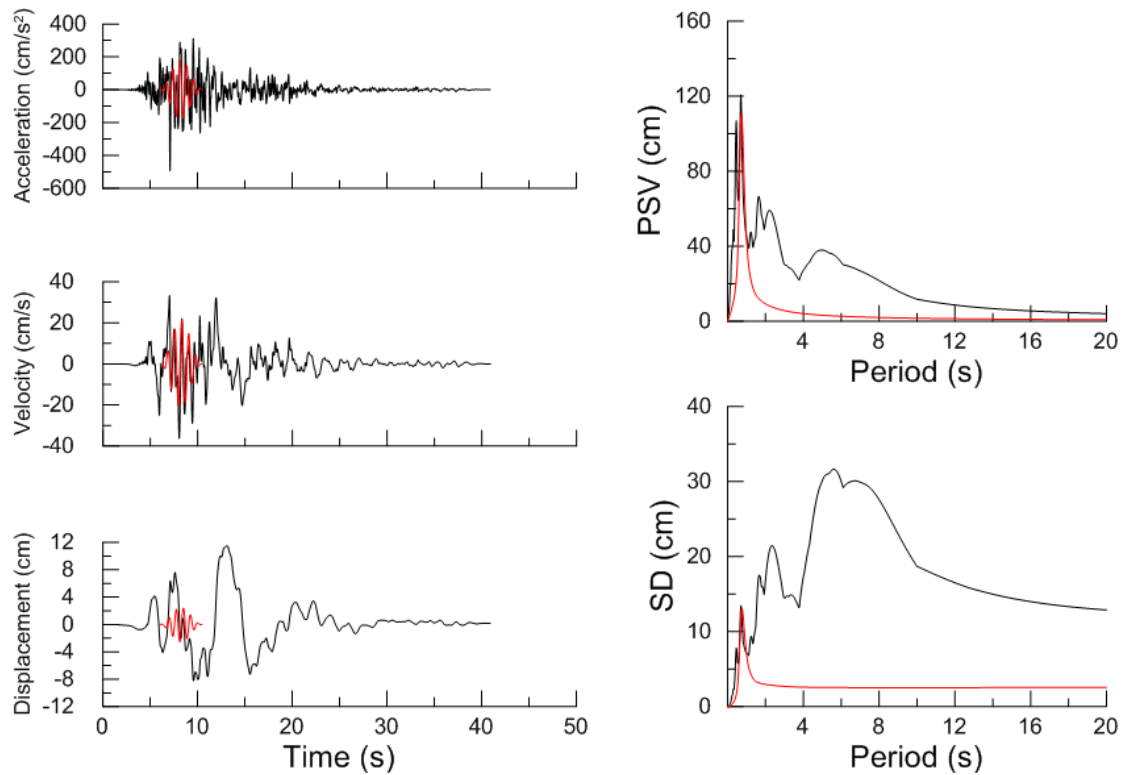
Χρονοϊστορίες και φάσματα της σεισμικής καταγραφής 1009L της βάσης NGA



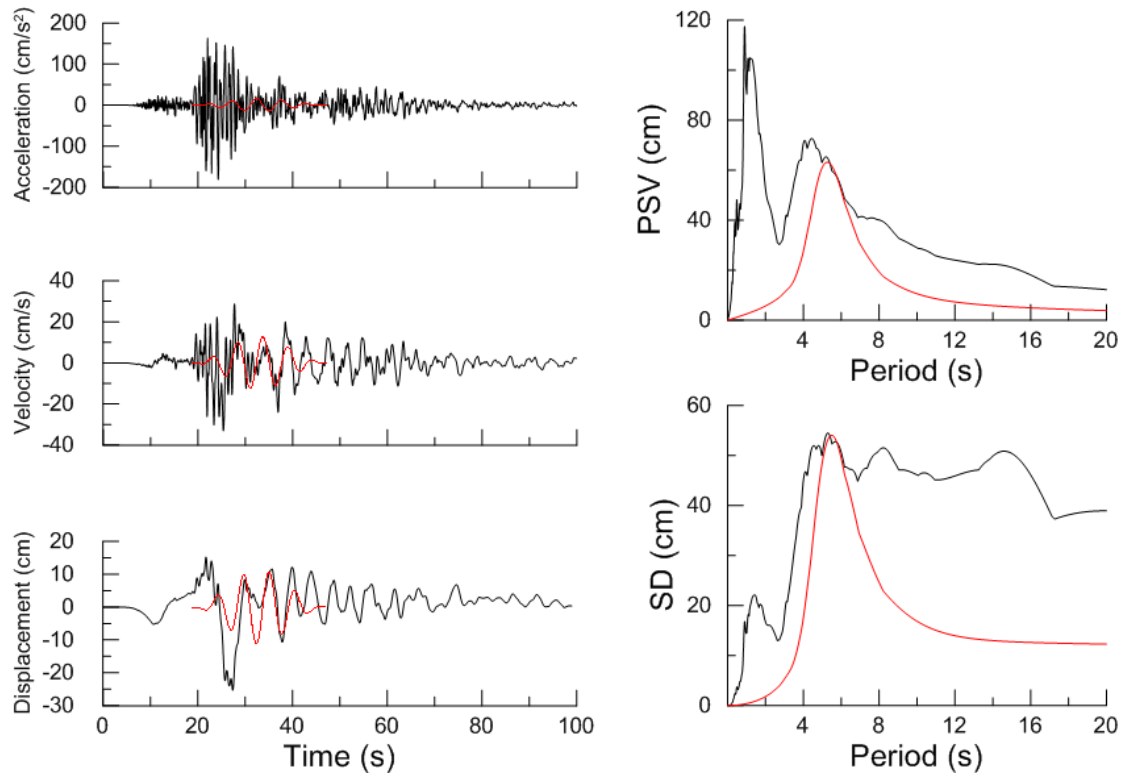
Χρονοϊστορίες και φάσματα της σεισμικής καταγραφής 864T της βάσης NGA



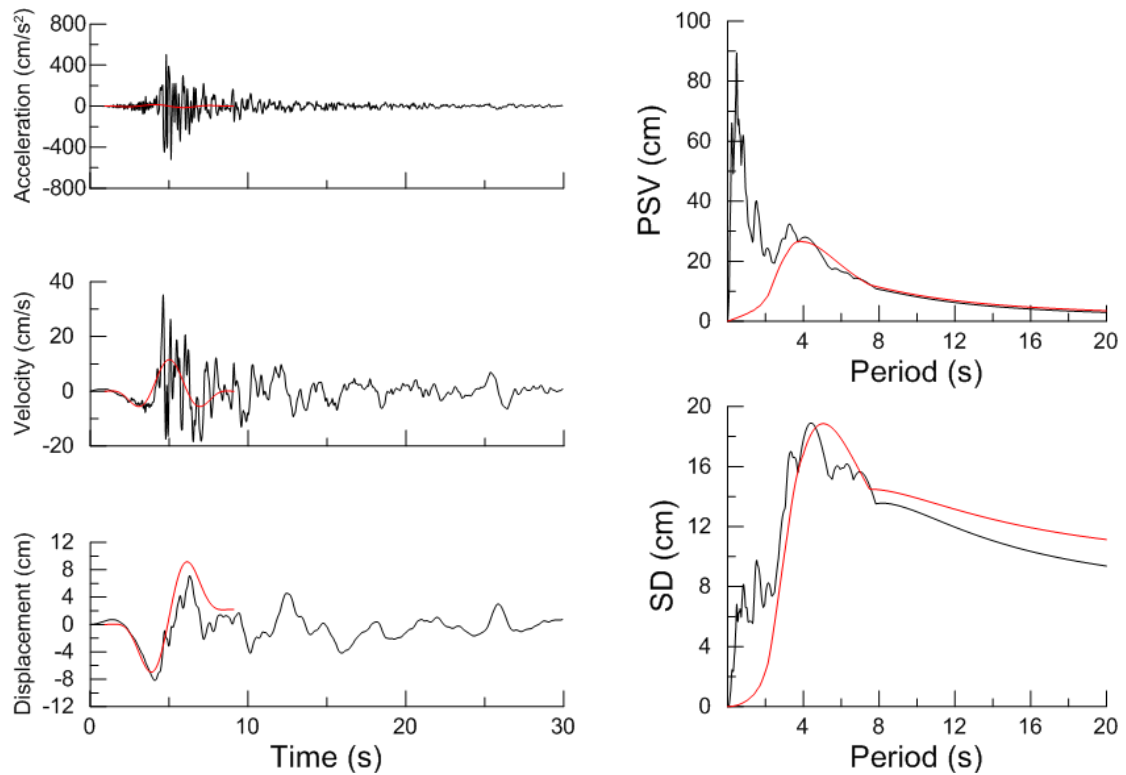
Χρονοϊστορίες και φάσματα της σεισμικής καταγραφής 727L της βάσης NGA



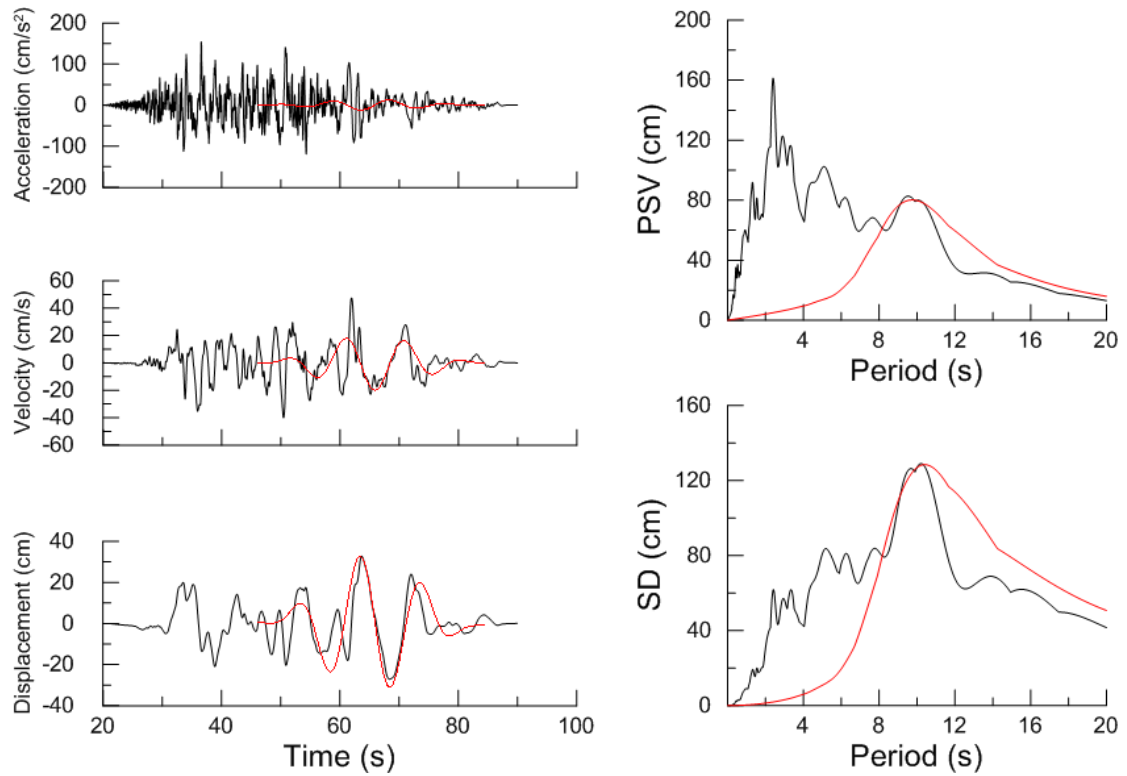
Χρονοϊστορίες και φάσματα της σεισμικής καταγραφής 1111T της βάσης NGA



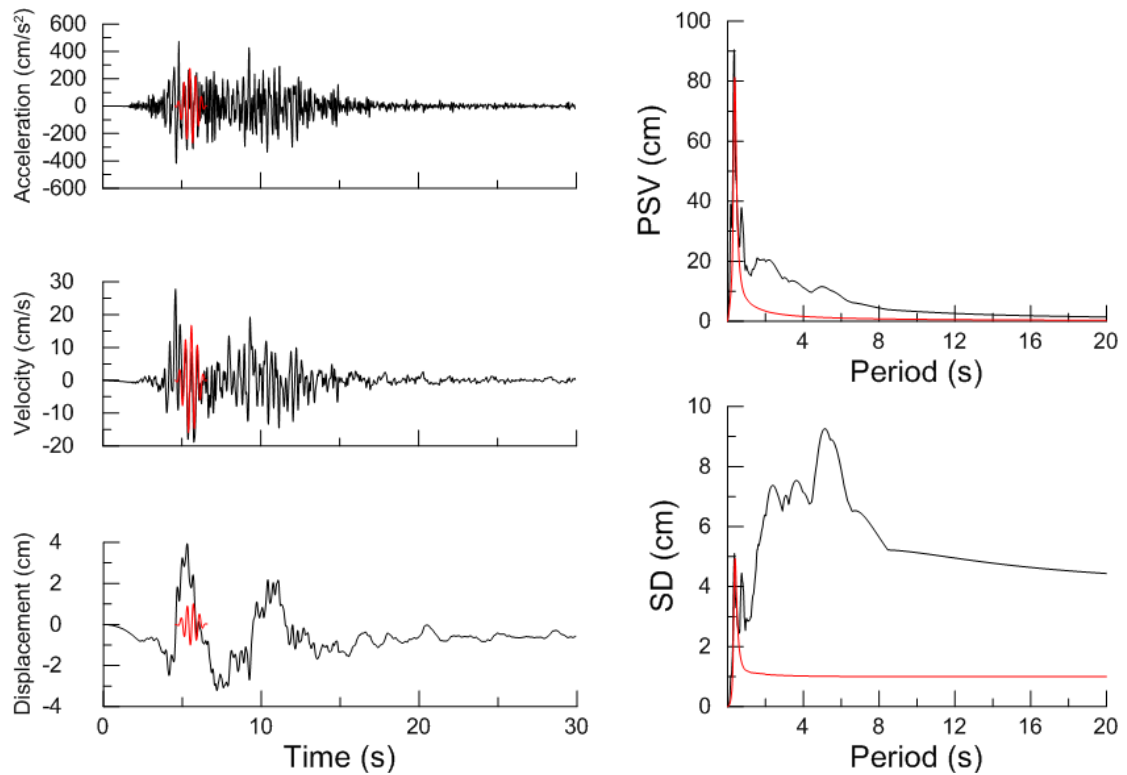
Χρονοϊστορίες και φάσματα της σεισμικής καταγραφής 1147T της βάσης NGA



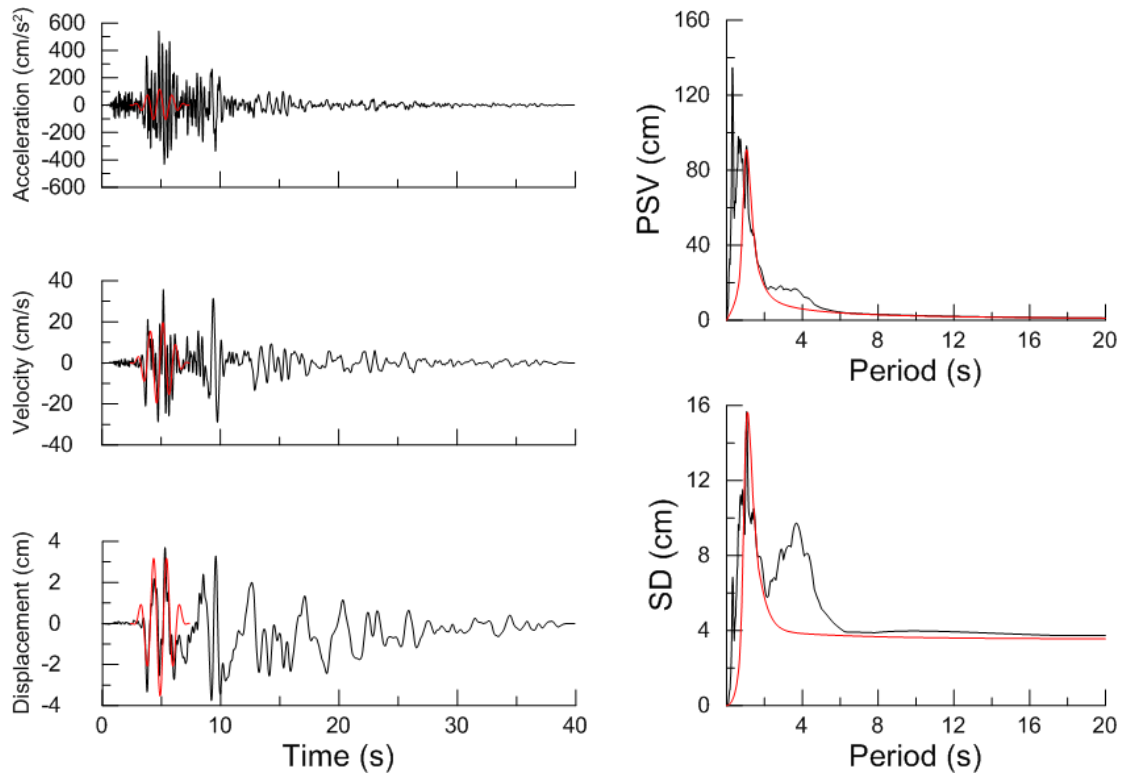
Χρονοϊστορίες και φάσματα της σεισμικής καταγραφής 767L της βάσης NGA



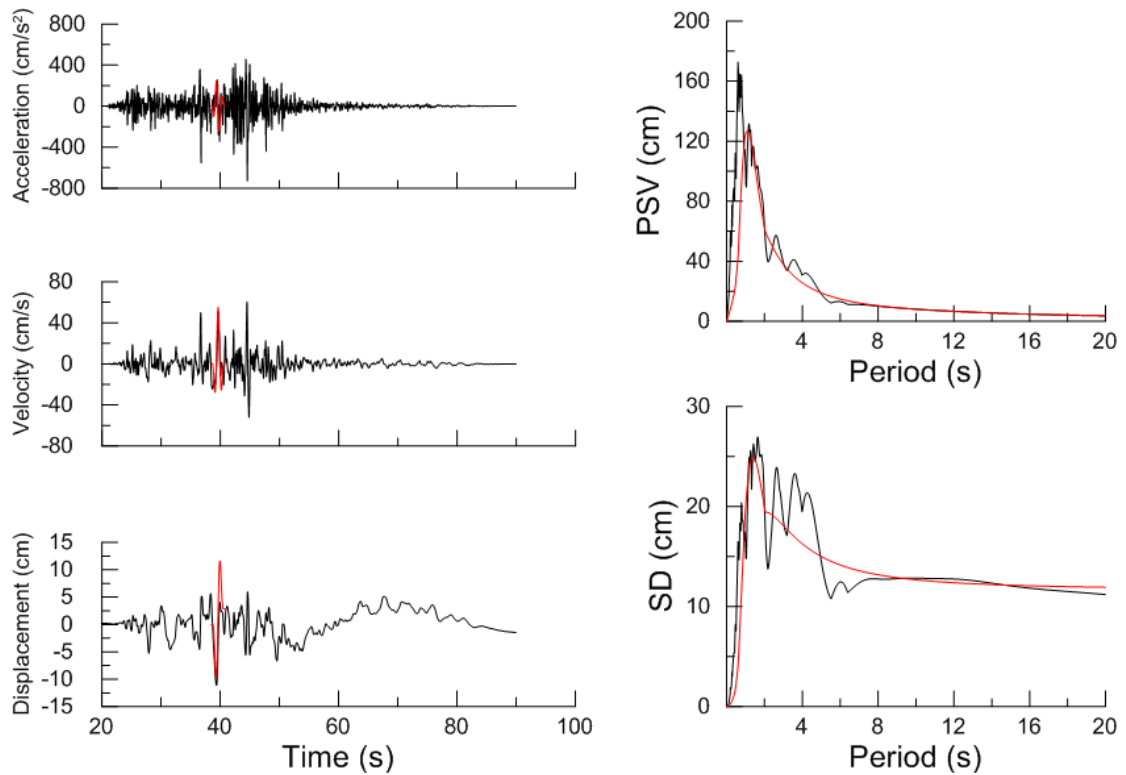
Χρονοϊστορίες και φάσματα της σεισμικής καταγραφής 1534T της βάσης NGA



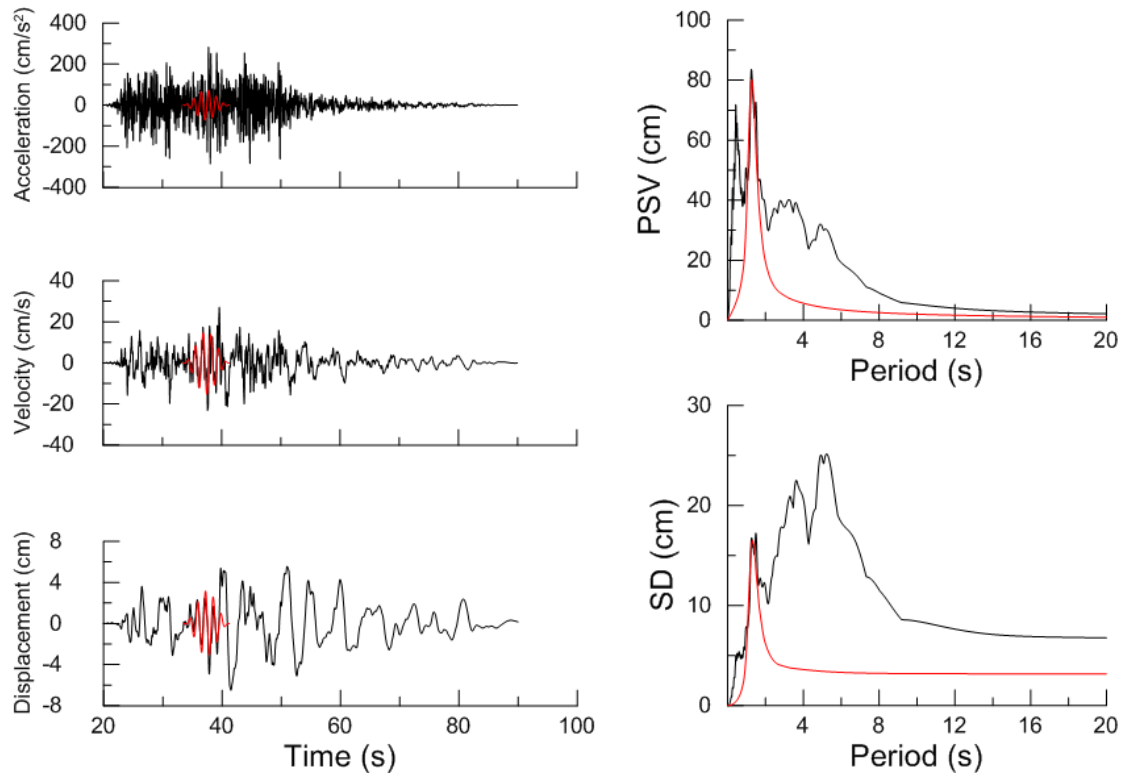
Χρονοϊστορίες και φάσματα της σεισμικής καταγραφής 901T της βάσης NGA



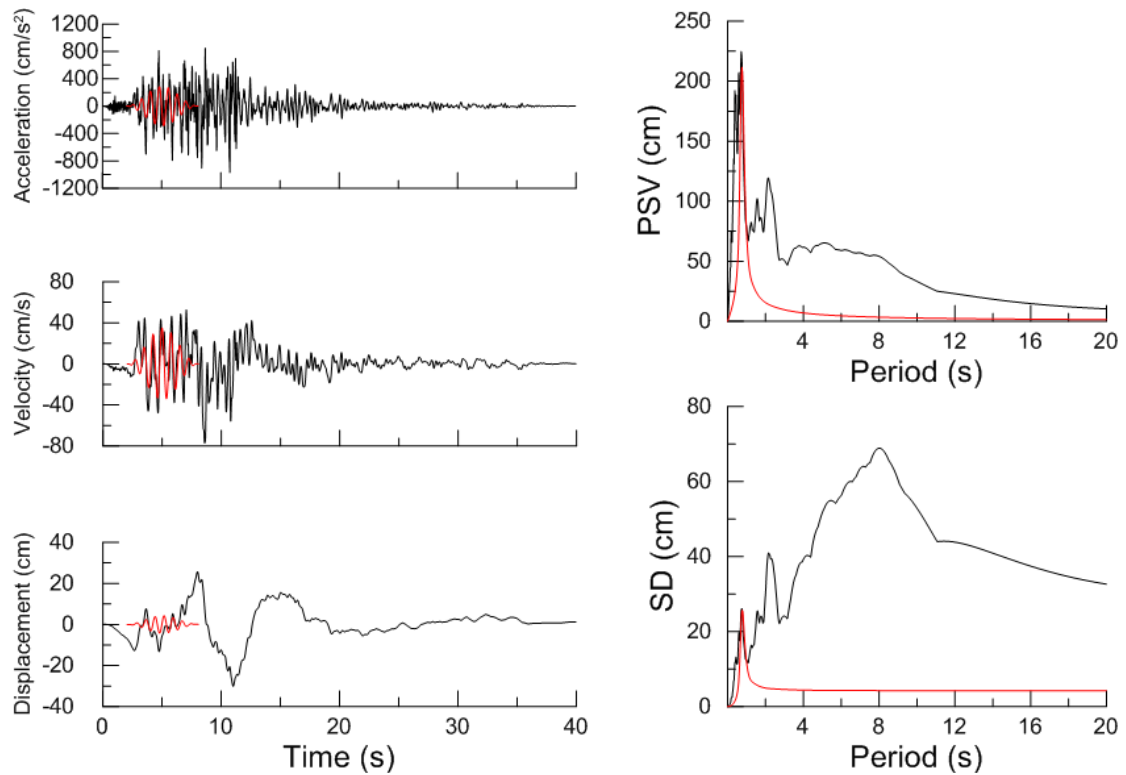
Χρονοϊστορίες και φάσματα της σεισμικής καταγραφής 368T της βάσης NGA



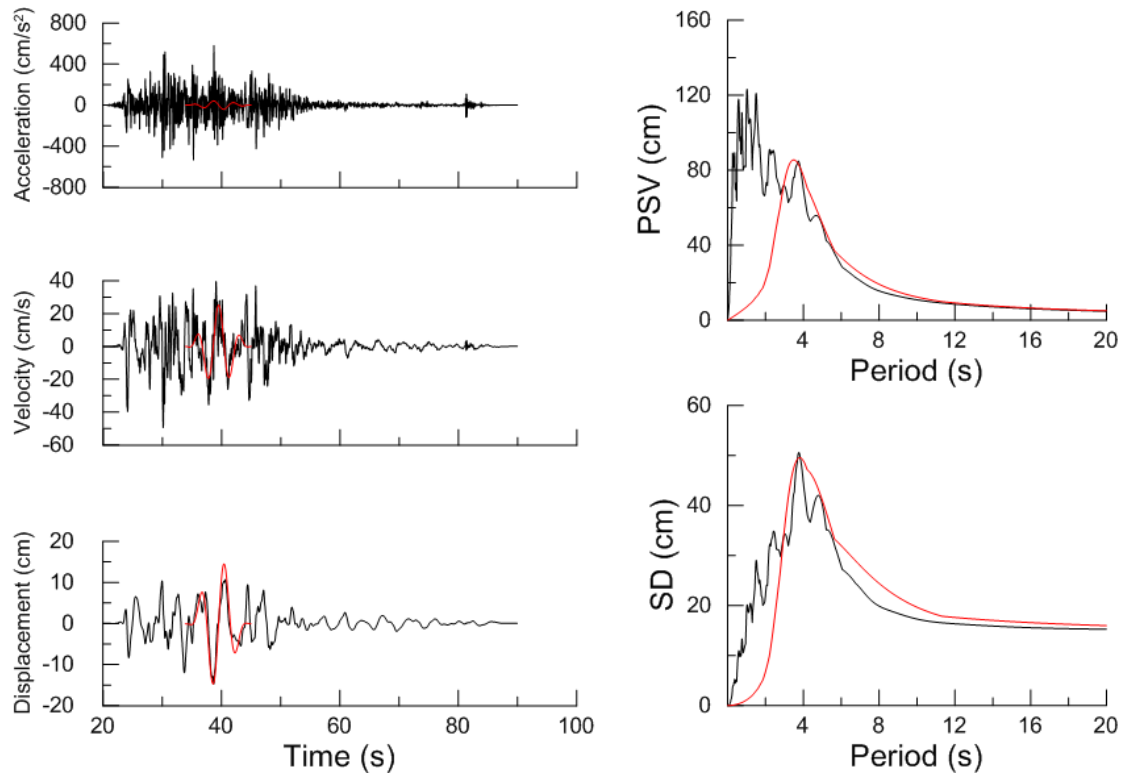
Χρονοϊστορίες και φάσματα της σεισμικής καταγραφής 1513L της βάσης NGA



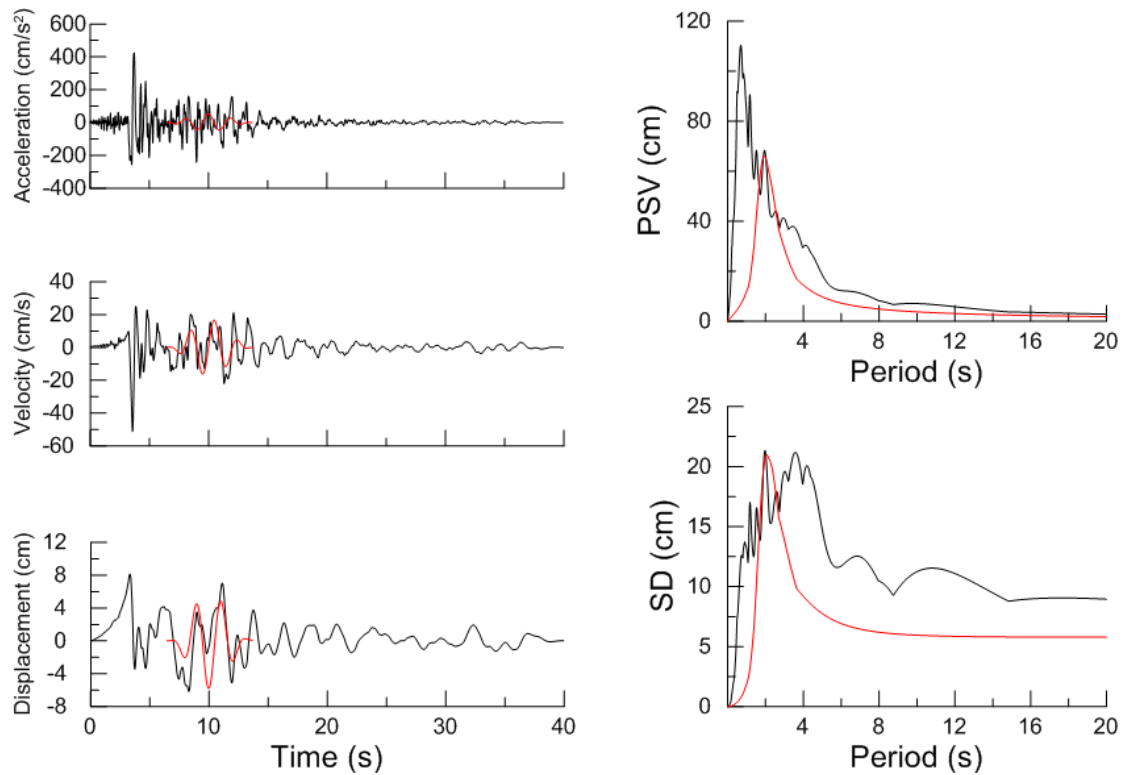
Χρονοϊστορίες και φάσματα της σεισμικής καταγραφής 1512T της βάσης NGA



Χρονοϊστορίες και φάσματα της σεισμικής καταγραφής 1087T της βάσης NGA

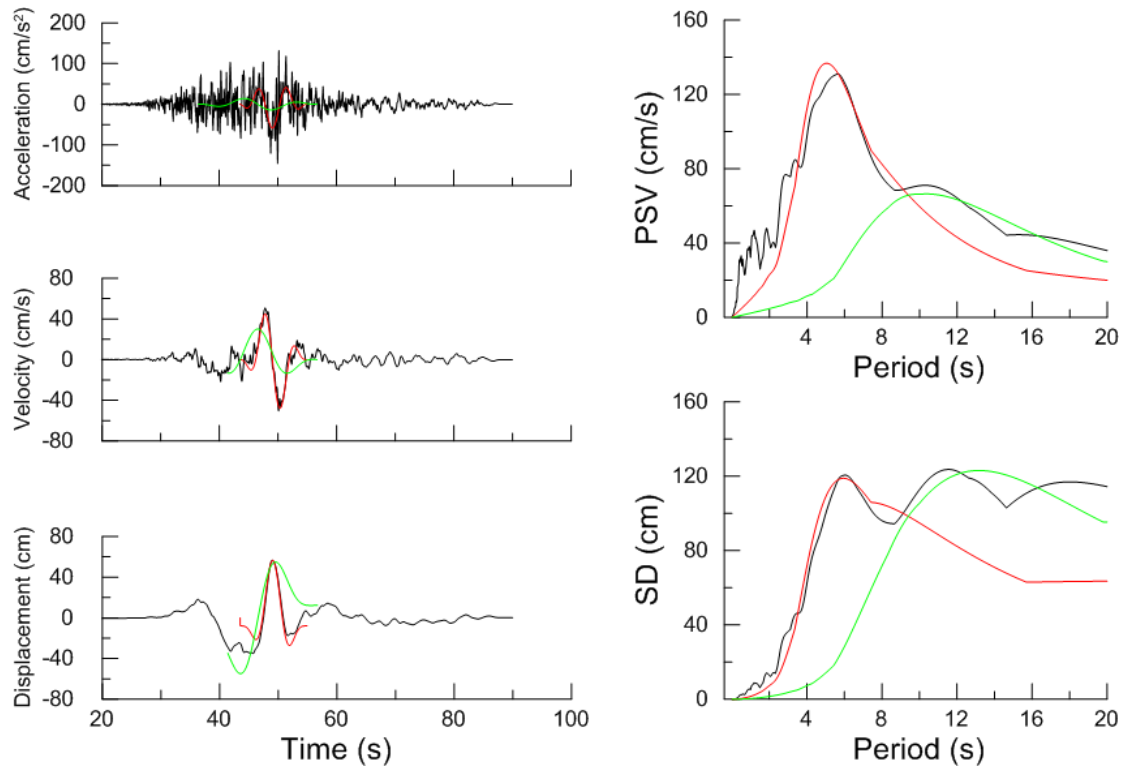


Χρονοϊστορίες και φάσματα της σεισμικής καταγραφής 1507L της βάσης NGA

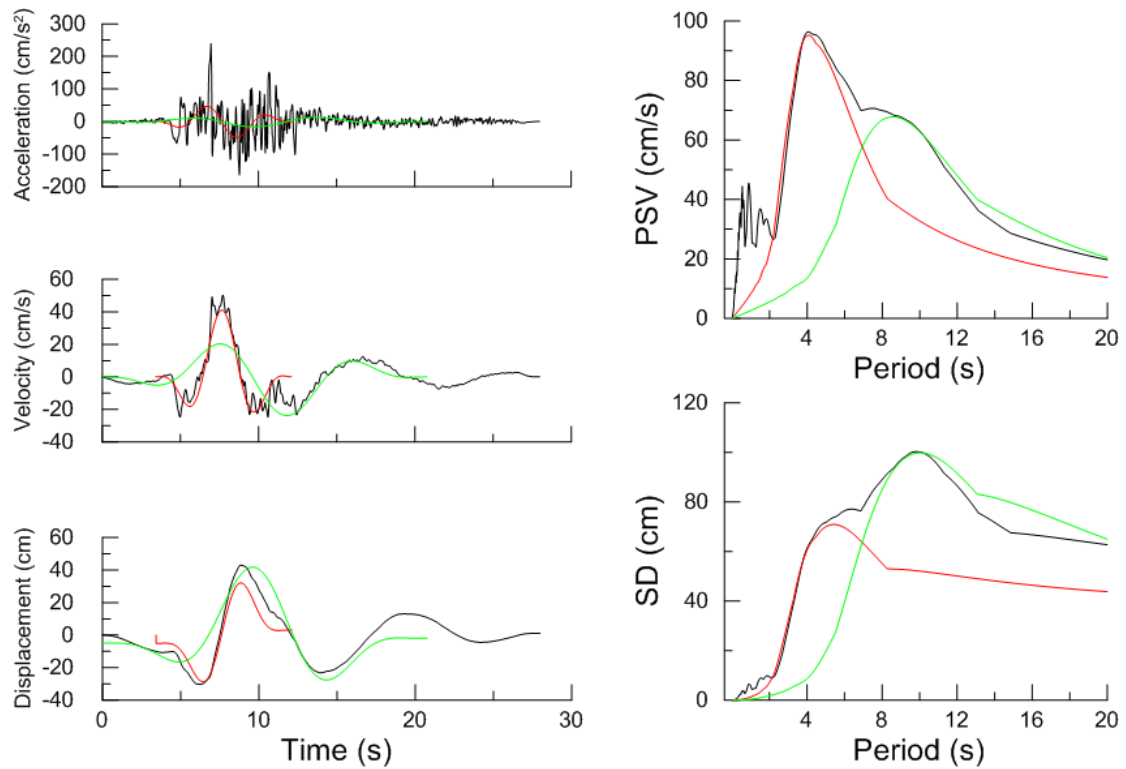


Χρονοϊστορίες και φάσματα της σεισμικής καταγραφής 1052T της βάσης NGA

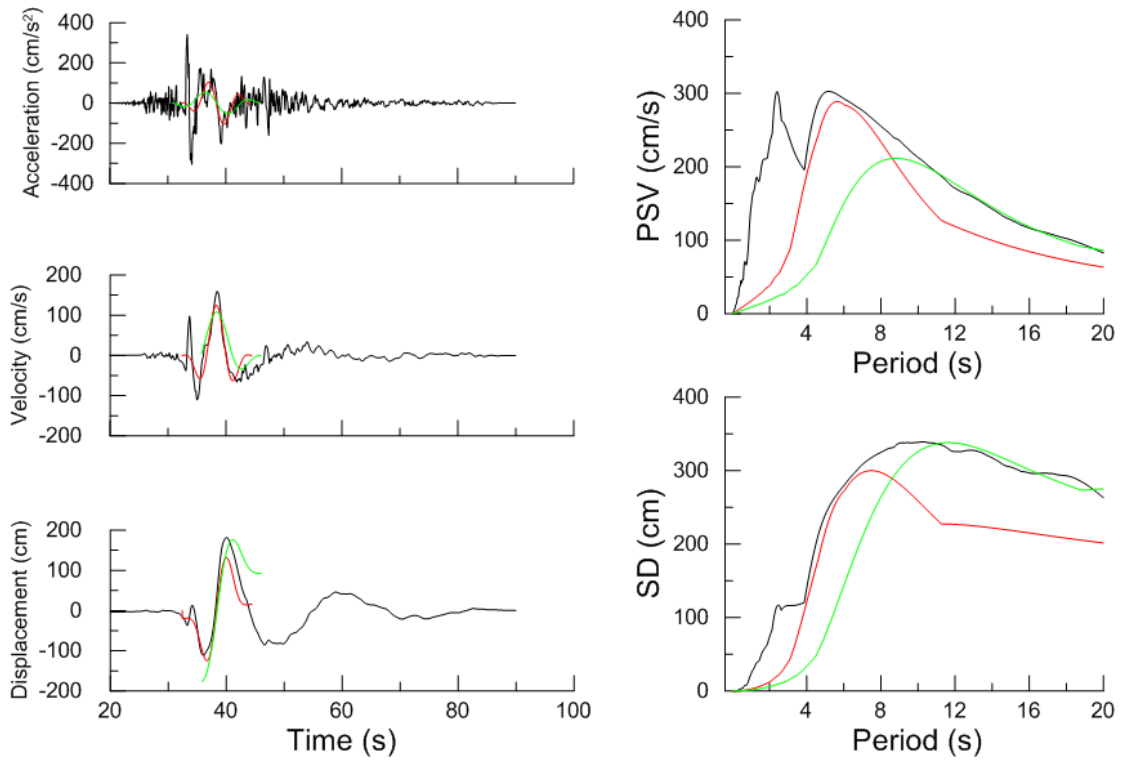
Παράρτημα Γ



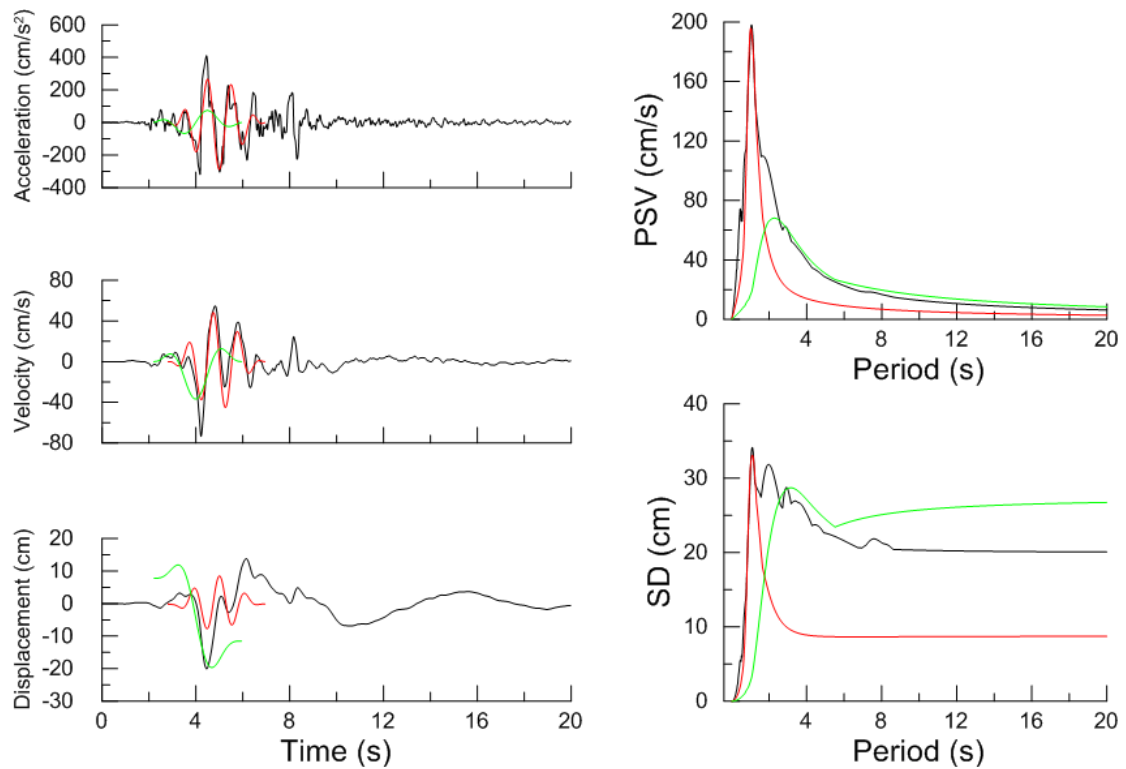
Χρονοϊστορίες και φάσματα της σεισμικής καταγραφής 1483L της βάσης NGA



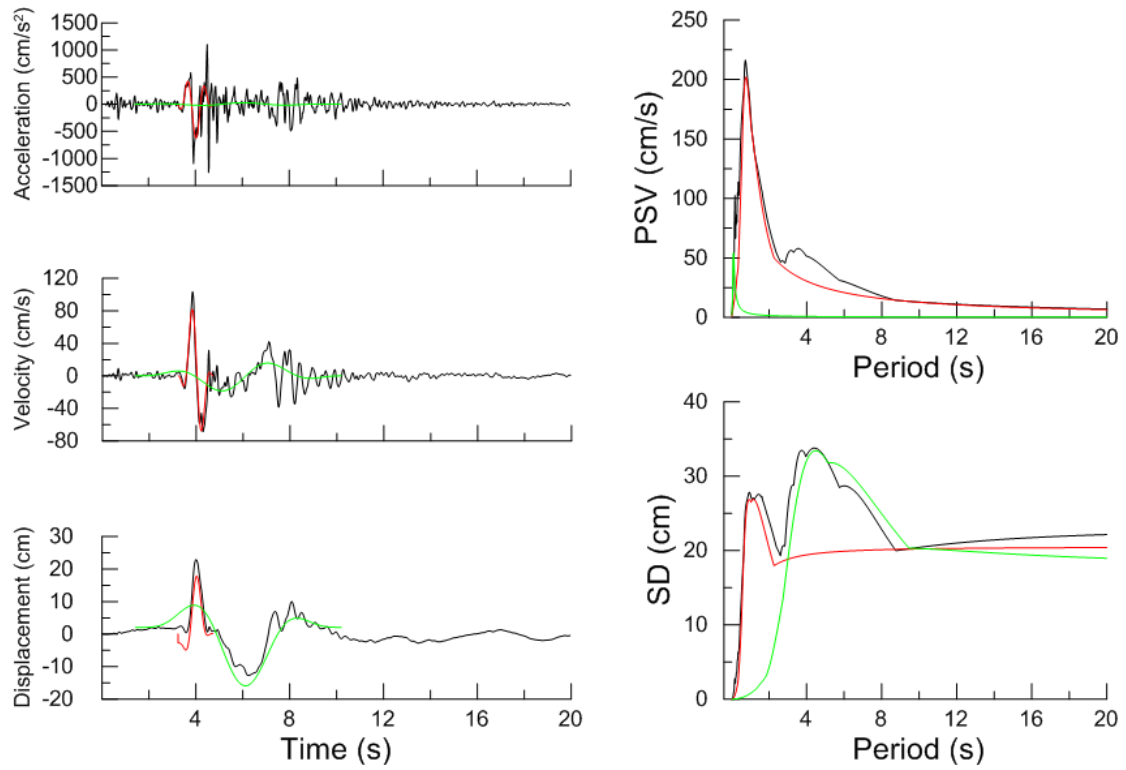
Χρονοϊστορίες και φάσματα της σεισμικής καταγραφής 1161L της βάσης NGA



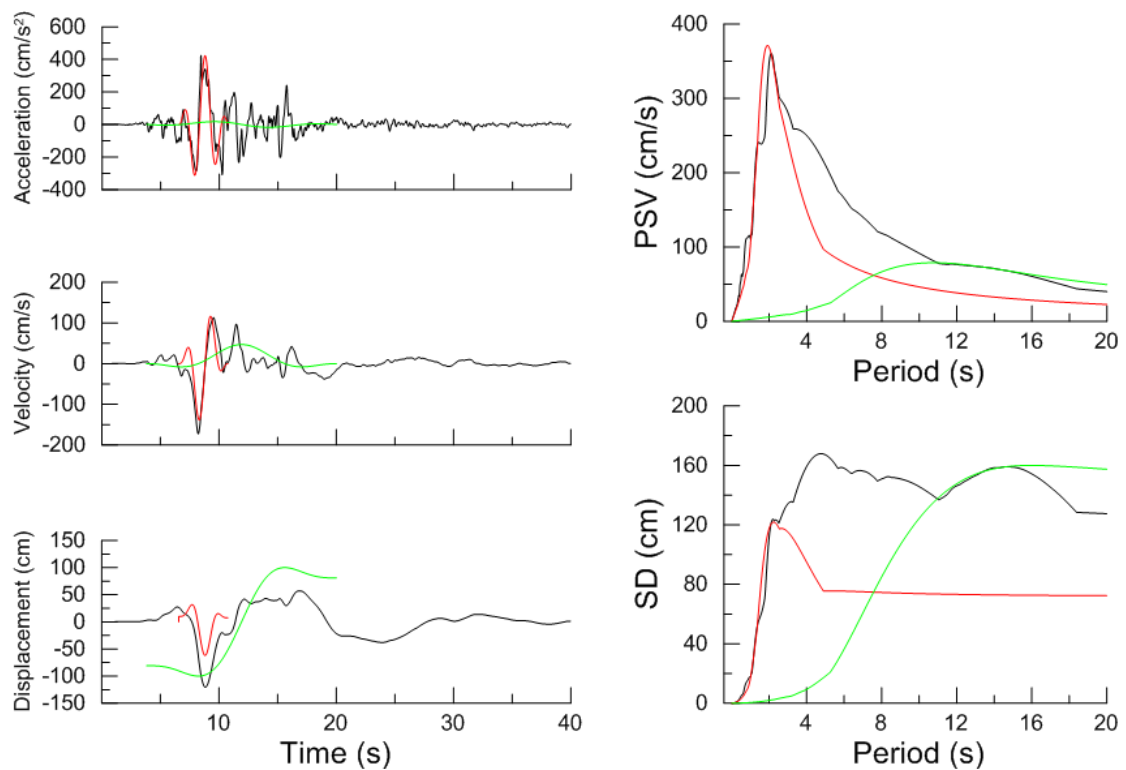
Χρονοϊστορίες και φάσματα της σεισμικής καταγραφής 1492L της βάσης NGA



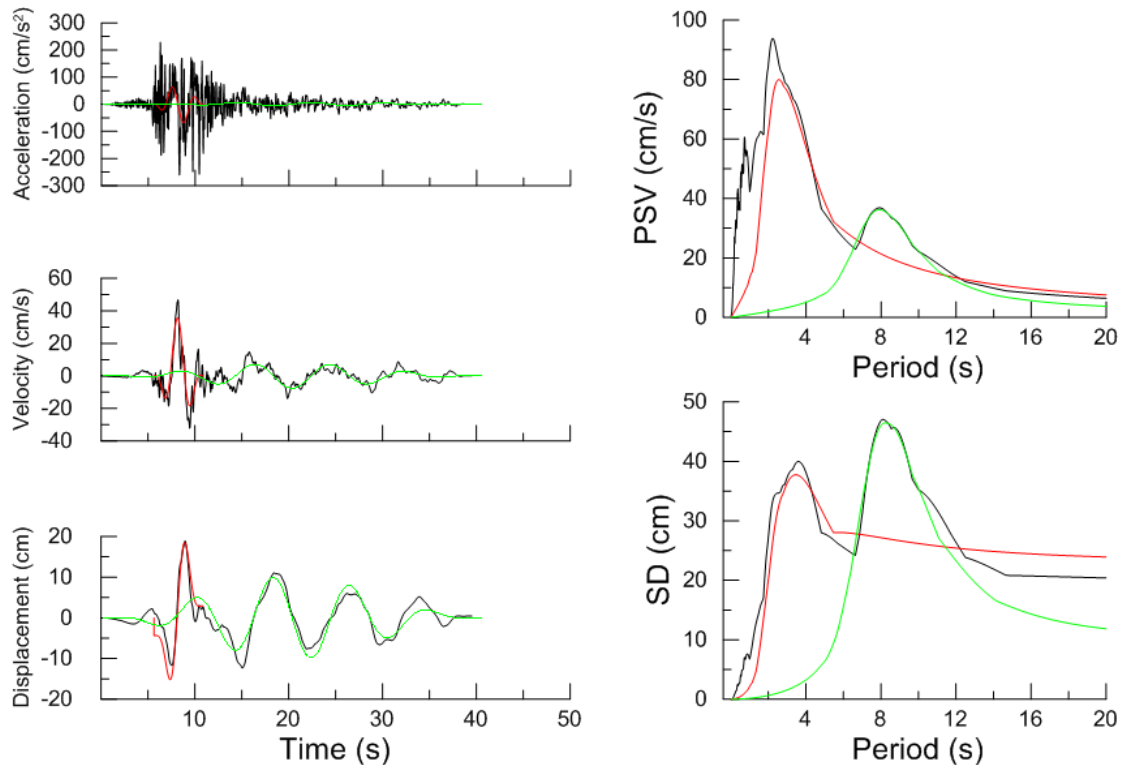
Χρονοϊστορίες και φάσματα της σεισμικής καταγραφής 3548L της βάσης NGA



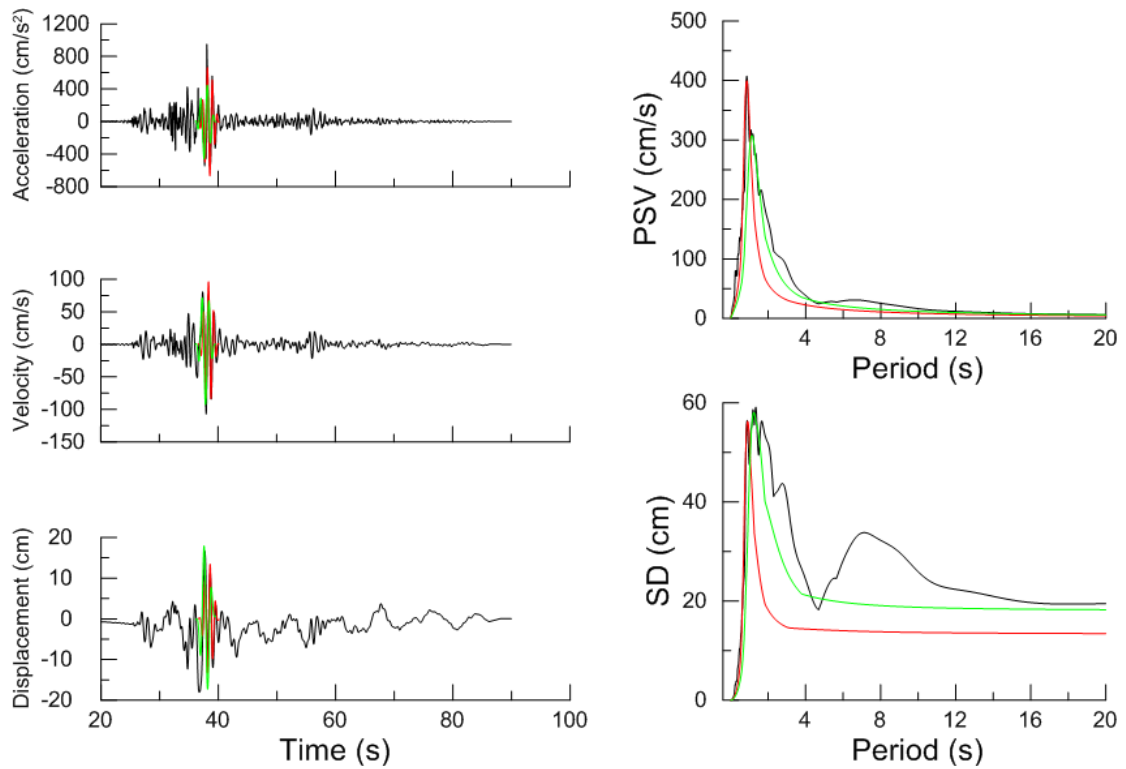
Χρονοϊστορίες και φάσματα της σεισμικής καταγραφής 1051T της βάσης NGA



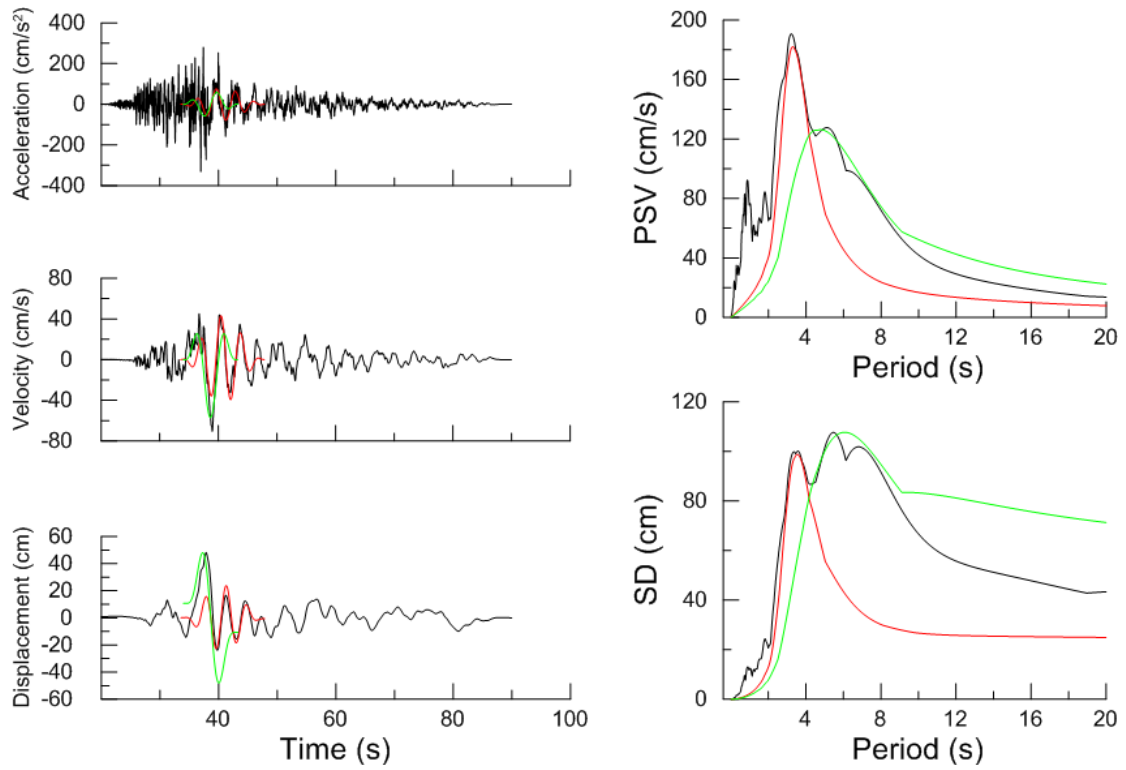
Χρονοϊστορίες και φάσματα της σεισμικής καταγραφής 3548T της βάσης NGA



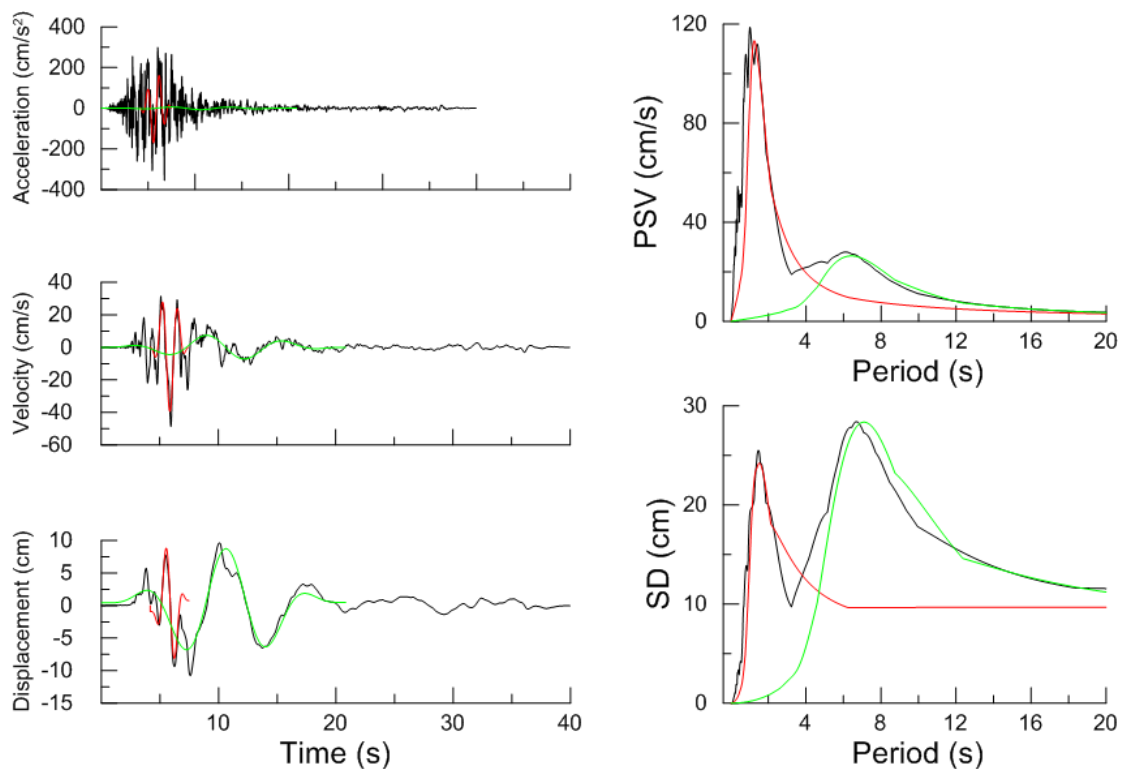
Χρονοϊστορίες και φάσματα της σεισμικής καταγραφής 178L της βάσης NGA



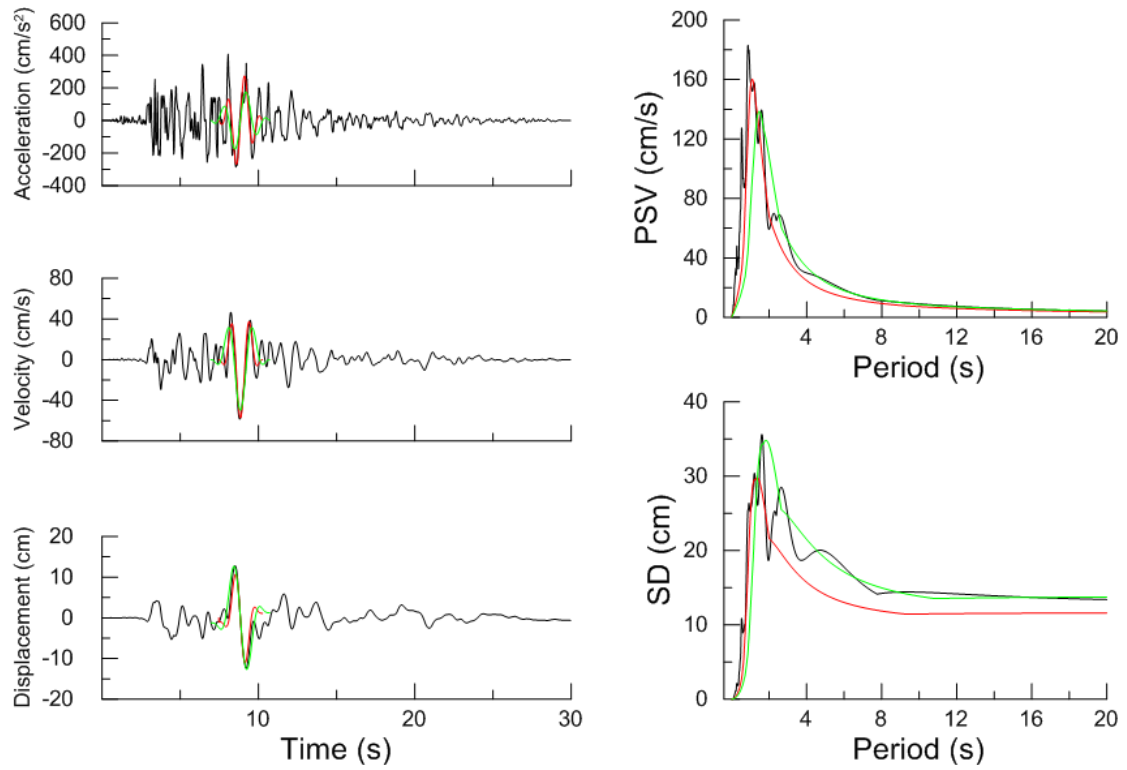
Χρονοϊστορίες και φάσματα της σεισμικής καταγραφής 1231L της βάσης NGA



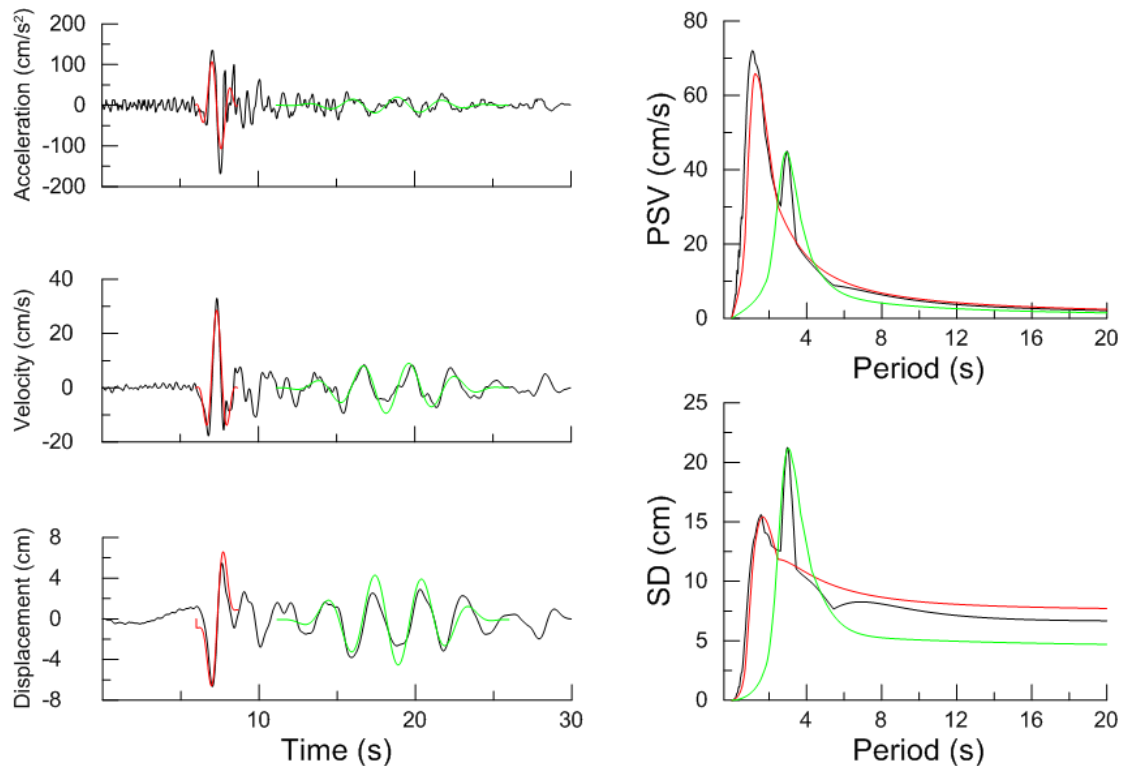
Χρονοϊστορίες και φάσματα της σεισμικής καταγραφής 1244L της βάσης NGA



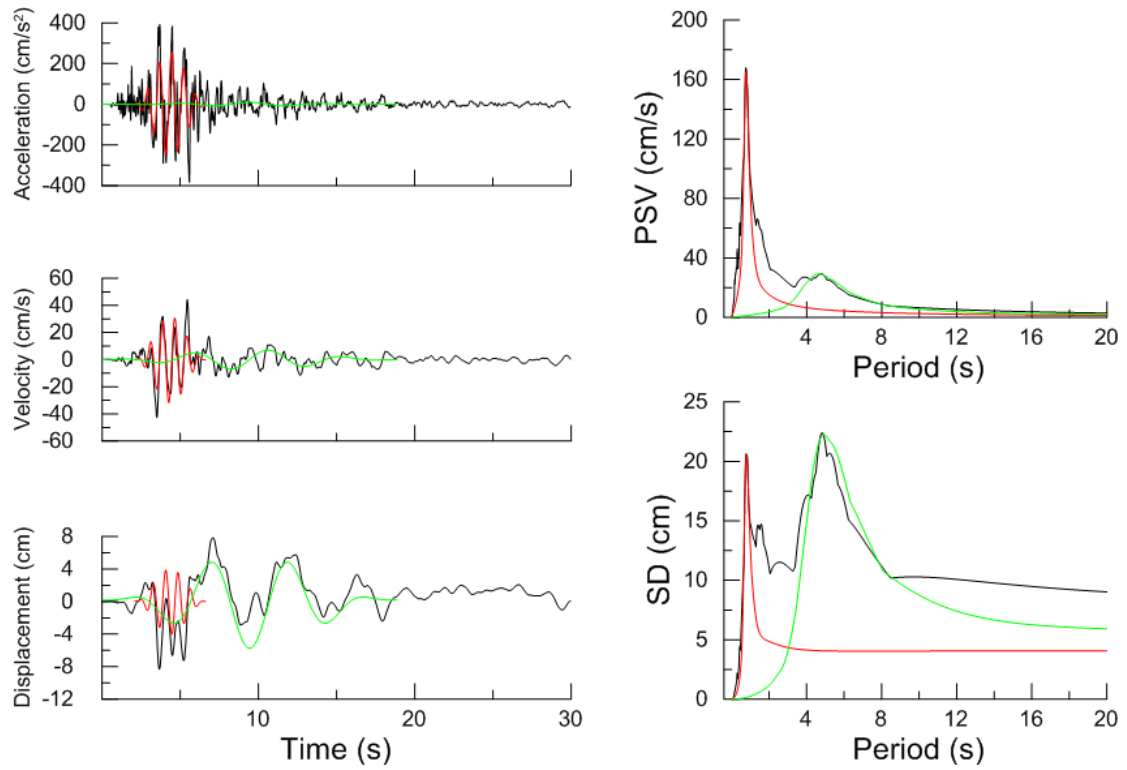
Χρονοϊστορίες και φάσματα της σεισμικής καταγραφής 319L της βάσης NGA



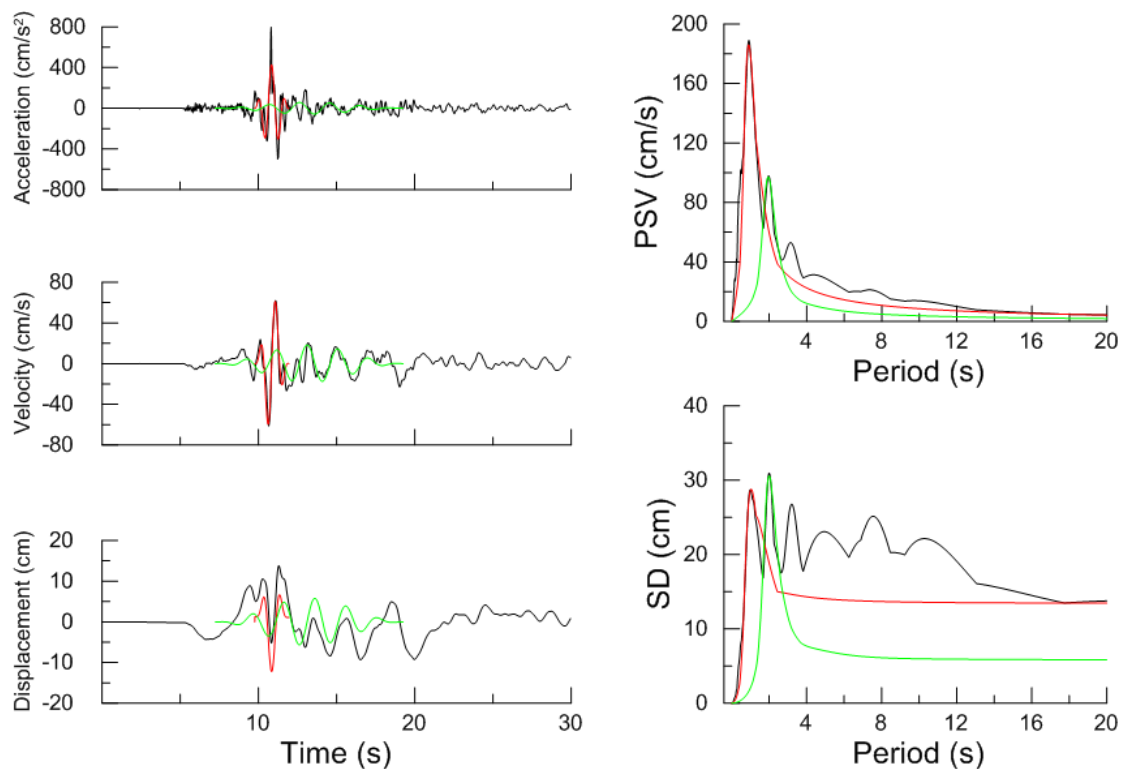
Χρονοϊστορίες και φάσματα της σεισμικής καταγραφής 953L της βάσης NGA



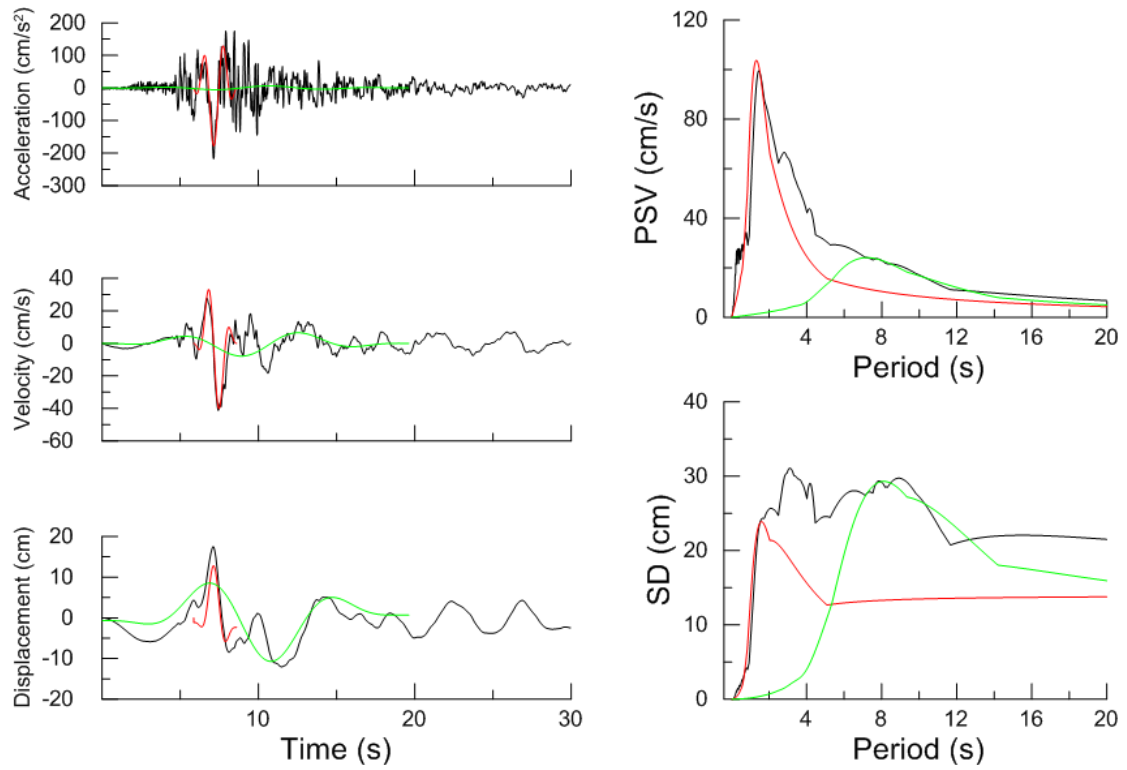
Χρονοϊστορίες και φάσματα της σεισμικής καταγραφής 503L της βάσης NGA



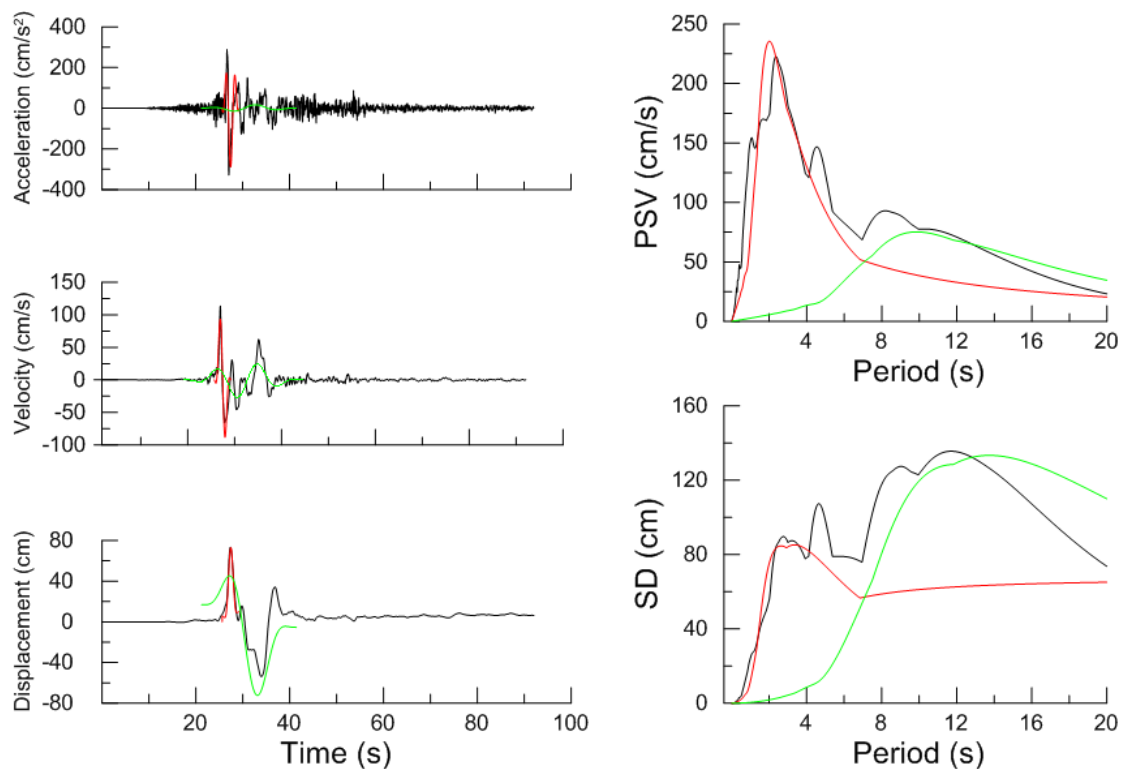
Χρονοϊστορίες και φάσματα της σεισμικής καταγραφής 558T της βάσης NGA



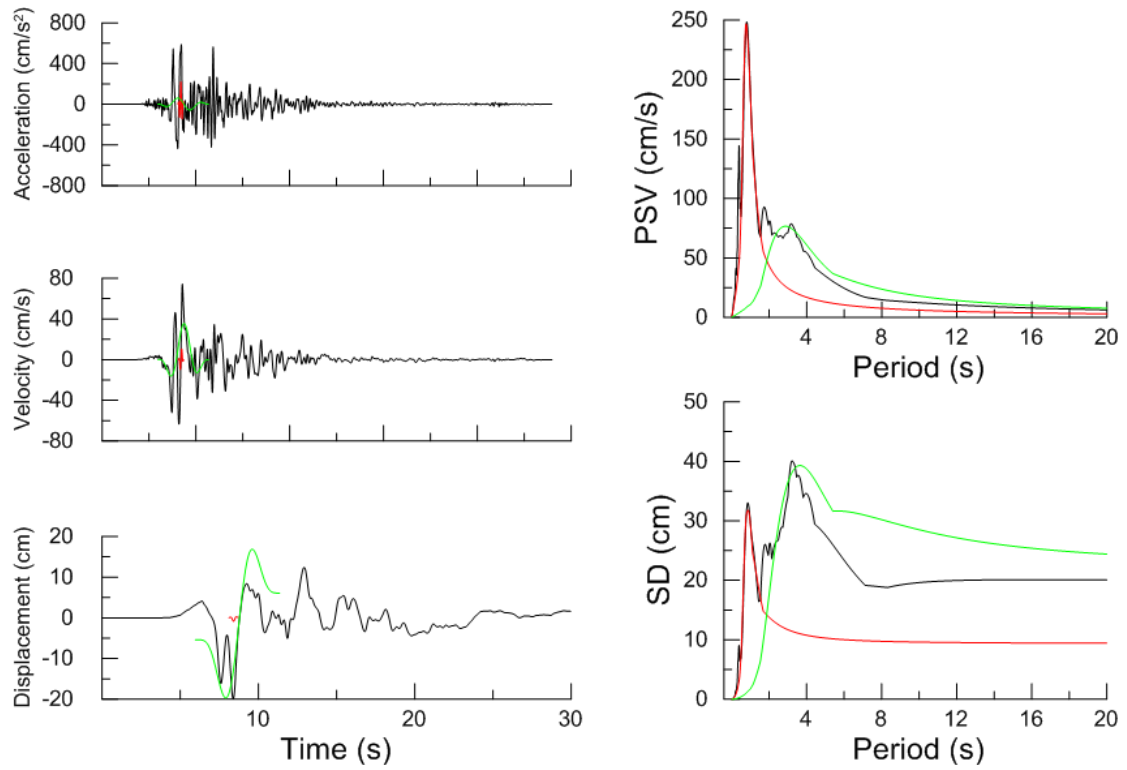
Χρονοϊστορίες και φάσματα της σεισμικής καταγραφής 1602T της βάσης NGA



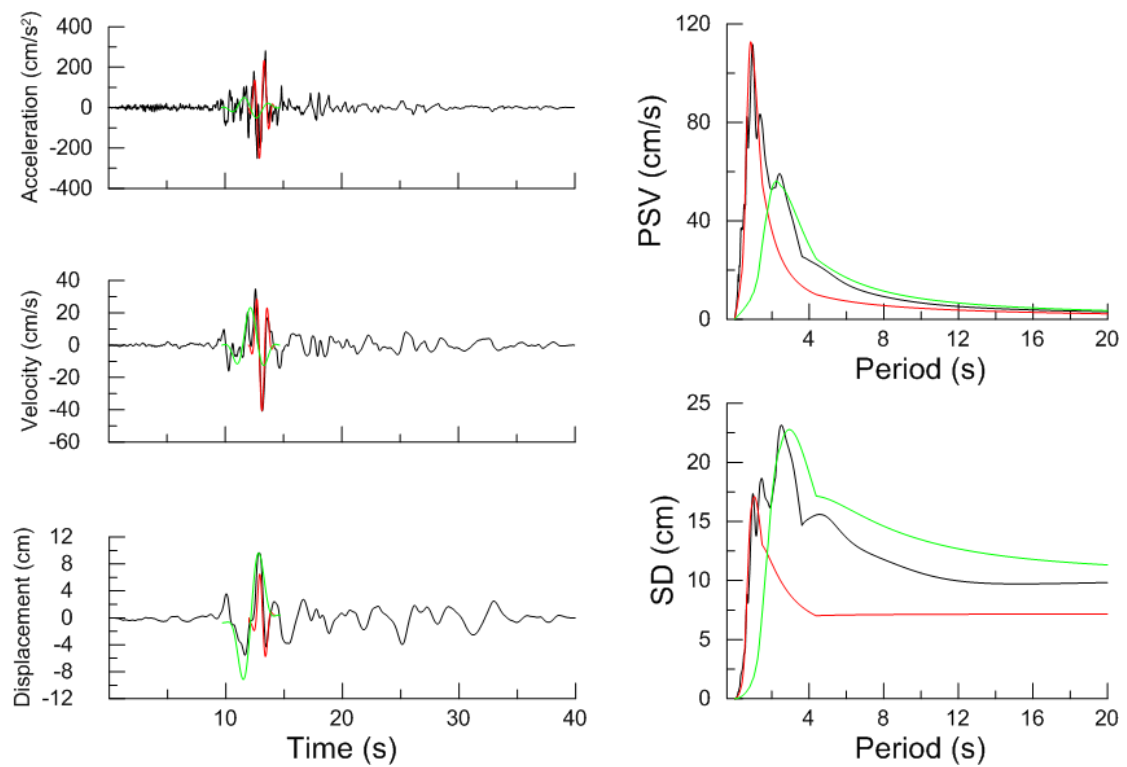
Χρονοϊστορίες και φάσματα της σεισμικής καταγραφής 173T της βάσης NGA



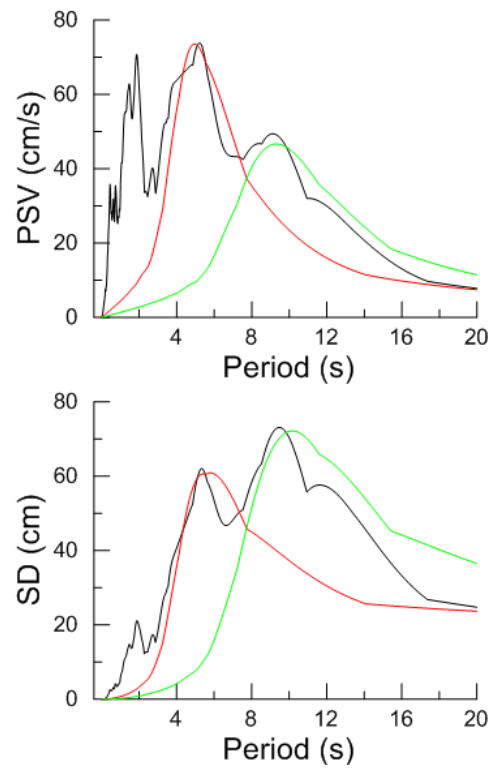
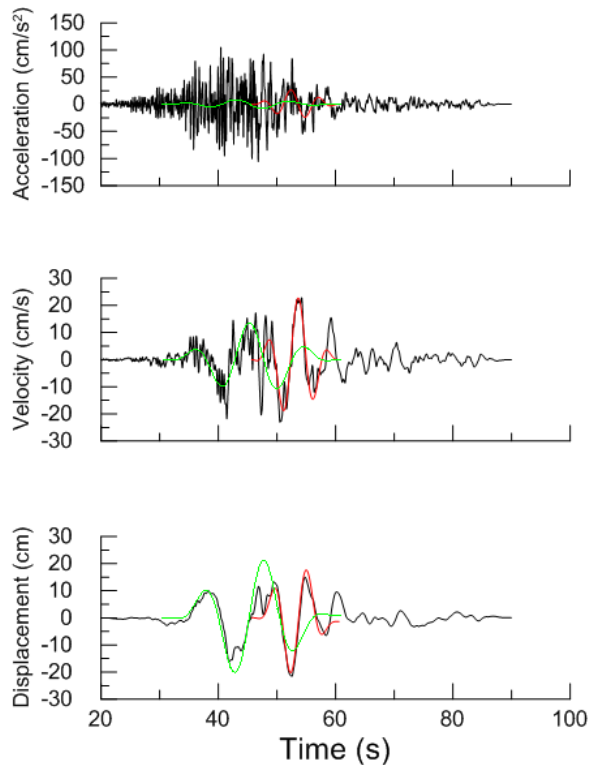
Χρονοϊστορίες και φάσματα της σεισμικής καταγραφής 2114L της βάσης NGA



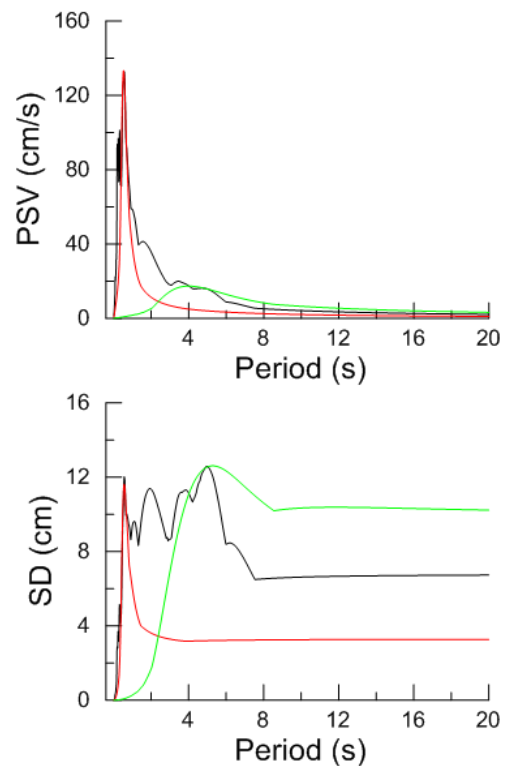
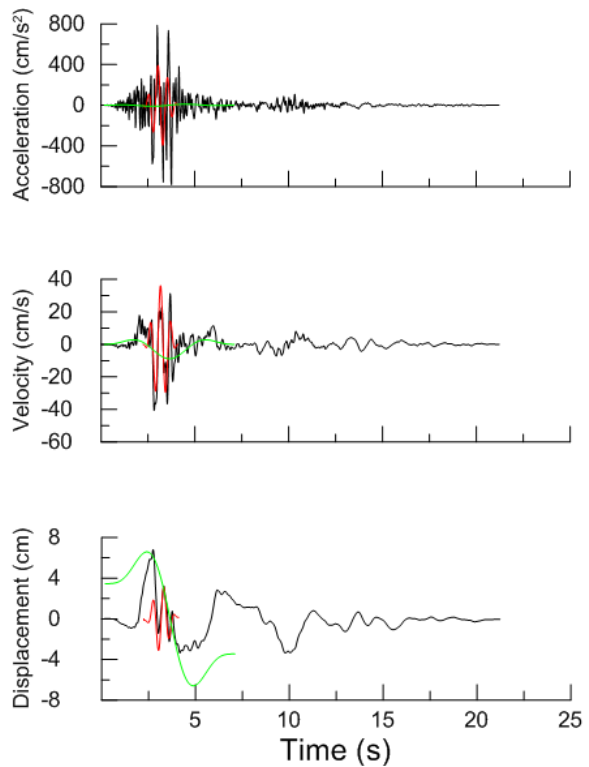
Χρονοϊστορίες και φάσματα της σεισμικής καταγραφής 1106T της βάσης NGA



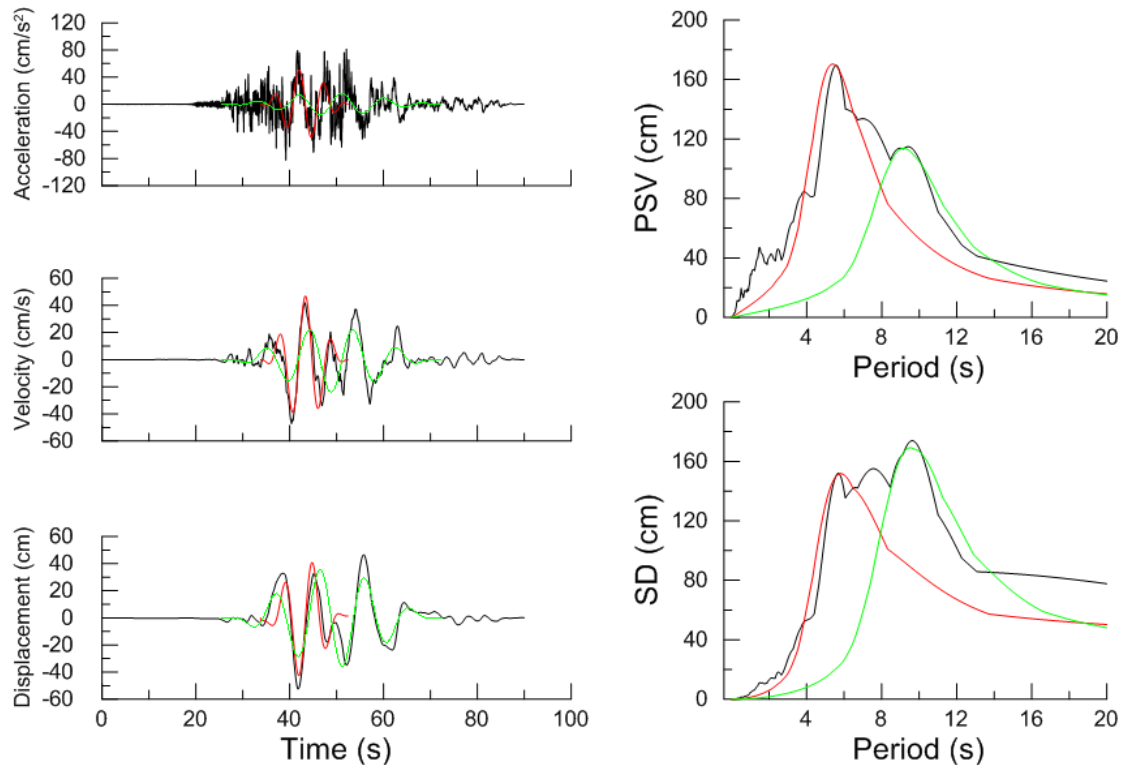
Χρονοϊστορίες και φάσματα της σεισμικής καταγραφής 783L της βάσης NGA



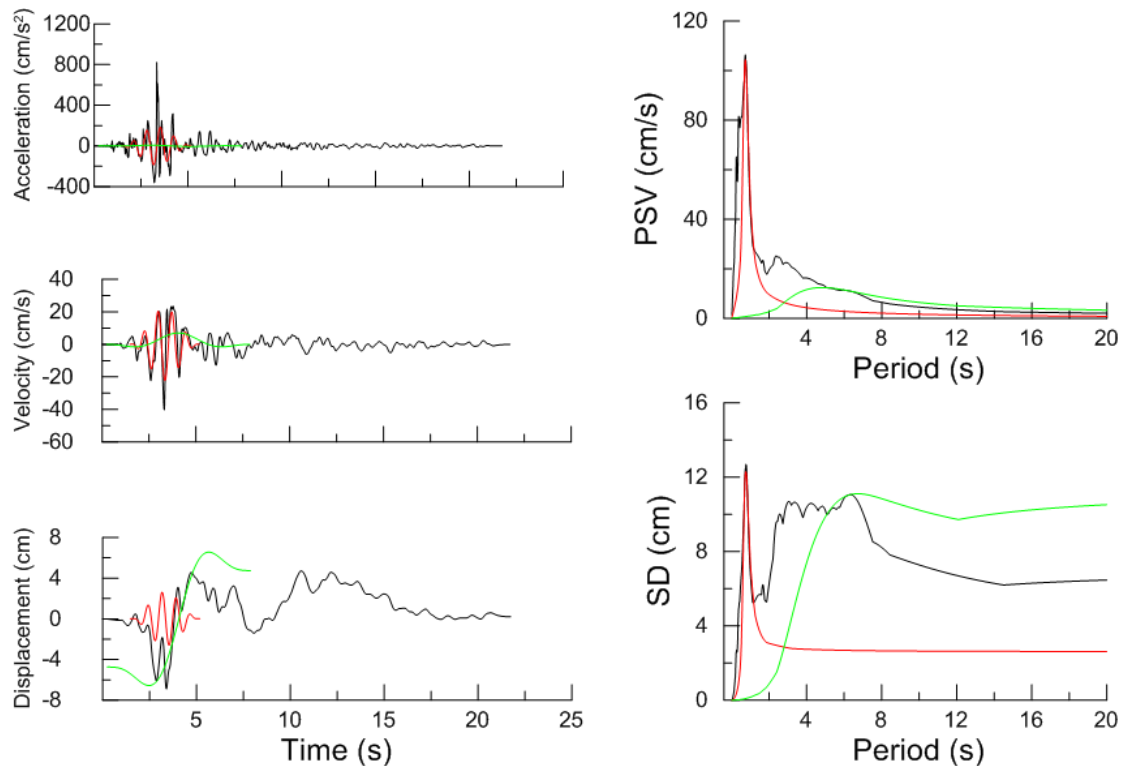
Χρονοϊστορίες και φάσματα της σεισμικής καταγραφής 1479T της βάσης NGA



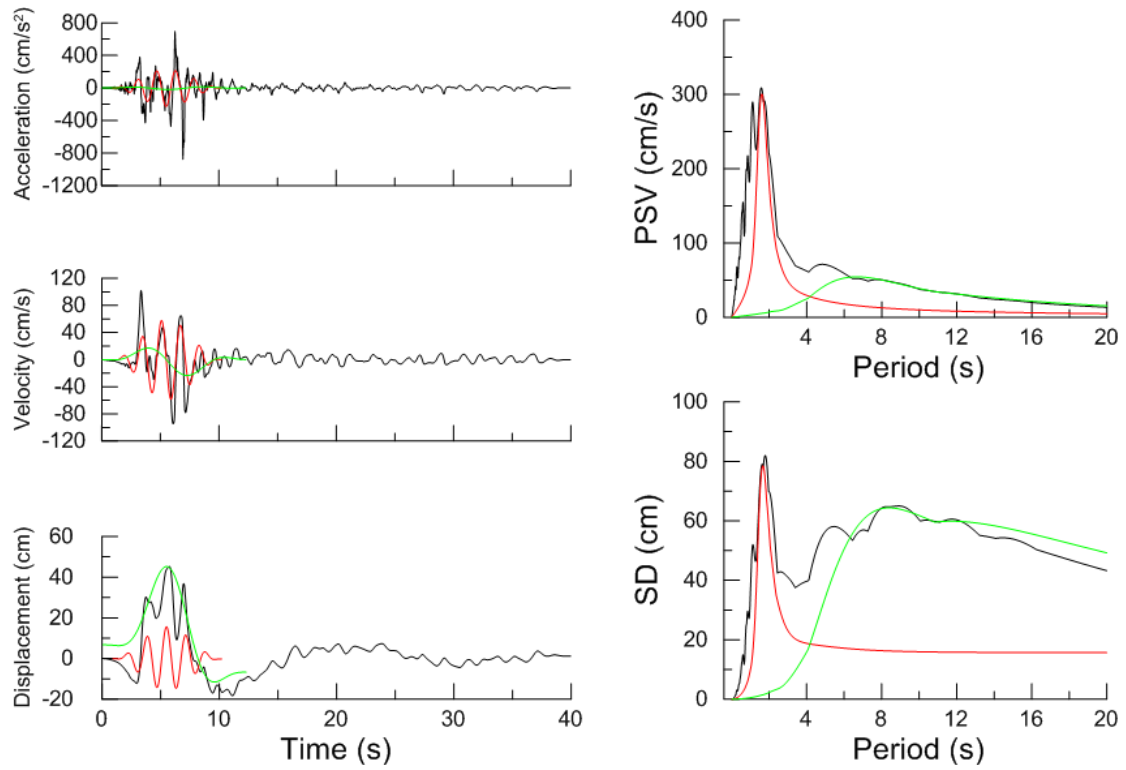
Χρονοϊστορίες και φάσματα της σεισμικής καταγραφής 407L της βάσης NGA



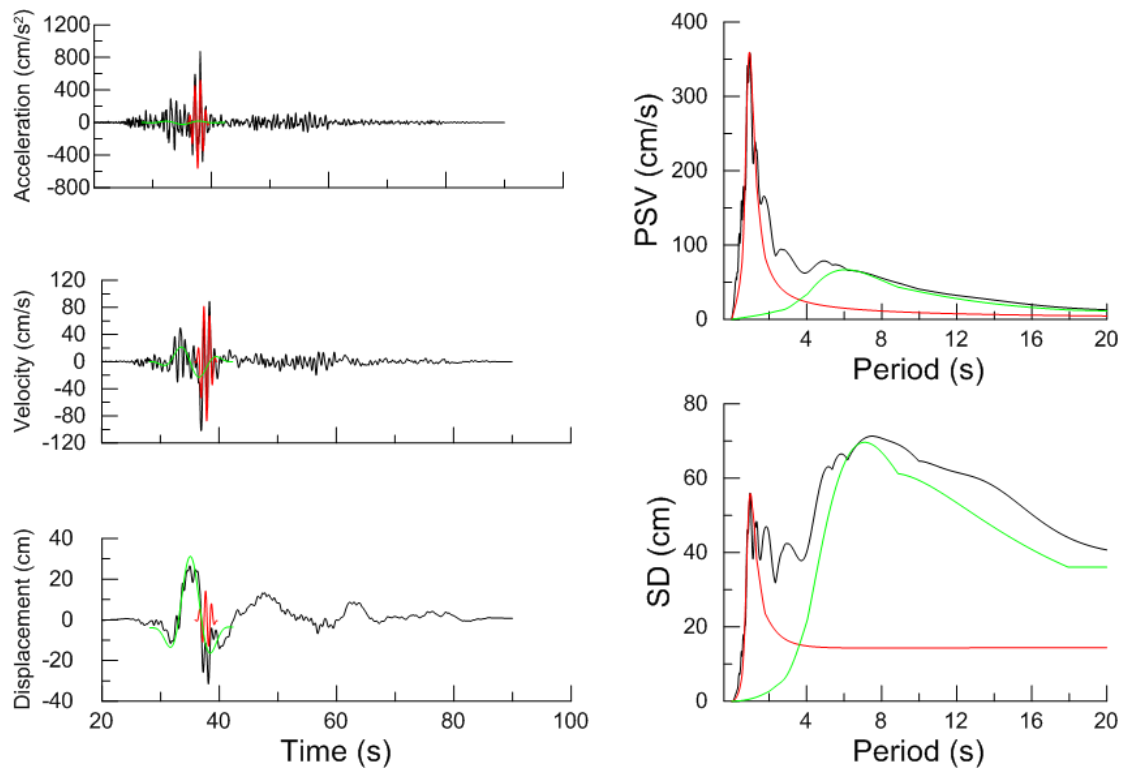
Χρονοϊστορίες και φάσματα της σεισμικής καταγραφής 1531T της βάσης NGA



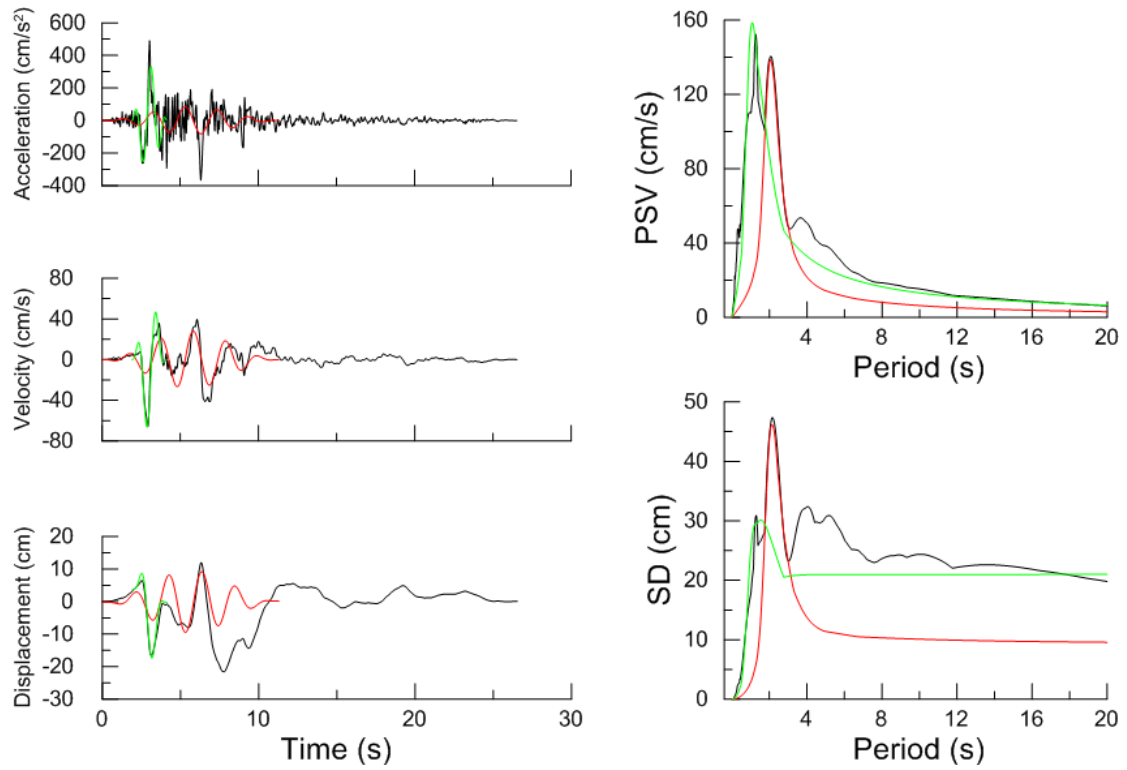
Χρονοϊστορίες και φάσματα της σεισμικής καταγραφής 415T της βάσης NGA



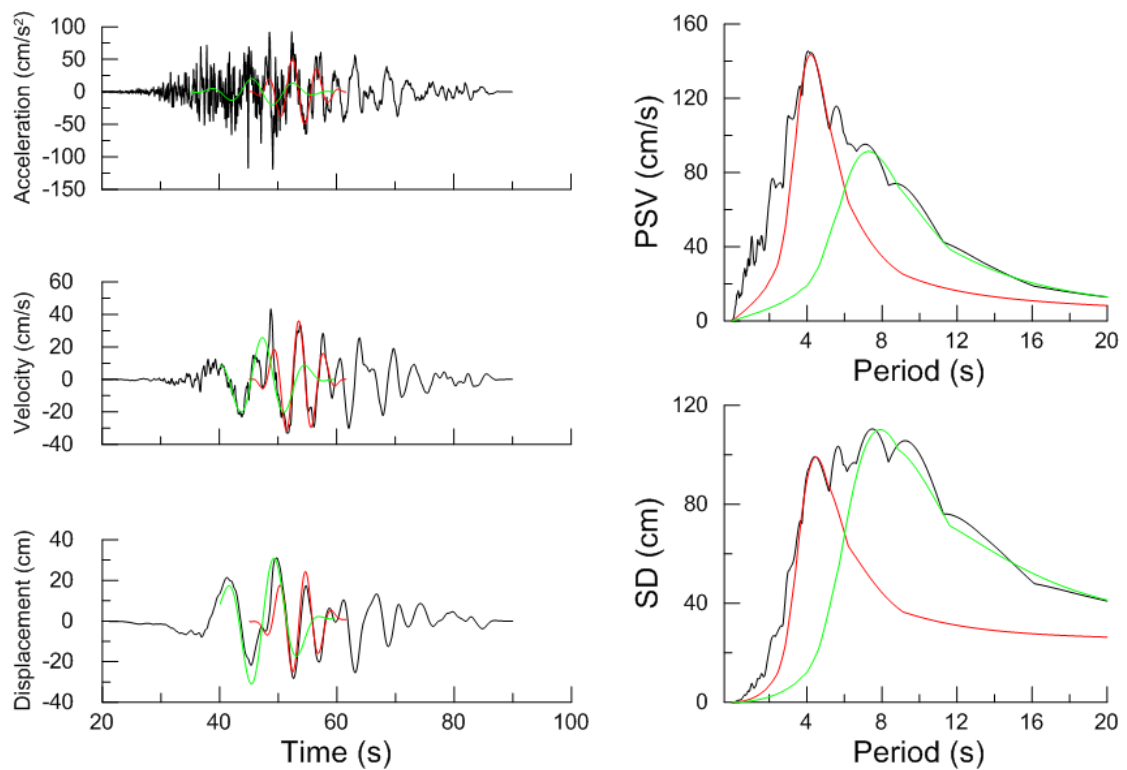
Χρονοϊστορίες και φάσματα της σεισμικής καταγραφής 1084T της βάσης NGA



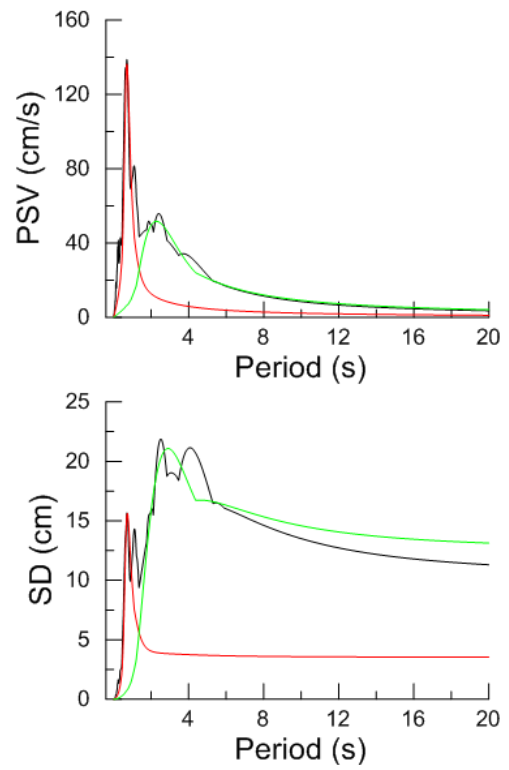
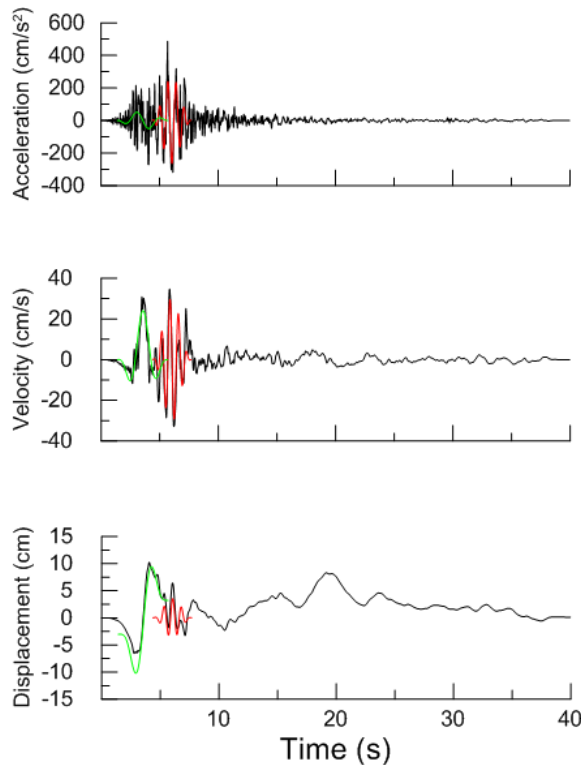
Χρονοϊστορίες και φάσματα της σεισμικής καταγραφής 1231T της βάσης NGA



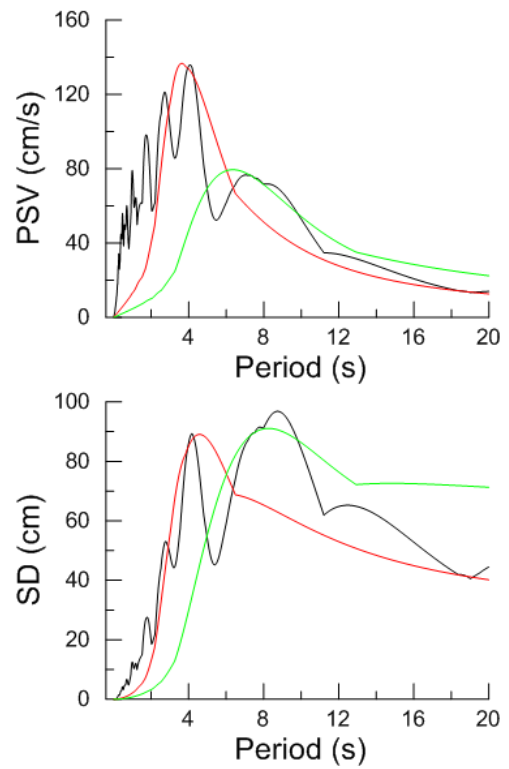
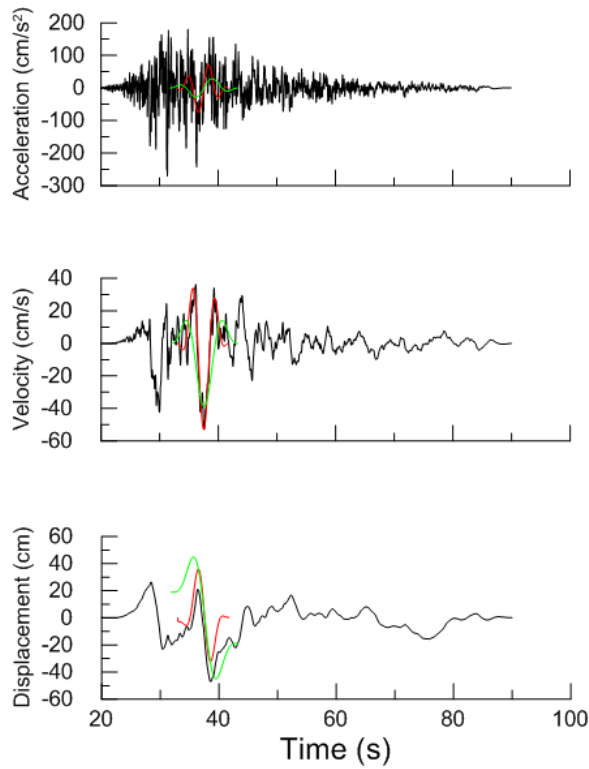
Χρονοϊστορίες και φάσματα της σεισμικής καταγραφής 1013L της βάσης NGA



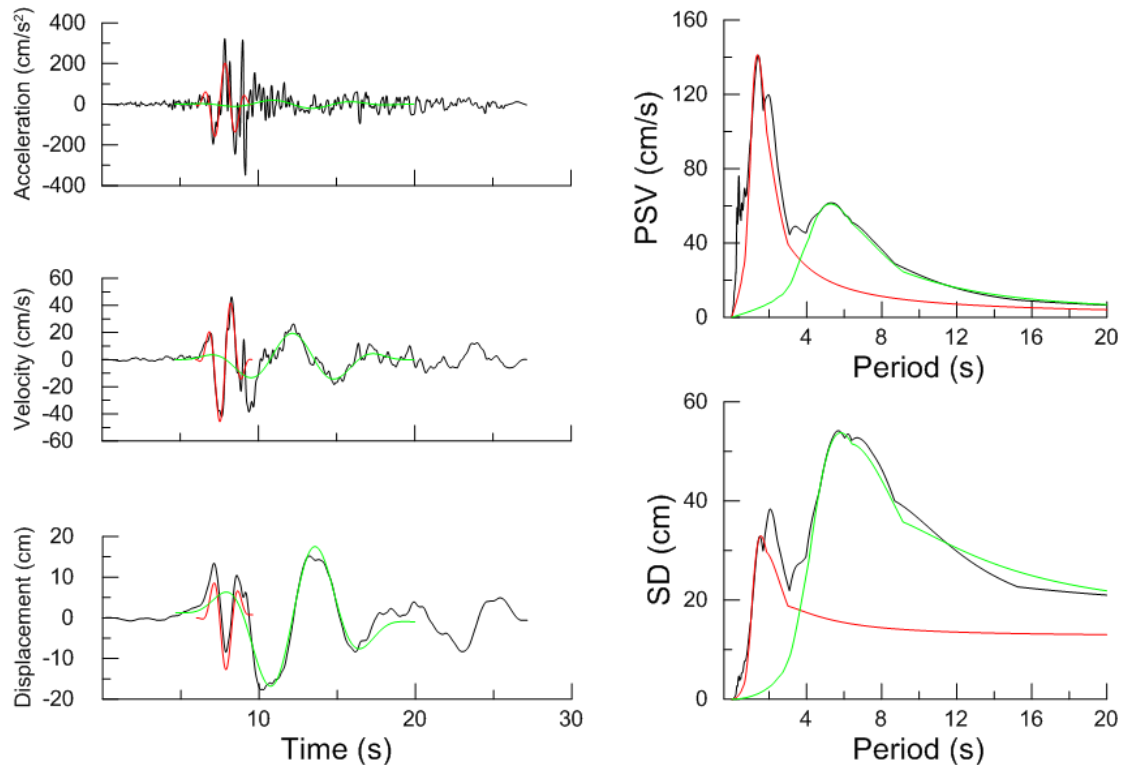
Χρονοϊστορίες και φάσματα της σεισμικής καταγραφής 1477T της βάσης NGA



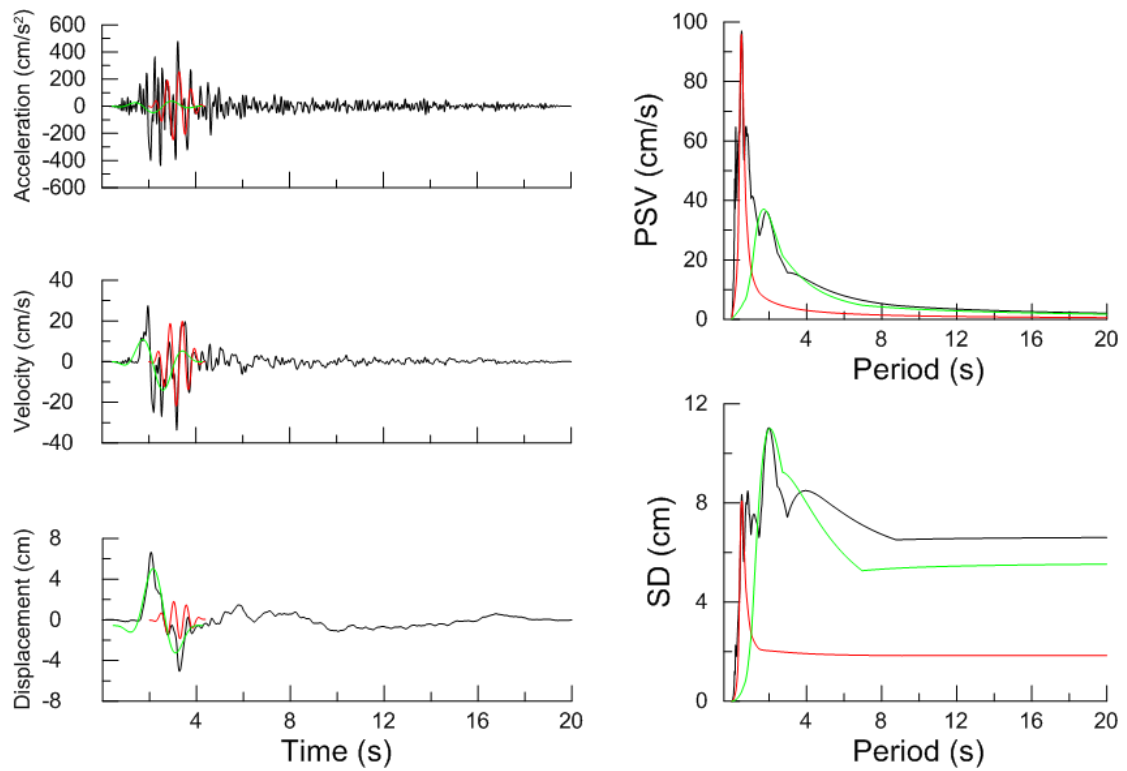
Χρονοϊστορίες και φάσματα της σεισμικής καταγραφής 319T της βάσης NGA



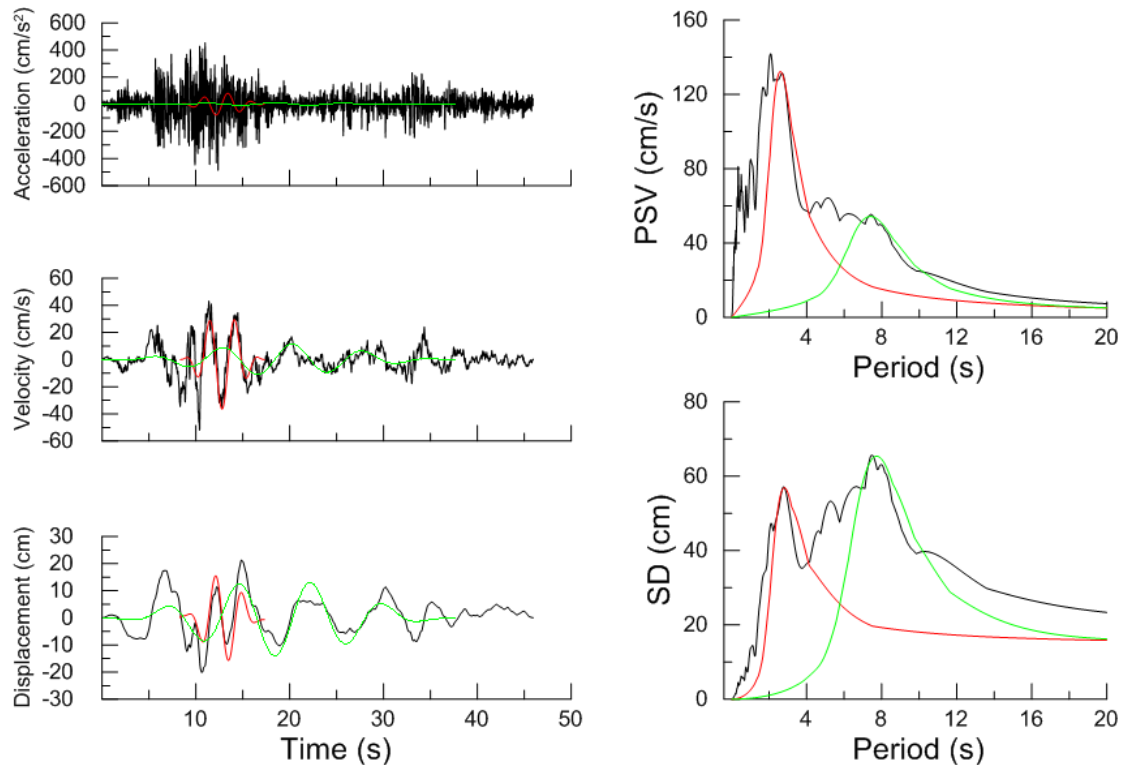
Χρονοϊστορίες και φάσματα της σεισμικής καταγραφής 1193L της βάσης NGA



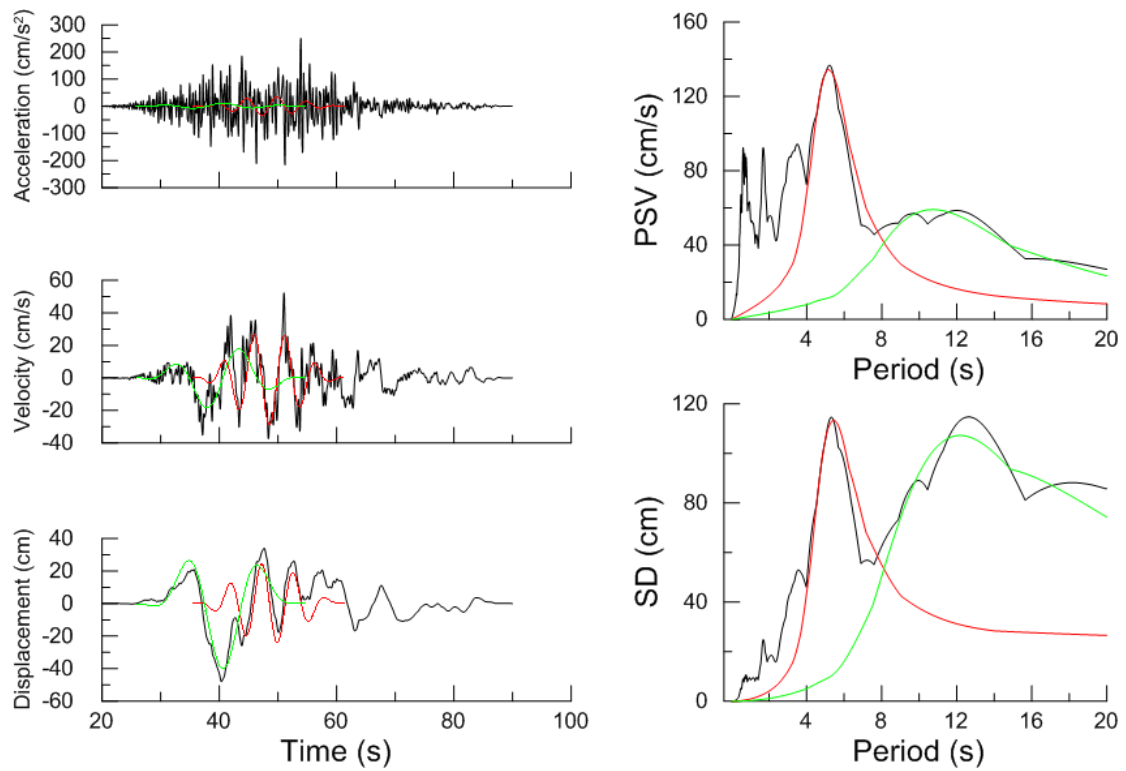
Χρονοϊστορίες και φάσματα της σεισμικής καταγραφής 1158T της βάσης NGA



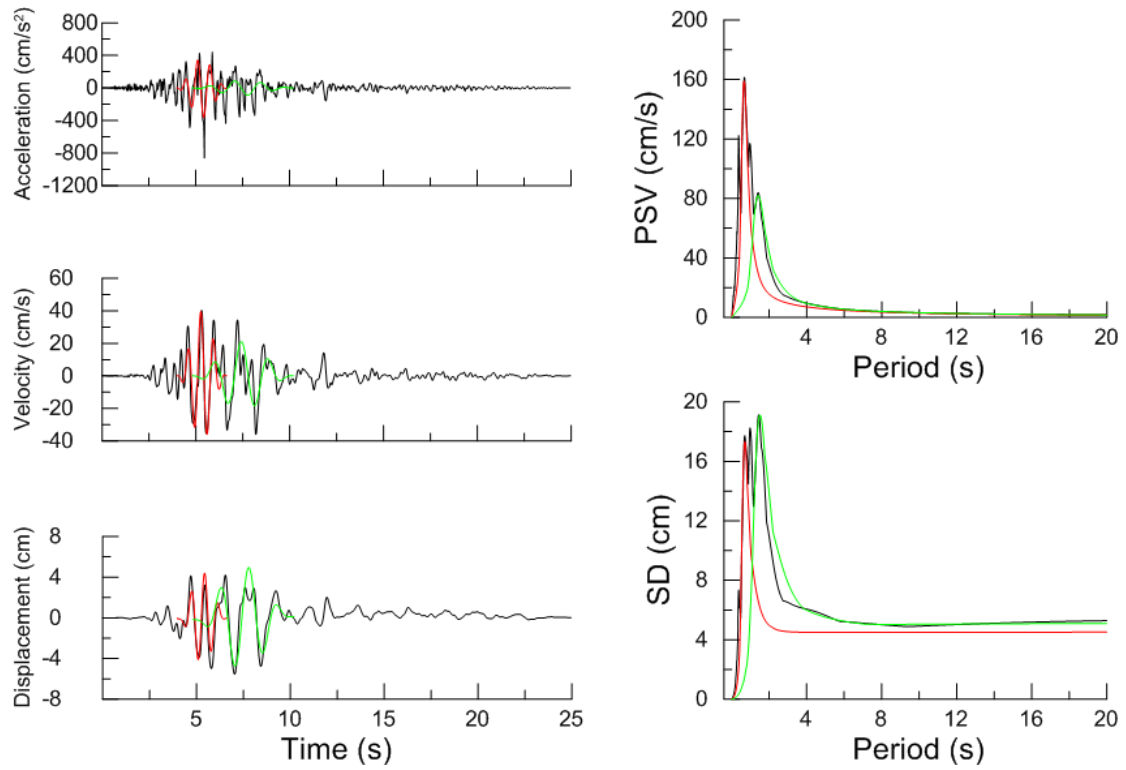
Χρονοϊστορίες και φάσματα της σεισμικής καταγραφής 540L της βάσης NGA



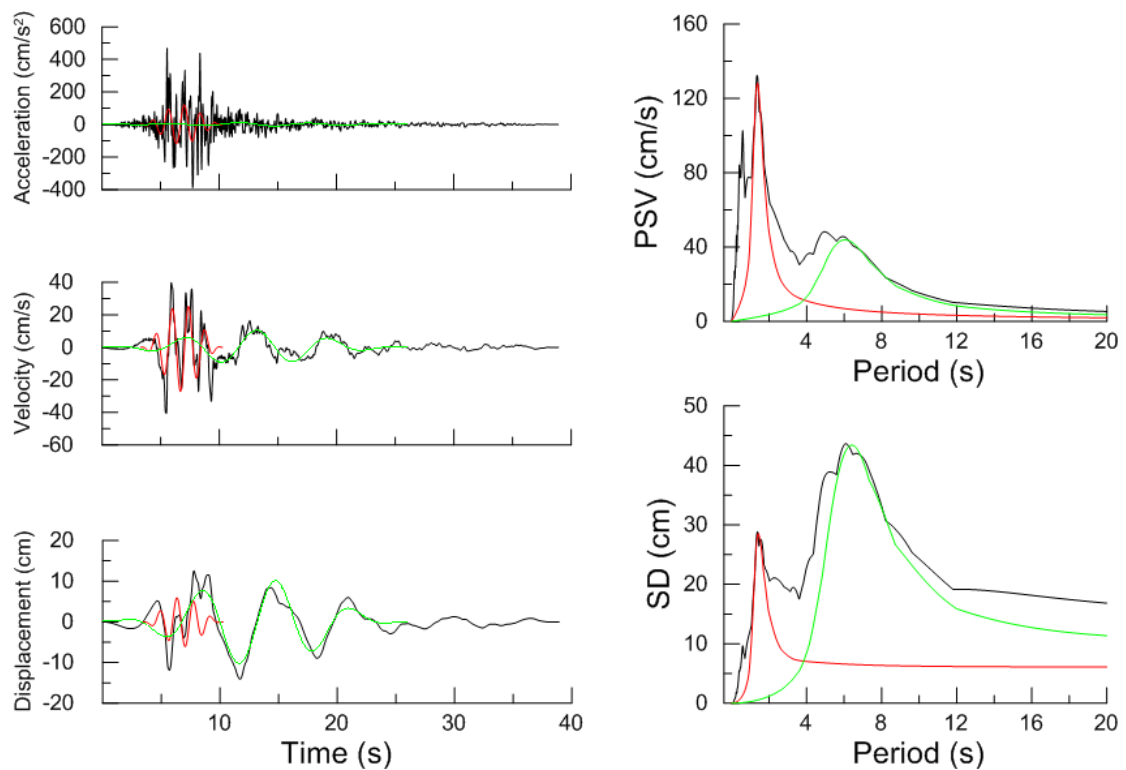
Χρονοϊστορίες και φάσματα της σεισμικής καταγραφής 1633T της βάσης NGA



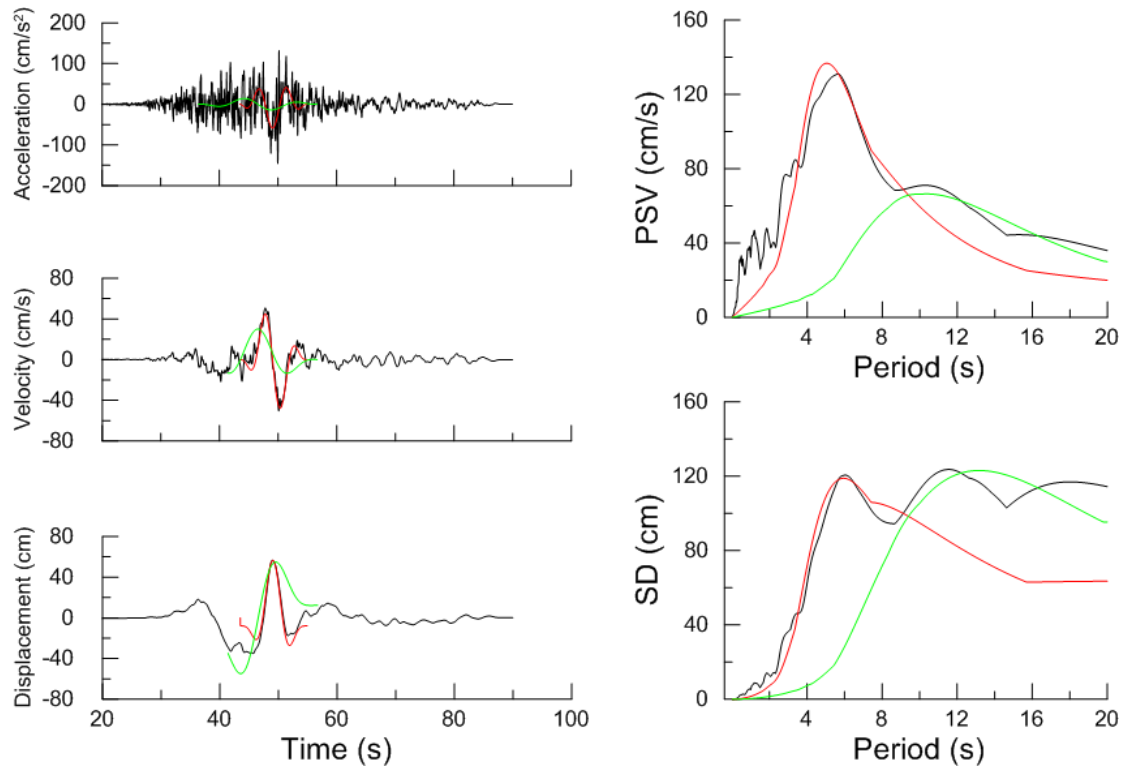
Χρονοϊστορίες και φάσματα της σεισμικής καταγραφής 1506L της βάσης NGA



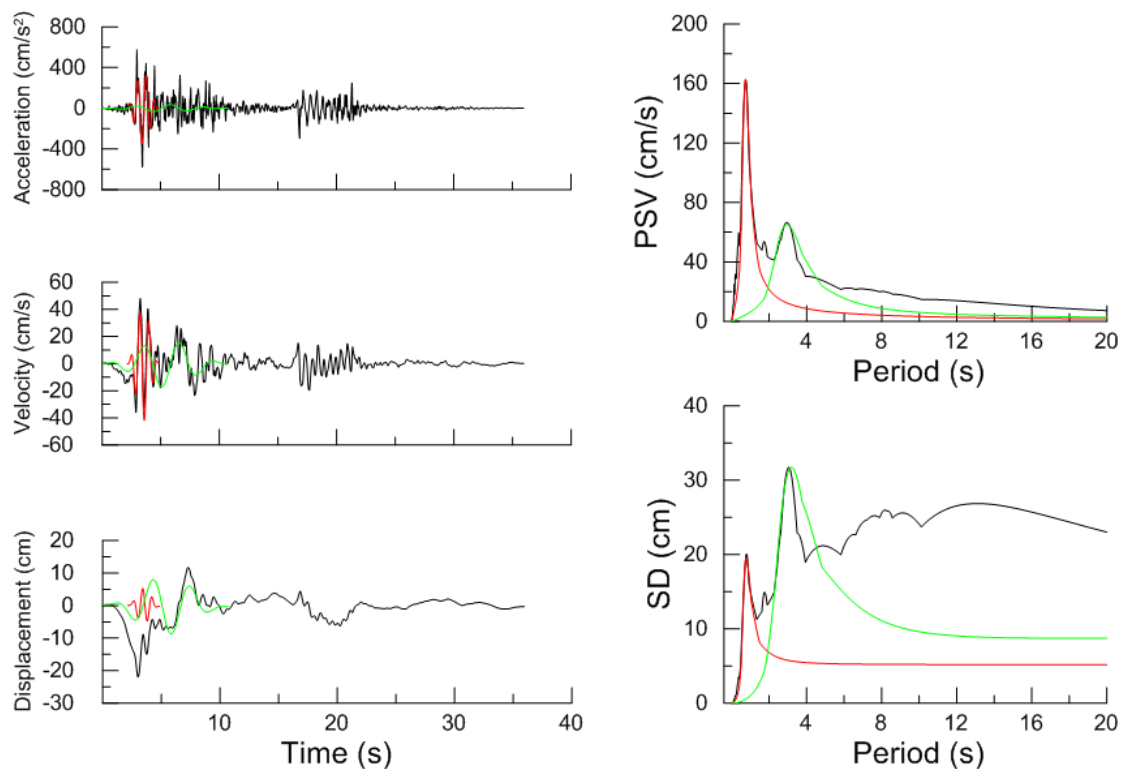
Χρονοϊστορίες και φάσματα της σεισμικής καταγραφής 1080L της βάσης NGA



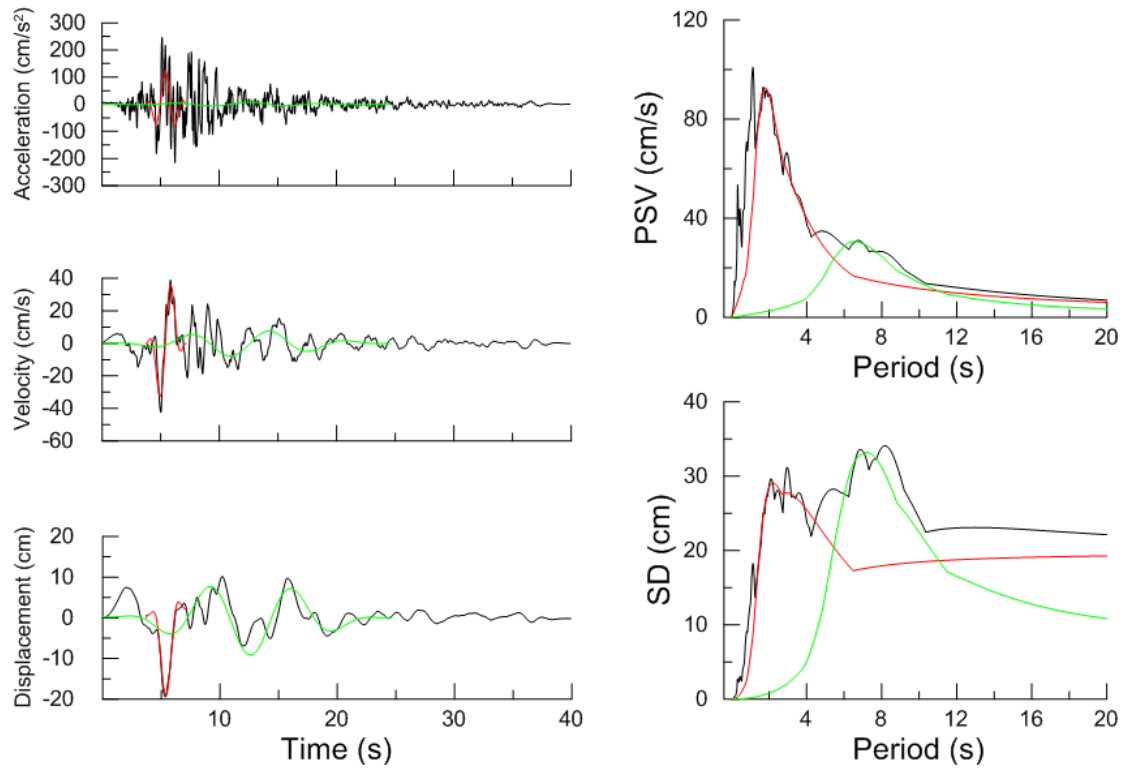
Χρονοϊστορίες και φάσματα της σεισμικής καταγραφής 184T της βάσης NGA



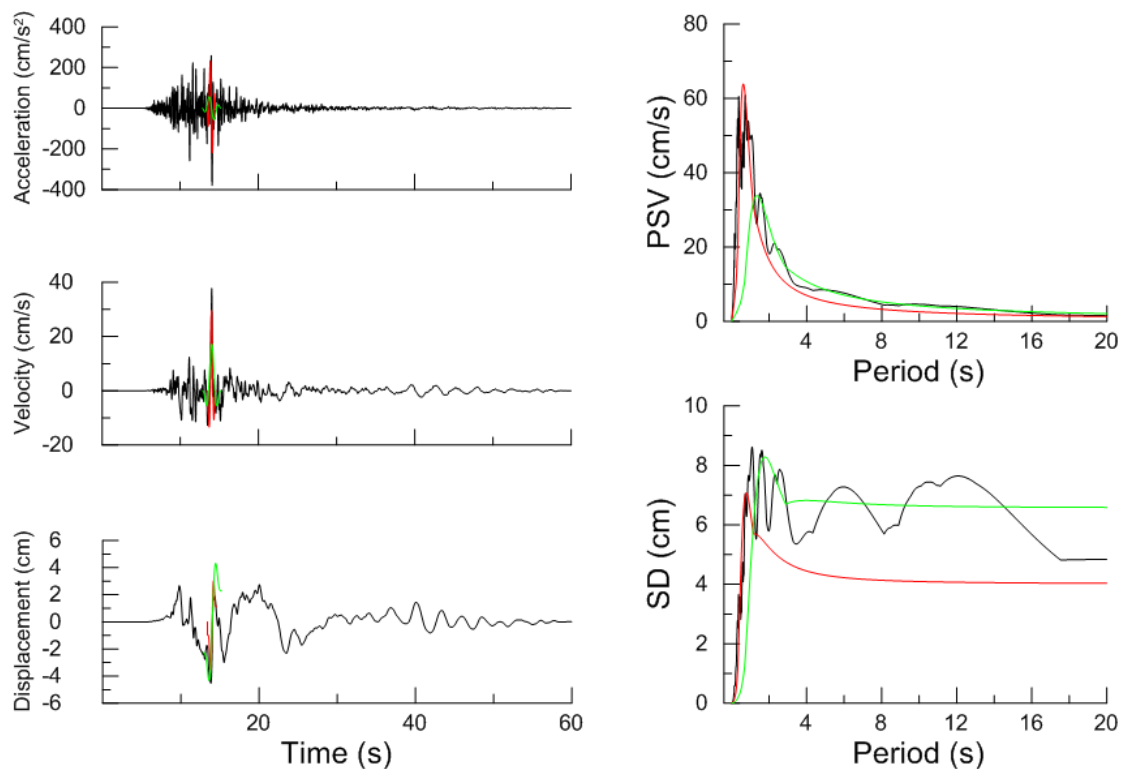
Χρονοϊστορίες και φάσματα της σεισμικής καταγραφής 1489T της βάσης NGA



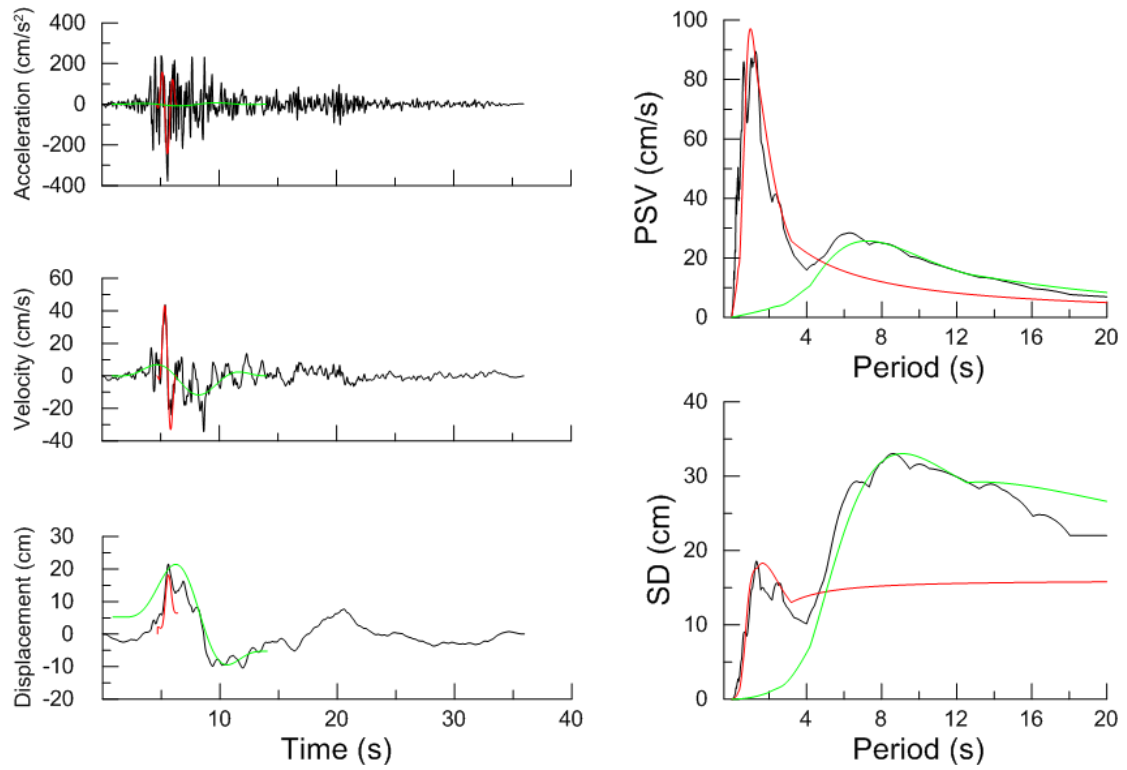
Χρονοϊστορίες και φάσματα της σεισμικής καταγραφής 828L της βάσης NGA



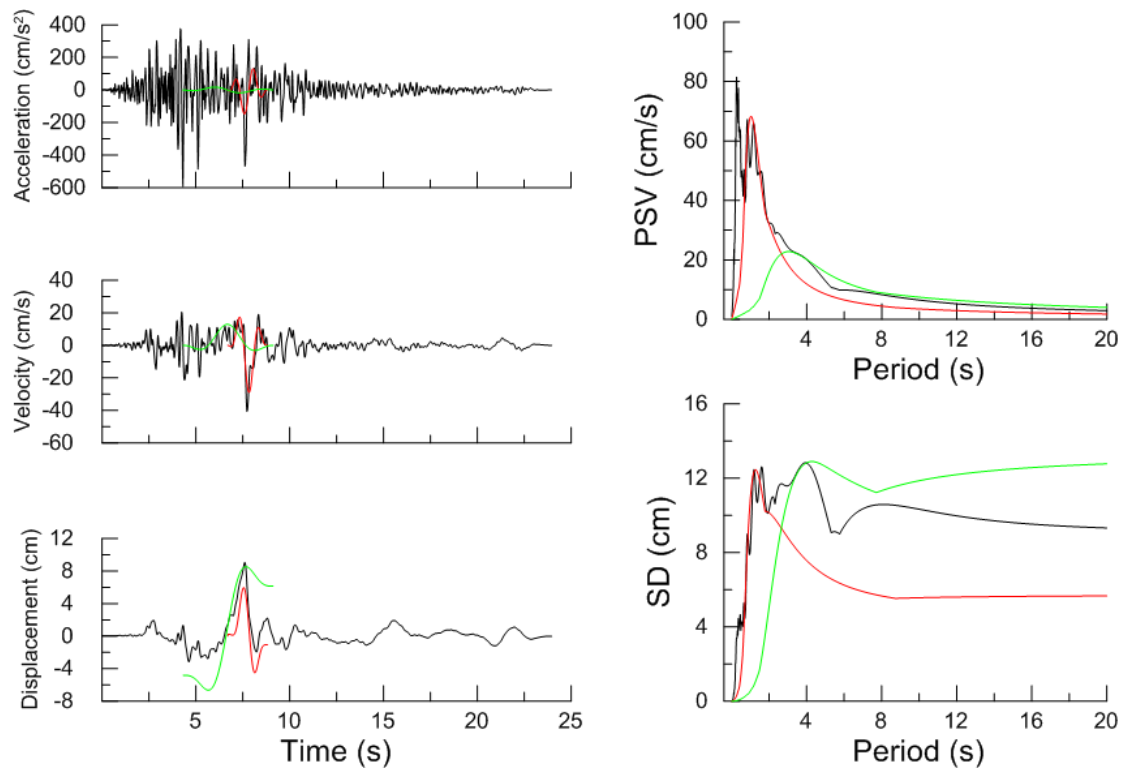
Χρονοϊστορίες και φάσματα της σεισμικής καταγραφής 803L της βάσης NGA



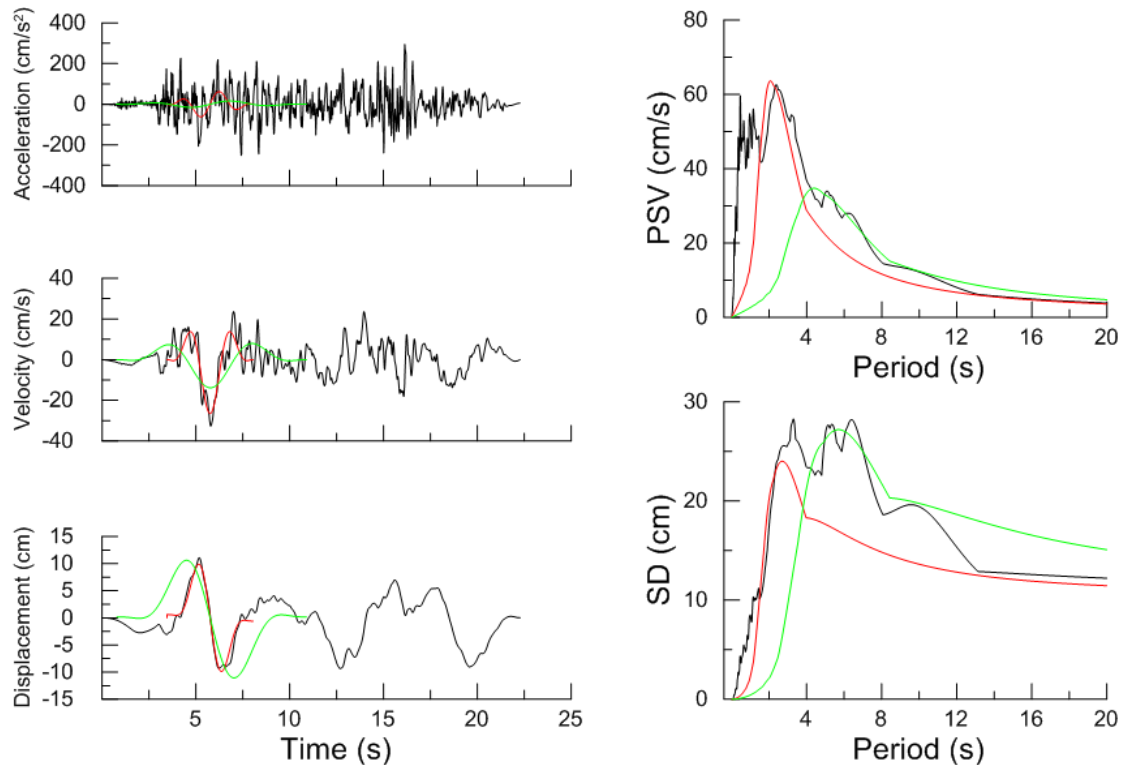
Χρονοϊστορίες και φάσματα της σεισμικής καταγραφής 1012T της βάσης NGA



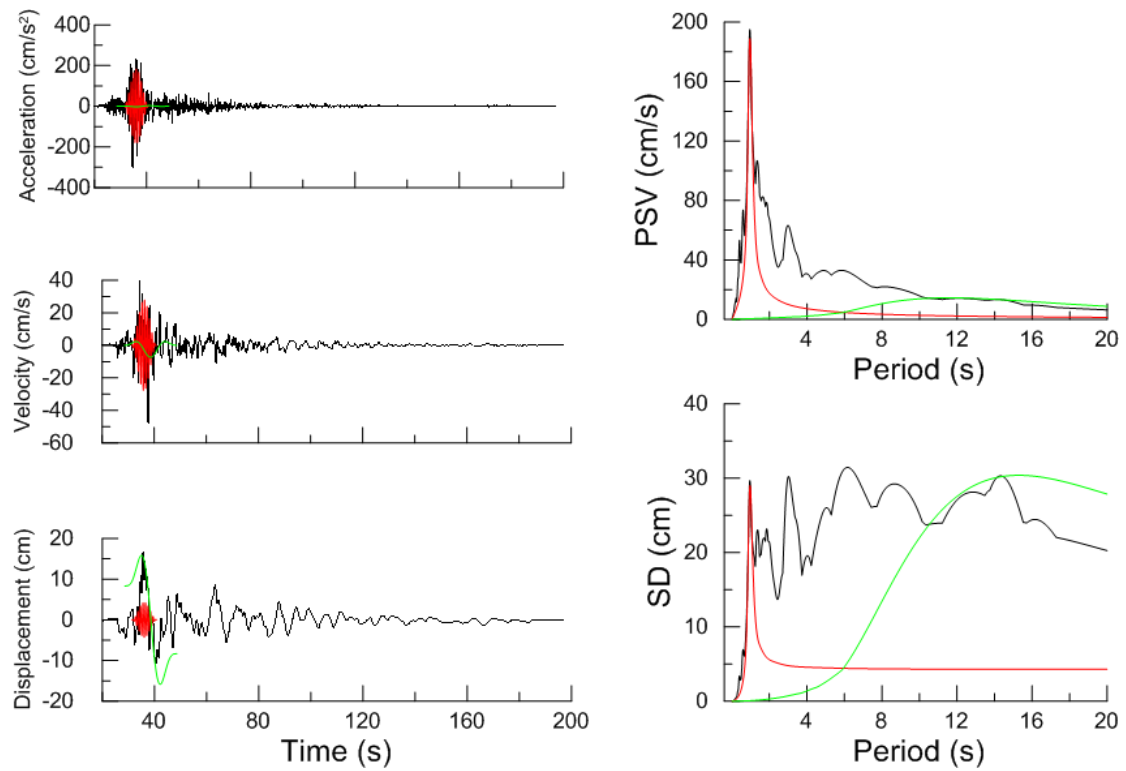
Χρονοϊστορίες και φάσματα της σεισμικής καταγραφής 829L της βάσης NGA



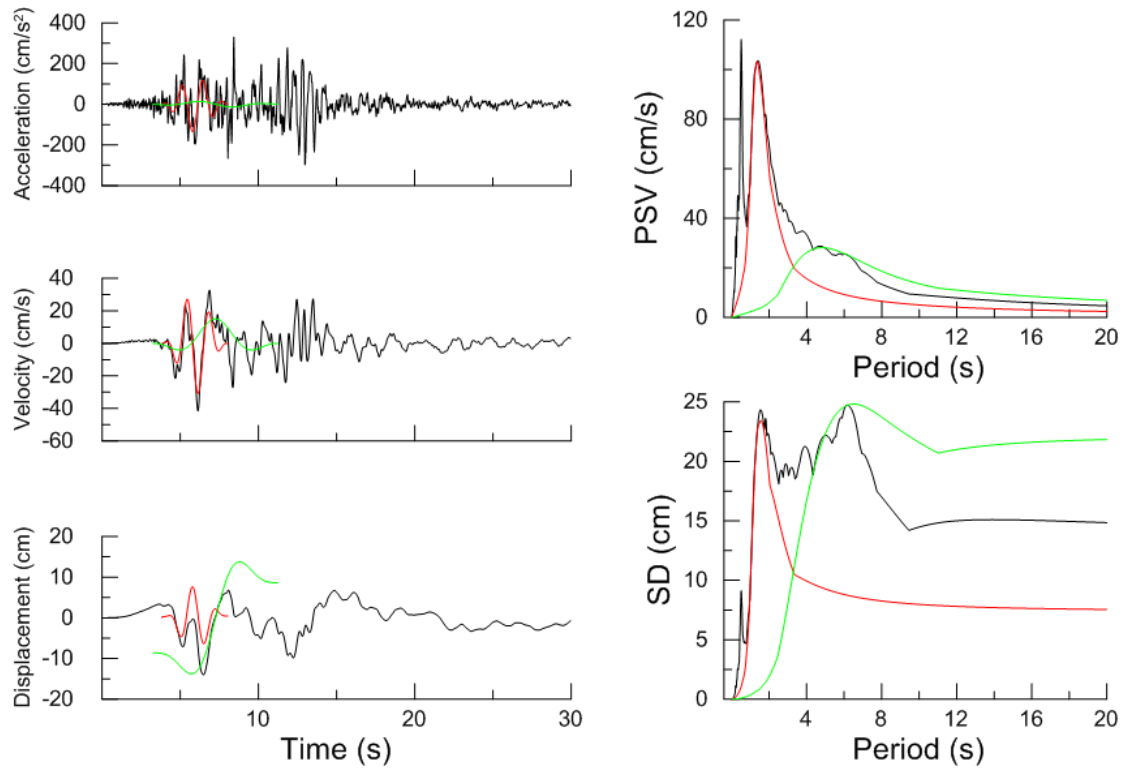
Χρονοϊστορίες και φάσματα της σεισμικής καταγραφής 952L της βάσης NGA



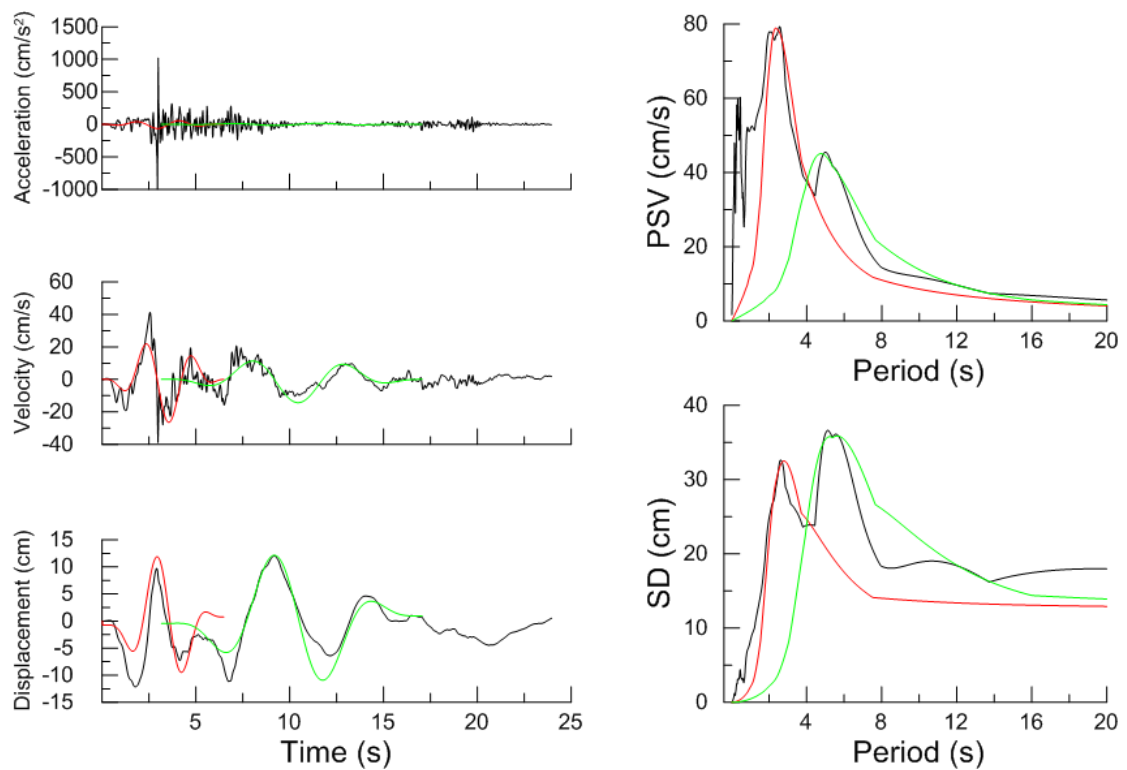
Χρονοϊστορίες και φάσματα της σεισμικής καταγραφής 725T της βάσης NGA



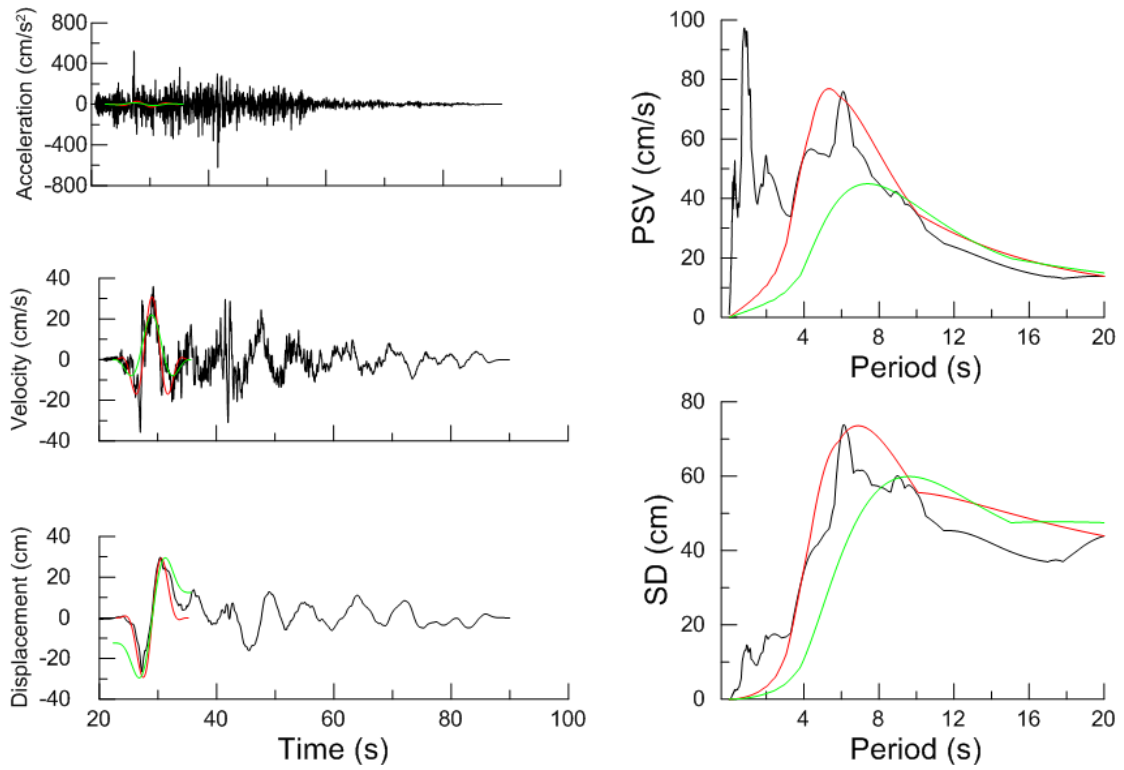
Χρονοϊστορίες και φάσματα της σεισμικής καταγραφής 1201L της βάσης NGA



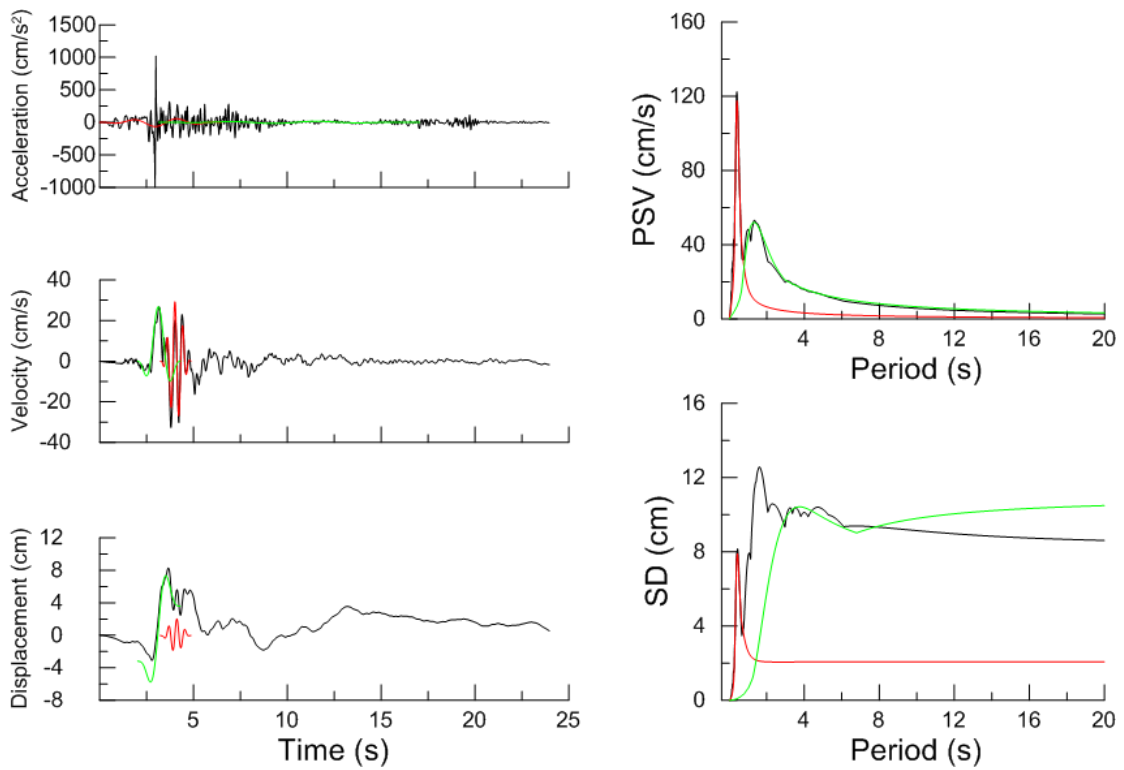
Χρονοϊστορίες και φάσματα της σεισμικής καταγραφής 1787T της βάσης NGA



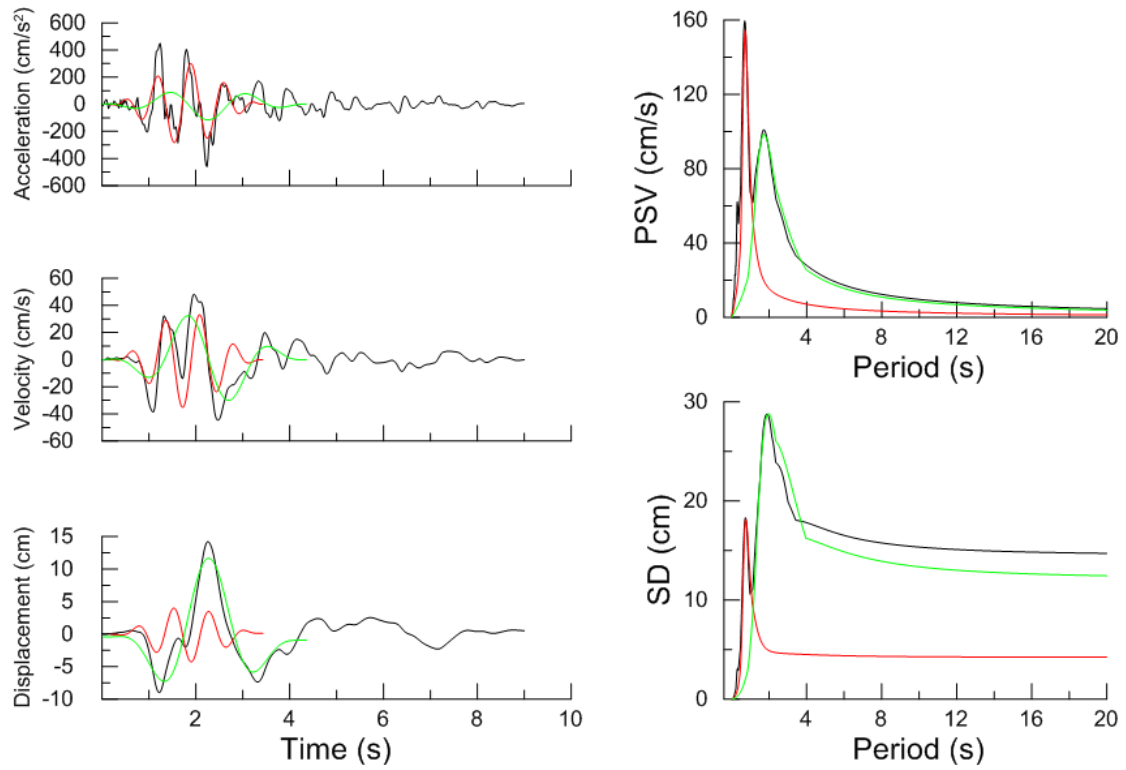
Χρονοϊστορίες και φάσματα της σεισμικής καταγραφής 825T της βάσης NGA



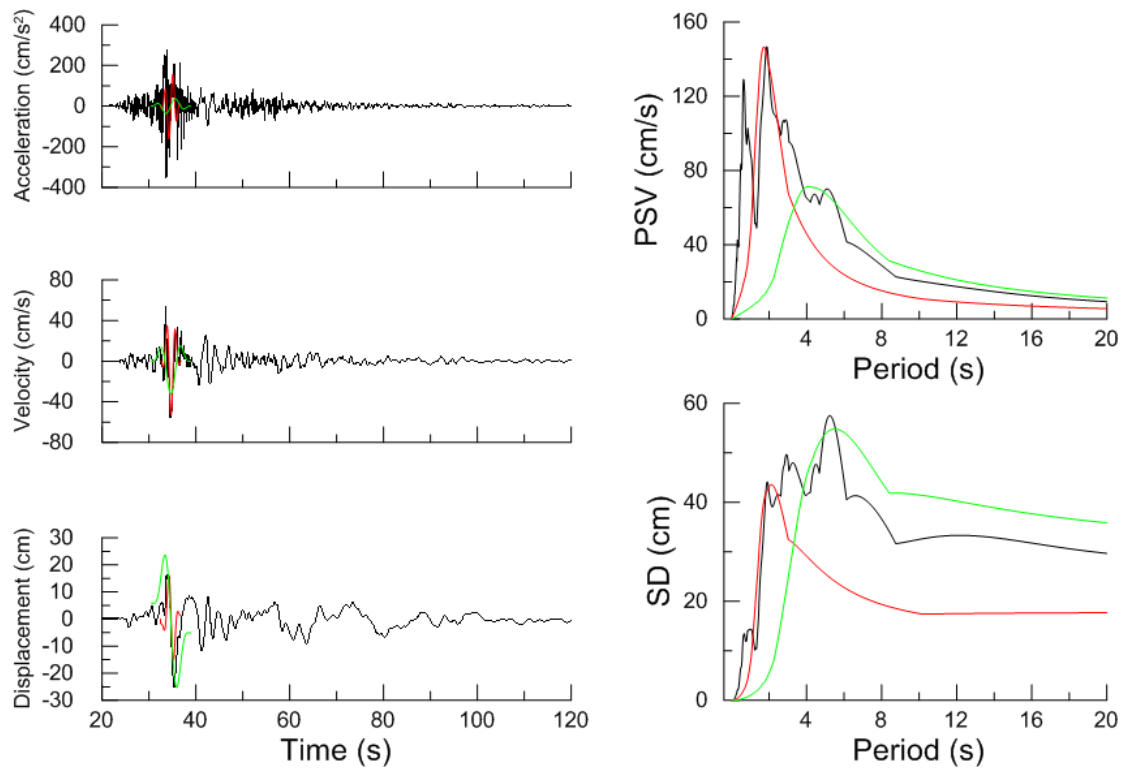
Χρονοϊστορίες και φάσματα της σεισμικής καταγραφής 1549T της βάσης NGA



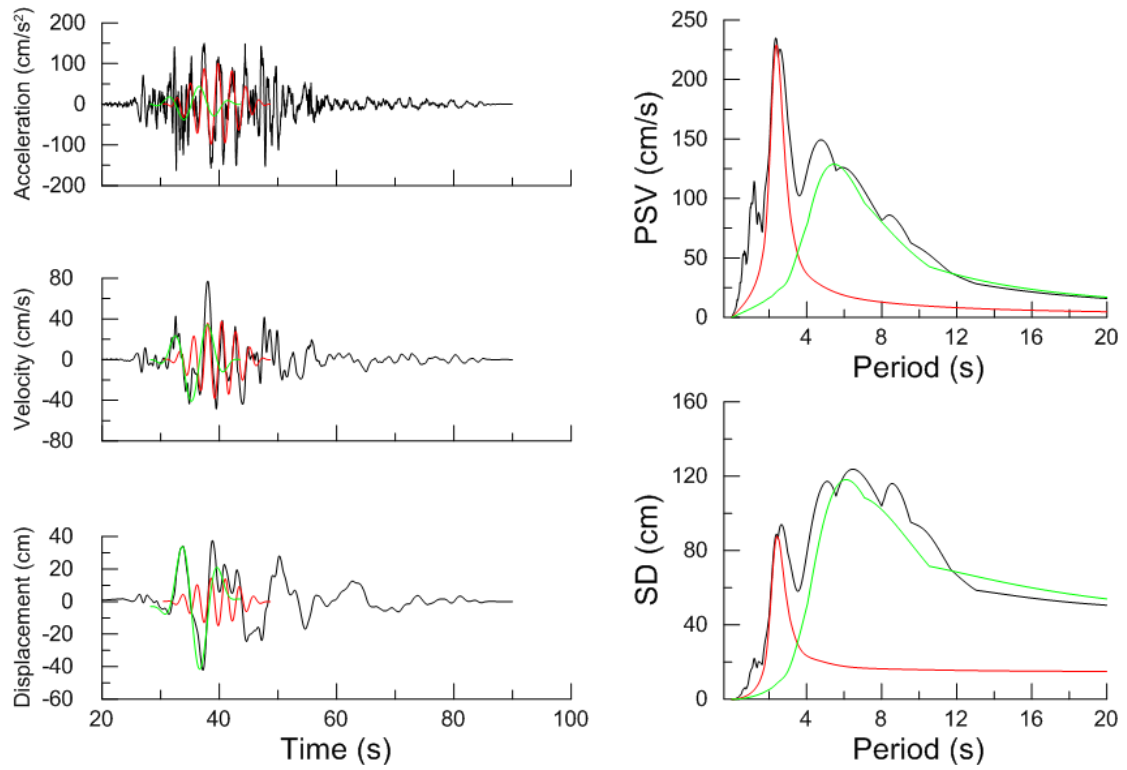
Χρονοϊστορίες και φάσματα της σεισμικής καταγραφής 765T της βάσης NGA



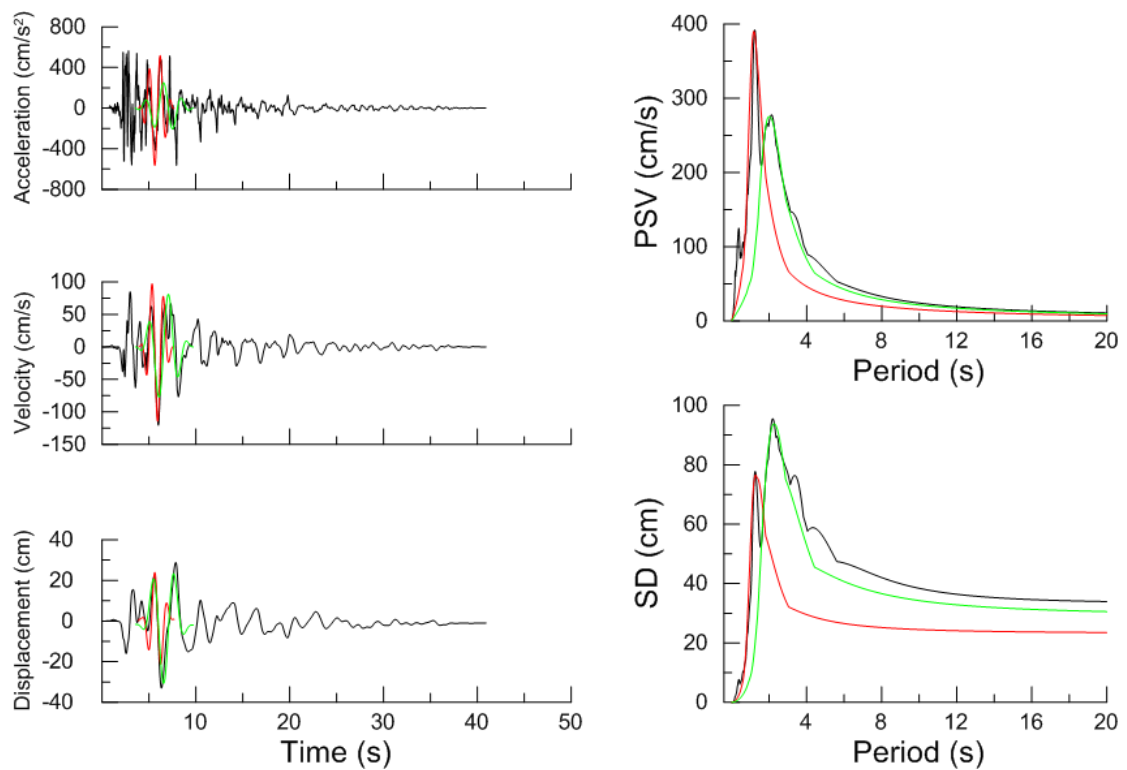
Χρονοϊστορίες και φάσματα της σεισμικής καταγραφής 568T της βάσης NGA



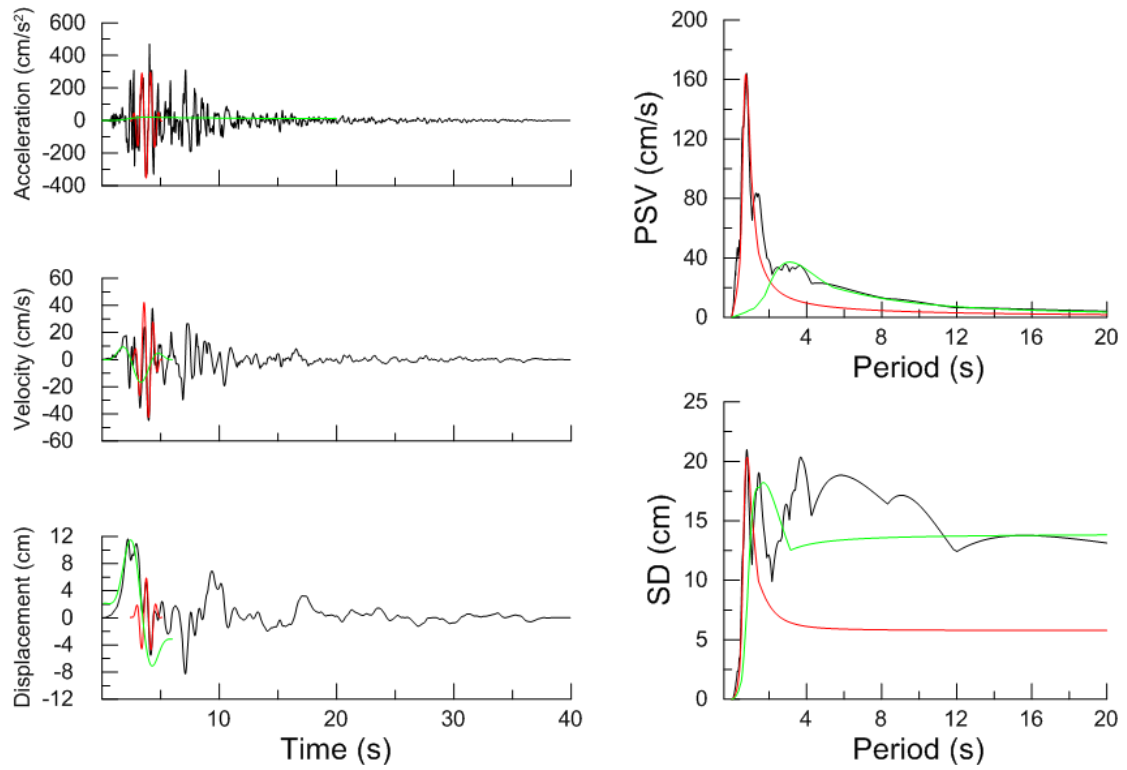
Χρονοϊστορίες και φάσματα της σεισμικής καταγραφής 1182T της βάσης NGA



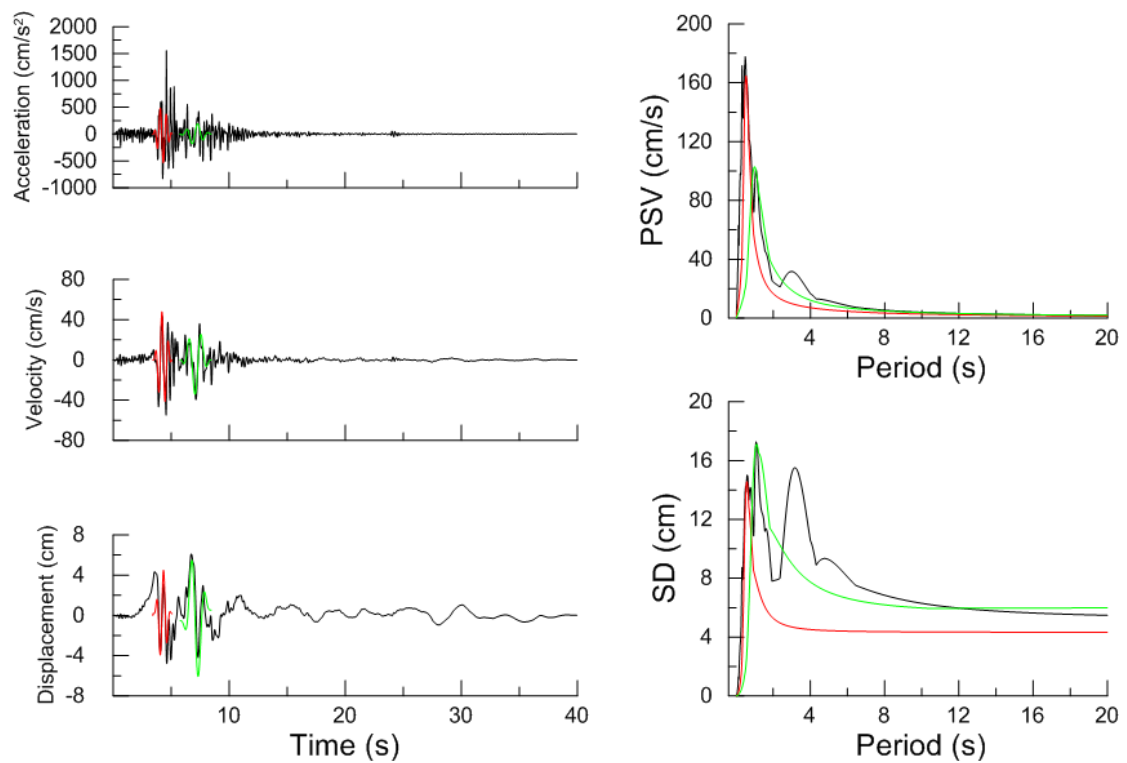
Χρονοϊστορίες και φάσματα της σεισμικής καταγραφής 1529T της βάσης NGA



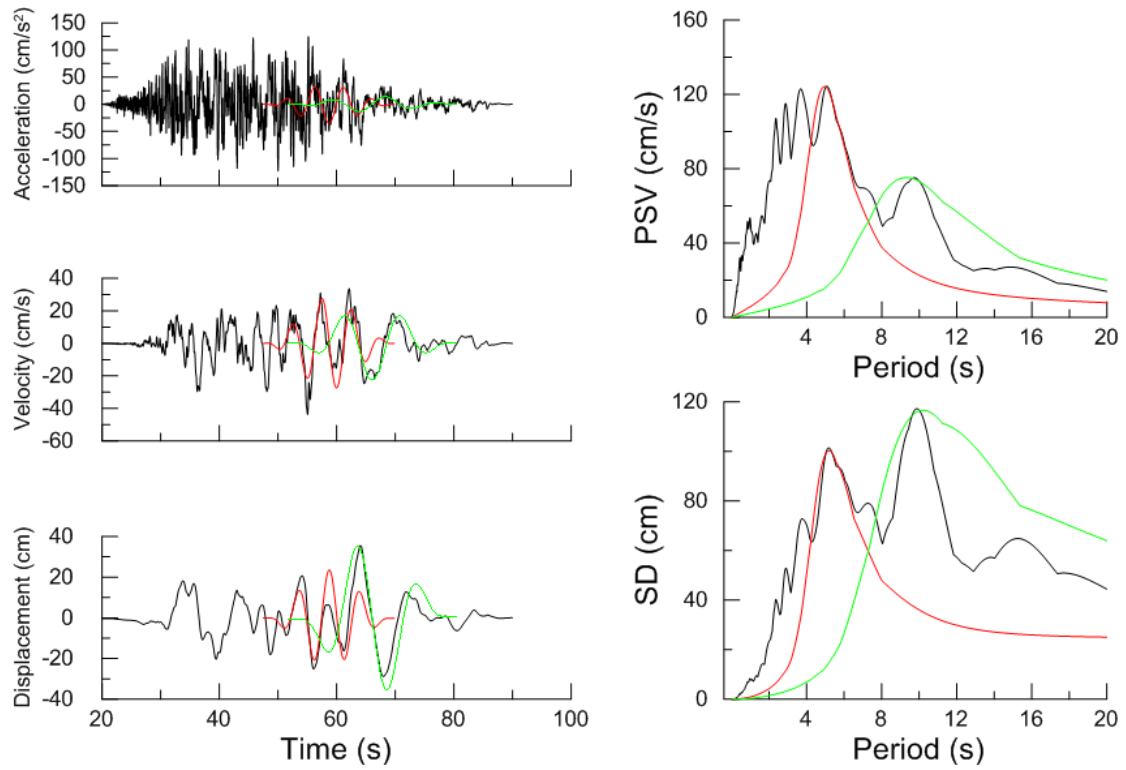
Χρονοϊστορίες και φάσματα της σεισμικής καταγραφής 1120T της βάσης NGA



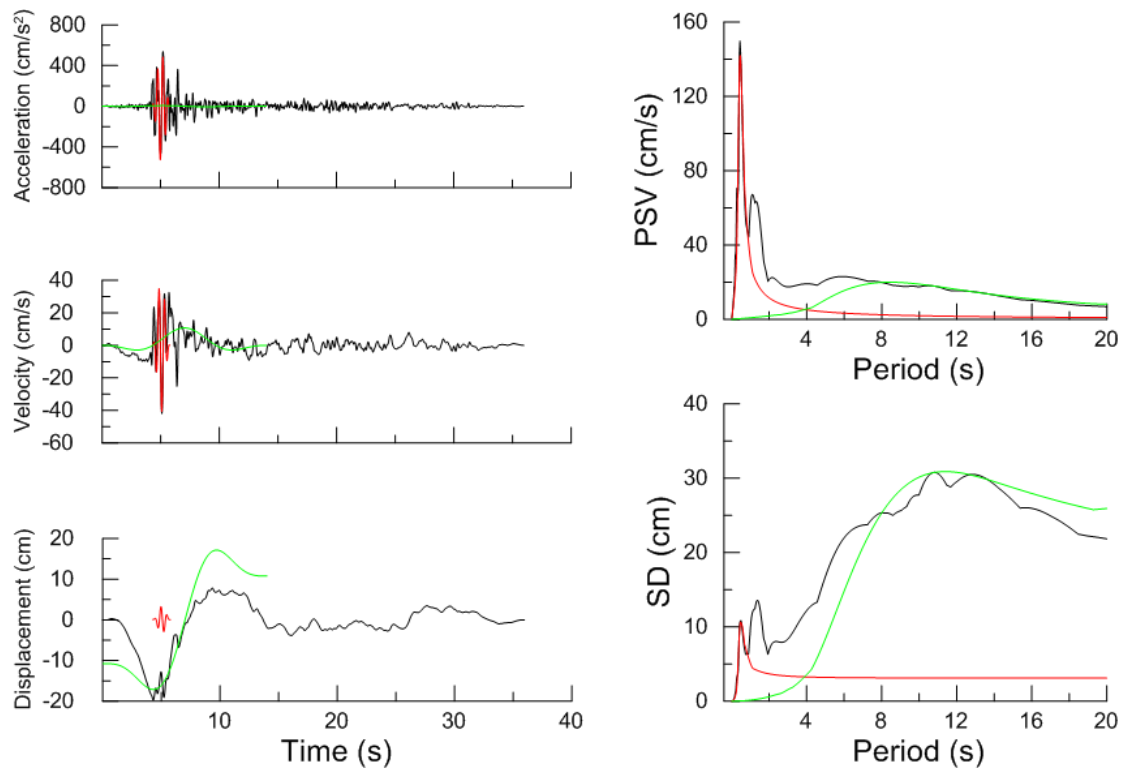
Χρονοϊστορίες και φάσματα της σεισμικής καταγραφής 753T της βάσης NGA



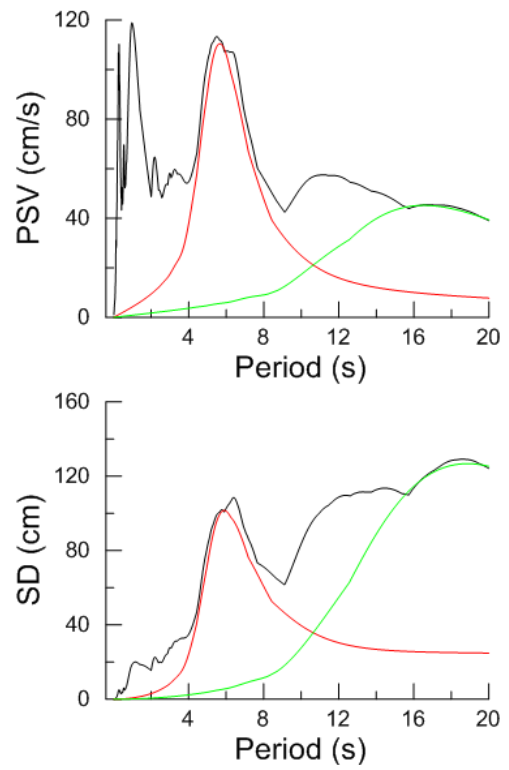
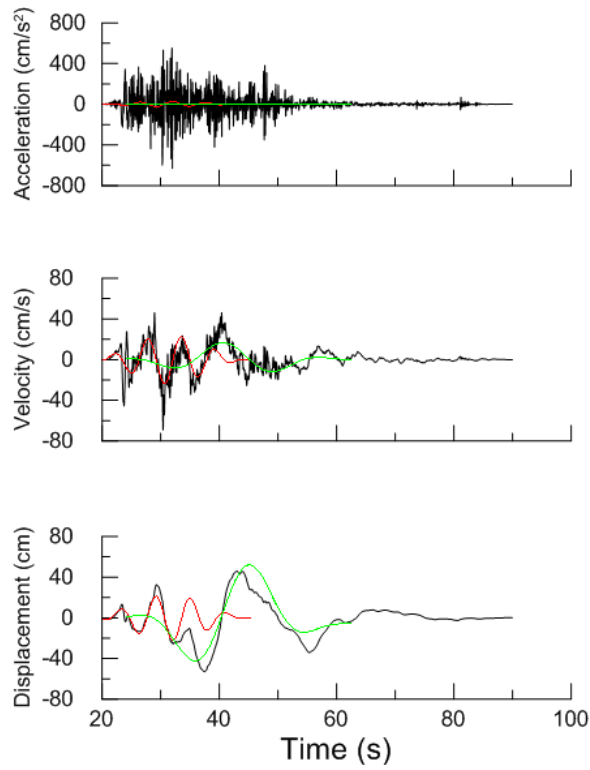
Χρονοϊστορίες και φάσματα της σεισμικής καταγραφής 1051L της βάσης NGA



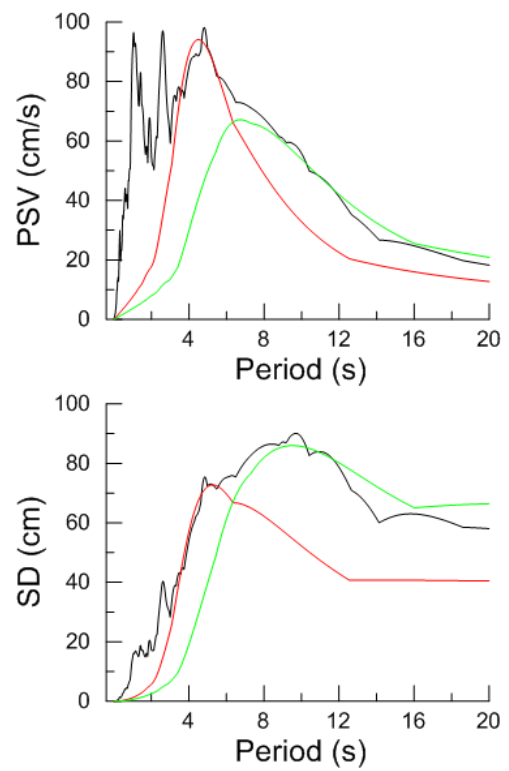
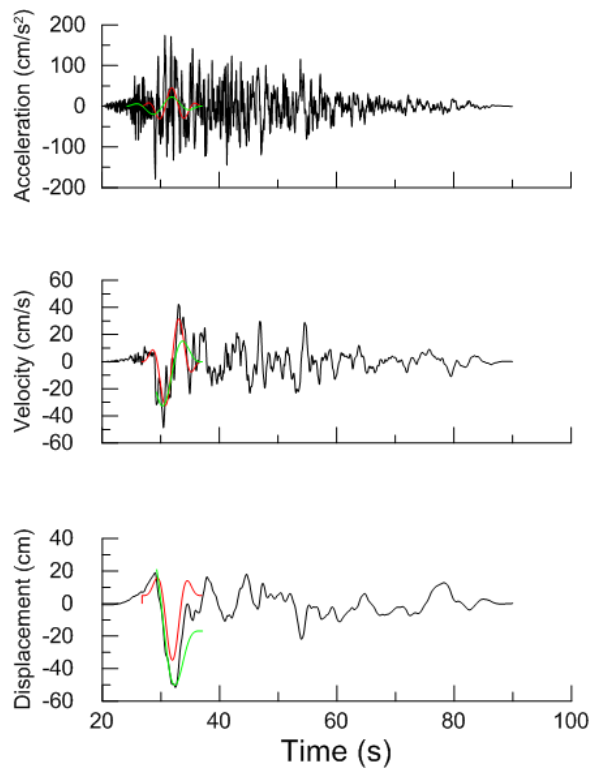
Χρονοϊστορίες και φάσματα της σεισμικής καταγραφής 1533T της βάσης NGA



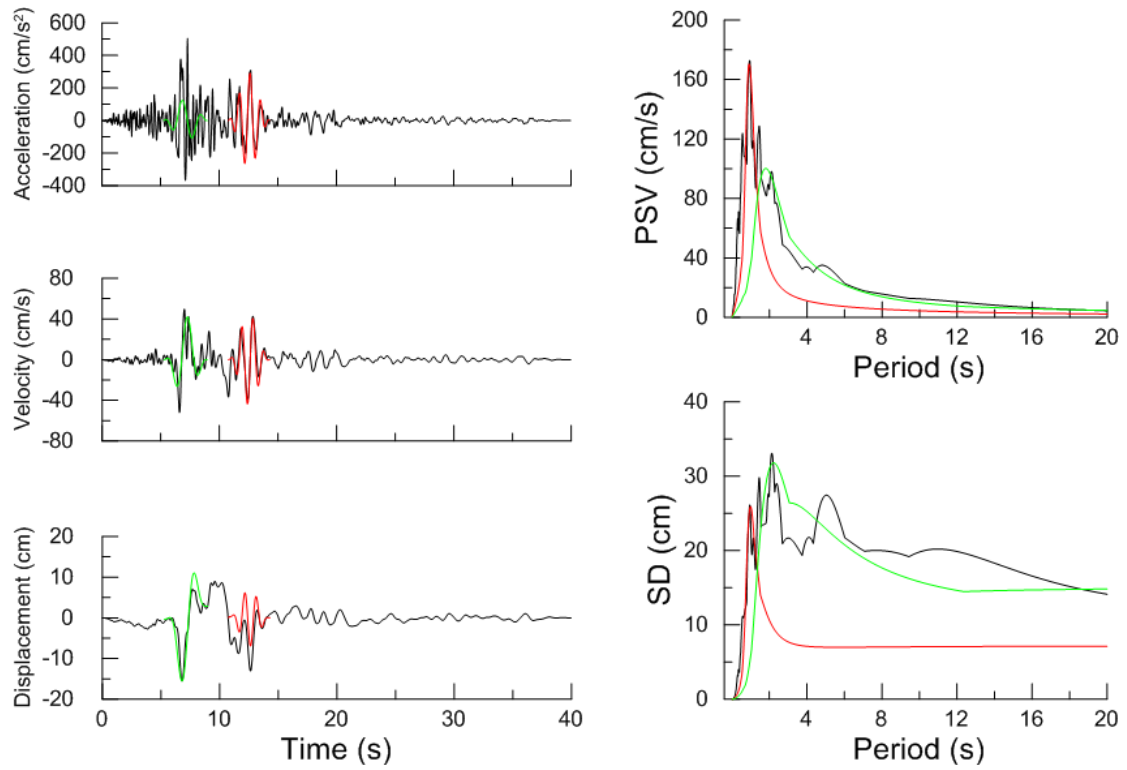
Χρονοϊστορίες και φάσματα της σεισμικής καταγραφής 829T της βάσης NGA



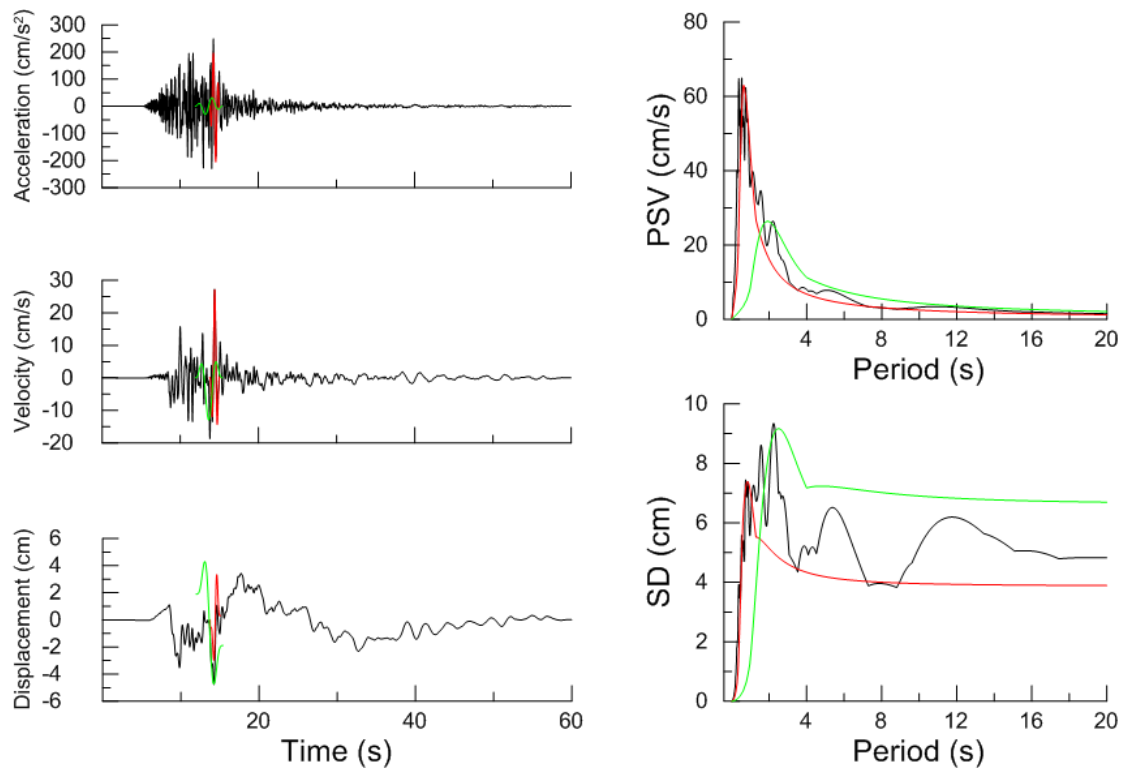
Χρονοϊστορίες και φάσματα της σεισμικής καταγραφής 1507T της βάσης NGA



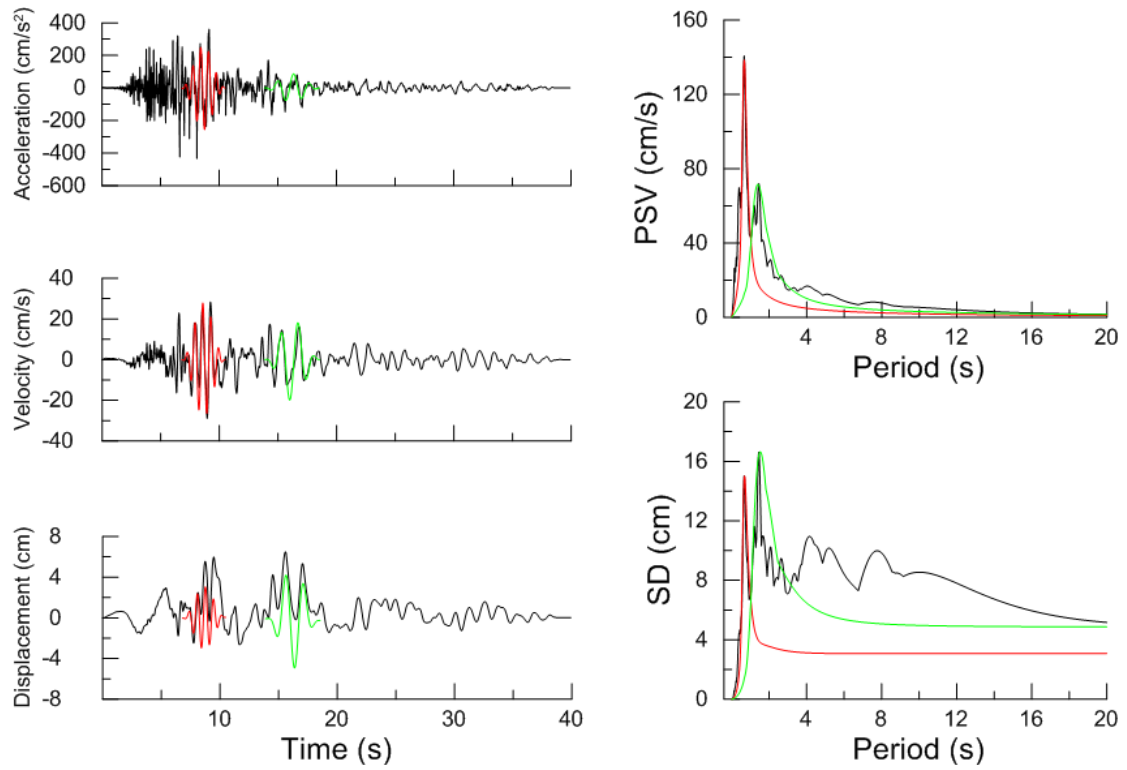
Χρονοϊστορίες και φάσματα της σεισμικής καταγραφής 1541L της βάσης NGA



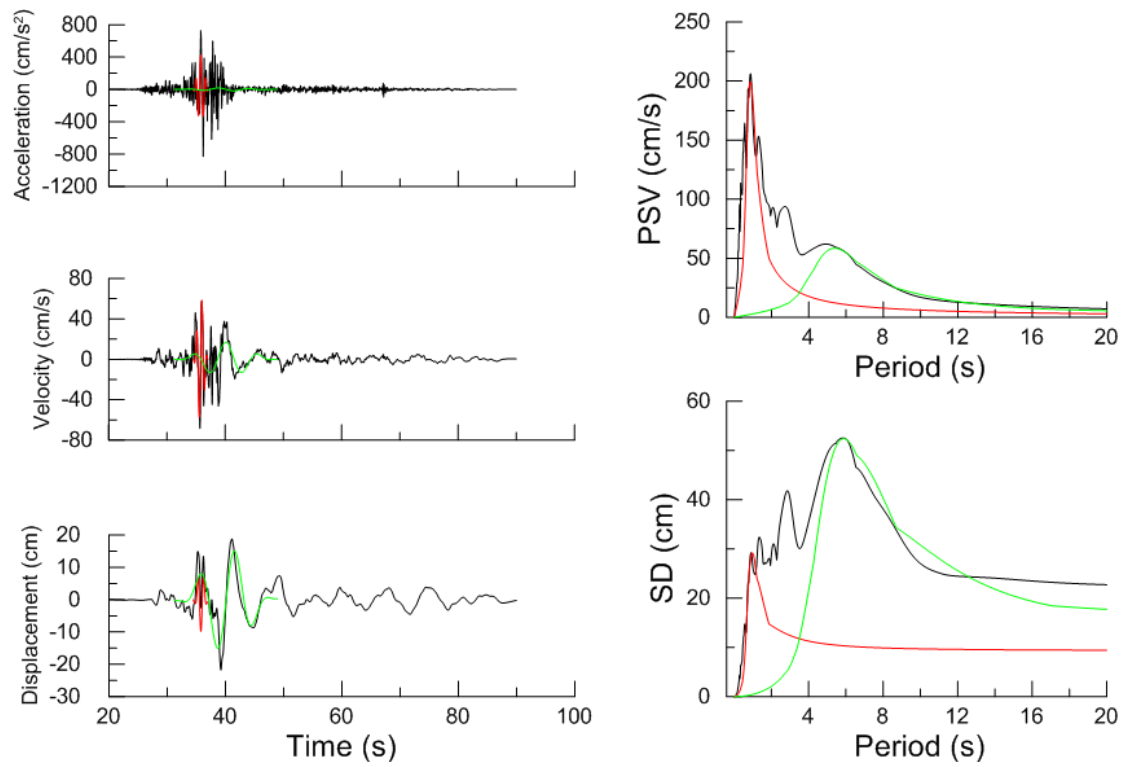
Χρονοϊστορίες και φάσματα της σεισμικής καταγραφής 963T της βάσης NGA



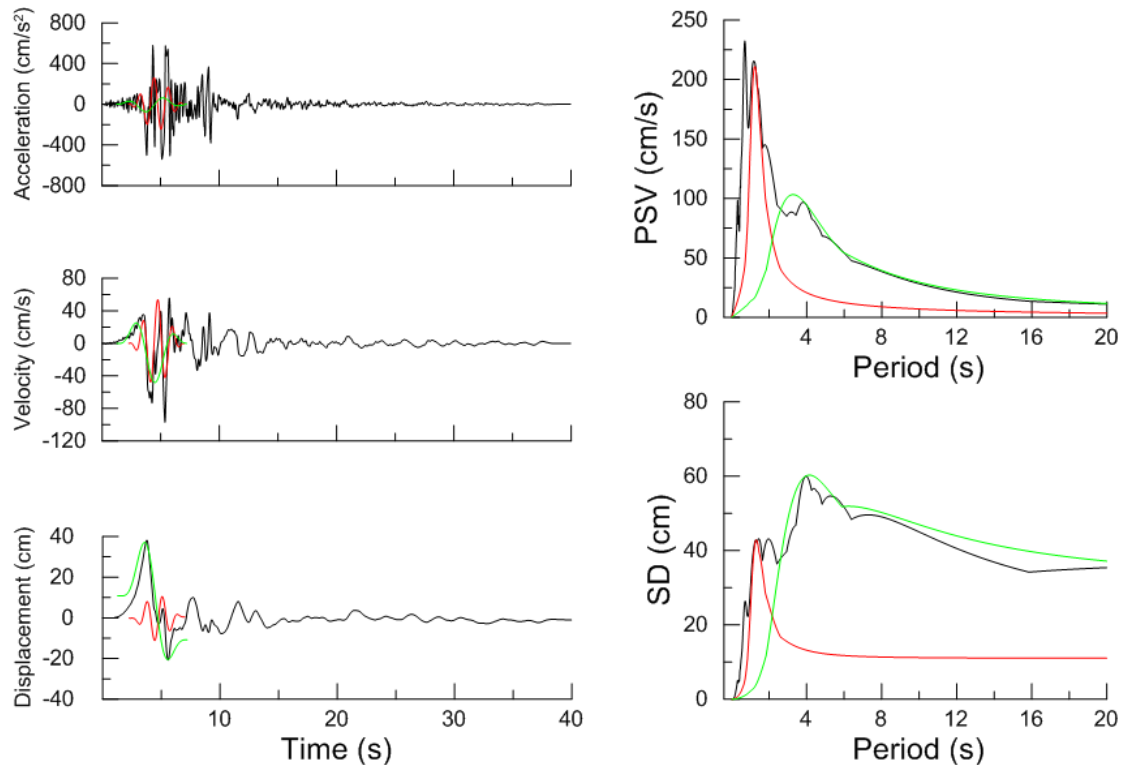
Χρονοϊστορίες και φάσματα της σεισμικής καταγραφής 1012L της βάσης NGA



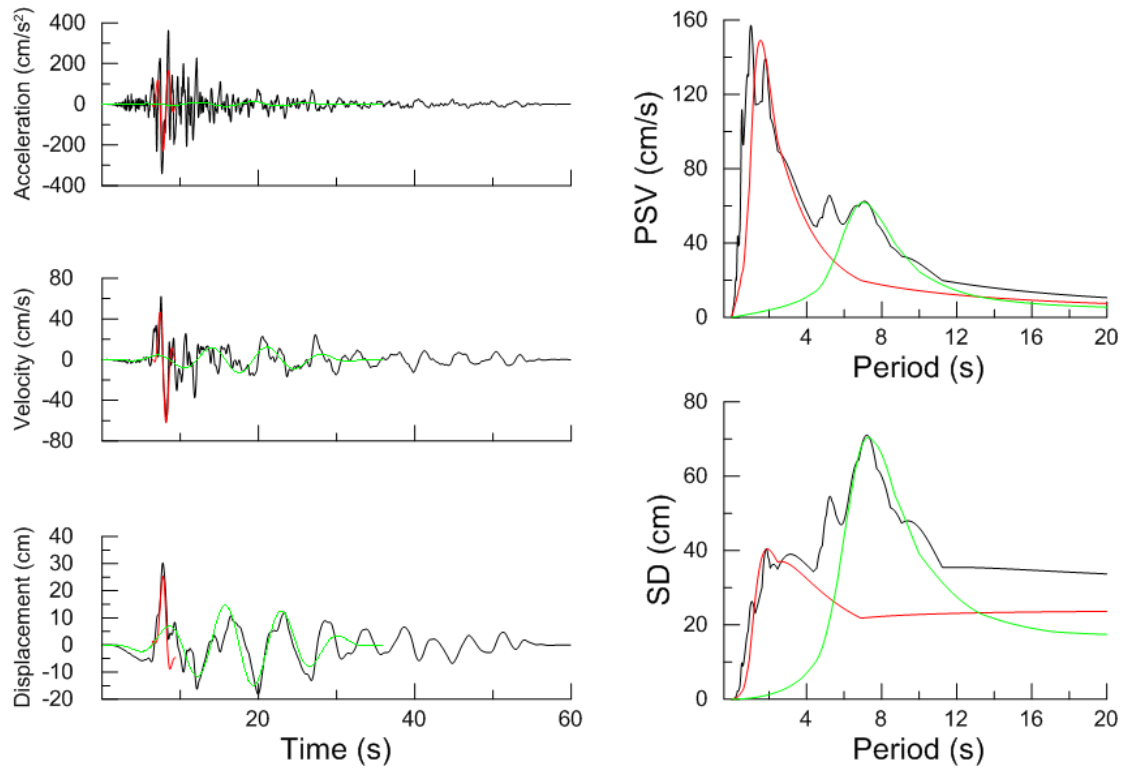
Χρονοϊστορίες και φάσματα της σεισμικής καταγραφής 752T της βάσης NGA



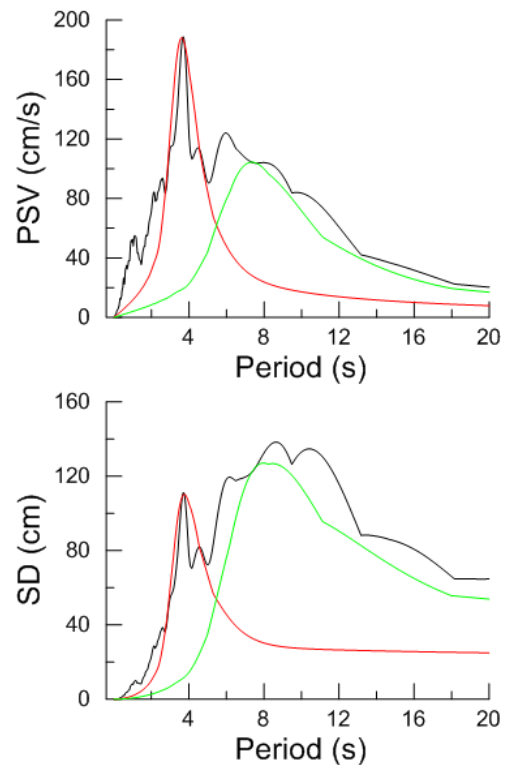
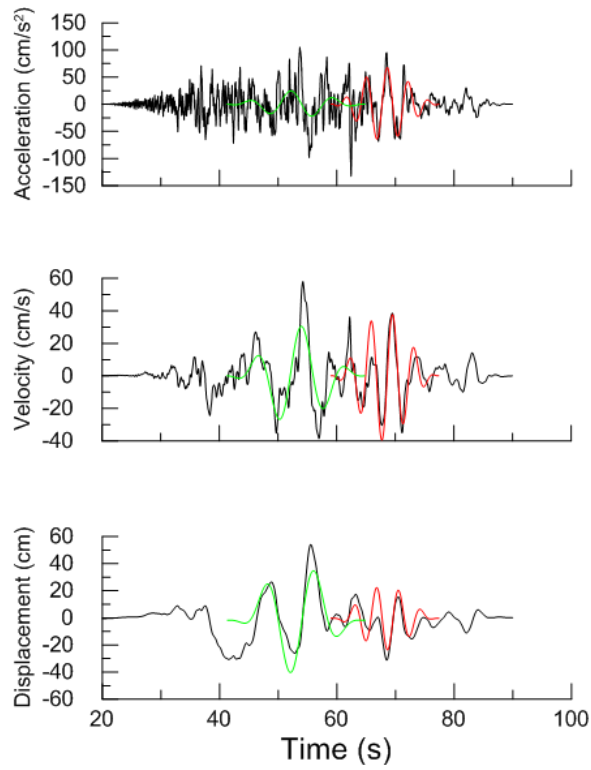
Χρονοϊστορίες και φάσματα της σεισμικής καταγραφής 1197T της βάσης NGA



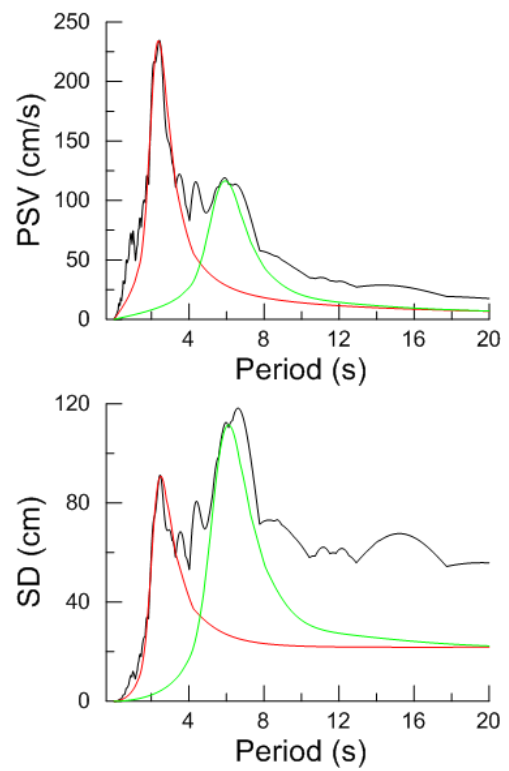
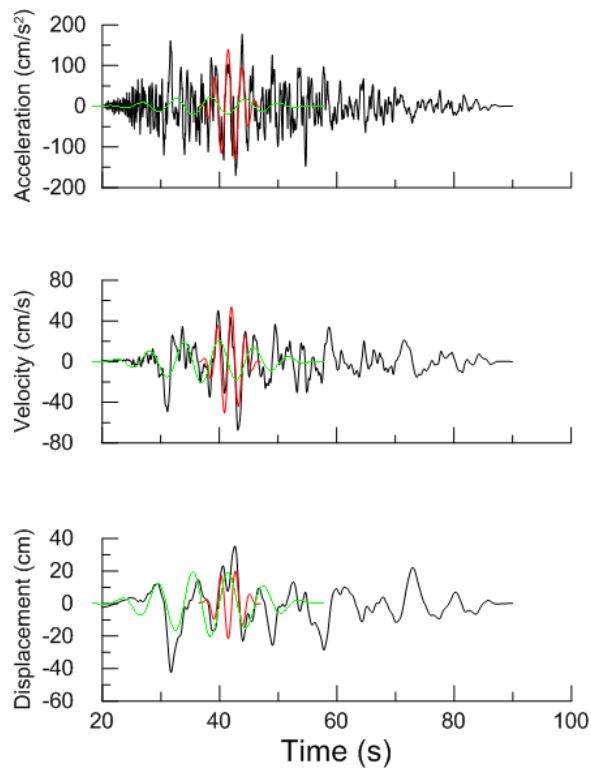
Χρονοϊστορίες και φάσματα της σεισμικής καταγραφής 1044T της βάσης NGA



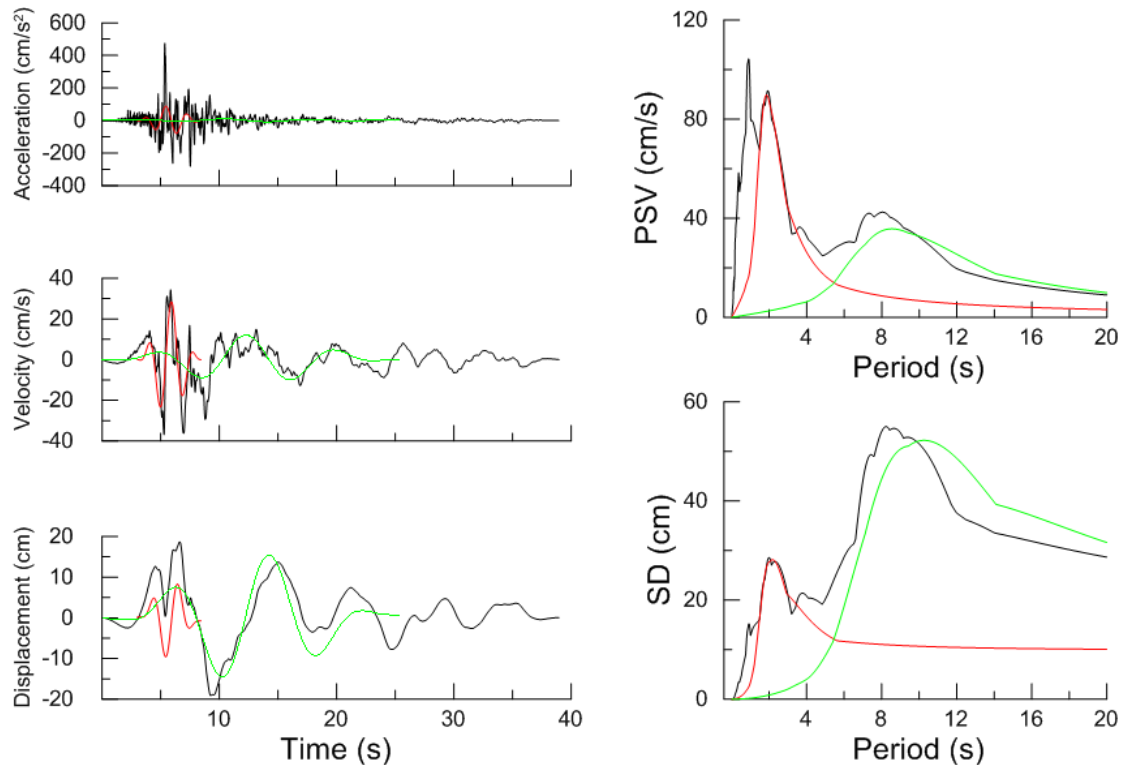
Χρονοϊστορίες και φάσματα της σεισμικής καταγραφής 776L της βάσης NGA



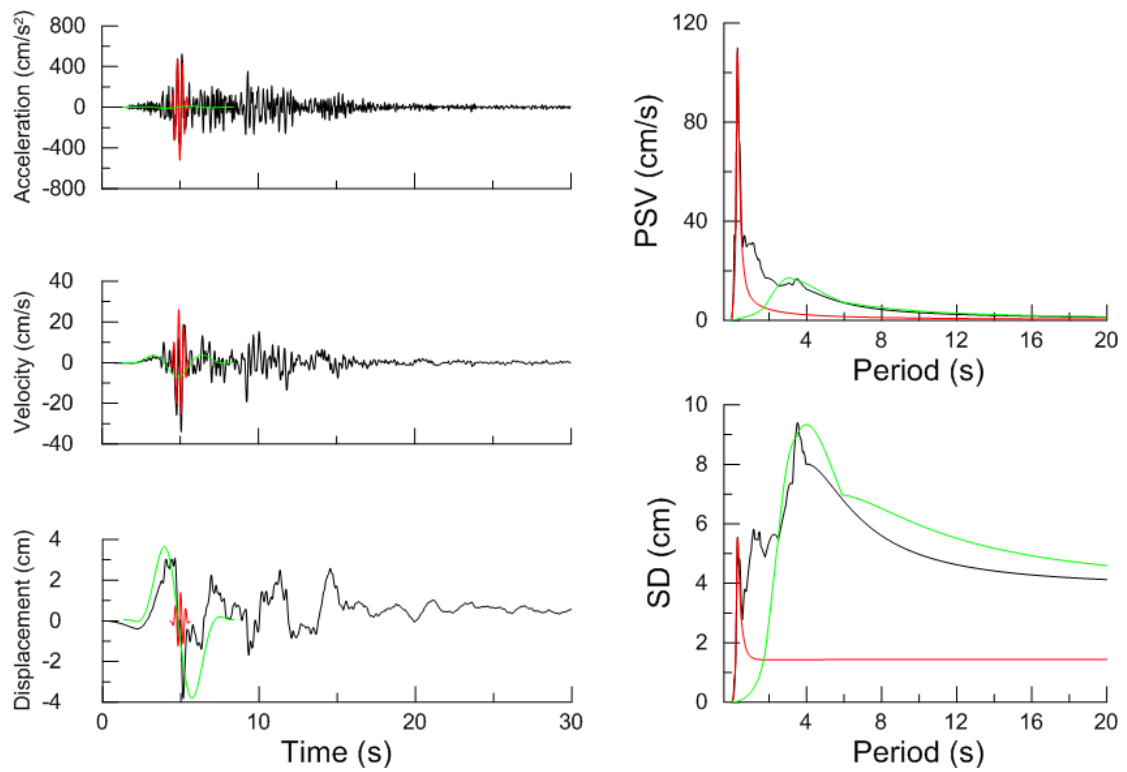
Χρονοϊστορίες και φάσματα της σεισμικής καταγραφής 1537L της βάσης NGA



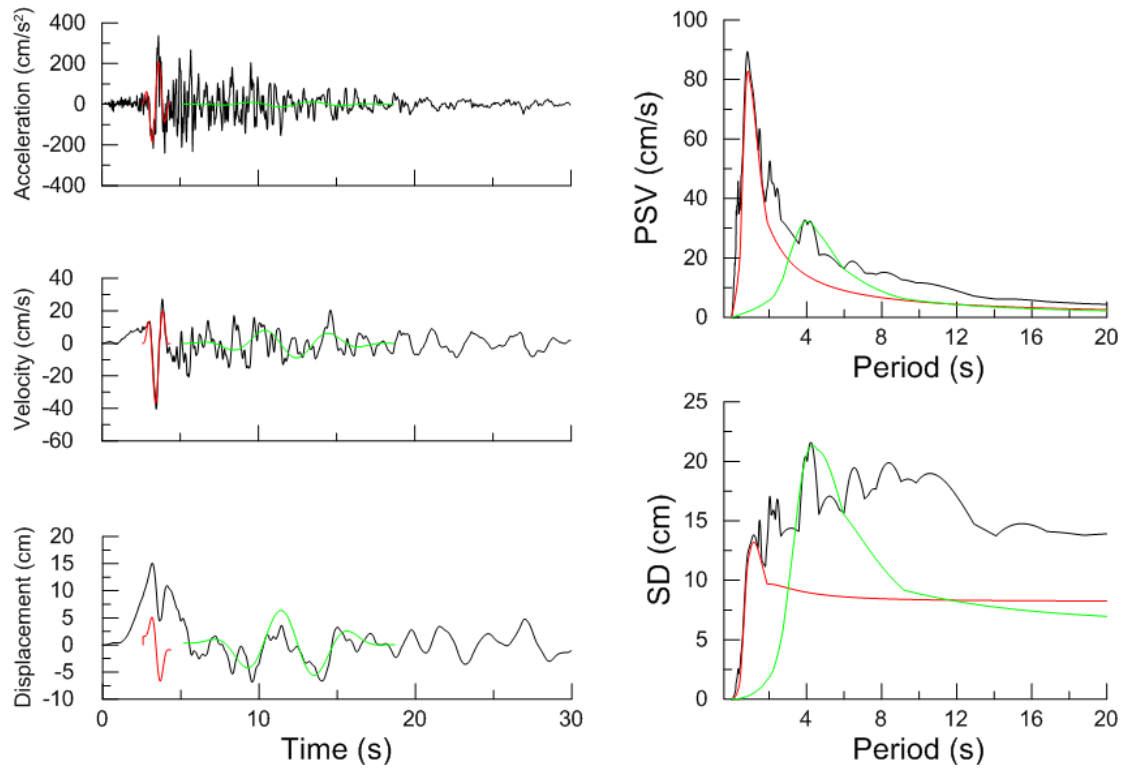
Χρονοϊστορίες και φάσματα της σεισμικής καταγραφής 1536L της βάσης NGA



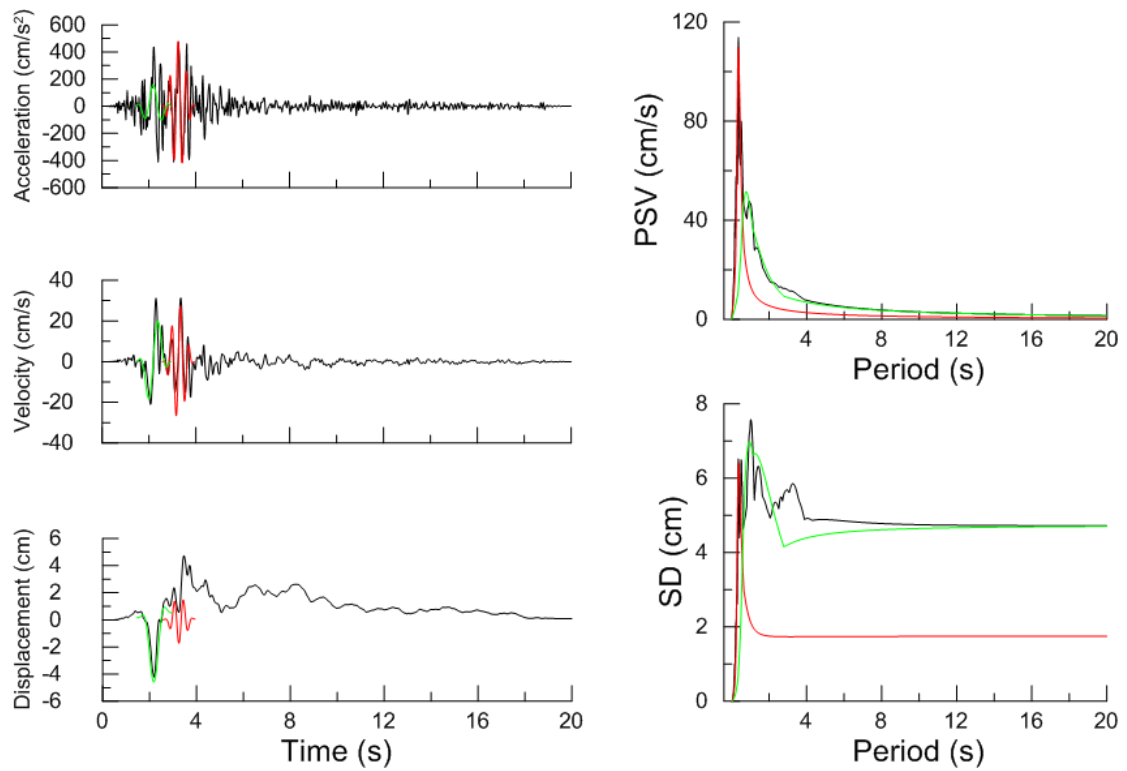
Χρονοϊστορίες και φάσματα της σεισμικής καταγραφής 179L της βάσης NGA



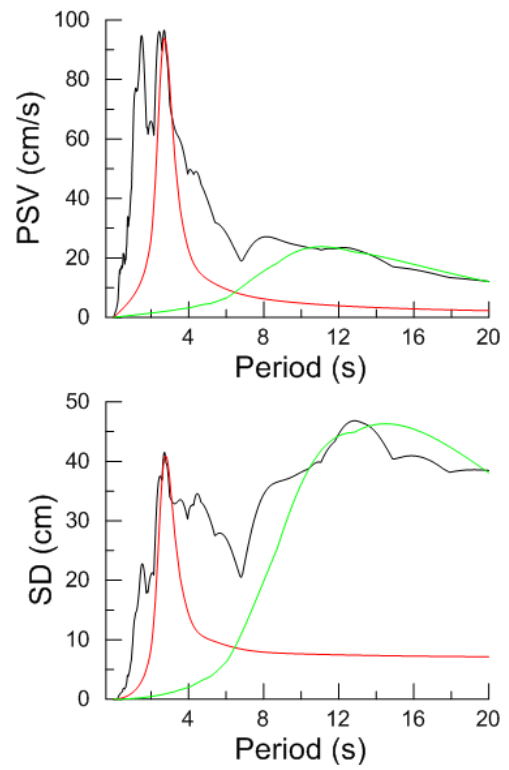
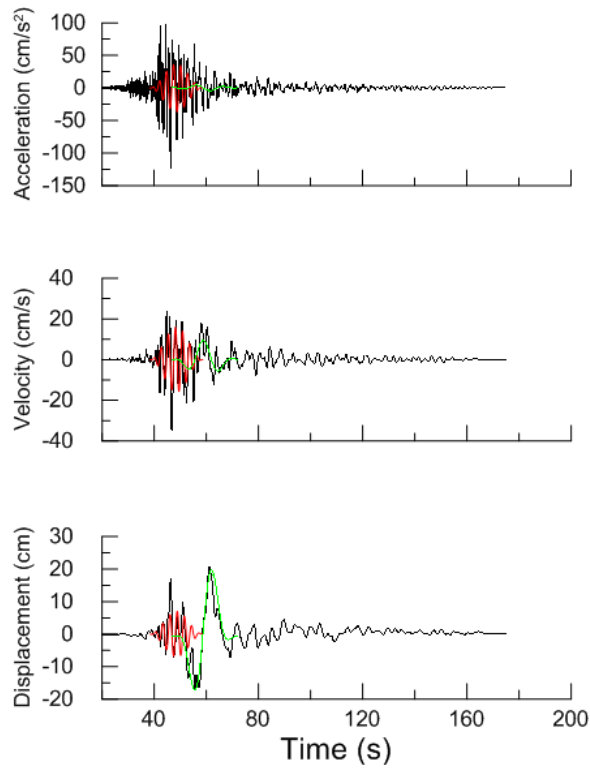
Χρονοϊστορίες και φάσματα της σεισμικής καταγραφής 901L της βάσης NGA



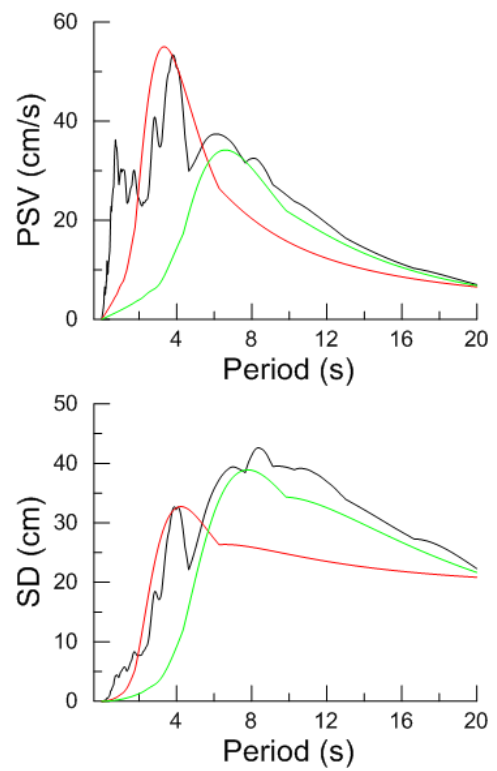
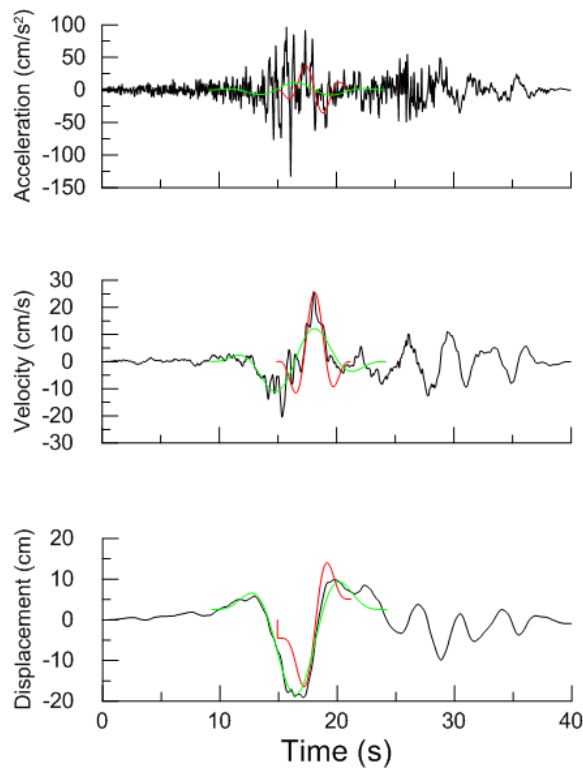
Χρονοϊστορίες και φάσματα της σεισμικής καταγραφής 949L της βάσης NGA



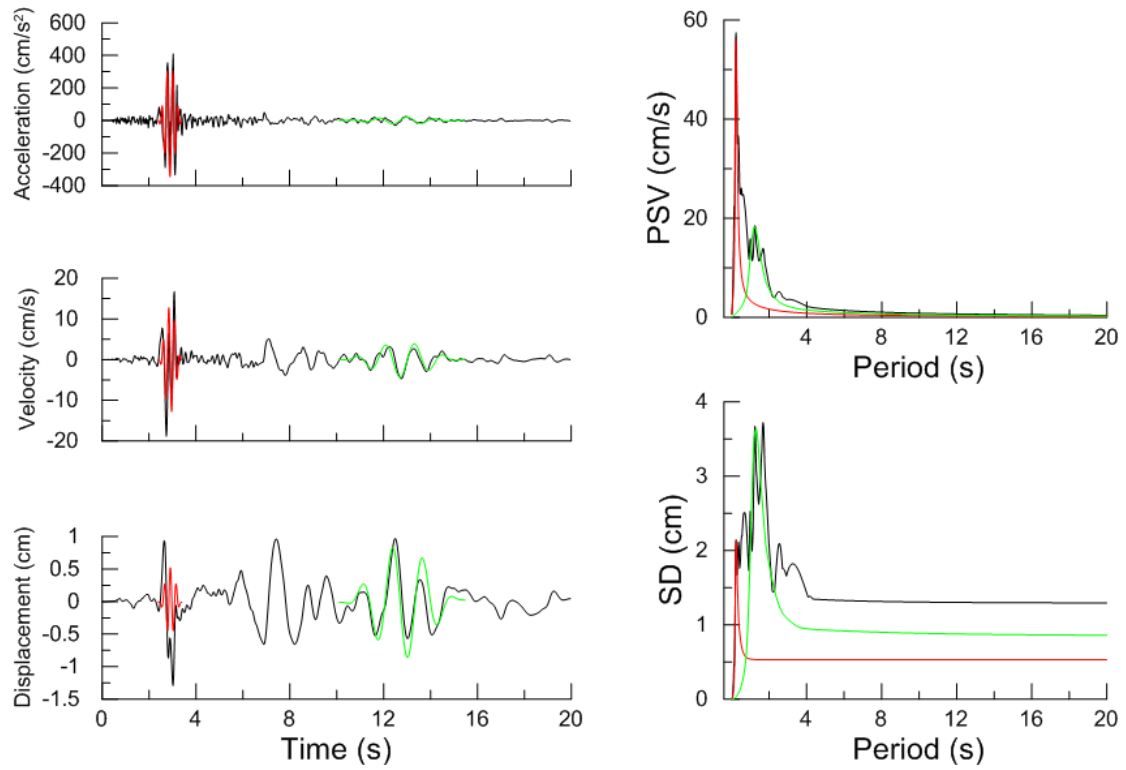
Χρονοϊστορίες και φάσματα της σεισμικής καταγραφής 540T της βάσης NGA



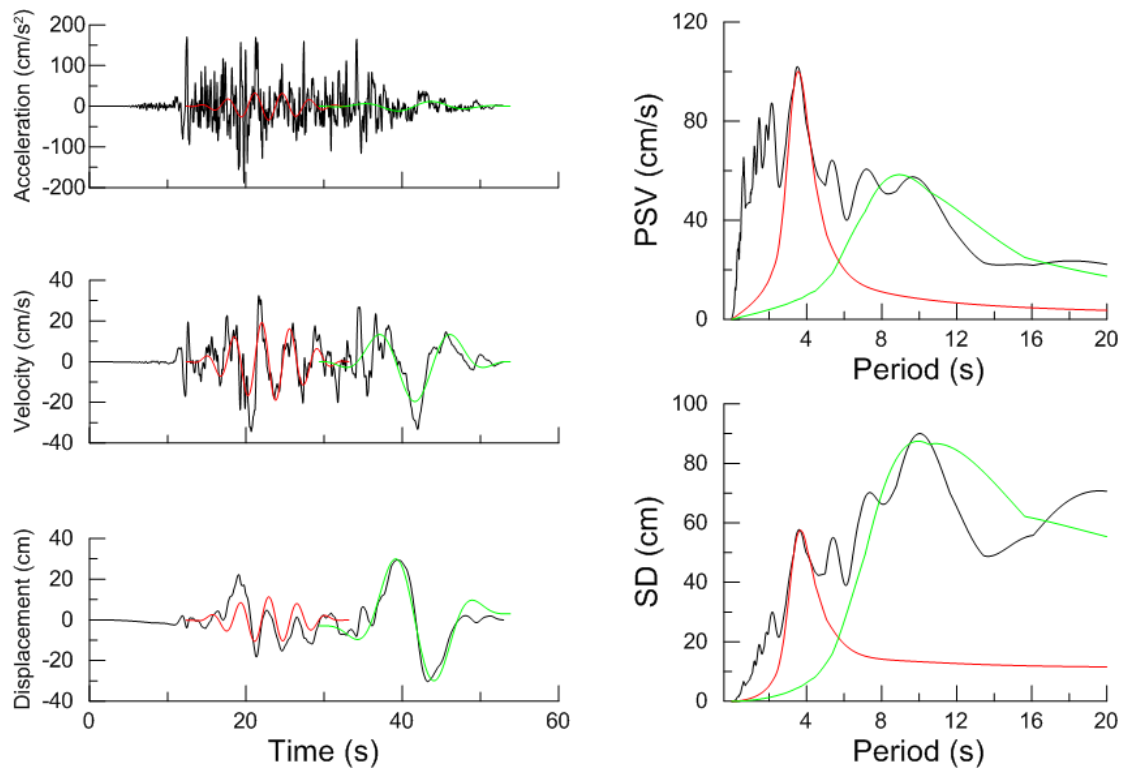
Χρονοϊστορίες και φάσματα της σεισμικής καταγραφής 1410T της βάσης NGA



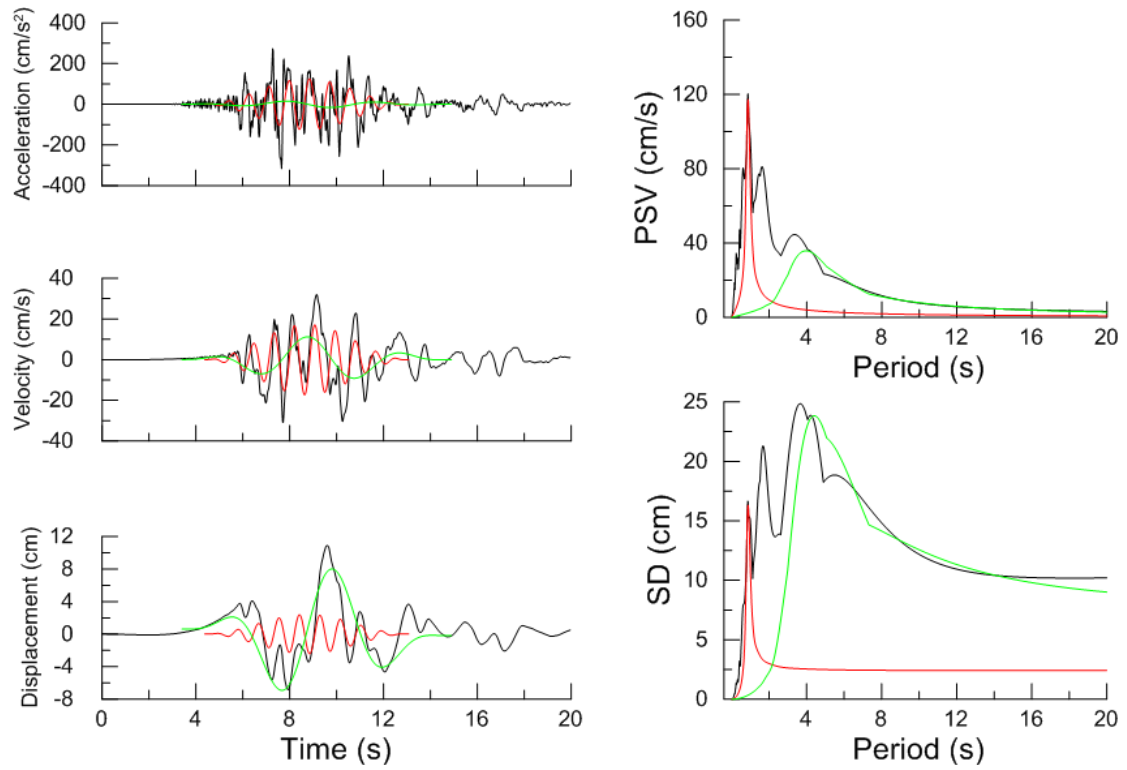
Χρονοϊστορίες και φάσματα της σεισμικής καταγραφής 838T της βάσης NGA



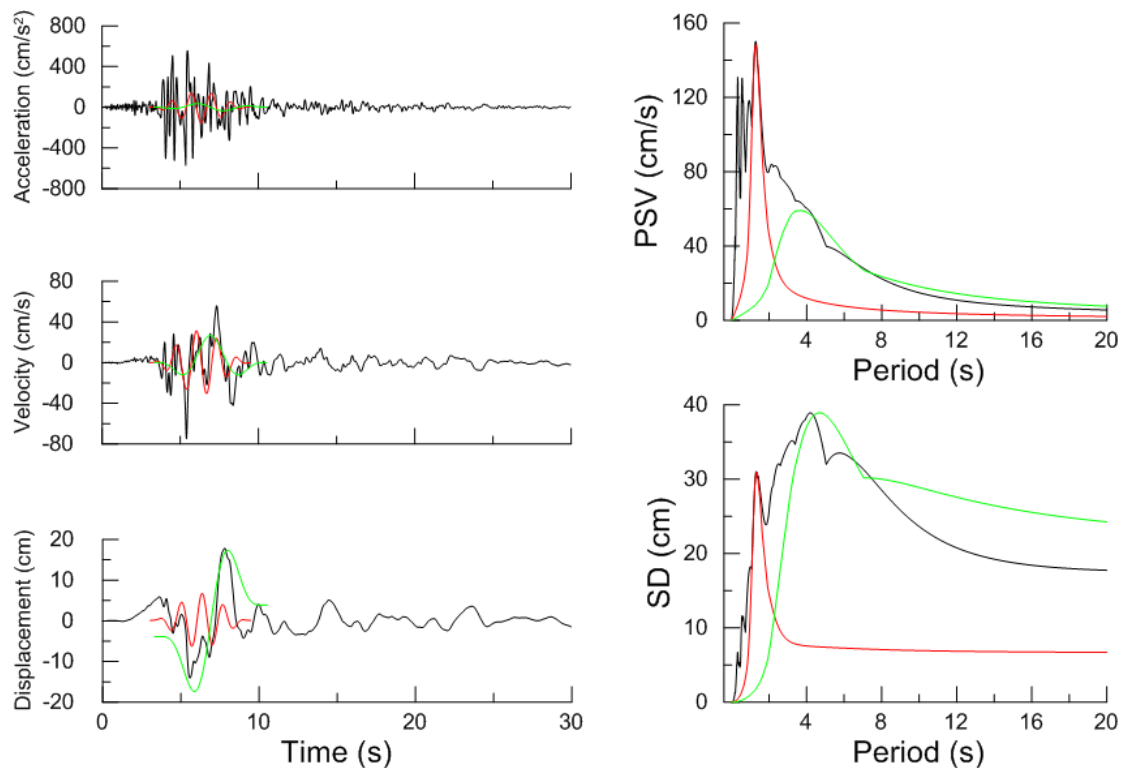
Χρονοϊστορίες και φάσματα της σεισμικής καταγραφής 418L της βάσης NGA



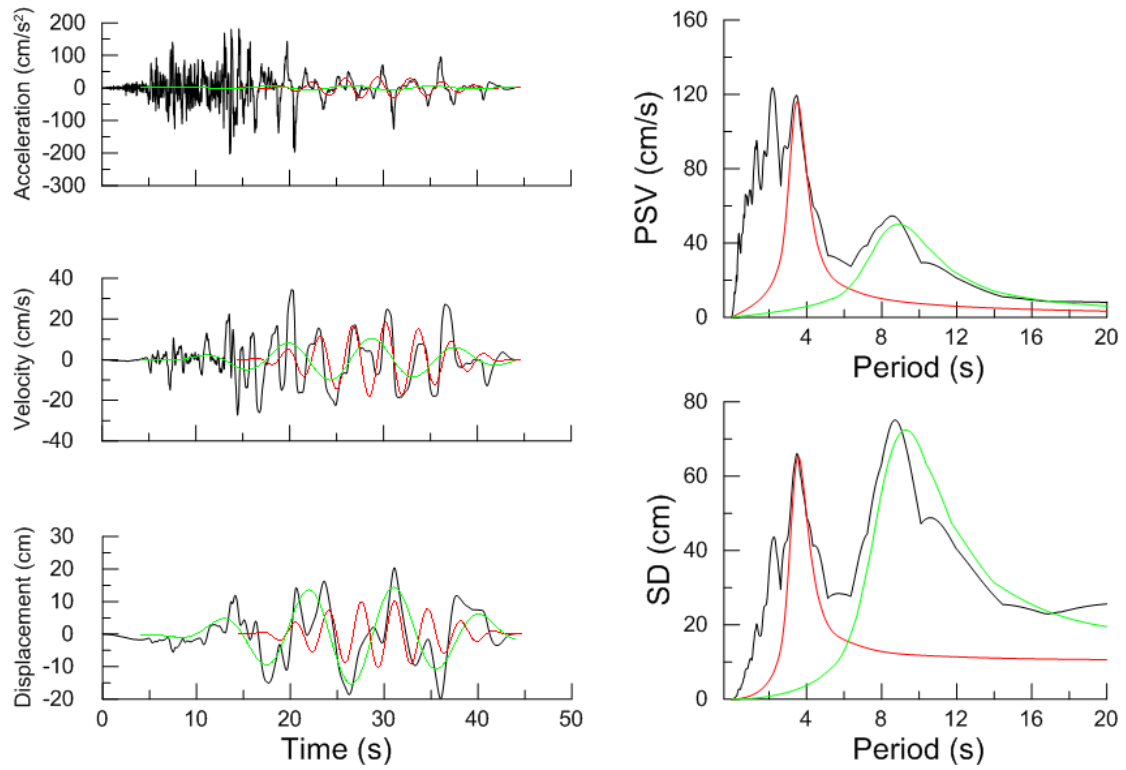
Χρονοϊστορίες και φάσματα της σεισμικής καταγραφής 1462T της βάσης NGA



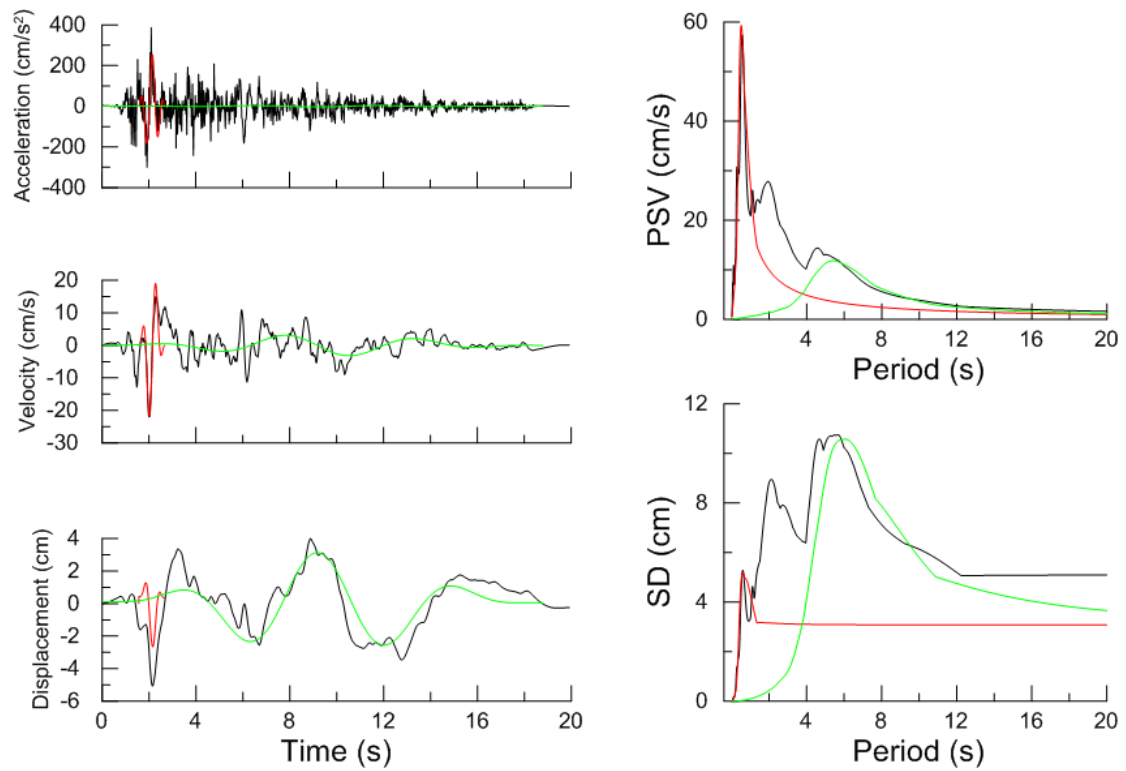
Χρονοϊστορίες και φάσματα της σεισμικής καταγραφής 2734T της βάσης NGA



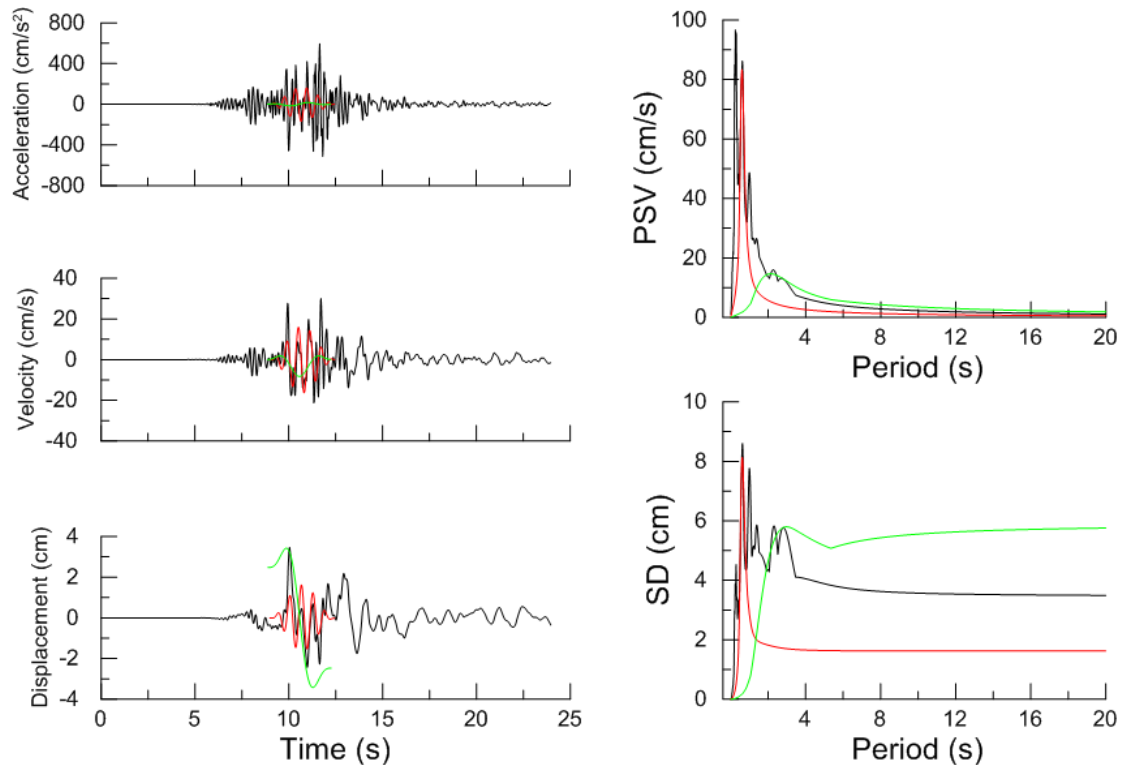
Χρονοϊστορίες και φάσματα της σεισμικής καταγραφής 1044L της βάσης NGA



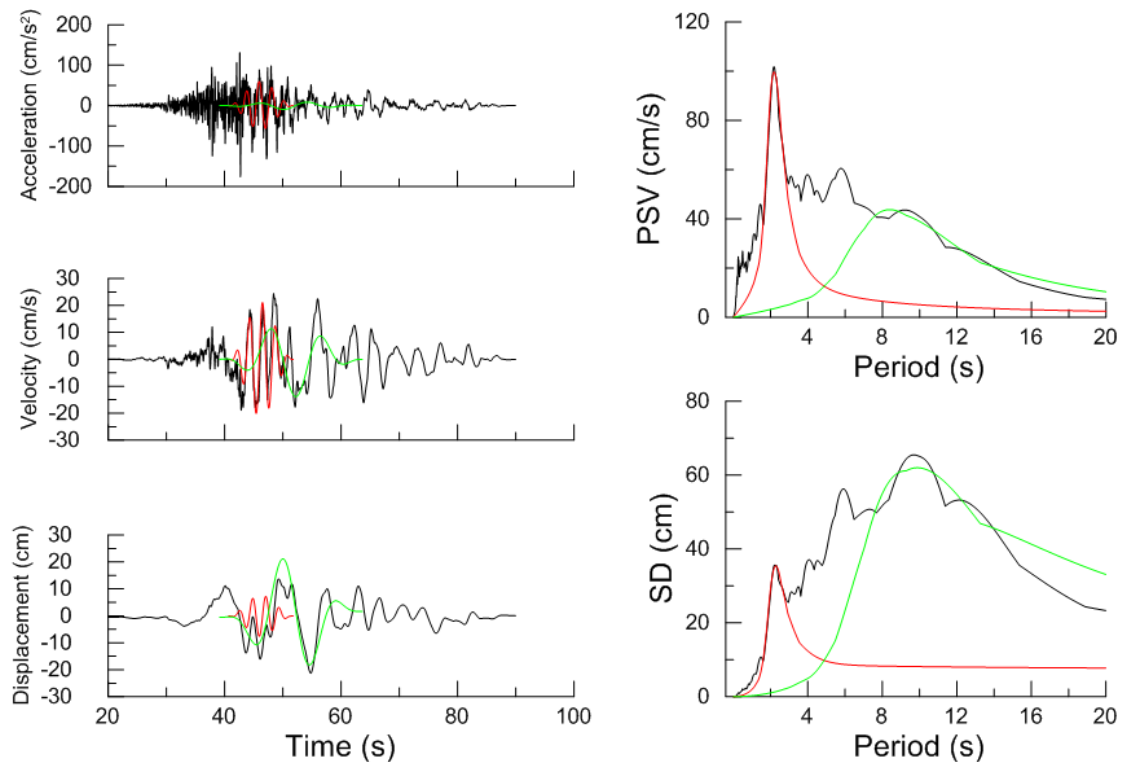
Χρονοϊστορίες και φάσματα της σεισμικής καταγραφής 729T της βάσης NGA



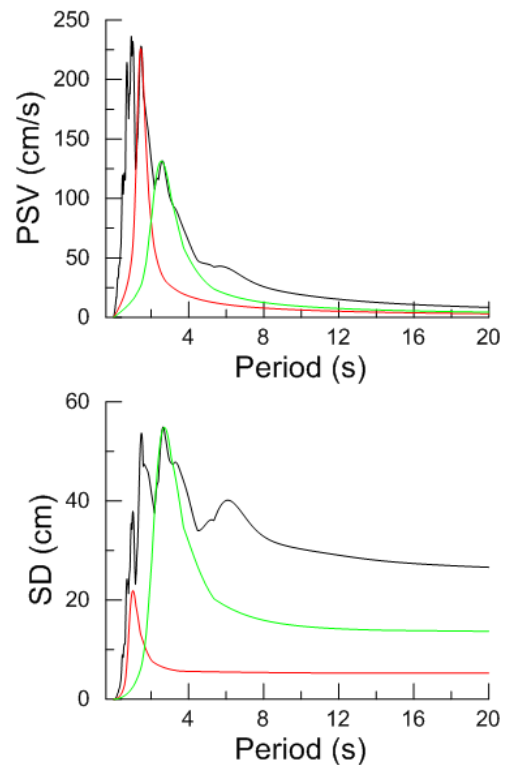
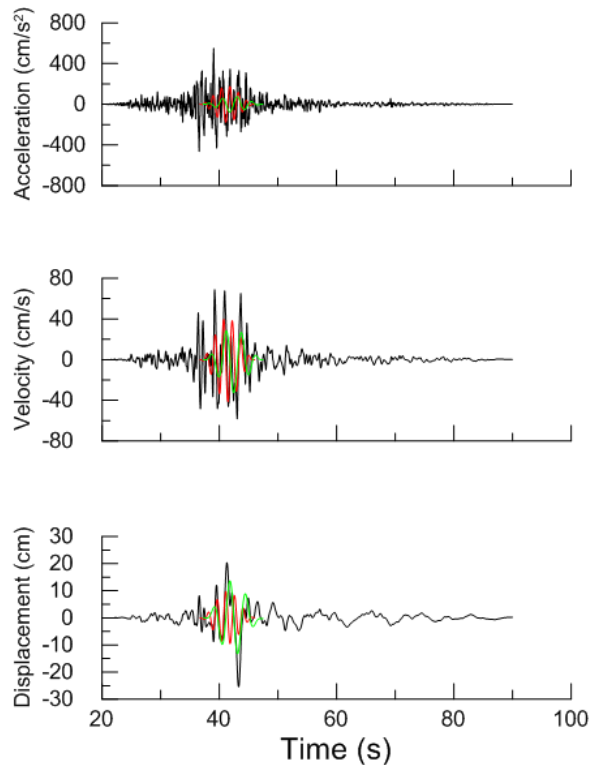
Χρονοϊστορίες και φάσματα της σεισμικής καταγραφής 496L της βάσης NGA



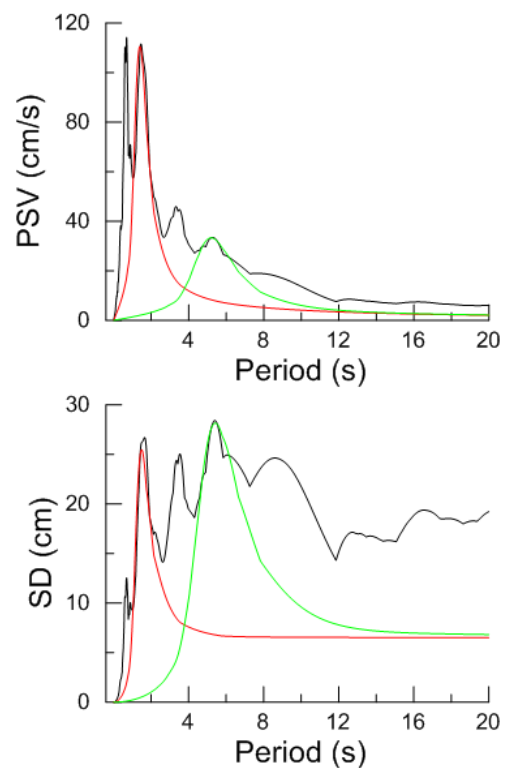
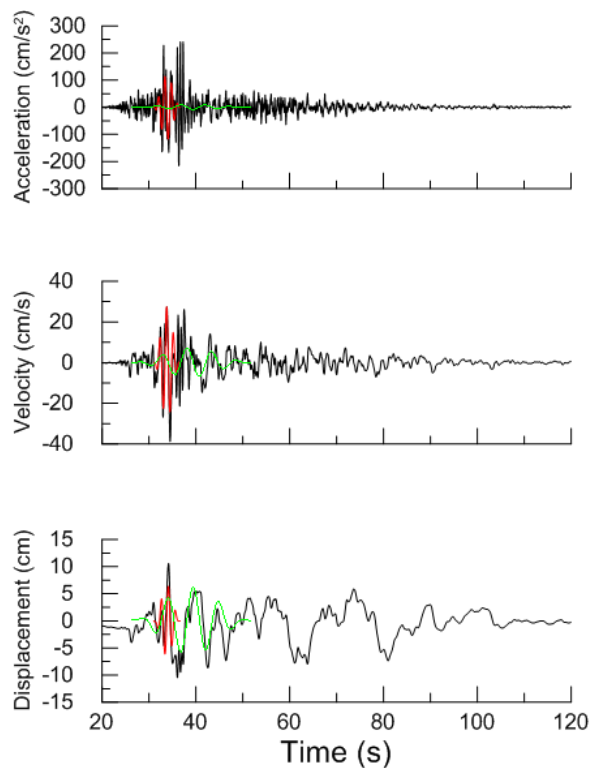
Χρονοϊστορίες και φάσματα της σεισμικής καταγραφής 3474L της βάσης NGA



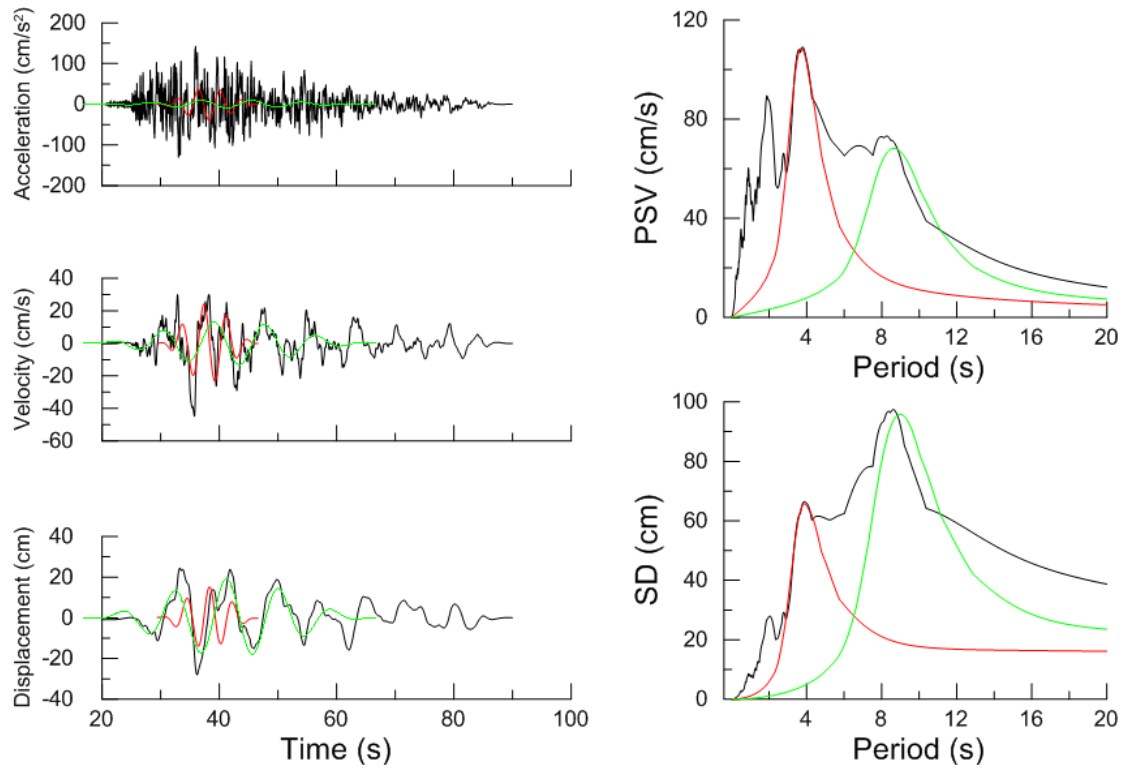
Χρονοϊστορίες και φάσματα της σεισμικής καταγραφής 1478T της βάσης NGA



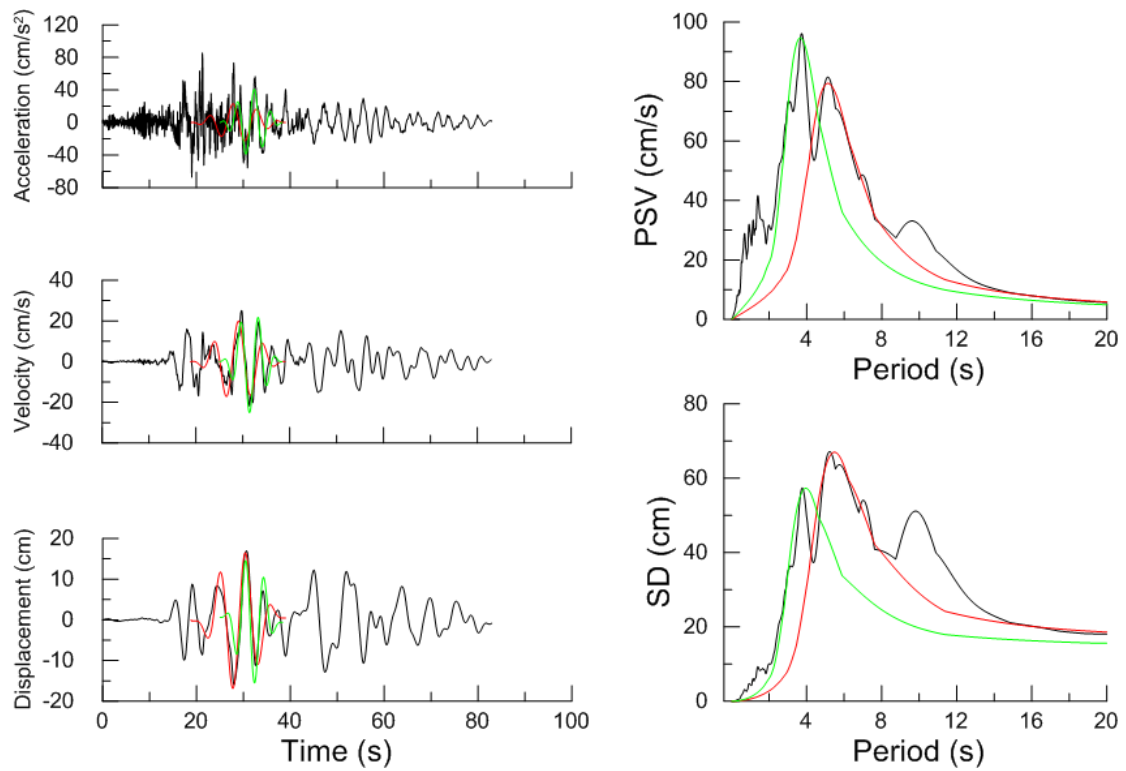
Χρονοϊστορίες και φάσματα της σεισμικής καταγραφής 1509L της βάσης NGA



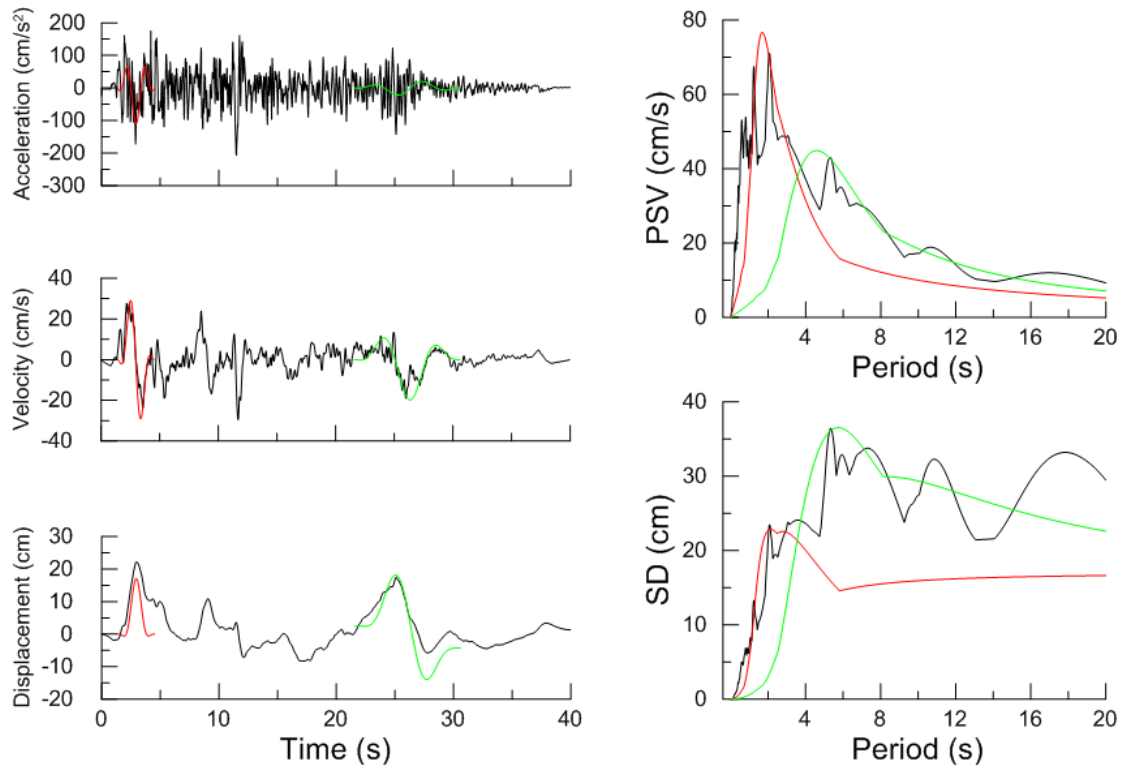
Χρονοϊστορίες και φάσματα της σεισμικής καταγραφής 1201T της βάσης NGA



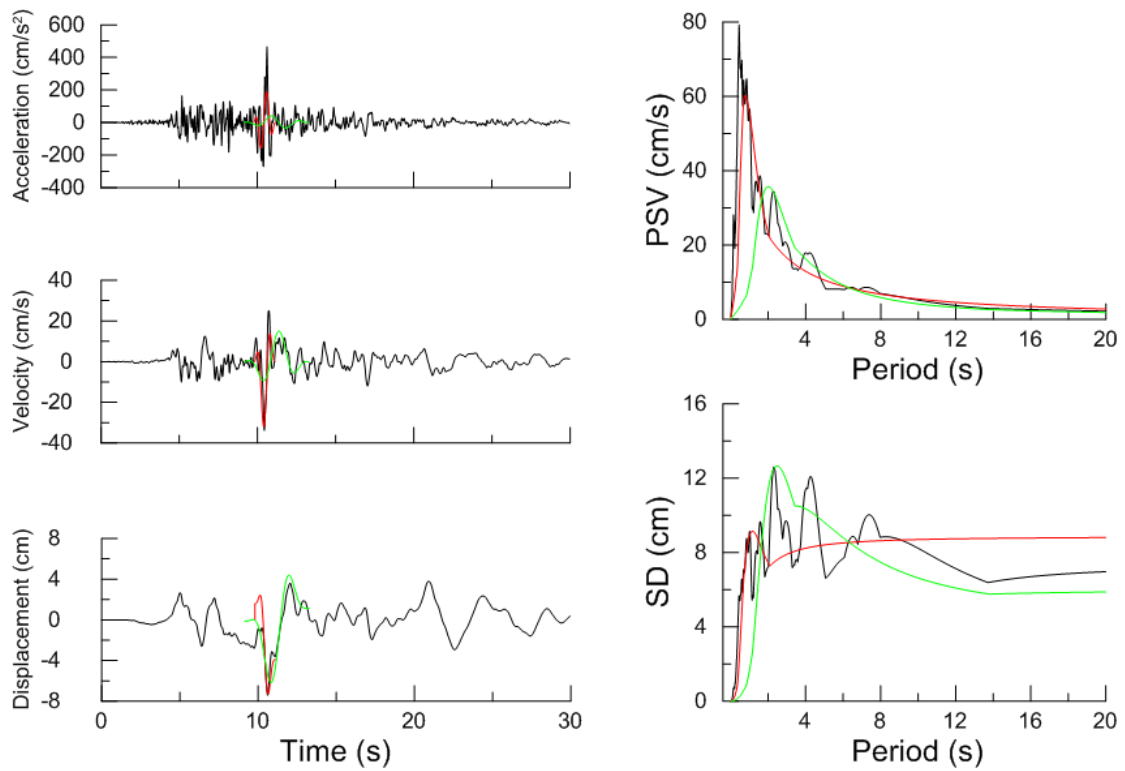
Χρονοϊστορίες και φάσματα της σεισμικής καταγραφής 1541T της βάσης NGA



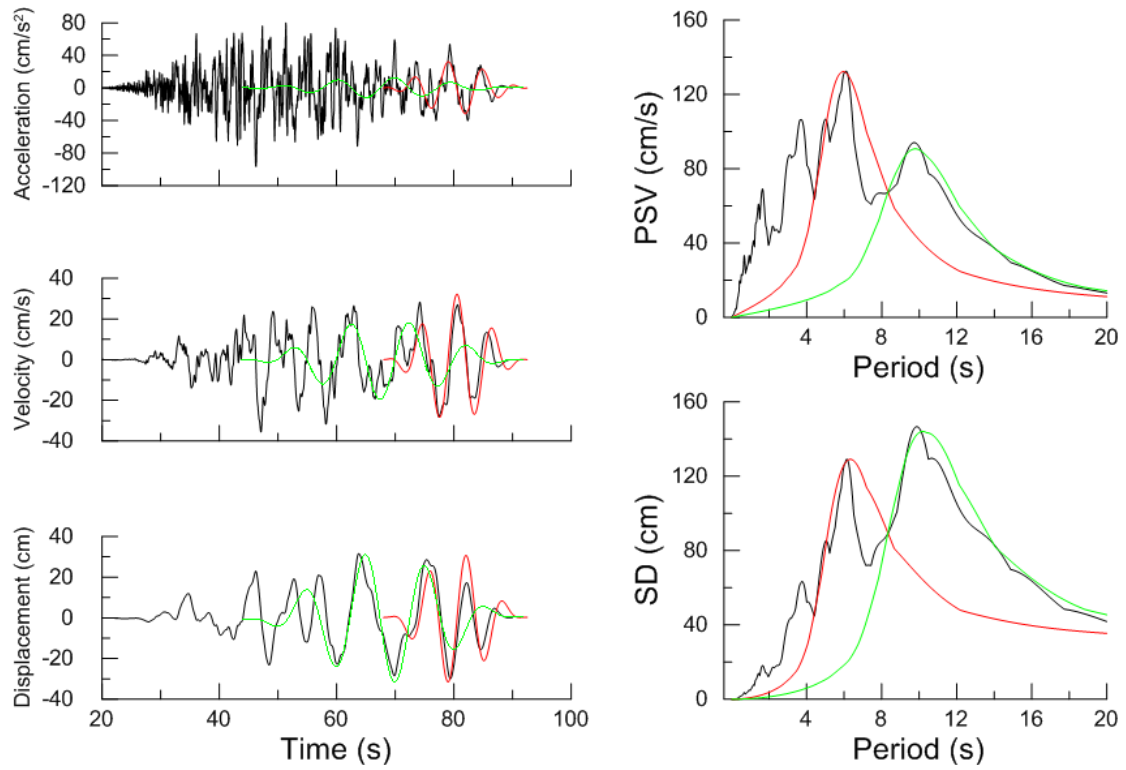
Χρονοϊστορίες και φάσματα της σεισμικής καταγραφής 1629L της βάσης NGA



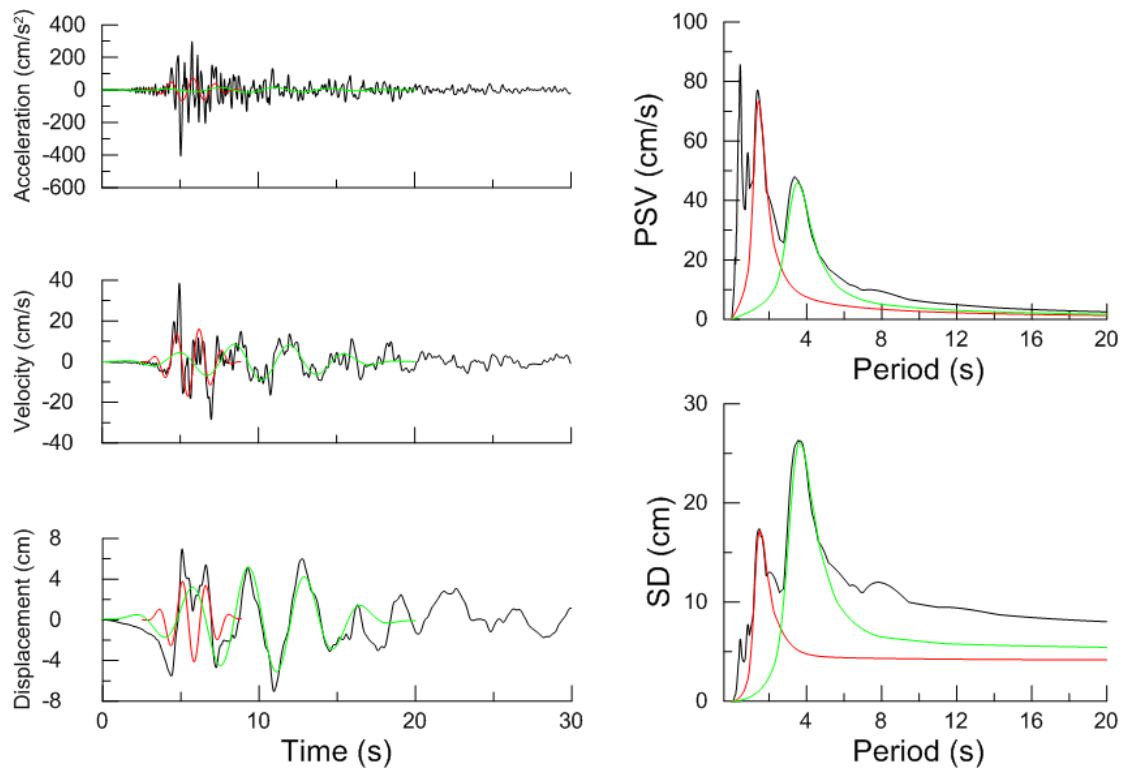
Χρονοϊστορίες και φάσματα της σεισμικής καταγραφής 6T της βάσης NGA



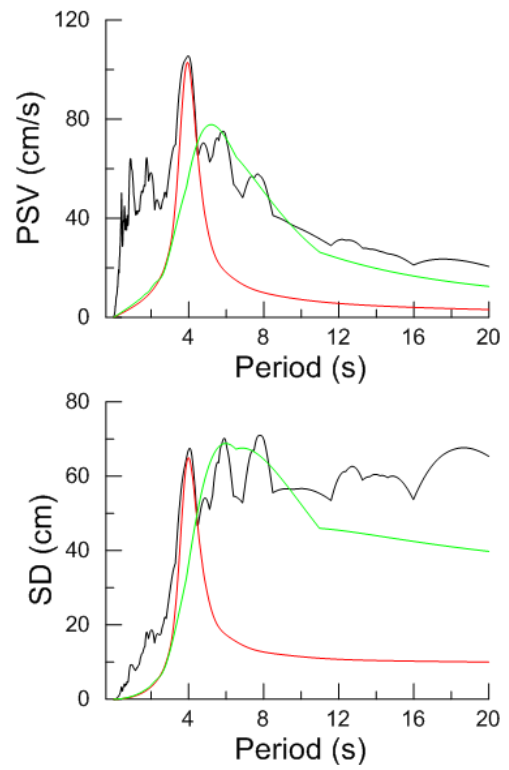
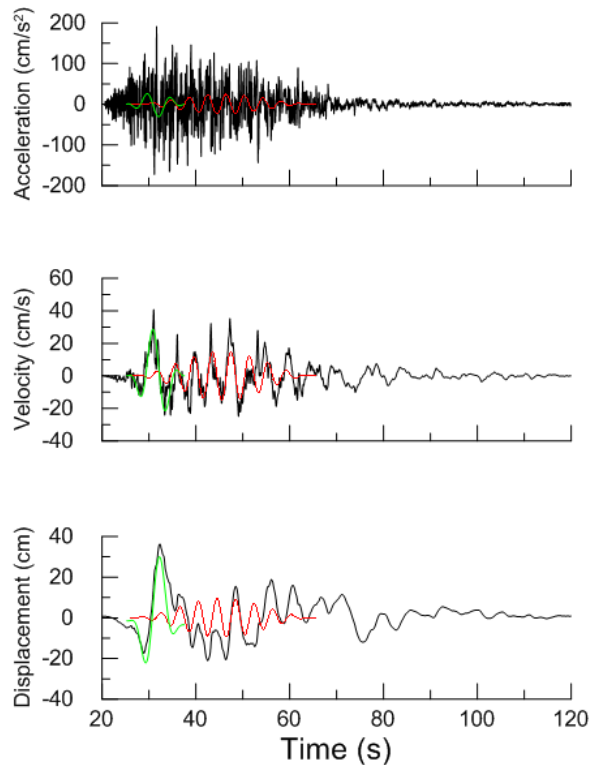
Χρονοϊστορίες και φάσματα της σεισμικής καταγραφής 1003L της βάσης NGA



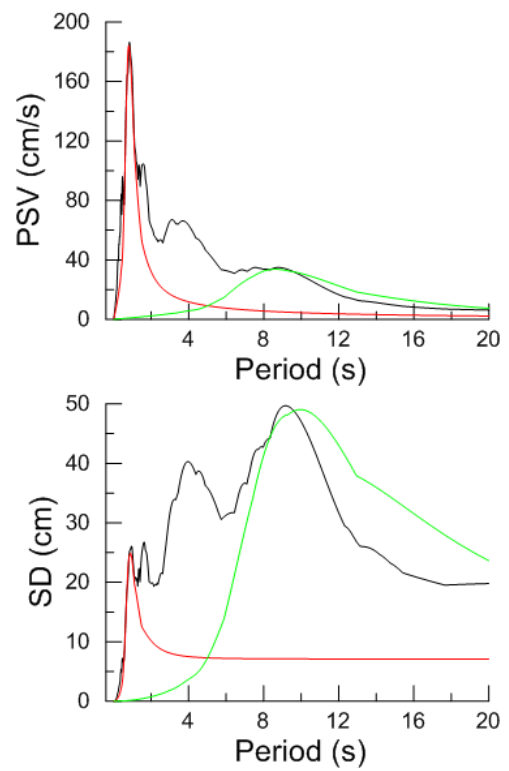
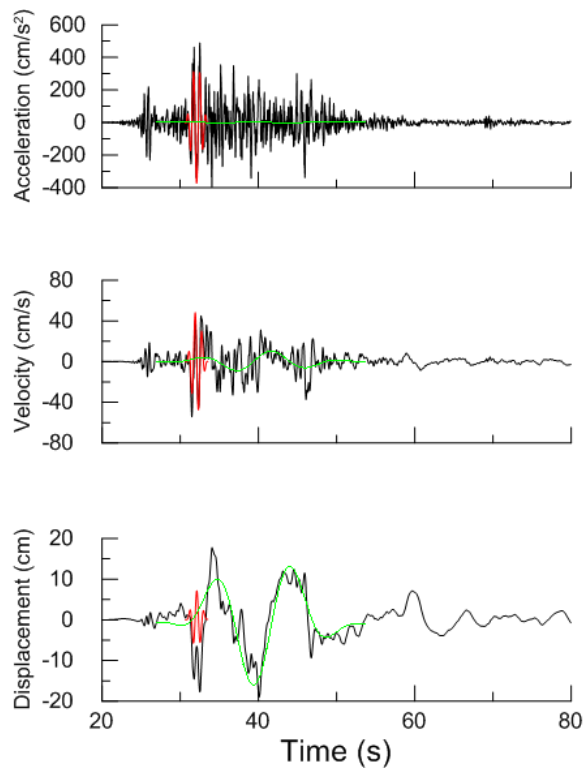
Χρονοϊστορίες και φάσματα της σεισμικής καταγραφής 1537T της βάσης NGA



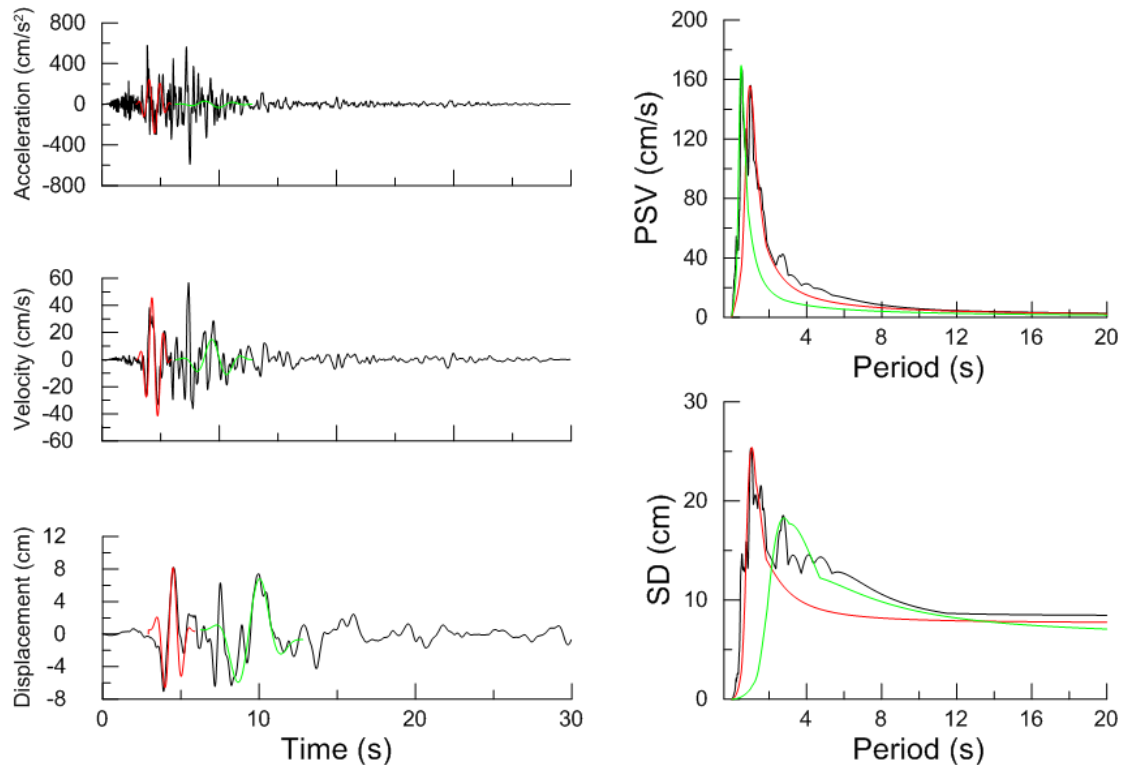
Χρονοϊστορίες και φάσματα της σεισμικής καταγραφής 768L της βάσης NGA



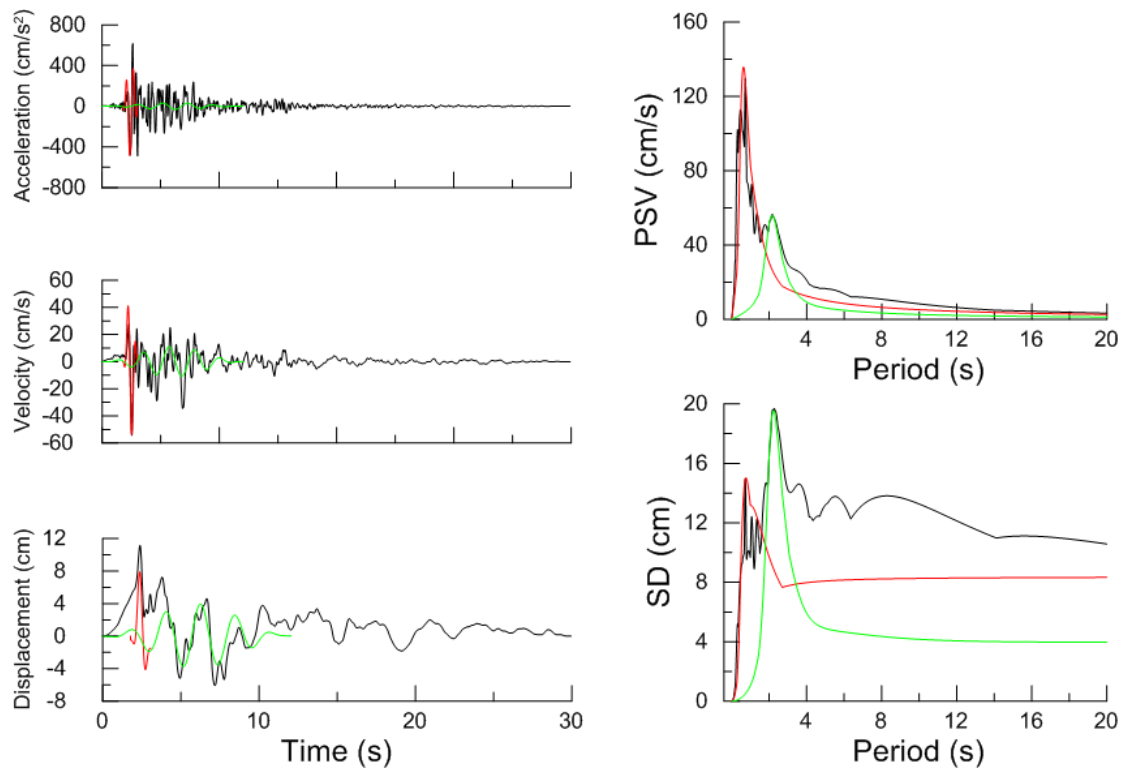
Χρονοϊστορίες και φάσματα της σεισμικής καταγραφής 1551T της βάσης NGA



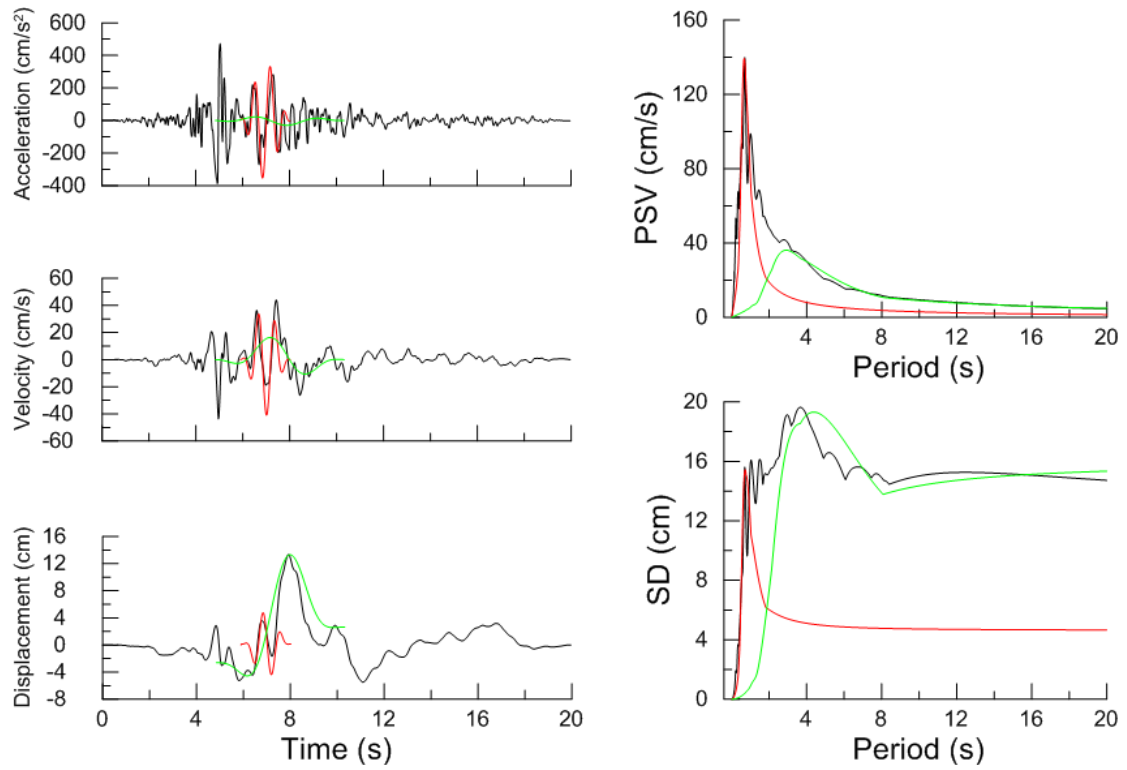
Χρονοϊστορίες και φάσματα της σεισμικής καταγραφής 1508L της βάσης NGA



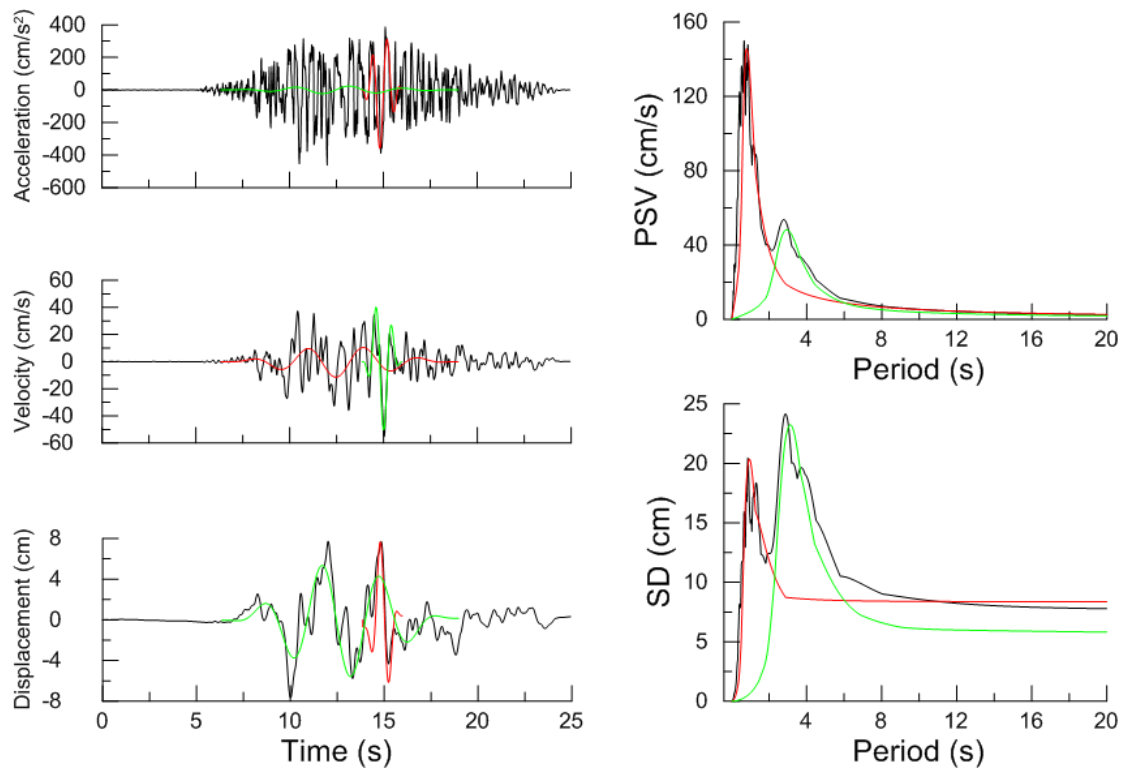
Χρονοϊστορίες και φάσματα της σεισμικής καταγραφής 368L της βάσης NGA



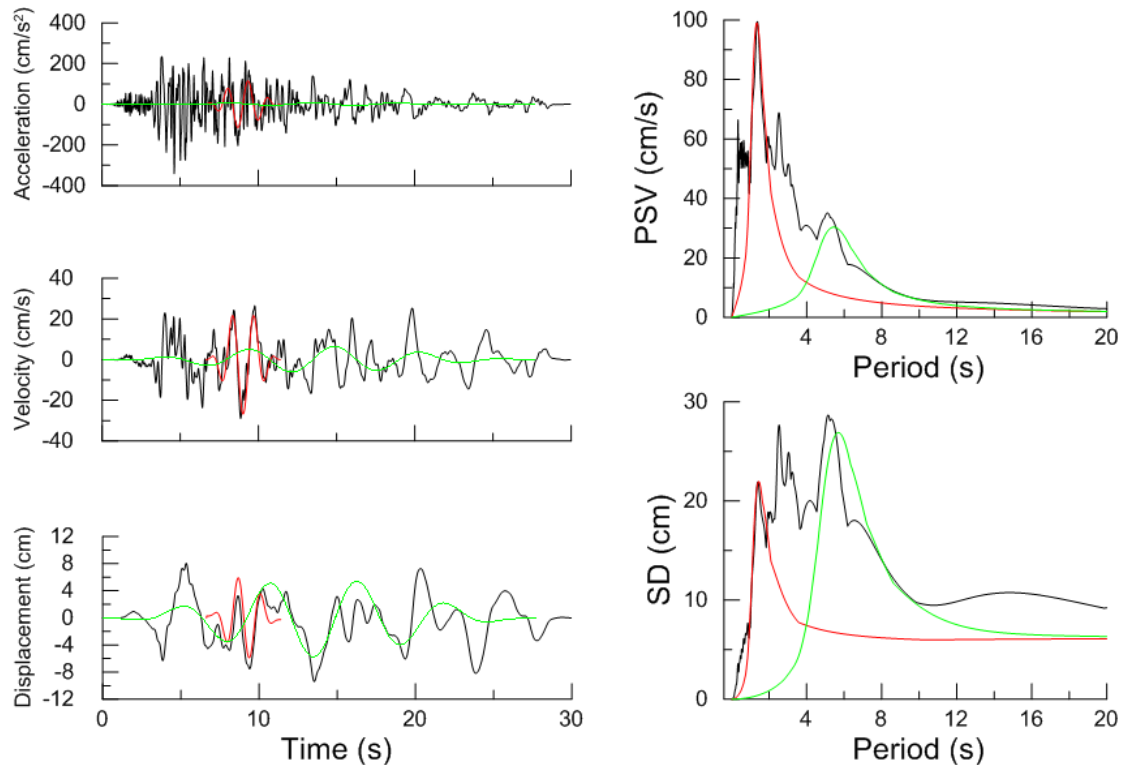
Χρονοϊστορίες και φάσματα της σεισμικής καταγραφής 753L της βάσης NGA



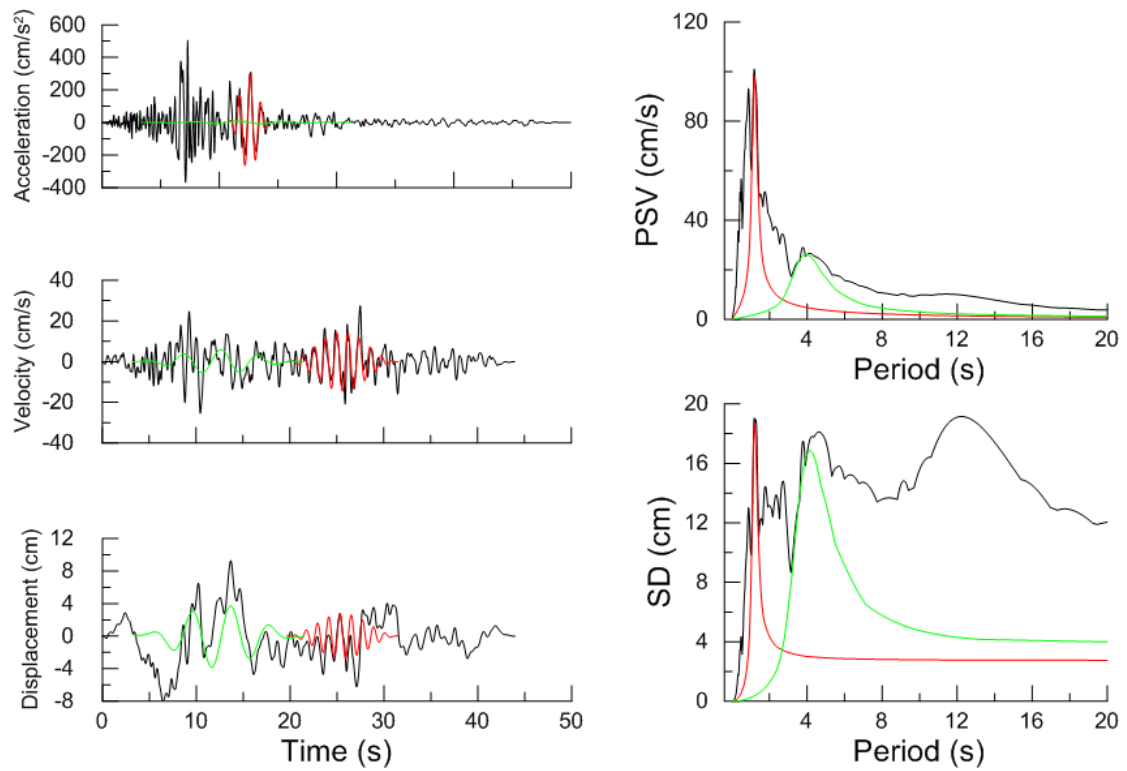
Χρονοϊστορίες και φάσματα της σεισμικής καταγραφής 960T της βάσης NGA



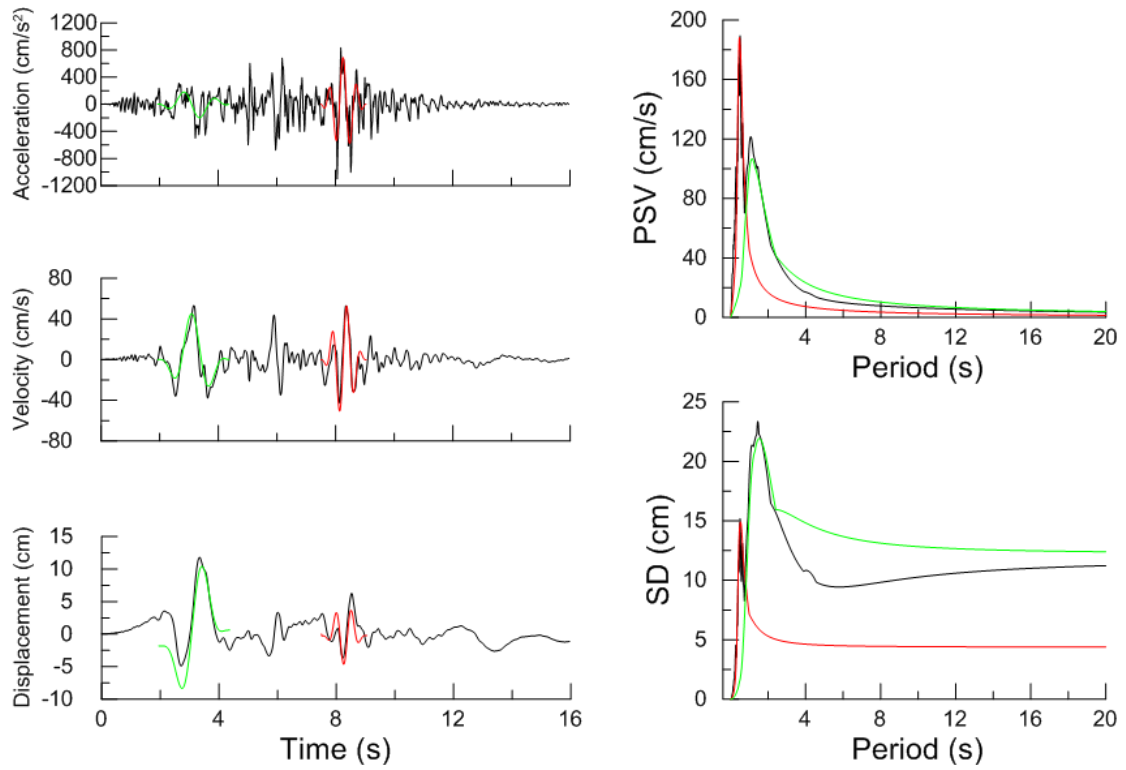
Χρονοϊστορίες και φάσματα της σεισμικής καταγραφής 741L της βάσης NGA



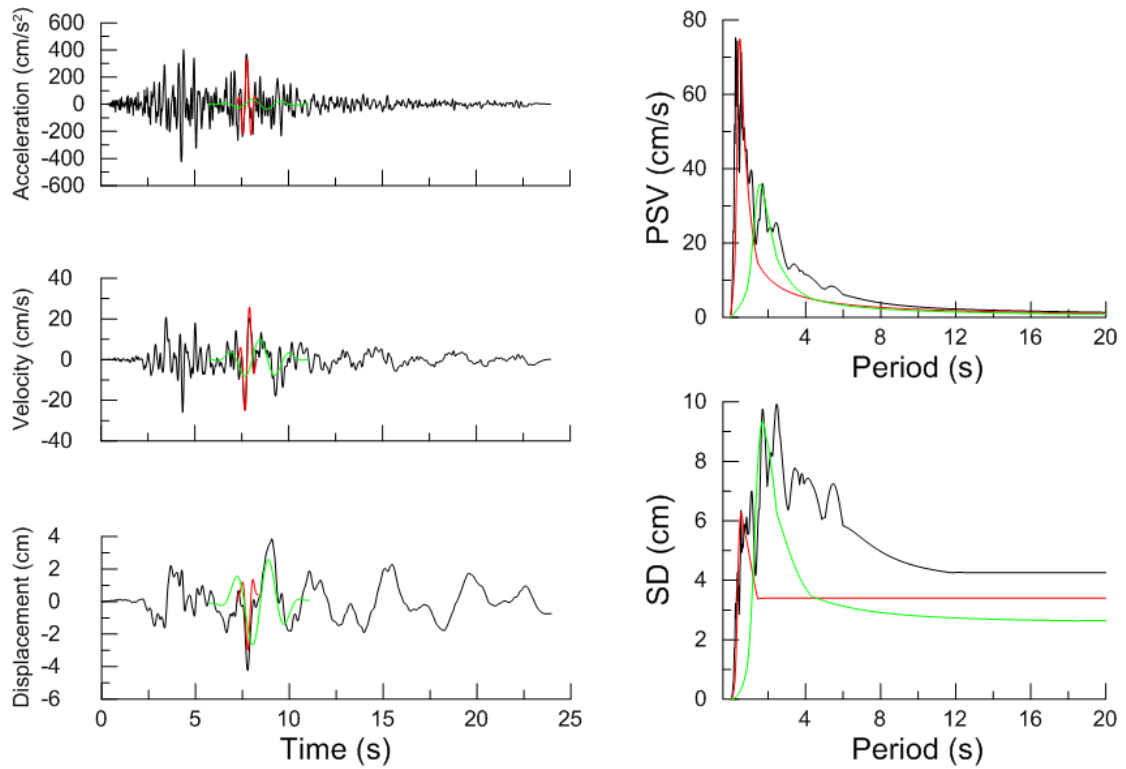
Χρονοϊστορίες και φάσματα της σεισμικής καταγραφής 1048L της βάσης NGA



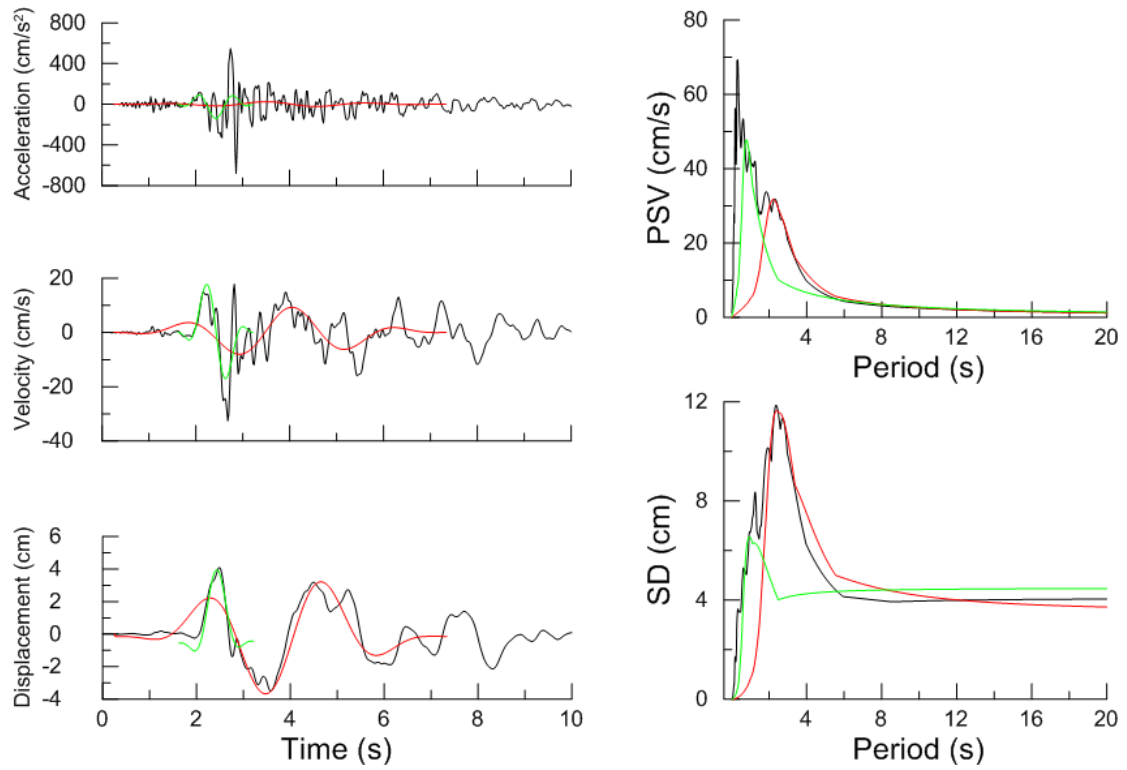
Χρονοϊστορίες και φάσματα της σεισμικής καταγραφής 864L της βάσης NGA



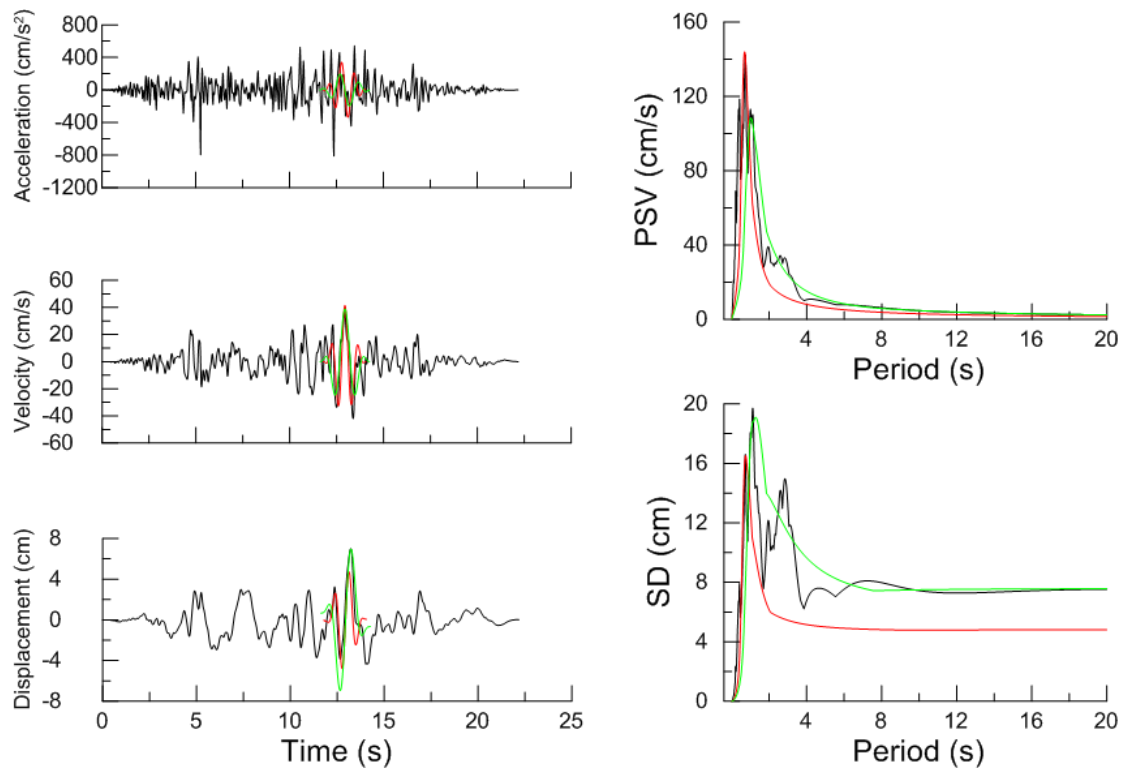
Χρονοϊστορίες και φάσματα της σεισμικής καταγραφής 77T της βάσης NGA



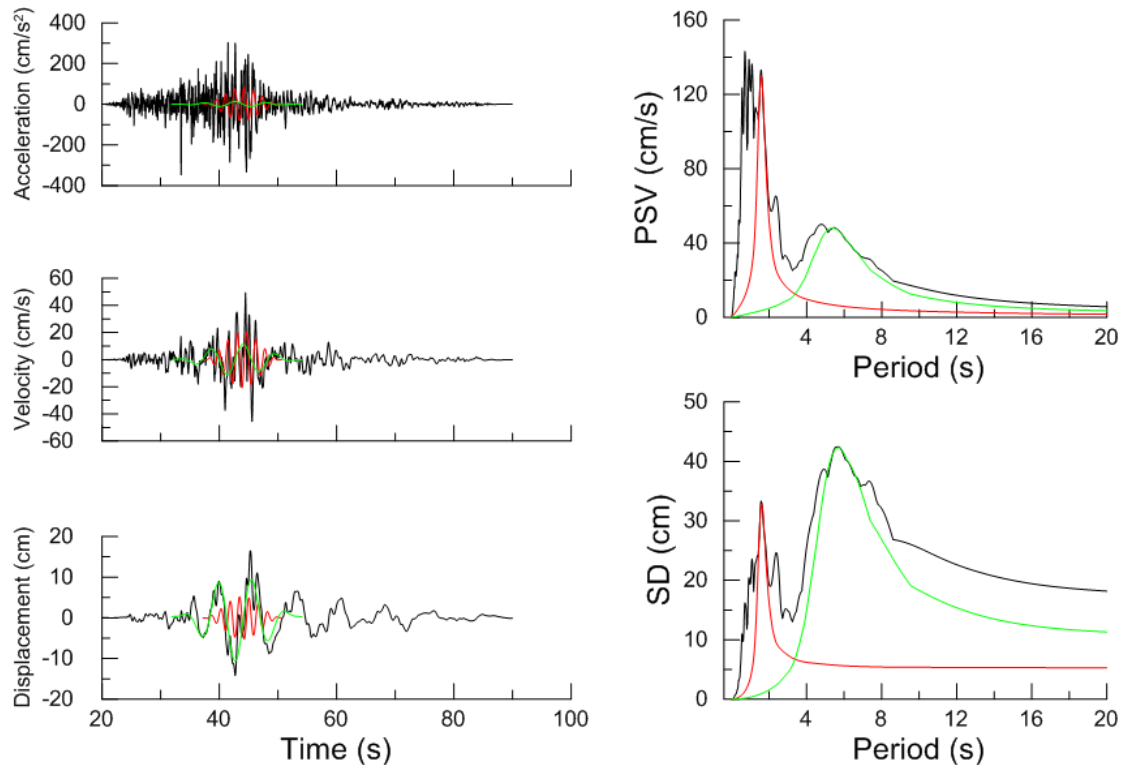
Χρονοϊστορίες και φάσματα της σεισμικής καταγραφής 952T της βάσης NGA



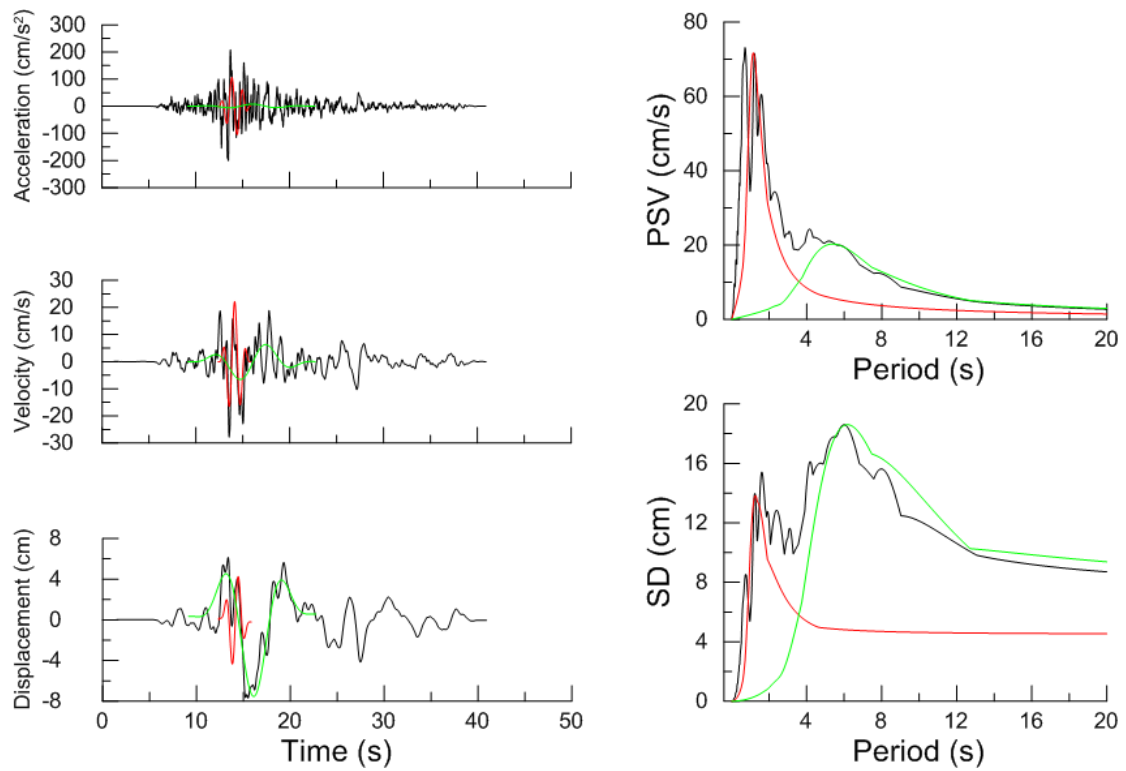
Χρονοϊστορίες και φάσματα της σεισμικής καταγραφής 529T της βάσης NGA



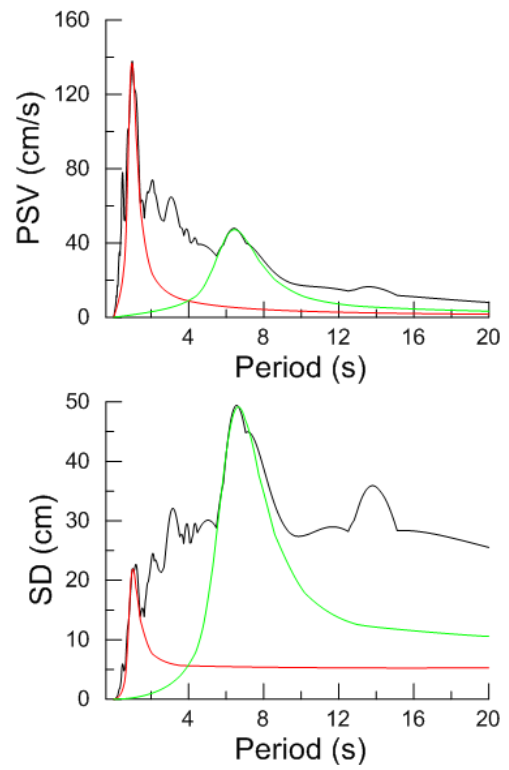
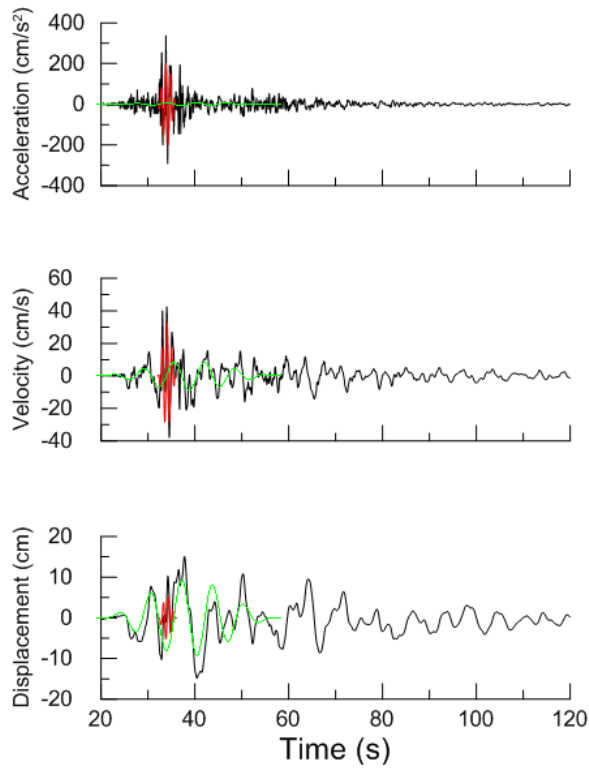
Χρονοϊστορίες και φάσματα της σεισμικής καταγραφής 727T της βάσης NGA



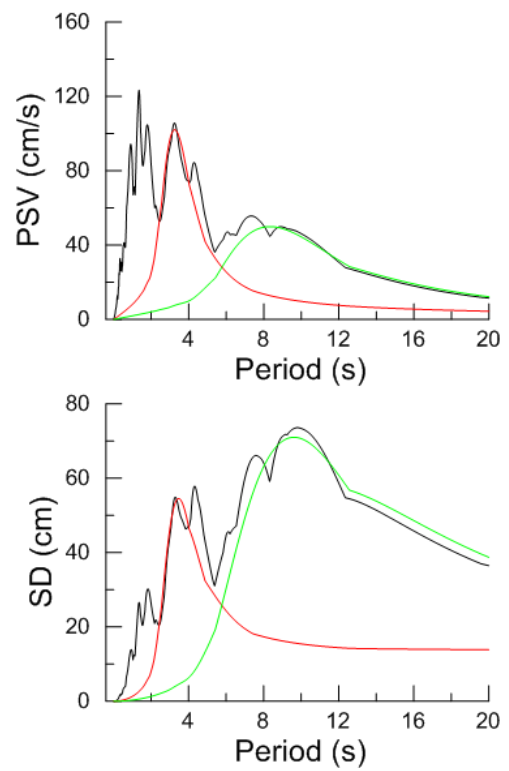
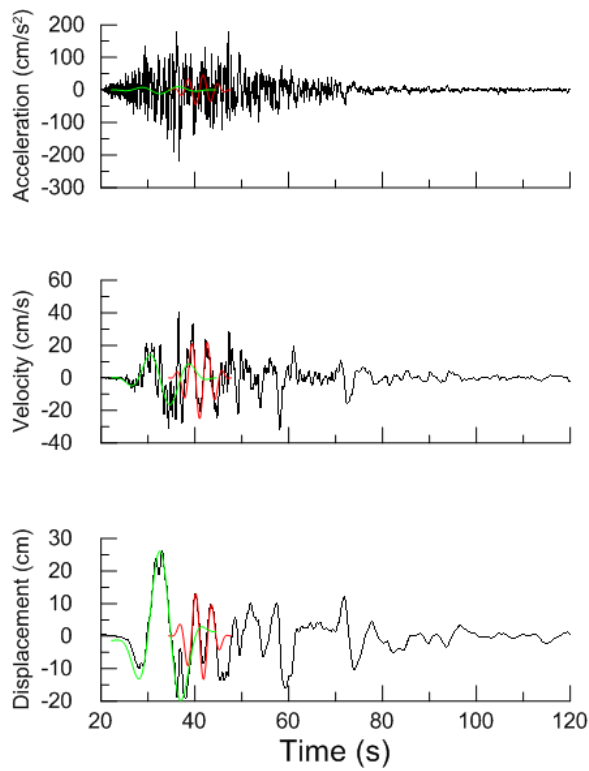
Χρονοϊστορίες και φάσματα της σεισμικής καταγραφής 1509T της βάσης NGA



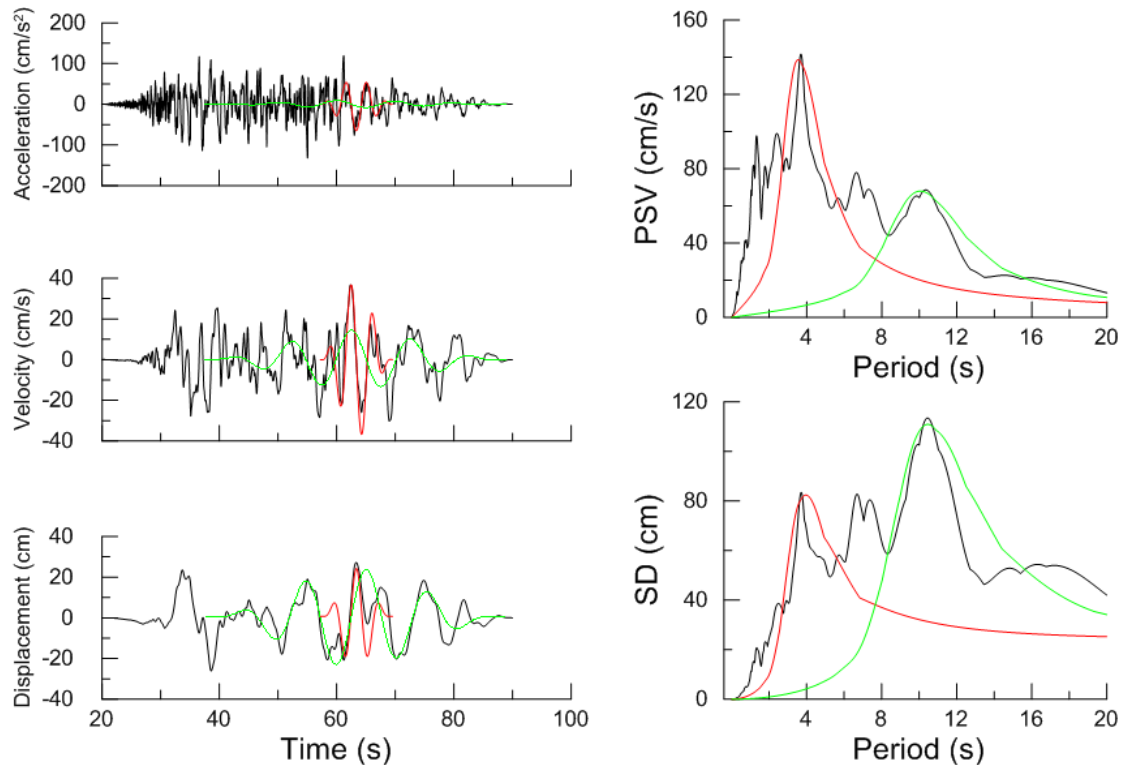
Χρονοϊστορίες και φάσματα της σεισμικής καταγραφής 1116T της βάσης NGA



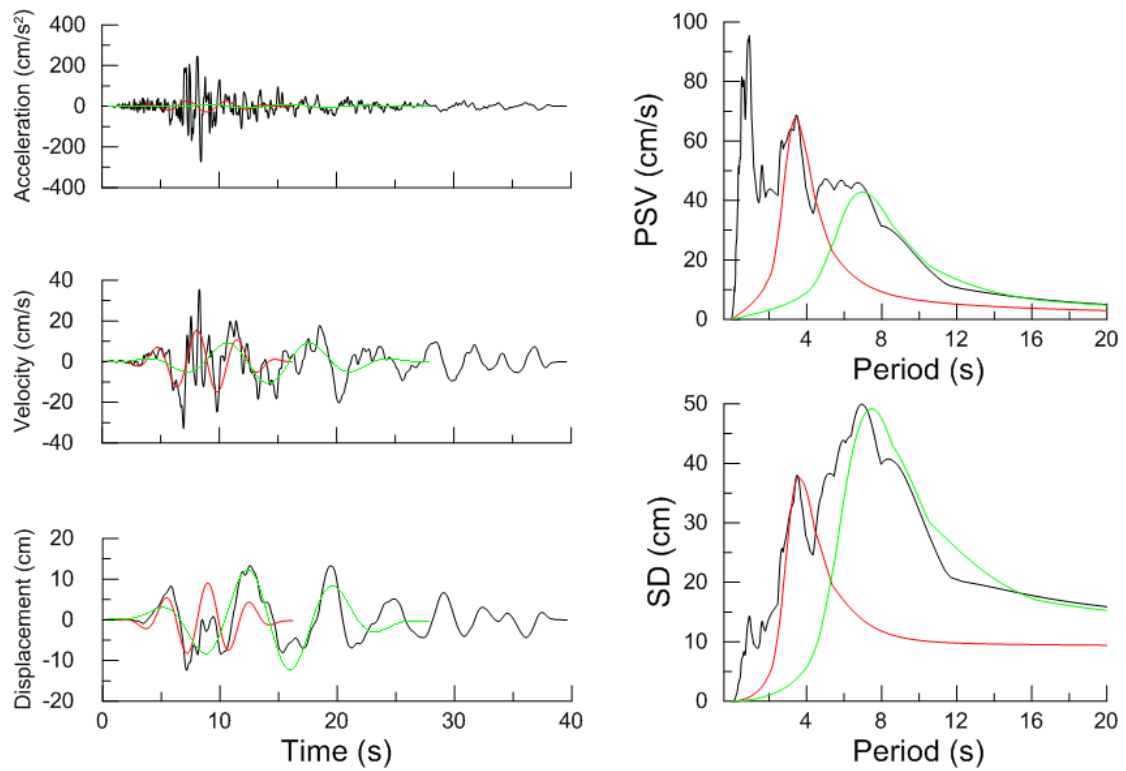
Χρονοϊστορίες και φάσματα της σεισμικής καταγραφής 1182L της βάσης NGA



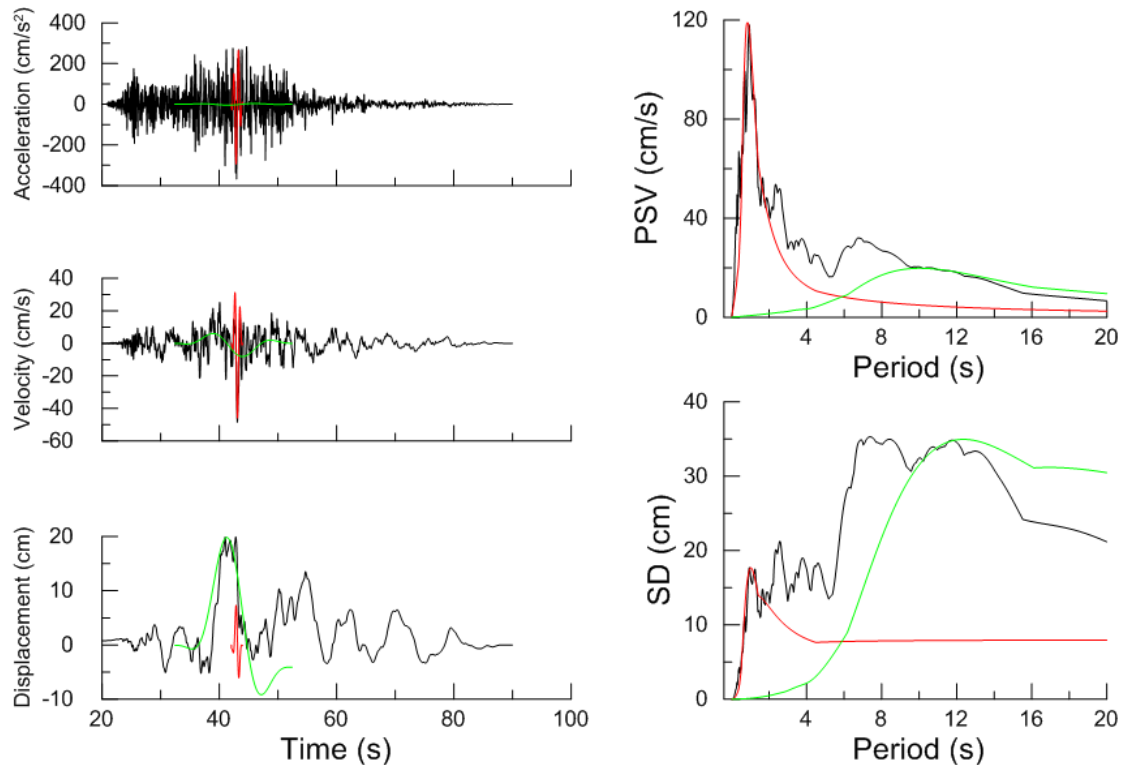
Χρονοϊστορίες και φάσματα της σεισμικής καταγραφής 1551L της βάσης NGA



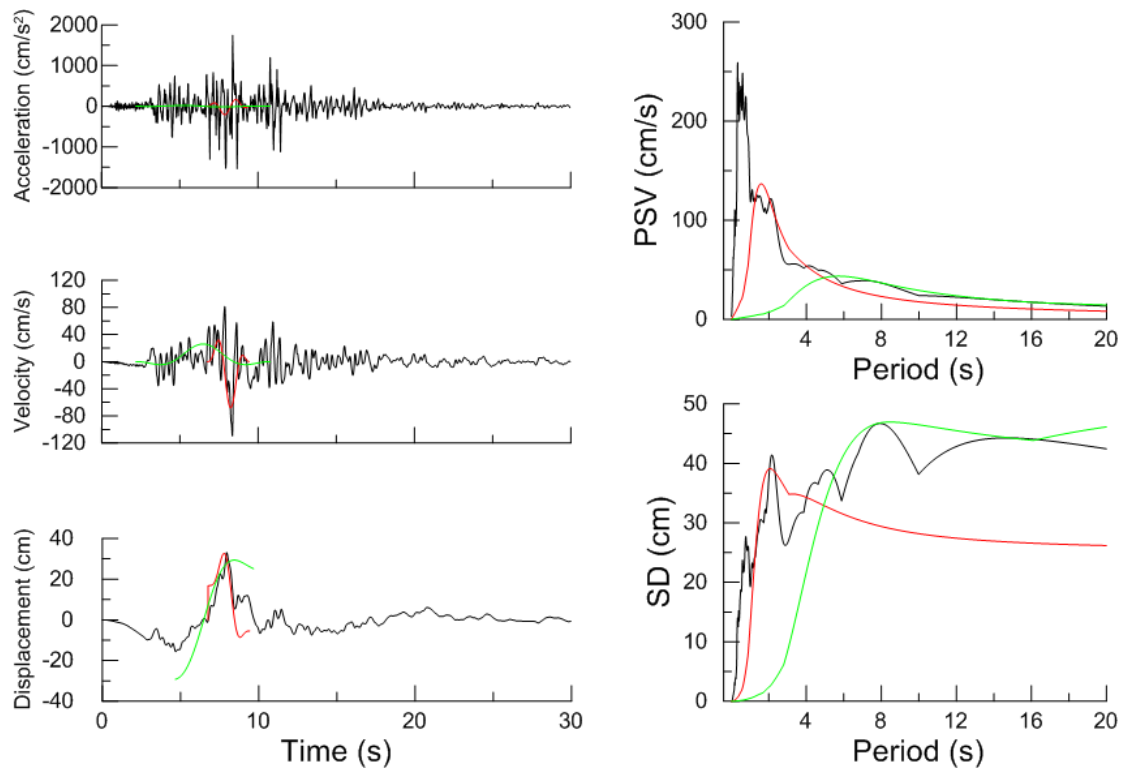
Χρονοϊστορίες και φάσματα της σεισμικής καταγραφής 1547T της βάσης NGA



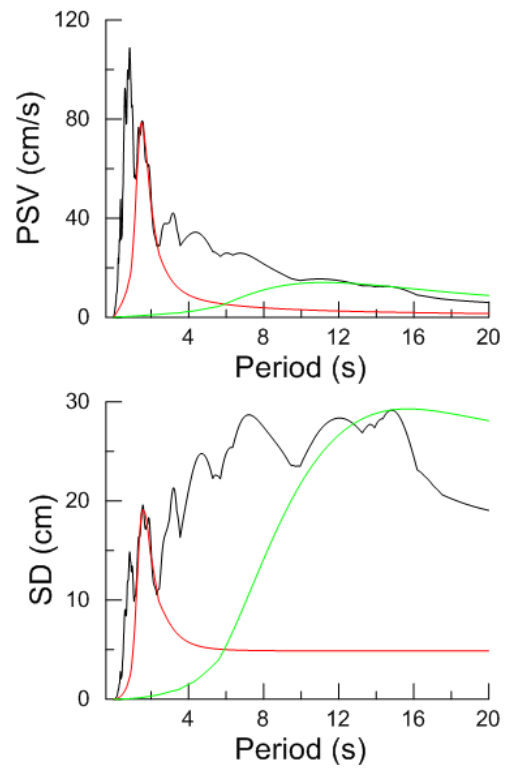
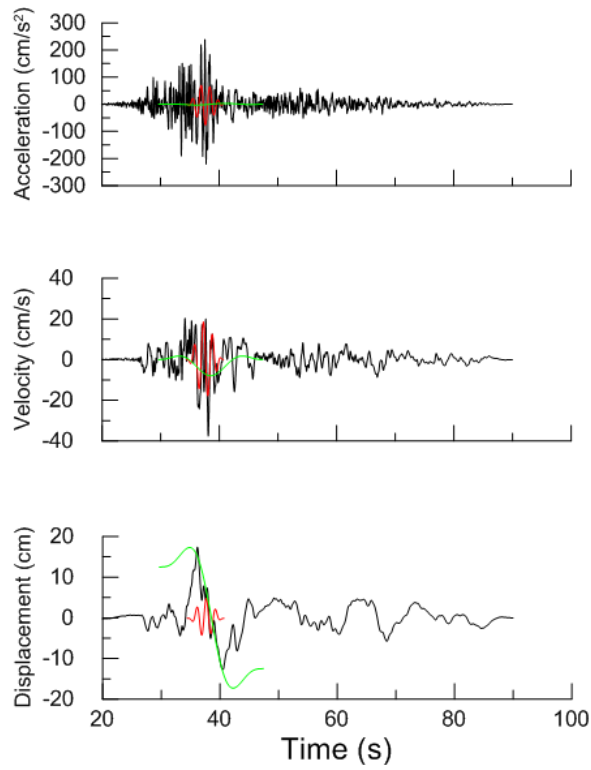
Χρονοϊστορίες και φάσματα της σεισμικής καταγραφής 778T της βάσης NGA



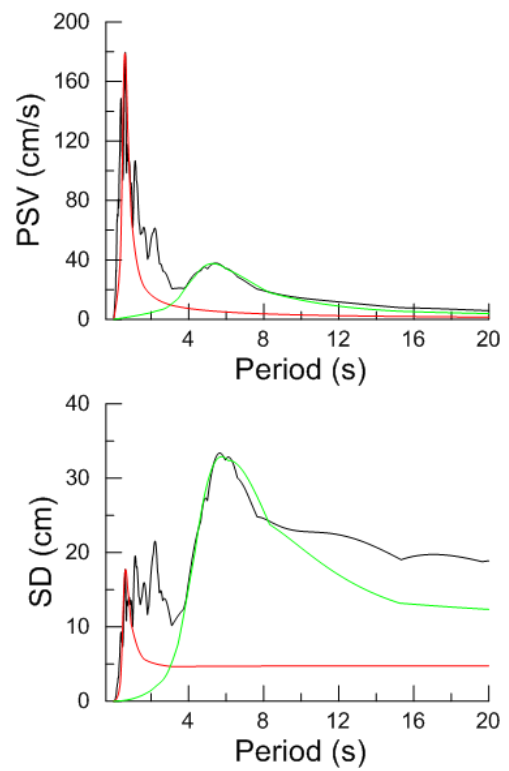
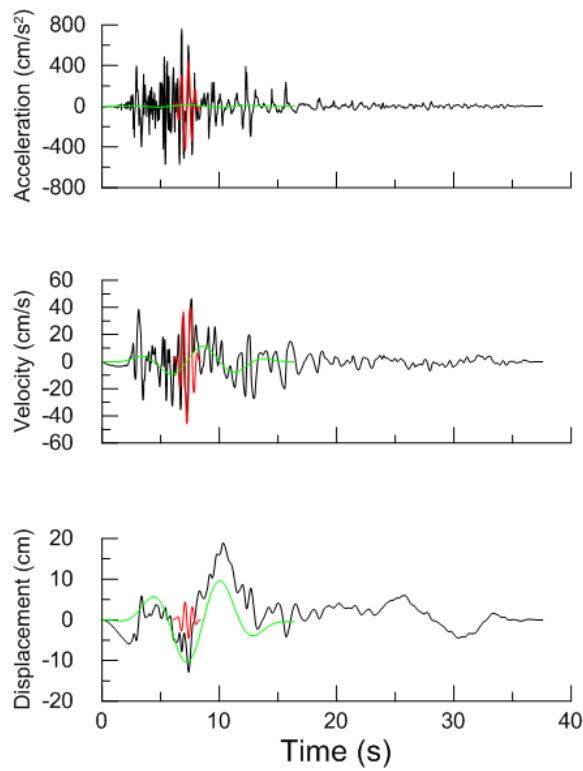
Χρονοϊστορίες και φάσματα της σεισμικής καταγραφής 1513T της βάσης NGA



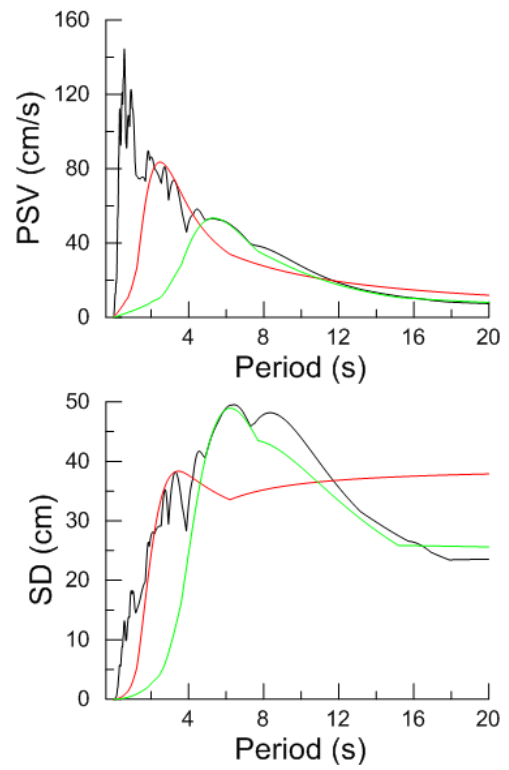
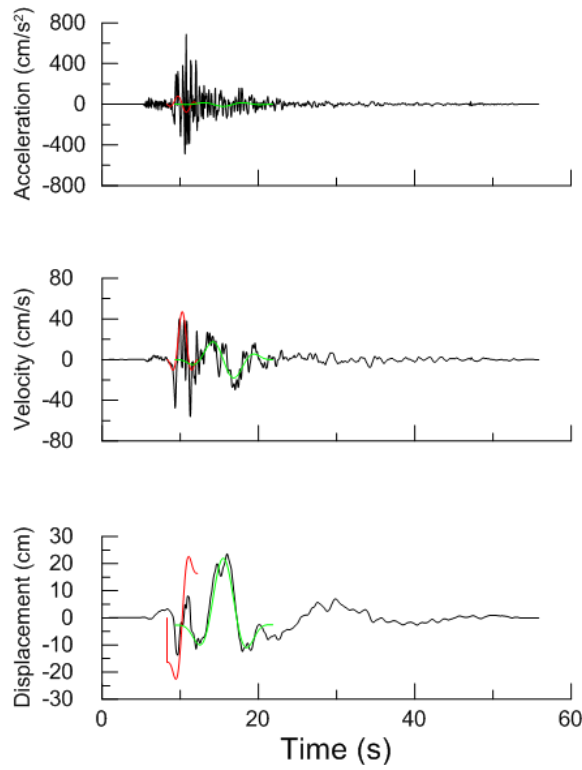
Χρονοϊστορίες και φάσματα της σεισμικής καταγραφής 1087L της βάσης NGA



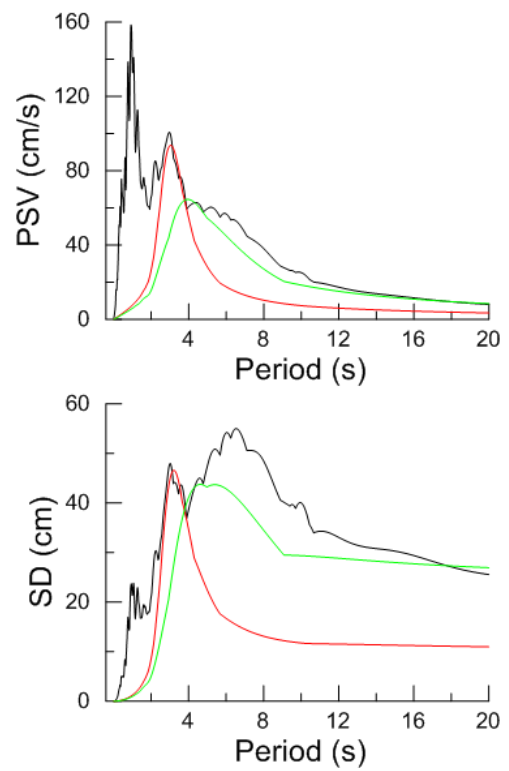
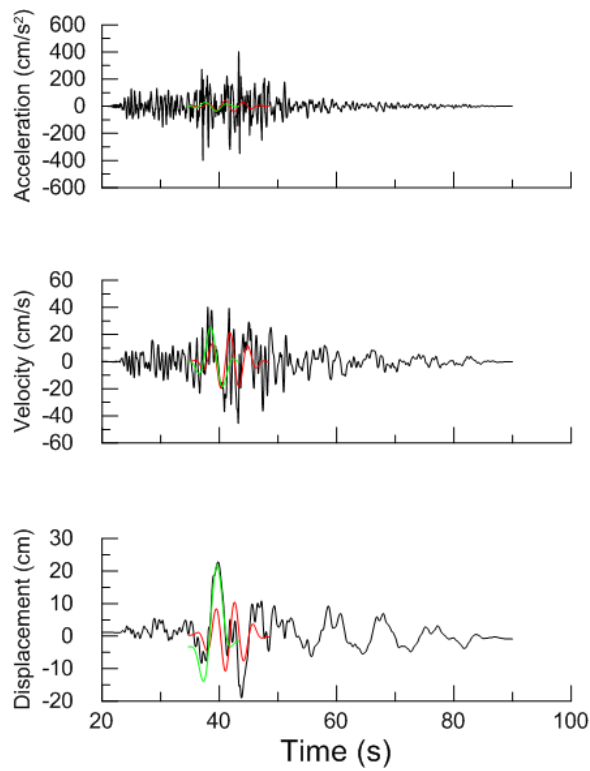
Χρονοϊστορίες και φάσματα της σεισμικής καταγραφής 1202T της βάσης NGA



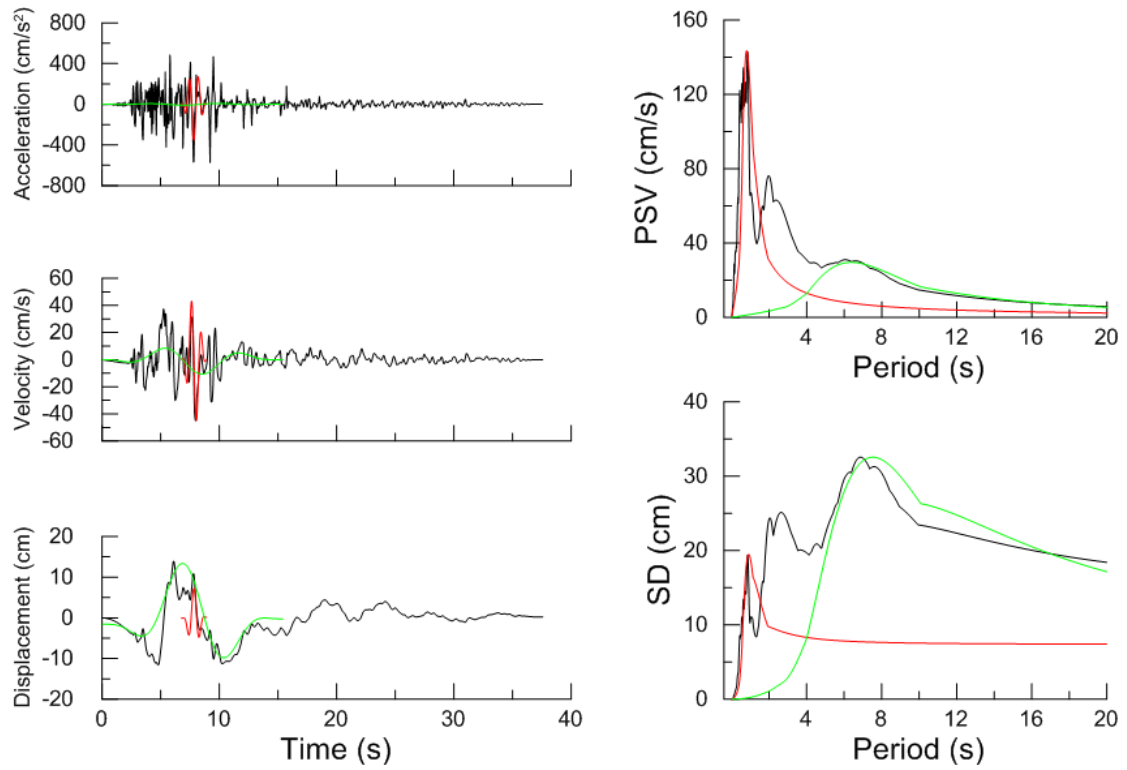
Χρονοϊστορίες και φάσματα της σεισμικής καταγραφής 160T της βάσης NGA



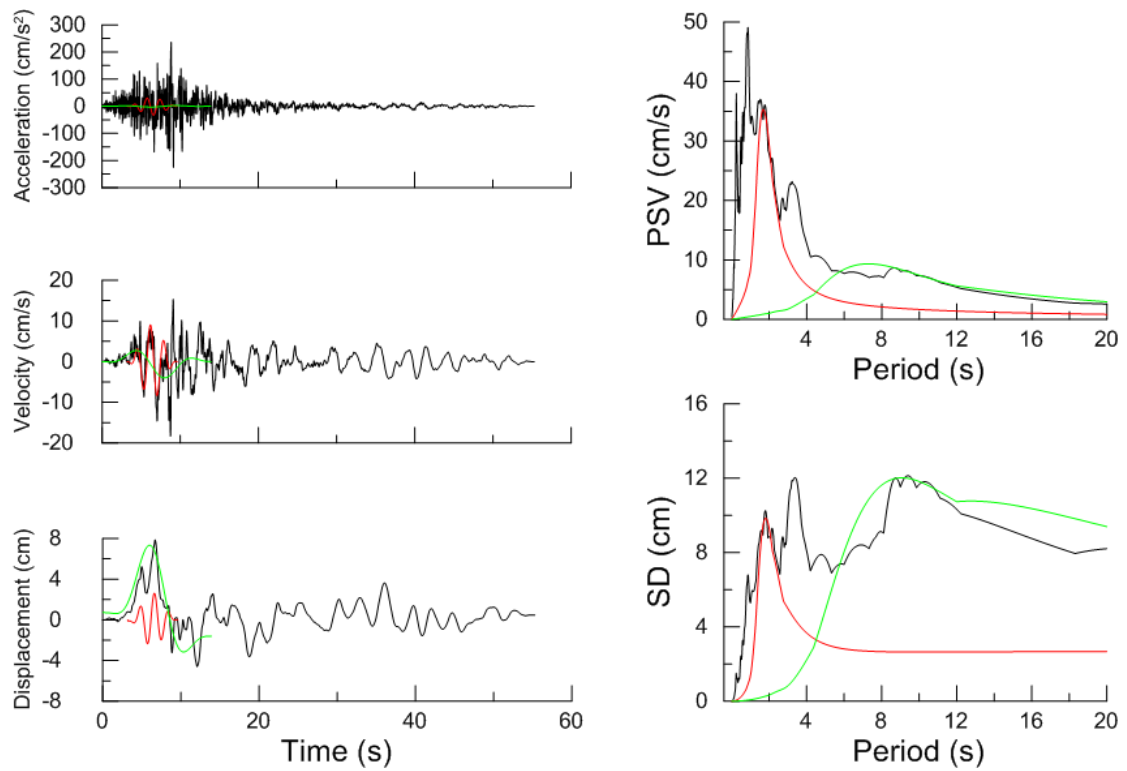
Χρονοϊστορίες και φάσματα της σεισμικής καταγραφής 1602L της βάσης NGA



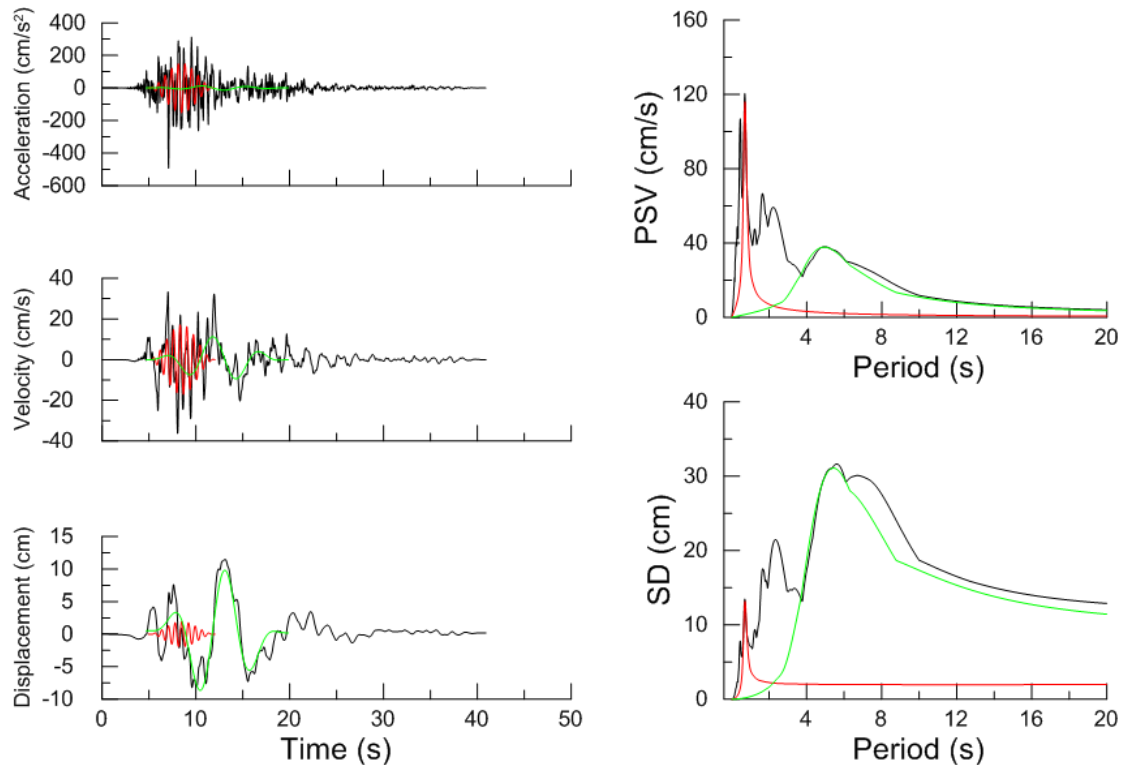
Χρονοϊστορίες και φάσματα της σεισμικής καταγραφής 1517T της βάσης NGA



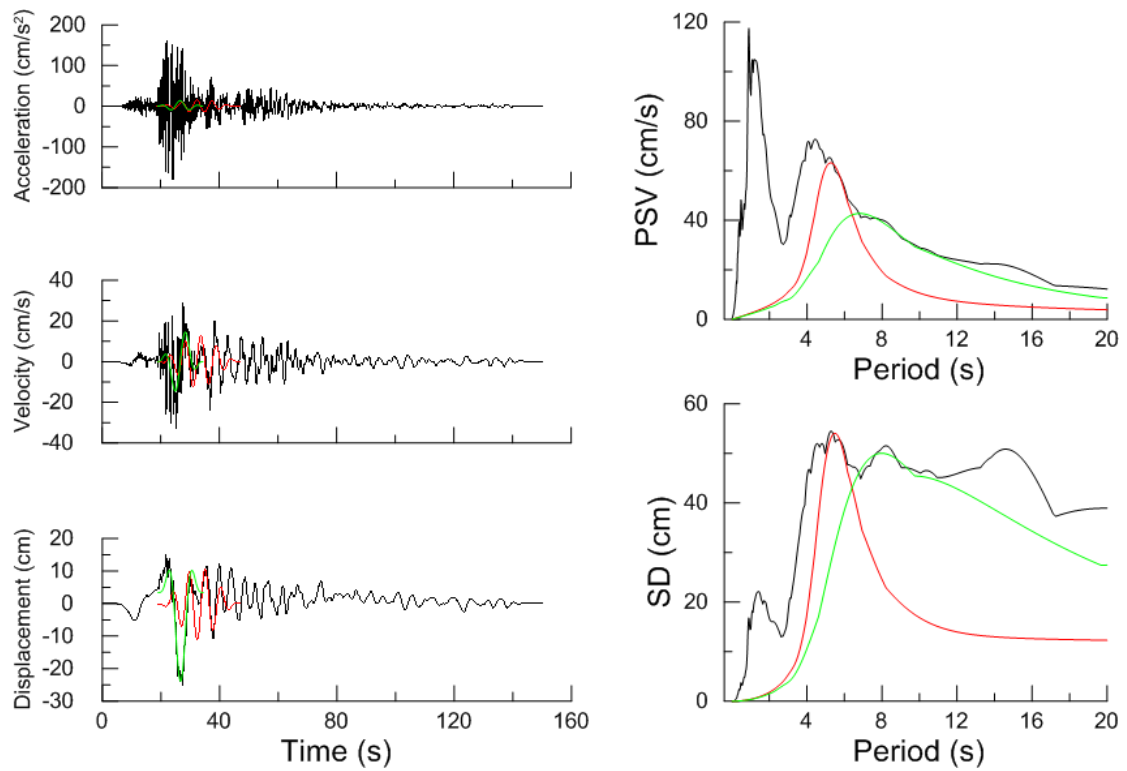
Χρονοϊστορίες και φάσματα της σεισμικής καταγραφής 160L της βάσης NGA



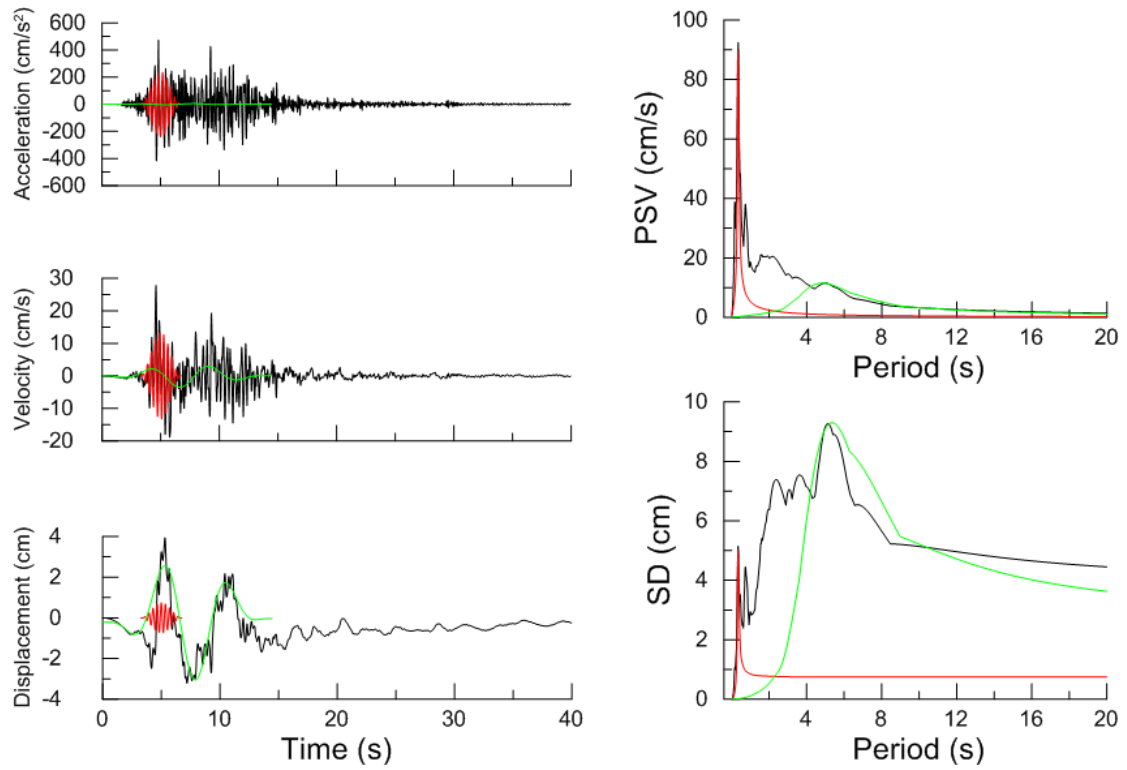
Χρονοϊστορίες και φάσματα της σεισμικής καταγραφής 1009L της βάσης NGA



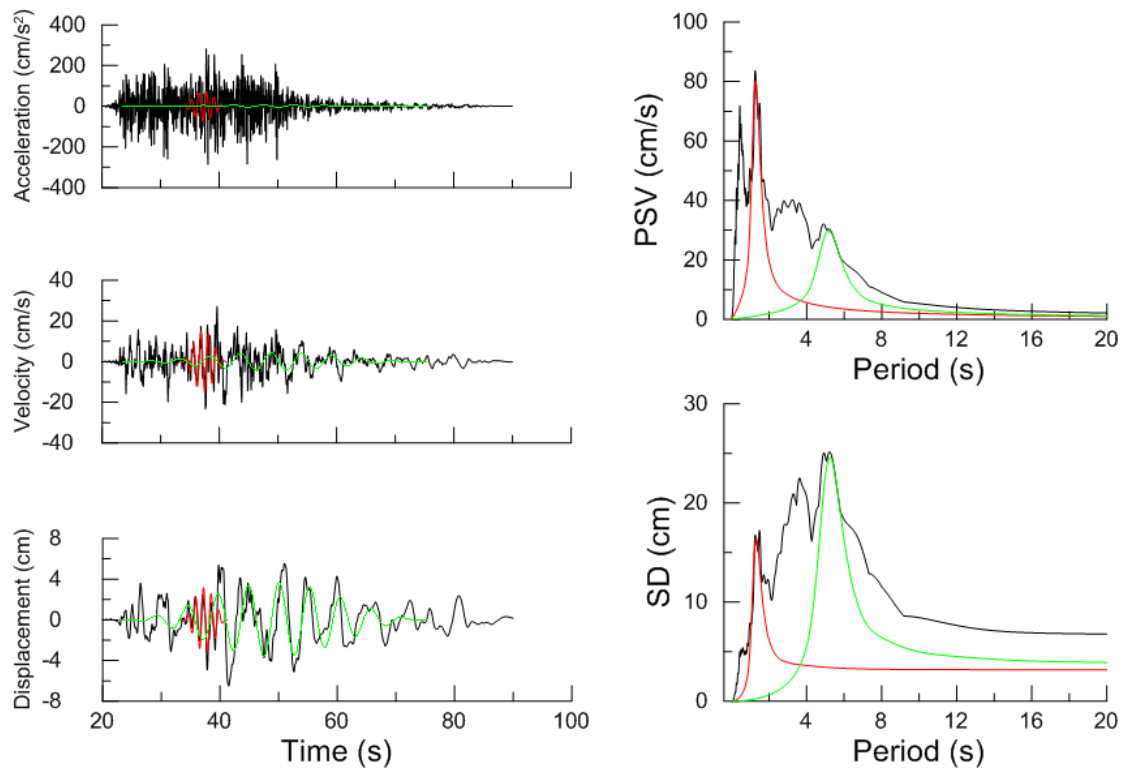
Χρονοϊστορίες και φάσματα της σεισμικής καταγραφής 1111T της βάσης NGA



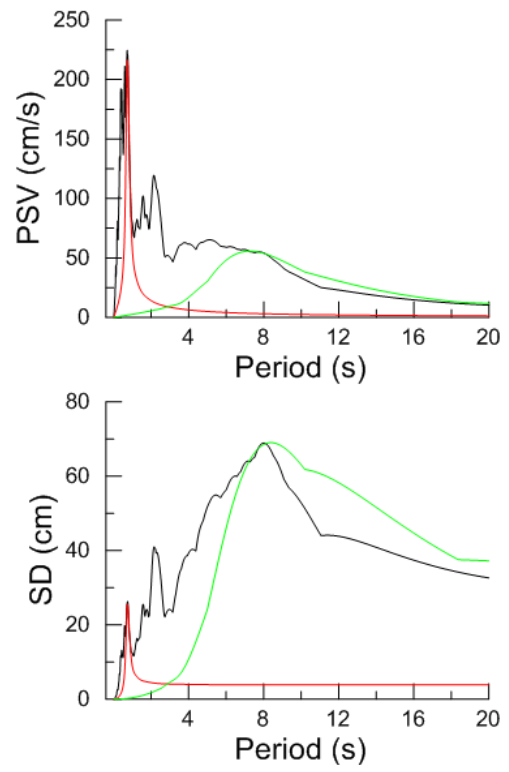
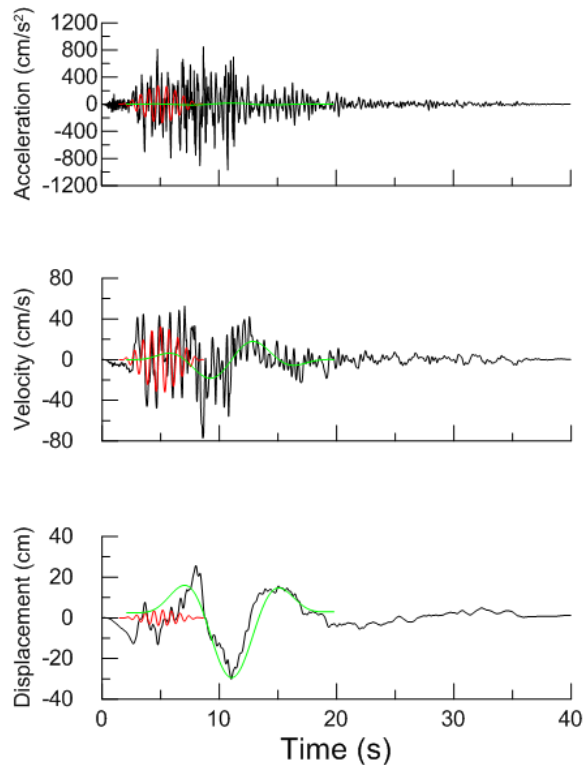
Χρονοϊστορίες και φάσματα της σεισμικής καταγραφής 1147T της βάσης NGA



Χρονοϊστορίες και φάσματα της σεισμικής καταγραφής 901T της βάσης NGA



Χρονοϊστορίες και φάσματα της σεισμικής καταγραφής 1512T της βάσης NGA



Χρονοϊστορίες και φάσματα της σεισμικής καταγραφής 1087T της βάσης NGA

Βιβλιογραφία

Petros Mimoglou, Ioannis N. Psycharis, and Ioannis M. Taflampas, ‘Explicit determination of the pulse inherent in pulse-like ground motions’, School of Civil Engineering, National Technical University of Athens, Athens, Greece, 2014

Vassiliki Kardoutsou, Ioannis Taflampas and Ioannis N. Psycharis, ‘A new method for the classification of ground motions as pulse-like or non pulse-like’ Second European Conference on Earthquake Engineering, August 2014

Mavroeidis, G. P., and A. S. Papageorgiou, ‘A mathematical representation of near-fault ground motions’, Bulletin of Seismological Society of America 93, 1099–1131, 2003

Jack W. Baker, ‘Quantitative Classification of Near Fault Ground Motions Using Wavelet Analysis’, Bulletin of the Seismological Society of America, 2007

Changhai Zhai, Zhiwang Chang, Shuang Li, ZhiQiang Chen, and Lili Xie ‘Quantitative Identification of Near-Fault Pulse-Like Ground Motions Based on Energy’, Bulletin of the Seismological Society of America, October 2013

Y. Lu, M. Panagiotou, ‘Characterization and representation of near-fault ground motions using cumulative pulse extraction with wavelet analysis’, Bulletin of the Seismological Society of America, February 2014

Ταφλαμπάς Ι., Καρύδης Π. “ Σημειώσεις Τεχνικής Σεισμολογίας”, Αθήνα, Μάιος 2007

Somerville, P. (2000). New developments in seismic hazard estimation, in Proc. of the Sixth Int. Conf. on Seismic Zonation (6ICSZ), Palm Springs, California, 12–15 November 2000.