

**UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI NAPOLI  
“FEDERICO II”**



**FACOLTA' DI INGEGNERIA**

DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA STRUTTURALE (DIST)

TESI DI LAUREA SPECIALISTICA  
IN  
INGEGNERIA CIVILE STRUTTURALE E GEOTECNICA

**ACCELEROGRAMMI SPETTROCOMPATIBILI PER LA  
PROGETTAZIONE DELLE STRUTTURE: VALUTAZIONE  
COMPARATIVA DELLA RISPOSTA SISMICA**

**RELATORE:**

**Ch.mo Prof. Ing. Edoardo Cosenza**

**Prof. Ing. Iunio Iervolino**

**CANDIDATO:**

**Marilena Esposito**

**Matr. 344/46**

**CORRELATORE**

**Ing. Flavia De Luca**

**Anno Accademico 2008-09**

## INDICE

Introduzione.....	10
 <b>Capitolo 1: La normativa italiana e gli approcci possibili per la selezione di accelerogrammi</b>	
Premessa.....	14
1.1 L'evoluzione del quadro normativo italiano .....	15
1.2 Pericolosità sismica .....	18
1.3 Stati limite e metodi di analisi.....	20
1.4 Rappresentazione dell'azione sismica .....	24
1.4.1 Spettro elastico in accelerazione .....	24
1.4.2 Accelerogrammi .....	27
1.5- Criteri di selezione delle registrazioni accelerometriche reali .....	30
1.6 - La procedura di matching .....	33
 <b>Capitolo 2: Codici di generazione e selezione di segnali spettrocompatibili</b>	
Premessa.....	36
2.1- Codici per la generazione di accelerogrammi artificiali .....	37
2.1.2- SIMQKE.....	38
La procedura utilizzata dal software .....	40
Funzione densità spettrale di potenza .....	41
Stazionarietà del segnale .....	42
Procedura di adeguamento allo spettro target.....	44
Prestazioni del programma secondo la letteratura tecnica.....	46
2.1.3- BELFAGOR.....	48
La procedura utilizzata dal software .....	49
Procedura di adeguamento allo spettro target.....	52
Prestazioni del programma secondo la letteratura tecnica.....	52
2.1.4- Confronti bibliografici tra registrazioni artificiali e Reali .....	53
2.2- Codici per la manipolazione degli accelerogrammi reali.....	55
2.2.1- RSPMATCH .....	56
Procedura di aggiunta delle wavelet .....	57

Procedura di controllo.....	62
Forma funzionale delle wavelet .....	62
Prestazioni del programma secondo la letteratura tecnica.....	64
2.2.2- REXEL .....	65

### **Capitolo 3: Selezione di sei categorie di accelerogrammi**

Premessa.....	69
3.1- Spettro target .....	a 70
3.2- Selezione delle categorie degli accelerogrammi .....	72
3.2.1- Set di reali non scalati (RNS).....	72
3.2.2- Set di reali moderatamente scalati (SF5).....	76
3.2.3- Set di reali significativamente scalati (SF12) .....	79
3.2.4- Set di reali modificati con wavelet (RSPMatch) .....	82
3.2.5- Set di artificiali belfagor (Belfagor) .....	85
3.2.6- Set di artificiali simqke (Simqke).....	88
3.3- Caratterizzazione delle registrazioni accelerometriche .....	90
3.3.1- Analisi dei parametri di Ampiezza .....	95
3.3.2- Analisi dei parametri d' Intensità e di Danno.....	98
3.3.3- Analisi dei parametri di Durata .....	99

### **Capitolo 4: Analisi della risposta sismica inelastica**

Premessa.....	101
4.1- Descrizione del sistema SDOF .....	102
4.2- Spettri di risposta elastici.....	106
4.2.1- Spettri elastici in accelerazione .....	107
4.2.2- Spettri elastici in spostamento.....	110
4.3- Spettri di risposta inelastici per parametri di picco .....	112
4.3.1- Spettri inelastici in Spostamento.....	112
4.3.2 Spettri di Duttività cinematica .....	118
4.4 Spettri di risposta inelastica per parametri ciclici.....	122
4.4.1 Spettri di duttilità ciclica ed isteretica.....	122
4.4.2 Spettri di Energia isteretica .....	131
4.4.3 Numero di cicli Equivalenti .....	137

4.5 Correlazione tra $N_e$ ed $I_D$ .....	140
4.6 Analisi statistica dei risultati.....	145
4.6.1- Caratterizzazione della statistica test .....	145
4.6.2- Analisi dei risultati .....	150
 Capitolo 6 : Conclusioni .....	 154

Appendice: Richiami di statistica

## ALLEGATI

**Allegato 1: Valori dei parametri di picco, intensità e durata delle sei categorie investigate.**

**Allegato 2: Spettri di risposta inelastica in spostamento *set to set* per le sei categorie investigate.**

**Allegato 3: Rapporto  $Sd_{i,j}/Sd_{target}$  *set to set* per le sei categorie investigate.**

**Allegato 4: Spettri di duttilità cinematica ( $D_{kin}$ ) *set to set* per le sei categorie investigate.**

**Allegato 5: Spettri di duttilità isteretica ( $D_{hyst}$ ) *set to set* per le sei categorie investigate.**

**Allegato 6: Spettri di duttilità ciclica ( $D_{cyc}$ ) *set to set* per le sei categorie investigate.**

**Allegato 7: Spettri di energia isteretica (EH) *set to set* per le sei categorie investigate.**

**Allegato 8: Numero di cicli equivalente ( $N_e$ ) *set to set* per le sei categorie investigate.**

**Allegato 9: Matrici sintetizzanti i risultati dei test statistici eseguiti.**

**Allegato 10: Tabelle dei p-value relative al livello di test ‘totali a 28’.**

**Bibliografia**

## INDICE DELLE FIGURE

Figura 1.1-	L'evoluzione della classificazione sismica.....	16
Figura 1.2-	Accelerogramma sisma Marche-Umbria'97.....	25
Figura 1.3-	Spettro di Pseudo-accelerazione del sisma Marche-Umbria '97 .....	25
Figura 1.4-	Differenti opzioni per la selezione di accelerogrammi.....	31
Figura 2.1-	Interfaccia grafica del codice SIMQKE_GR.....	39
Figura 2.2-	Funzione densità spettrale di potenza.....	42
Figura 2.3-	Esempio di segnale generato da Simqke.....	43
Figura 2.4-	Interfaccia grafica del codice Belfagor.....	49
Figura 2.5-	Algoritmo implementato in Belfagor.....	50
Figura 2.6-	Sintesi delle caratteristiche degli accelerogrammi.....	55
Figura 2.7-	Algoritmo implementato in RSPMatch2005 .....	57
Figura 2.8-	Il problema dei picchi secondari .....	59
Figura 2.9-	Situazioni sistematiche di 'adjustment' [Bazzurro e Luco, 2005].....	61
Figura 2.10-	Interfaccia grafica REXEL all'avvio del programma.....	66
Figura 3.1-	Mappa di ag con periodo di ritorno di 475 anni, per la Campania.....	70
Figura 3.2-	Spettro Target in accelerazione.....	71
Figura 3.3-	Spettro target in Spostamento .....	71
Figura 3.4-	Spettro di risposta elastico in accelerazione per la categoria RNS.....	75
Figura 3.5-	Spettri di risposta elastici in accelerazione per la categoria RSSF5 .....	78
Figura 3.6-	Spettro di risposta elastico in accelerazione relativo alla categoria SF12 ...	81
Figura 3.7-	Spettro di risposta elastico in accelerazione relativo alla categoria RSPMatch .....	84
Figura 3.8-	Spettro di risposta elastico in accelerazione relativo alla categoria Belfagor .....	87
Figura 3.9-	Spettro di risposta elastico in accelerazione relativo alla categ.Simqke.....	89
Figura 3.10-	Esempio di Bracketed Duration .....	92
Figura 3.11-	Esempio di Uniform Duration .....	92
Figura 3.12-	Esempio di Significant Duration.....	92
Figura 3.13-	Valori medi dei parametri di picco per le sei categorie investigate.....	96
Figura 3.14-	Parametri di Picco set to set.....	97
Figura 3.15-	Valori medi dei parametri $I_A$ ed $I_D$ per le sei categorie investigate .....	98
Figura 3.16-	Parametri $I_A$ $I_D$ set to set .....	99
Figura 3.17-	Valori medi dei parametri di durata per le sei categorie investigate .....	100
Figura 3.18-	Parametri di durata set to set.....	100
Figura 4.1-	Oscillatore semplice (SDOF).....	102
Figura 4.2-	Legame costitutivo elasto-plastico incrudente: a) legame bi-lineare non degradante; b) legame tri-lineare degradante.....	104
Figura 4.3-	Definizione del fattore di riduzione R.....	105
Figura 4.4-	Spettri di accelerazione elastici medi per le sei categorie investigate .....	108
Figura 4.5-	Spettri elastici in accelerazione set to set per le sei categorie investigate .	109
Figura 4.6-	Spettri di spostamento elastici medi per le sei categorie investigate.....	110
Figura 4.7-	Spettri elastici in spostamento set to set per le sei categorie investigate...	111

Figura 4.8-	Spettri inelastici medi in spostamento al variare del fattore di riduzione $R_i$ relativi al modello EPH.....	114
Figura 4.9-	Spettri inelastici medi in spostamento al variare del fattore di riduzione $R_i$ relativi al modello ESD.....	115
Figura 4.10-	Rapporto $Sd_{R_i}/Sd_{target}$ al variare del fattore di riduzione $R_i$ relativi al modello EPH.....	116
Figura 4.11-	Rapporto $Sd_{R_i}/Sd_{target}$ al variare del fattore di riduzione $R_i$ relativi al modello ESD.....	117
Figura 4.12-	Duttilità cinematica per le sei categorie investigate al variare del fattore di riduzione $R_i$ relativi al modello EPH.....	120
Figura 4.13-	Duttilità cinematica per le sei categorie investigate al variare del fattore di riduzione $R_i$ relativo al modello ESD.....	121
Figura 4.14-	Modello isteretico di riferimento: a) legame bi-lineare non degradante; ..... b) legame tri-lineare degradante. ....	122
Figura 4.15-	Duttilità isteretica per le sei categorie investigate al variare del fattore di riduzione $R_i$ relativi al modello EPH.....	125
Figura 4.16-	Duttilità isteretica per le sei categorie investigate al variare del fattore di riduzione $R_i$ relativi al modello ESD.....	126
Figura 4.17-	Duttilità ciclica per le sei categorie investigate al variare del fattore di riduzione $R_i$ relativi al modello EPH.....	127
Figura 4.18-	Duttilità ciclica per le sei categorie investigate al variare del fattore di riduzione $R_i$ relativi al modello ESD.....	128
Figura 4.19-	Spettri di Energia Isteretica per le sei categorie investigate al variare del fattore di riduzione $R_i$ relativi al modello EPH.....	133
Figura 4.20-	Spettri di Energia Isteretica per le sei categorie investigate al variare del fattore di riduzione $R_i$ relativi al modello ESD.....	134
Figura 4.21-	Numero di Cicli Equivalenti per le sei categorie investigate al variare del fattore di riduzione $R$ relativi al modello EPH.....	137
Figura 4.22-	Numero di Cicli Equivalenti per le sei categorie investigate al variare del fattore di riduzione $R$ relativi al modello ESD.....	138
Figura 4.23-	Legame ID-Ne per ogni recod di ogni categoria, $R=6$ , $T= 0.3$ sec (EPH)	141
Figura 4.24-	Legame ID-Ne per ogni recod di ogni categoria, $R=6$ , $T=0.6$ sec (EPH)	142
Figura 4.25-	Legame ID-Ne per ogni recod di ogni categoria, $R=6$ , $T= 1$ sec (EPH) ...	142
Figura 4.26-	Legame ID-Ne per ogni recod di ogni categoria, $R=6$ , $T= 0.3$ sec (ESD)	143
Figura 4.27-	Legame ID-Ne per ogni recod di ogni categoria, $R=6$ , $T= 0.6$ sec (ESD)	143
Figura 4.28-	Legame ID-Ne per ogni recod di ogni categoria, $R=6$ , $T= 1$ sec (ESD) ....	144
Figura 4.29-	Sintesi dei risultati: Numero di periodi di rigetto per tutte le combinazioni testate.....	149

## INDICE DELLE TABELLE

Tabella 1.1-Probabilità di superamento al variare dello stato limite considerato.....	21
Tabella 3.1-Deviazioni dei record Reali non Scalati dallo spettro target .....	73
Tabella 3.2- Dati delle registrazioni reali selezionate per in set RNS .....	74
Tabella 3.3- Deviazioni dei record Reali Scalati SF5 dallo spettro target.....	76
Tabella 3.4- Dati delle registrazioni reali selezionate per in set RSSF5.....	77
Tabella 3.5- Deviazioni dei record Reali Scalati SF12 dallo spettro target.....	79
Tabella 3.6- Dati delle registrazioni reali selezionate per in set RSsf12 .....	80
Tabella 3.7(a)- Dati input per la manipolazione dei RNS .....	82
Tabella 3.7(b)- Dati input per la manipolazione dei RNS .....	83
Tabella 3.8- Dati input per la generazione di artificiali Belfagor .....	86
Tabella 3.9-Dati di input per la generazione di artificiali Simqke.....	87
Tabella 3.10- Media e deviazioni Standard dei parametri di picco .....	96
Tabella 3.11- Media e deviazioni Standard dei parametri di Intensità/Danno .....	98
Tabella 3.12- Media e deviazione Standard dei parametri di Durata.....	99
Tabella 4.1- Numero di periodi (su20) in corrispondenza dei quali $\delta_y > \delta_{max}$ .....	119
Tabella 4.2- Reference record 006333xa.....	119
Tabella 4.3- Reference record 000635ya.....	130
Tabella 4.4- Risultati RNS28 vs SSSF528 relativo al parametro Ne+1 al variare del periodo nell'intervallo [0.1-2].....	148

## Introduzione

Il problema del rischio sismico in Italia è di grande rilevanza, non solo per il livello medio-alto di pericolosità ma soprattutto per l'elevato grado di vulnerabilità caratterizzante il nostro patrimonio edilizio. Stante tale consapevolezza, molti sono stati gli studi e le ricerche volte a migliorare la progettazione di strutture sismoresistenti, che sono confluite in un percorso normativo che vede la sua più recente conclusione nelle Nuove Norme Tecniche 2008 [\[D.M. del 14/01/2008\]](#).

La progettazione e valutazione delle strutture, può essere eseguita attraverso quattro differenti tipi di analisi, con livello di difficoltà crescente, i quali si differenziano tra loro in base al livello di modellazione strutturale ed alla tipologia di input sismico ad essa associati. Nella recente normativa, coerentemente ai dettami degli Eurocodici, per semplicità di applicazione, la procedura convenzionale di progettazione sismica è basata sullo spettro di risposta elastico in accelerazione o in spostamento. In casi particolari, quali strutture a livelli di duttilità elevati, o con forti irregolarità in pianta, strutture eccitate con modi di vibrazione elevati, o per le quali il mancato funzionamento potrebbe causare danni inaccettabili (i.e. centrali nucleari) ovvero con caratteristiche particolari (i.e. strutture isolate), il progettista deve assumere come metodo di progettazione un'analisi dinamica non lineare per la quale l'azione sismica da applicare al sistema è la *time-series* in accelerazione, ovvero almeno 3 accelerogrammi (in realtà 7 al fine di considerare gli effetti medi anziché i massimi) rappresentativi dell'evento sismico a cui la struttura possa essere soggetta nel corso della sua vita utile.

Gli accelerogrammi da utilizzare nell'analisi, secondo le prescrizioni normative, possono essere di diversa genesi: reali o naturali (non scalati, scalati), artificiali (costruiti a partire da uno spettro di riferimento atteso), ovvero simulati (derivanti da modelli di generazione e propagazione dei terremoti).

Tipicamente la selezione delle registrazioni reali avviene con magnitudo (M) e distanza (R) e condizioni di sito simili a quelle del terremoto di progetto. Altri fattori, come il meccanismo di rottura, ed il contenuto spettrale possono eventualmente essere considerati se disponibili per il sito oggetto di studio.

Qualora non fosse possibile ottenere accelerogrammi reali tali da soddisfare le richieste di selezione, il progettista può scalare le serie temporali oppure modificarli attraverso l'aggiunta di *wavelet* ovvero ricorrere a segnali artificiali o simulati.

Il presente lavoro vuole evidenziare gli effetti che l'uso di differenti tipologie di *time-history* possono avere sulla valutazione delle prestazioni sismiche. In particolare consiste nella comparazione tra diverse tipologie di input sismico, ovvero nella selezione/generazione, di sei differenti categorie di segnali (ciascuna costituita da 4 set di sette registrazioni) e nella valutazione del loro potenziale di danno sia attraverso parametri immediatamente deducibili dalle registrazioni dell'evento sismico in esame, sia attraverso l'analisi della risposta, lineare e non lineare, di un oscillatore semplice sottoposto agli eventi in oggetto.

Le selezioni vengono eseguite nel pieno rispetto delle NTC2008 assicurando la spettrocompatibilità nell'intervallo di periodo 0.15 – 2 secondi.

L'analisi non lineare viene eseguita considerando 20 sistemi ad un grado di libertà (SDOF) definiti in base al valore del periodo  $T$  variabile nell'intervallo 0.1-2 secondi (con passo 0.1). Ciascun sistema viene poi modellato considerando due semplici legami costitutivi: legame costitutivo bi-lineare non degradante con un 3% di incrudimento post-snervamento (EPH); legame costitutivo tri-lineare degradante con rigidità secondaria pari a -0.10 volte quella principale e un valore residuo di forza pari al 10% di quella di snervamento (ESD).

Sono stati quindi scelti cinque livelli di duttilità ( in approccio '*constant-strength*' rispetto allo spettro di normativa assunto quale riferimento), definendo cinque fattori di riduzione della forza  $R=i$  con  $i=2,4,6,8,10$ .

Avendo definito, il sistema, sono stati valutati gli spettri inelastici di spostamento, duttilità cinematica ( $D_{kin}$ ) e ciclica ( $D_{cyc}$ ), nonché quelli di duttilità isteretica ( $D_{hyst}$ ), energia isteretica (EH) e di numero di cicli equivalente ( $N_e$ ).

Infine si cerca di attribuire "significatività" ai risultati nell'accezione statistica del termine, ovvero si eseguono test d'ipotesi sui parametri di maggiore rilievo, al fine di verificare se la categoria di segnale scelto per effettuare l'analisi influenza la risposta valutata attraverso i parametri sopra elencati.

In particolare il lavoro di tesi si articola in 6 capitoli:

### **Capitolo 1: La normativa italiana e gli approcci possibili per la selezione di accelerogrammi.**

In questo capitolo di tipo introduttivo al problema, viene illustrato l'evoluzione del quadro normativo in materia di prevenzione sismica, conclusasi con le nuove norme tecniche per le costruzioni [D.M. del 14/01/2008]. In particolare ci si soffermerà sulla rappresentazione dell'azione sismica in termini di *time-history*, e sui requisiti richiesti dalla normativa vigente.

### **Capitolo 2: Codici di generazione e selezione di Segnali Spetrocompatibili**

Verrà mostrato il processo di genesi ed adeguamento di accelerogrammi spettrocompatibili artificiali eseguita dai software SIMQKE e BELFAGOR. Mentre per quanto concerne le registrazioni naturali, verrà illustrata sia la procedura con cui il codice RSPMatch modifica nel dominio del tempo una *time-history* di accelerazione per renderla compatibile con uno specificato spettro di riferimento, sia le modalità di selezione di registrazioni dall' European Strong-motion database (ESMDB) attraverso l'aiuto di REXEL v2.31 beta.

### **Capitolo 3: Selezione di sei categorie di accelerogrammi**

Attraverso l'utilizzo dei software esaminati nel capitolo 2, si è scelto di selezionare sei distinte categorie di segnali, formate ciascuna da quattro set di 7 accelerogrammi spettro compatibili. In particolare:

- Accelerogrammi Reali Non Scalati (RNS);
- Accelerogrammi Reali Scalati con registrazioni comuni ai RNS e con fattore di scala medio inferiore a 5 (SF5);
- Accelerogrammi Reali Scalati senza registrazioni comuni ai RNS e con fattore di scala medio inferiore a 12 (SF12);
- Accelerogrammi Reali Modificati mediante l'aggiunta di *wavelet* (RSPMatch);
- Accelerogrammi Artificiali Belfagor (Belfagor);
- Accelerogrammi Artificiali Simqke (Simqke) .

Sono inoltre ricavati per ciascun *record* parametri sintetici di caratterizzazione delle serie temporali, quali ampiezza, contenuto in frequenze, durata, parametri d'intensità e indici di danno.

#### **Capitolo 4: Analisi della risposta sismica inelastica**

Per una più accurata interpretazione dell'evento sismico, si è deciso di valutare gli spettri di risposta inelastici in termini sia di duttilità che di energia, ovvero per gli accelerogrammi in analisi sono stati definiti i seguenti spettri:

- Spettri di risposta elastici (in Accelerazione e Spostamento).
- Spettri di risposta inelastici (Spostamento).
- Spettri di duttilità (Cinematica, Ciclica ed Isteretica).
- Spettri di energia (Isteretica)
- Spettri del numero di cicli equivalenti

In fine, le medie dei parametri di risposta di maggiore interesse, quali spostamento ( $S_d$ ), duttilità cinematica ( $D_{kin}$ ), duttilità isteretica ( $D_{hyst}$ ) e numero di cicli equivalente ( $N_e$ ), relative alle sei categorie investigate sono state statisticamente comparate per verificarne l'uguaglianza. Sotto l'assunzione che le risposte individuali siano di tipo lognormale, verificando l'attendibilità di tale ipotesi per ciascun parametro, e le varianze siano differenti vengono eseguiti *test* di Student bidirezionali con la modifica di Aspin-Welch [Welch, 1937], scegliendo un livello di significatività del 95%.

Inoltre i confronti sono eseguiti su tre livelli, “*totali a 28*”, “*set to set*” ed “*interni*”, nel primo caso accorpando i quattro set e valutando le medie dei parametri fatte su 28 record, nel secondo caso confrontando i diversi set di sette registrazioni in tutte le possibili combinazioni tra categorie e nel terzo confrontando i set appartenenti ad una stessa categoria per verificare l'equivalenza tra i quattro set di ciascuna di esse .

#### **Capitolo 6: Conclusioni**

## **Capitolo 1: La normativa italiana e gli approcci possibili per la selezione di accelerogrammi**

### **Premessa**

Secondo i moderni principi di progettazione sismica, in relazione al tipo di struttura, occorre adottare diverse rappresentazioni dell'azione sismica, strettamente connessa al tipo di analisi che si decide di applicare. Quasi tutti i codici di progettazione sismica, inclusi gli Eurocodici e le NTC 2008, richiedono l'utilizzo di analisi pseudo-statiche come il metodo delle forze equivalenti od analisi modale a spettro uniforme, di seguito descritte. In casi particolari, come edifici che presentano forti irregolarità, alti livelli di duttilità, o comunque un'elevata probabilità di eccitare anche modi superiori, le norme (in particolare EC8 ed NTC2008) raccomandano l'utilizzo di analisi dinamiche, per le quali occorre determinare uno scenario di terremoti che meglio si adatti alle reali condizioni del sito.

La scelta di accelerogrammi di input rappresenta una fase fondamentale sia nelle analisi strutturali dinamiche non lineari, richiamate esplicitamente dalle Norme Tecniche per le Costruzioni [DM 14/09/2005], dall'OPCM n.3274/2003 e s.m.i. e dall'Eurocodice 8, sia in quelle di modellazione della risposta sismica locale. Gli accelerogrammi devono in genere soddisfare un criterio di compatibilità con lo spettro di riferimento, ottenuto da specifiche analisi di pericolosità sismica (con metodo probabilistico o deterministico) o, in alternativa, imposto dalla normativa. L'esame della letteratura [Bomber e Acevedo,2004] mostra la tendenza attuale di preferire accelerogrammi naturali, ovvero registrazione di eventi sismici pregressi, agli accelerogrammi generati artificialmente (Artificiali) e a quelli ricavati da complessi modelli di sorgente e propagazione delle onde sismiche (Simulati). Categorie di segnali, queste tre, Reali, Artificiali, Sintetici proposte dalle NTC 2008, in pieno rispetto dei dettami dell'Eurocodice 8. In realtà, la stessa normativa non indica con precisione l'esatta procedura di scelta dei segnali, ovvero i criteri per valutare la compatibilità dei singoli accelerogrammi selezionati con lo spettro target e per stabilire gli eventuali fattori di scala da applicare.

Nel seguito, dopo una rapida rassegna sull'evoluzione della classificazione sismica, che vede la sua conclusione nelle innovative mappe di sismicità in grado di uniformare il

rischio sismico in tutta l'Italia, ci si soffermerà sulla rappresentazione dell'azione sismica sulle strutture secondo il D.M. 14/09/2005, in termini di definizione degli spettri e selezione degli accelerogrammi. Quest'ultimo aspetto, maggiormente approfondito nei seguenti capitoli, viene qui introdotto, descrivendo sia i possibili criteri di selezione delle registrazioni reali, sia le diverse procedure di matching utilizzabili al fine di assicurare la richiesta compatibilità spettrale della Norma.

## 1.1 L'evoluzione del quadro normativo italiano

La prevenzione sismica, ovvero la riduzione del rischio, può essere ottenuta attraverso il binomio:

- *Normativa tecnica antisismica*
- *Classificazione sismica*, ovvero dove e in che misura devono essere applicate le norme

Le prime misure legislative italiane in termini di prevenzione sismica, furono prese dal governo borbonico in seguito al devastante terremoto che distrusse Reggio Calabria e Messina nel 1908. Così nel 1909, circa quattro mesi dopo il catastrofico evento, fu emanato il Regio Decreto n°193 contenente norme tecniche obbligatorie per le riparazioni e per la nuova costruzione di edifici valide per i territori presenti nell'elenco dei Comuni sismici. La lista, che comprendeva diversi comuni del Sud Italia, fu di volta in volta aggiornata a seguito del verificarsi di ulteriori eventi sismici, attraverso apposite Leggi:

- Decreto Legislativo 1526- Quantifica le forze sismiche e la loro distribuzione lungo l'altezza dell'edificio;
- Regio Decreto n°2089 – Stabilisce che le forze sismiche orizzontali e verticali non agiscono contemporaneamente, ed impone che la progettazione sia eseguita da un Ingegnere o un Architetto;
- Regio Decreto n°431 – Introduce due categorie sismiche a diversa pericolosità a cui competono prescrizioni differenti ed applicazione di diverse forze sismiche
- R.D. n°640 – emanazione di specifiche direttive tecniche ed obbligo dei comuni di apportare propri regolamenti edilizi
- Regio Decreto n°2125 definisce le norme del buon costruire anche per i comuni non classificati.

Nel **1974** fu promulgata la “nuova normativa sismica nazionale” che stabilisce il nuovo quadro di riferimento per la normativa tecnica, contenente sia la classificazione sismica (lista di comuni in cui dovevano essere applicate le norme, aggiornabile, sulla base di “comprovate motivazioni tecnico scientifiche”, mediante decreto legislativo) che i criteri di costruzione antisismica.

Il successivo decreto ministeriale del **1975** tra le numerose innovazioni, stabiliva la possibilità di eseguire analisi sismica statica o dinamica, nonché l’introduzione della firma dei progetti e calcoli da parte dei professionisti a seconda delle loro competenze.

Successivamente, in seguito ai terremoti del 1976 (Friuli) e del 1980 (Irpinia), studi sismologici permisero la formulazione di una proposta sismica basata su indagini di tipo probabilistico della sismicità italiana, che fu poi la base di partenza dell’attuale stima del rischi sismico nazionale. Così tra il 1980 ed il 1984, in seguito alla proposta del Centro Nazionale delle Ricerche (CNR), ed in particolare il progetto finalizzato ‘Geodinamico’ del 1979 che realizzò le carte di scuotibilità del territorio nazionale, il Ministero dei Lavori Pubblici emanò una serie di decreti: il primo tra questi (Decreto Ministeriale 1981) introduce la terza categoria a minore sismicità e coefficienti minori rispetto alla prime due già classificate nel Decreto Ministeriale del 1975.

Successivi sviluppi in ambito sismico, consentirono aggiornamenti della classificazione del 1984, che portarono nel **1998** alla suddivisione del territorio nazionale in tre zone sismiche , più una Non-Classificata.

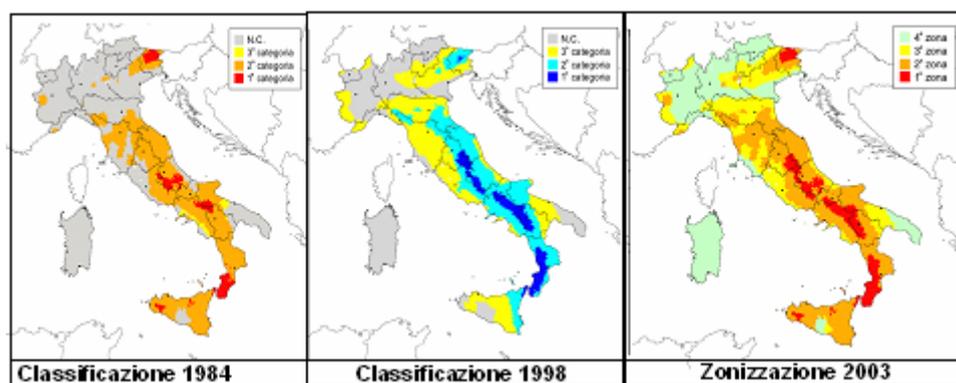


Figura 1.1- L’evoluzione della classificazione sismica

L’ancora vigente DM 1996 introduce alcune modifiche rispetto alle precedenti norme sismiche, tra le più importanti:

Non si fa più riferimento ai piani di un edificio ma alla sua altezza;

Anche nelle zone sismiche è possibile adottare metodi di verifica agli Stati Limite oltre che alle Tensioni ammissibili;

Introduzione del controllo degli spostamenti per limitare i danneggiamenti anche alla parti non strutturali.

In seguito al terremoto del Molise del 2002, ed in particolare con il crollo della scuola di San Giuliano è stato compiuto un passo decisivo nel valutare la pericolosità sismica a livello nazionale. Ritenendo che la nazione fosse sguarnita di una normativa sismica adeguata, con carattere di urgenza fu emanata, con apposita Ordinanza della Presidenza del Consiglio dei Ministri (OPCM) 3274 del 2003 (pubblicata sulla G.U. n.105 dell' 8 maggio 2003) che ha definitamene sancito che tutto il territorio italiano è sismico con quattro diversi livelli di pericolosità.

Ma considerata la mole di novità, errori e difficoltà anche interpretative introdotte dall'OPCM, si sono susseguite tutta una serie di proroghe, per cui in effetti tale provvedimento, comprese le sue successive modifiche, è entrato in vigore solo nel 2005 attraverso il Decreto Ministeriale del 2005 “Norme tecniche per le Costruzioni” che prevede esplicitamente la possibilità di rifarsi all'OPCM.

Nel 2001, a livello europeo è stato predisposto e votato favorevolmente da tutti i paesi membri, inclusa l'Italia, un sistema integrato di norme per la progettazione antisismica delle strutture e la valutazione della sicurezza e l'adeguamento di strutture esistenti: gli Eurocodici (EC). I principi ed i metodi adottati dagli EC sono in completa armonia con quelli contenuti nelle norme dei Paesi a più alta attività sismica, quali USA, America del Sud, Nuova Zelanda, Cina, Giappone ed Asia del Sud-Est.

La differenza sostanziale tra le norme di nuova generazione, quali gli Eurocodici, e quelle tradizionali consiste nell'abbandono del carattere convenzionale e puramente prescrittivo a favore di una impostazione esplicitamente *prestazionale*, nella quale gli obiettivi della progettazione che la norma si prefigge vengono dichiarati, ed i metodi utilizzati allo scopo (procedure di analisi strutturale e di dimensionamento degli elementi) vengono singolarmente giustificati.

Il vantaggio di questa impostazione è duplice. Da un lato fornisce al progettista la consapevolezza della finalità e del rilievo di ogni singola operazione, dall'altro consente alla Committenza, di graduare le prestazioni richieste all'opera in corso di progettazione in relazione ad esigenze specifiche di natura sociale ed economica.

I principi cardine della progettazione dell'EC8, specifico per la progettazione antisismica, sono:

- Gerarchia delle Resistenze, ovvero assegnare, in fase di progetto, una resistenza opportunamente “gerarchizzata” ai diversi elementi strutturali, in modo che la crisi degli elementi duttili preceda quella degli elementi fragili.

- Regole di Duttilità, ovvero regole di dimensionamento in grado di garantire che gli elementi strutturali siano in grado di sopportare deformazioni cicliche ripetute e di grande ampiezza in campo plastico, senza compromettere la loro funzione statica.

Ulteriori chiarimenti sono ampiamente esposti in Cosenza et al.[2005].

In ultimo, con il Decreto Ministeriale del 14/01/08 entrano in vigore le “Norme Tecniche per le Costruzioni” (NTC), pubblicate sulla Gazzetta Ufficiale n. 29 del 4 febbraio 2008 con Supplemento Ordinario n. 30, che definiscono le regole da seguire per la progettazione, esecuzione e collaudo delle costruzioni, sia in zona sismica che in zona non sismica. Esse forniscono i criteri generali di sicurezza, precisano le azioni che devono essere utilizzate nel progetto, definiscono le caratteristiche dei materiali e dei prodotti e, più in generale, trattano gli aspetti attinenti alla sicurezza strutturale delle opere.

Allo stato dei fatti, sembra doveroso sottolineare che, sono oggi in vigore in Italia:

D.M. 1996

D.M. 2005

Eurocodice

NTC2008

## **1.2 Pericolosità sismica**

Si è già fatto cenno all'iter legislativo che ha portato della definizione delle zone sismiche (classificazione sismica) in Italia mostrando come sia stata molto complessa. Una illustrazione di dettaglio è rintracciabile in De Marco et al. [2002], mentre un riassunto delle problematiche è presentato da Bramerini e Di Pasquale [2002].

Nel D.M.'96 così come nell'OPCM 3431, tutti i comuni italiani sono stati suddivisi in tre e in quattro categorie rispettivamente (*macrozonizzazione sismica*) contraddistinte da differenti valori di PGA. Tale suddivisione, risulta però inadatta a rappresentare situazioni locali che possono rappresentare gradi di pericolosità sismica molto diversi. Per questo, le nuove Norme Tecniche per le Costruzioni [NTC 2008] abbandonano definitivamente il

concetto di “Zona Sismica”, ed introducono quello di “Pericolosità Sismica”. La Pericolosità Sismica (Seismic Hazard) viene definita come il probabile livello di scuotimento del suolo associato al verificarsi di un terremoto; una sua quantificazione può essere ottenuta dagli elenchi e dalle carte recentemente realizzati dal Servizio Sismico Nazionale (SSN) e dal Gruppo Nazionale per la Difesa dai Terremoti (GNDT).

La determinazione delle azioni sismiche rappresenta una delle più importanti novità introdotte dalla norma attraverso gli allegati A e B, dove per descrivere la pericolosità sismica di un sito, sia in termini geografici che in termini temporali e con un buon grado di precisione, i risultati sono forniti:

- attraverso un reticolo di riferimento geografico i cui nodi estremi siano intervallati da un valore  $\leq 0,05^\circ$ ;
- da un intervallo temporale di riferimento compreso tra i 30 anni e i 2475 anni relativo alle diverse probabilità di superamento in 50 anni e per i diversi periodi di ritorno  $T_R$ ;
- da valori di accelerazione massima orizzontale  $a_g$  insieme ai parametri che consentono di definire gli spettri di risposta elastici per il sito di riferimento;

Si precisa inoltre che per un qualsiasi punto del territorio nazionale non ricadente sui nodi del reticolo di riferimento, i parametri di riferimento  $a_g$ ,  $F_0$  (fattore di amplificazione spettrale massima) e  $T_C^*$  (periodo di inizio del tratto a velocità costante), necessari per la definizione dell'azione sismica di progetto, possono essere determinati come media pesata dei valori assunti da tali parametri nei quattro vertici della maglia elementare.

Allo stato attuale, la pericolosità sismica su reticolo di riferimento e nell'intervallo di riferimento è fornita dai dati pubblicati sul sito <http://esse1.mi.ingv.it/>. Eventuali differenze di pericolosità sismica sono approvate dal Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici, previa istruttoria effettuata dal Dipartimento per la Protezione Civile, al fine di valutarne l'attendibilità scientifica e l'idoneità applicativa in relazione ai criteri di verifica adottati nelle NTC.

La disponibilità di informazioni così puntuali e dettagliate consente di adottare nelle fasi progettuali e di verifica valori che rispondano meglio alla realtà, pur mantenendo un grado di approssimazione accettabile a livello computazionale. Allo stesso tempo però, una informazione così puntuale può portare a delle ulteriori complicazioni, infatti in uno stesso reticolo di riferimento si possono avere variazioni in termini di valori di sismicità di base anche notevoli. Pertanto, definire un punto del reticolo e confrontarlo con la realtà dei luoghi può condurre a risultati certamente attendibili, ma non univoci. Conseguenza di ciò è che per costruzioni limitrofe si possono avere valori caratteristici diversi, ovvero

un'incertezza sull'assunzione dei valori di sismicità di base per le verifiche sismiche legate al calcolo strutturale degli edifici. Infatti al variare della posizione delle coordinate, passando da un punto ad un altro anche nella stessa costruzione, comporta una scelta progettuale importante, ovvero quali dei diversi parametri adottare per la verifica della stessa, cosa di non poco conto visto che le verifiche strutturali sono basate su valori di riferimento. L'unica eccezione è fatta per le costruzioni di dimensioni ridotte e non classificate come "strategiche" o per quelle aventi fondazioni sufficientemente rigide e resistenti, che possono assumere un valore univoco in termini di risposta sismica per l'intera struttura.

Lo scuotimento del suolo così individuato viene successivamente corretto in funzione delle condizioni morfo-stratigrafiche locali. Tali modifiche caratterizzano la risposta sismica locale in termini di scuotimento del suolo e possono condurre ad una definizione specifica dell'azione sismica di zone o regioni limitare (*microzonazione sismica*).

### 1.3 Stati limite e metodi di analisi

Con riferimento alla vita nominale, alle prestazioni di un'opera, così come alla sua sicurezza strutturale, devono essere verificati (condizione di non superamento), due stati limite (2.2).

“- sicurezza nei confronti di stati limite ultimi (SLU): capacità di evitare crolli, perdite di equilibrio e dissesti gravi, totali o parziali, che possano compromettere l'incolumità delle persone ovvero comportare la perdita di beni, ovvero provocare gravi danni ambientali e sociali, ovvero mettere fuori servizio l'opera;

- sicurezza nei confronti di stati limite di esercizio (SLE): capacità di garantire le prestazioni previste per le condizioni di esercizio;”

E' inoltre prevista un'ulteriore verifica di:

“- robustezza nei confronti di azioni eccezionali: capacità di evitare danni sproporzionati rispetto all'entità delle cause innescanti quali incendio, esplosioni, urti.”

E' possibile, riferendosi alle costruzioni nel suo complesso, far riferimento a livelli di sicurezza differenti (§3.2.1)

Con particolare riferimento alle azioni sismiche, gli stati limite di esercizio sono:

- “- Stato Limite di Operatività (SLO): a seguito del terremoto la costruzione nel suo complesso, includendo gli elementi strutturali, quelli non strutturali, le apparecchiature rilevanti alla sua funzione, non deve subire danni ed interruzioni d'uso significativi;
- Stato Limite di Danno (SLD): a seguito del terremoto la costruzione nel suo complesso, includendo gli elementi strutturali, quelli non strutturali, le apparecchiature rilevanti alla sua funzione, subisce danni tali da non mettere a rischio gli utenti e da non compromettere significativamente la capacità di resistenza e di rigidità nei confronti delle azioni verticali ed orizzontali, mantenendosi immediatamente utilizzabile pur nell'interruzione d'uso di parte delle apparecchiature.”

Gli stati limite ultimi sono:

- “- Stato Limite di salvaguardia della Vita (SLV): a seguito del terremoto la costruzione subisce rotture e crolli dei componenti non strutturali ed impiantistici e significativi danni dei componenti strutturali cui si associa una perdita significativa di rigidità nei confronti delle azioni orizzontali; la costruzione conserva invece una parte della resistenza e rigidità per azioni verticali e un margine di sicurezza nei confronti del collasso per azioni sismiche orizzontali;
- Stato Limite di prevenzione del Collasso (SLC): a seguito del terremoto la costruzione subisce gravi rotture e crolli dei componenti non strutturali ed impiantistici e danni molto gravi dei componenti strutturali; la costruzione conserva ancora un margine di sicurezza per azioni verticali ed un esiguo margine di sicurezza nei confronti del collasso per azioni orizzontali.”

Per individuare l'azione sismica agente in ciascuno degli stati limite considerati occorre riferirsi ad una data probabilità di superamento nel periodo di riferimento,  $P_{VR}$ , riportata in tabella 1.1 (come da Tabella 3.2.I delle NTC 2008)

Stati limite		$P_{VR}$ : Probabilità di superamento nel periodo di riferimento VR
Stati limite di esercizio	SLO	81%
	SLD	63%
Stati limite ultimi	SLV	10%
	SLC	5%

Tabella 1.1- Probabilità di superamento al variare dello stato limite considerato

Le NTC2008, così come EC8 e ancor prima l'OPCM3431, forniscono al progettista la possibilità di eseguire la progettazione di strutture soggette ad azioni sismiche secondo quattro metodi di analisi con difficoltà e precisione via via crescente.

In particolare, l'analisi delle strutture soggette ad azione sismica può essere Lineare o Non Lineare, Statica o Dinamica, ovvero:

- *Analisi Statica Lineare*
- *Analisi dinamica modale*
- *Analisi Statica non lineare*
- *Analisi Dinamica Non Lineare*

E' utile sottolineare che la scelta dell'uno o dell'altro metodo dipende essenzialmente dalle caratteristiche della struttura e dalla sua 'importanza'. Mentre per le progettazioni *ex-novo*, l'analisi non lineare è a discrezione del progettista, per la valutazione di strutture esistenti, le norme ne raccomandano l'utilizzo, in quanto consentono una più puntuale valutazione della risposta attesa.

L'Analisi Statica Lineare "vede sulla costruzione l'applicazione di forze statiche equivalenti alle forze d'inerzia indotte dall'azione sismica. Essa è soggetta a condizioni di applicabilità [...] e a condizioni di regolarità in altezza, che permettono di affermare che il primo modo di vibrazione sia rappresentativo del comportamento della struttura interessata dal sima. Tale periodo (periodo del modo di vibrare principale,  $T_1$ ) nella direzione in esame non deve superare 2,5 TC o TD".

L'Analisi Dinamica Lineare, considerata come metodo normale per la definizione delle sollecitazioni di progetto, tiene conto delle caratteristiche dinamiche della struttura tramite l'utilizzo dei modi propri di vibrare, considerando tutti quelli con massa partecipante significativa. L'azione sismica è rappresentata dallo spettro di risposta di progetto, per ciascuno dei modi di vibrare individuati. Inoltre per la combinazione degli effetti relativi ai singoli modi, si rimanda al §7.3.3.1 delle NTC2008. In alternativa, nel caso in cui la struttura sia non dissipativa, si può effettuare un'analisi con integrazione al passo, modellando l'azione sismica attraverso accelerogrammi.

L'Analisi Statica Non Lineare vede applicate sulla struttura, assimilata ad un sistema strutturale equivalente ad un grado di libertà, oltre ai carichi gravitazionali, per la direzione considerata dell'azione sismica, un sistema di forze orizzontali distribuite, ad ogni livello

della costruzione, proporzionalmente alle forze d'inerzia ed aventi risultante uguale al taglio alla base ( $F_b$ ). Tale sistema di forze, precedentemente scalato, viene incrementato, sia in direzione positiva che negativa, in modo da far crescere monotonicamente lo spostamento orizzontale di un punto di controllo scelto come il baricentro dell'ultimo impalcato ( $d_c$ ). In tal modo, la struttura viene spinta in campo non lineare fino al raggiungimento della condizione di collasso locale o globale. Sempre secondo le NTC2008, le distribuzioni da considerare per ciascuna direzione principale sono almeno due, una principale proporzionale al prodotto fra le masse e gli spostamenti del primo modo di vibrare (appartenente al Gruppo1) e l'altra secondaria proporzionale alle masse (appartenete al Gruppo2). Si rimanda per maggiori dettagli al §7.3.4.1 delle NTC2008. Dall'analisi si ottiene la "curva di capacità" della struttura (diagramma  $F_b$ - $d_c$ ), ovvero lo spostamento del punto di controllo al crescere del taglio alla base.

L'Analisi Dinamica Non Lineare consente la valutazione della risposta sismica di un edificio mediante l'integrazione diretta delle equazioni del moto, applicando ai nodi della struttura vincolati al terreno gli accelerogrammi opportunamente scelti così come verrà specificato nel seguito.

Essa è la metodologia d'analisi più complessa ma anche più completa, in quanto, permette di conoscere l'andamento nel tempo degli stati di sforzo e di deformazione dei componenti della struttura, e quindi di verificare l'integrità degli elementi strutturali nei confronti di possibili comportamenti fragili, nonché di valutare il comportamento dinamico della struttura in campo non lineare. Tale tipologia di analisi è a discrezione del progettista, ma risulta obbligatoria ne caso di strutture isolate alla base con sistema d'isolamento non rappresentabile con modello lineare equivalente (§ 7.10.5.2).

## **1.4 Rappresentazione dell'azione sismica**

Secondo le NTC2008, l'azione sismica è caratterizzata da tre componenti tra loro indipendenti, due orizzontali ed una verticale. Tali componenti possono essere rappresentate, come già esposto, in funzione del tipo di analisi adottata da:

- Accelerazione massima attesa in superficie, da utilizzarsi nel caso di analisi statica lineare

- Accelerazione massima e relativo spettro di risposta previsti in superficie, da utilizzarsi per l'analisi dinamica lineare e per valutare le richieste in un'analisi statica non lineare.
- Accelerogrammi (*time-history*) da utilizzarsi nel caso di analisi dinamica lineare o non lineare.

#### 1.4.1 Spettro elastico in accelerazione

La nuova normativa [NTC 2008], in conformità con l'EC8, attribuisce un'importanza fondamentale allo Spettro di risposta elastico. Lo spettro elastico sintetizza la risposta massima (in termini di spostamento, accelerazione e velocità) di oscillatori elementari a comportamento elastico-lineare di diverso periodo. Esso è, dunque, la rappresentazione oggettiva e sintetica delle principali caratteristiche di un terremoto o, meglio, dei possibili terremoti che si possono verificare in un dato sito, e non è legato allo specifico tipo di struttura ed al suo particolare comportamento durante un sisma.

In particolare, lo spettro di risposta in termini di spostamento riporta, per un certo valore di  $\xi$  (fattore di smorzamento) ed al variare del periodo  $T_0$  dell'oscillatore semplice, i valori massimi dello spostamento ( $S_d$ ) della massa ( $M$ ) durante l'eccitazione sismica.

Un punto dello spettro elastico viene ottenuto, dato un input accelerometrico dalla risoluzione dell'equazione del moto (1.1):

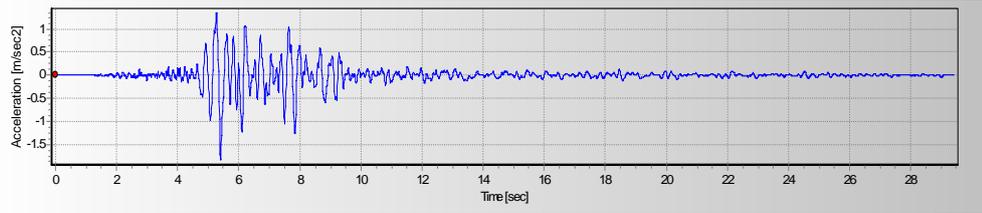
$$m \ddot{x}(t) + b \dot{x}(t) + kx(t) = -m \ddot{x}_g(t) \quad (1.1)$$

Dove  $\ddot{y}(t)$ , è il valore dell'accelerazione al variare del tempo.

Dallo spettro di spostamento ( $S_d$ ) è possibile passare a quello di Velocità ( $S_v$ ) e a quello di accelerazione ( $S_a$ ) a cui maggiormente si fa riferimento, attraverso le relazioni (1.2):

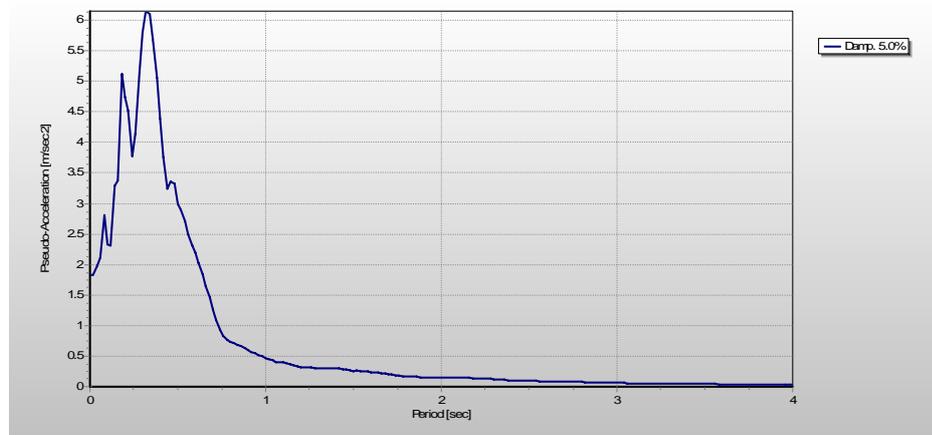
$$S_a(T_0, \zeta) = \frac{2 \cdot \pi}{T_0} \cdot S_v(T_0, \zeta) = \frac{4 \cdot \pi^2}{T_0^2} \cdot S_d(T_0, \zeta) \quad (1.2)$$

Ad esempio se si considera la registrazione del sisma Umbria-Marche (26/09/97) [ESMDB] di magnitudo ( $M$ ) 6 e distanza epicentrale ( $R$ ) 21Km, come mostrato in figura 1.3:



**Figura 1.2- Accelerogramma sisma Marche-Umbria'97**

Lo spettro elastico ad essa associata, mediante la risoluzione dell'equazione del moto (1.1), al variare del periodo fondamentale  $T_0$  e per uno smorzamento viscoso del 5%, è quello mostrato in figura 1.3.



**Figura 1.3- Spettro di Pseudo-accelerazione del sisma Marche-Umbria '97**

Nelle pratiche applicazioni progettuali e di verifica, una storia di accelerazioni  $\ddot{y}(t)$  è poco significativa per un utilizzo pratico, ovvero la forma di uno spettro di normativa non può essere, ovviamente, quella relativa ad un singolo evento sismico. La forma spettrale di normativa viene definita, quindi, mediante studi di tipo probabilistico, facendo riferimento all'insieme degli eventi che possono verificarsi in una certa zona e dando una forma funzionale in funzione di pochi parametri caratteristici della pericolosità al sito. Così sono stati definiti gli spettri di risposta per moltissime registrazioni di accelerazioni sismiche  $\ddot{y}(t)$ . I risultati di tali studi, ottenuti applicando opportune procedure statistiche, sono stati utilizzati per creare gli spettri di risposta elastici di normativa, ovvero spettri di risposta ricavati mediando i valori dei corrispondenti spettri di risposta ottenuti da diversi accelerogrammi.

Lo spettro di risposta elastico in accelerazione (§3.2.3.2) è espresso da una forma spettrale (spettro normalizzato) moltiplicata per il valore della accelerazione orizzontale massima  $a_g$

su suolo rigido orizzontale. Sia la forma spettrale che il valore di  $a_g$  variano al variare della probabilità di superamento nel periodo di riferimento  $P_{V_R}$  pari alla vita di riferimento  $V_R$ .

La differenza più significativa tra NTC ed EC8 è che la forma spettrale in quest'ultimo caso è standard per ogni categoria di suolo e dipende dal sito solo per il valore di ancoraggio, mentre le NTC di fatto definiscono spettri completamente sito-dipendenti e pressoché coincidenti con gli spettri a pericolosità uniforme. Le NTC2008, infatti definiscono (§3.2.3.2.1) l'andamento dello spettro in funzione dei parametri:

- S coefficiente che tiene conto della categoria di sottosuolo e delle condizioni topografiche;
- $\eta$  fattore di alterazione dello spettro elastico da valutarsi in funzione dei coefficiente di smorzamento viscoso convenzionali  $\xi$ ;
- $F_0$  fattore di amplificazione spettrale su suolo rigido orizzontale;
- $T_C$  periodo corrispondente all'inizio del tratto a velocità costante dello spettro;
- $T_B$  periodo corrispondente all'inizio del tratto a accelerazione costante dello spettro;
- $T_D$  periodo corrispondente all'inizio del tratto a spostamento costante dello spettro.

La forma funzionale alla Newmark-Hall dello spettro elastico delle NTC è riportato nella (1.4)

$$\begin{aligned}
 S_a(T) &= a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_0 \cdot \left[ \frac{T}{T_B} + \frac{1}{\eta F_0} \left( 1 - \frac{T}{T_B} \right) \right] & 0 \leq T < T_B \\
 S_a(T) &= a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_0 & T_B \leq T < T_C \\
 S_a(T) &= a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_0 \cdot \left( \frac{T_C}{T} \right) & T_C \leq T < T_D \\
 S_a(T) &= a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_0 \cdot \left( \frac{T_C \cdot T_D}{T^2} \right) & T_D \leq T
 \end{aligned} \tag{1.3}$$

#### 1.4.2 Accelerogrammi

L'accelerogramma di un sisma reale è la più accurata rappresentazione di un terremoto, perché essa contiene una ricchezza di informazioni circa le proprietà del sisma e la natura delle onde che si propagano dall'epicentro alla stazione di registrazione.

Come si evince dall' EC 8, parte1 [§3.2.3 Eurocode 8] l'azione sismica per l'analisi dinamica non lineare può essere rappresentata attraverso storie temporali, di accelerazione

ed eventualmente di velocità e di spostamento. L'accelerogramma, è adottato nell'integrazione numerica delle equazioni differenziali del moto al fine di ottenere la risposta strutturale. Ovviamente, se è richiesto un modello spaziale, l'azione sismica deve consistere nell'azione simultanea di due o tre accelerogrammi: due orizzontali ed eventualmente uno verticale.

L'utilizzo di accelerogrammi è inoltre raccomandato per l'analisi e progettazione dinamica di costruzioni con irregolarità, nonché per la valutazione della risposta strutturale in termini di stabilità e deformazione.

La qualità dell'output dipende da quella dell'input. Il problema di un'adeguata selezione dell'input sismico è emerso molto chiaramente in precedenti studi ed influenza notevolmente la qualità dei risultati [Bommer e Acevedo, 2004].

Infatti, l'input sismico dell'analisi deve essere rappresentativo del terremoto di progetto. Ma qual è il reale terremoto di progetto?

A seconda della natura dell'applicazione e delle informazioni effettivamente disponibili, la descrizione del moto sismico può essere ottenuta usando una delle tre seguenti categorie di accelerogrammi:

1. registrazioni artificiali, compatibili con lo spettro di progetto,
2. registrazioni sintetiche ottenute da modelli sismologici,
3. registrazioni di reali accelerogrammi.

Tale distinzione già presente nell'EC8 è riportata anche nelle NTC2008

*“Gli stati limite, ultimi e di esercizio, possono essere verificati mediante l'uso di accelerogrammi, o artificiali o simulati o naturali”*. In particolare:

Accelerogrammi Artificiali, sono registrazioni di eventi realmente accaduti modificati in modo da avere uno spettro di risposta praticamente coincidente, entro una certa tolleranza, con uno spettro definito “target”, attraverso manipolazione nel dominio delle frequenze [Bommer and Acevedo, 2004].

Accelerogrammi Simulati, vengono generati, attraverso una modellazione, con metodi sia deterministici che stocastici, capace di simulare gli effetti dei processi fisici connessi col moto al suolo, come genesi del terremoto, propagazione dell'onda e risposta superficiale al sito. L'evoluzione di questa tipologia è stata notevole [i.e. Zeng et al. 1994, Atkinson e Boore 1997, Beresnev e Atkinson 1998, Boore 2003], anche se la loro applicazione risulta complessa, in quanto richiederebbe la definizione di un elevato numero di parametri per la caratterizzazione del terremoto di origine.

Accelerogrammi Reali, ovvero registrazioni di eventi naturali facilmente disponibili presso i database di riconosciuti enti di ricerca [i.e. PEER, ESMD, ITACA]. Per selezionare le opportune registrazioni per la progettazione ed le analisi ingegneristiche, la pratica richiede una vasta banca dati di accelerogrammi e l'accesso a database di determinati parametri affidabili [Bommer e Ambraseys 1992]. Dopo che le registrazioni sono state selezionate, bisogna assicurarsi che queste siano conformi allo spettro di riferimento. Bommer ed Acevedo [2004] hanno recentemente proposto criteri di selezione ed manipolazione dei segnali adatti allo scopo.

Lo stesso EC8, sottolinea che, gli accelerogrammi artificiali per essere utilizzati nell'analisi devono soddisfare i seguenti requisiti [§3.2.3.1 Eurocode 8]:

- Devono essere adoperati un minimo di tre accelerogrammi;
- La media delle Peak Ground Acceleration (PGA) (calcolate dalle time-histories selezionate) non deve essere inferiore al valore  $a_g S$  del sito in esame;
- Detto  $T_1$  il periodo fondamentale della struttura nella direzione di applicazione dell'accelerogramma, nell'intervallo  $0.2T_1$  e  $2T_1$  la media delle ordinate spettrali elastiche (considerando un smorzamento del 5%) del set di accelerogrammi scelto non deve essere inferiore al 90% dello spettro di riferimento o "target".

In realtà, per quanto concerne il punto 1, lo stesso EC8, al paragrafo 4.3.3.4.3 sottolinea che se la risposta è ottenuta da almeno 7 accelerogrammi in accordo con i criteri di selezione, è possibile utilizzare in fase di verifica la risposta media ottenuta dalle registrazioni, ovvero consente di considerare sulla struttura gli effetti medi anziché quelli massimi. Tale prescrizione è ripresa anche nelle NTC.

E', comunque, evidente che un'analisi sismica coerente deve prevedere l'esame di un numero elevato di eventi sismici, da un lato per conferire significato statistico ai risultati, dall'altro per controllare le numerose incertezze coinvolte nella definizione dell'input sismico.

La normativa sismica italiana [D.M. 14-01-08, §3.2.3.6], inoltre, sottolinea che *“la durata degli accelerogrammi artificiali deve essere stabilita sulla base della magnitudo e degli altri parametri fisici che determinano la scelta del valore di  $a_g$  (accelerazione massima) e di  $S_s$  (coefficiente di amplificazione stratigrafica). In assenza di studi specifici la durata della parte pseudo-stazionaria deve essere preceduta e seguita da tratti di ampiezza crescente e decrescente rispetto al valore zero, in modo che la durata complessiva dell'accelerogramma sia non inferiore a 25 s.”*

Inoltre, così come già sottolineato dall'EC8, gli accelerogrammi artificiali devono avere uno spettro di risposta elastico, smorzato al 5%, coerente con lo spettro di risposta adottato nella progettazione. Tale coerenza è da verificarsi in base alla media delle ordinate spettrali ottenute con i diversi accelerogrammi, la quale non deve presentare uno scarto in difetto superiore al 10%, rispetto alla corrispondente componente dello spettro elastico, in alcun punto del maggiore tra gli intervalli  $0,15s \div 2,0s$  e  $0,15s \div 2T$ , in cui  $T$  è il periodo fondamentale di vibrazione della struttura in campo elastico, per le verifiche agli stati limite ultimi, e  $0,15 s \div 1,5 T$ , per le verifiche agli stati limite di esercizio.

In ultimo si sottolinea l'inapplicabilità di accelerogrammi artificiali nelle analisi dinamiche di opere e sistemi geotecnici.

Sempre secondo le NTC2008 (§3.2.3.6), l'uso di accelerogrammi generati mediante simulazione del meccanismo di sorgente e della propagazione (accelerogrammi simulati), è ammesso a condizione che siano adeguatamente giustificate le ipotesi relative alle caratteristiche sismogenetiche della sorgente e del mezzo di propagazione.

Per quanto concerne, le registrazioni reali, allo stesso punto, le NTC2008, evidenziano che esse possono essere adoperate a condizione che *“la loro scelta sia rappresentativa della sismicità del sito e sia adeguatamente giustificata in base alle caratteristiche sismogenetiche della sorgente, alle condizioni del sito di registrazione, alla magnitudo, alla distanza dalla sorgente e alla massima accelerazione orizzontale attesa al sito”*. Inoltre nell'intervallo di periodi d'interesse, anche le registrazioni reali, opportunamente selezionate e/o scalate, devono approssimare gli spettri di risposta elastici.

La scarsità di registrazioni reali soprattutto di forti accelerogrammi per molte zone, unitamente alla diffusione dell'analisi dinamica con uso di time-history per la valutazione della risposta strutturale, sono il principale motivo della generazione artificiale di accelerogrammi per analisi e progettazione [Lestuzzi et al. 2004].

A prima vista potrebbe sembrare che le norme (EC8; NTC2008) spingano verso l'utilizzazione di registrazioni artificiali, sulle quali maggiormente si soffermano, in realtà ricorrere a tale opzione, nonostante il proliferare di software in grado di generare facilmente ed in pochi secondi accelerogrammi quasi perfettamente spettrocompatibili rappresenta sicuramente la scelta meno accurata tra le tre disponibili. Un'accurata ricerca bibliografica, eseguita a monte di questo lavoro, e di seguito nello specifico richiamata, mostra come tali registrazioni contengano un numero eccessivo di cicli e quindi un elevato contenuto energetico. D'altra parte, questi accelerogrammi sono derivati dallo spettro di progetto, che è uno spettro a pericolosità uniforme (UHS) ottenuto da un'analisi di

pericolosità sismica (PSHA) e quindi influenzato da diverse registrazioni, eventi di bassa magnitudo e a piccola distanza che influenzano la parte ad alta frequenza dello spettro ed eventi di alta magnitudo e a distanze maggiori che invece influenzano la parte a bassa frequenza dello spettro, [Reiter,1990; Boomer et al 2000], per cui tendono ad essere fortemente irrealistici.

Per quanto riguarda gli accelerogrammi simulati, sembra opportuno sottolineare che la determinazione dei parametri di sorgente invariabilmente comporta un alto grado di incertezza, e la specificazione di questi parametri possono anche comportare un significativo grado di giudizio di esperti [Bommer, Acevedo 2004].

Gli accelerogrammi naturali, infine, sembrano essere quelli che più fedelmente riproducono caratteristiche come energia, durata, fase e contenuto in frequenze degli eventi reali. La crescita di database di registrazioni reali di facile accesso spinge sicuramente sempre più in questa direzione [Iervolino, Maddaloni, Cosenza, 2005].

In sintesi, quindi, per l'esecuzione di analisi dinamiche non lineari delle strutture, la selezione e il matching dell'imput sismico rappresentano una problematica di notevole rilievo.

### **1.5 Criteri di selezione delle registrazioni accelerometriche reali**

Come abbiamo già visto nel precedente paragrafo, la norma dice di selezionare le registrazioni reali in modo che esse siano rappresentative della sismicità del sito ed adeguatamente giustificate, ma non espone univocamente come eseguire la selezione.

Dato che il terremoto di progetto è generalmente definito solo in termini di pochi parametri, è difficile garantire nelle registrazioni selezionate un modello capace di rappresentare tutte le caratteristiche del terremoto e del sito. Per cui, non essendo presente una chiara identificazione dei terremoti da selezionare, appare evidente la difficoltà dell'ingegnere ad individuare uno scenario di terremoti che meglio si presta a rappresentare gli effetti del sito.

A seconda delle informazioni a disposizione del progettista, le modalità di scelta delle registrazioni per le analisi non lineari delle strutture possono essere differenti, Figura 1.2, può essere conseguita utilizzando varie procedure di selezione, ad esempio un'analisi deterministica della pericolosità sismica (*Deterministic Seismic Hazard Aanalysis*), la

disaggregazione dell'analisi probabilistica della pericolosità sismica (*Probabilistic Seismic Hazard Analysis*) oppure secondo i codici (anche se questi spesso prevedono una delle altre due opzioni all'interno di essi).

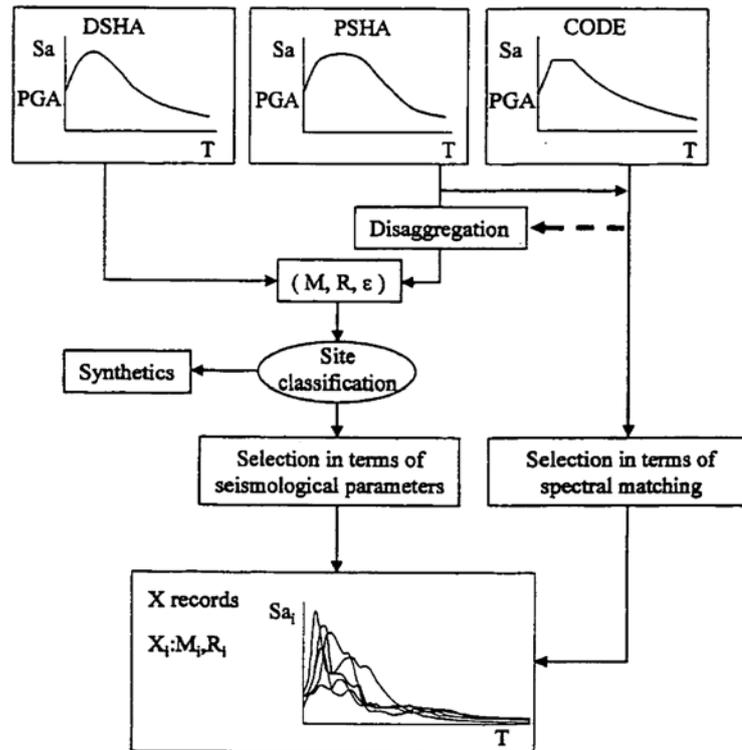


Figura 1.4- Differenti opzioni per la selezione degli accelerogrammi (The use of real earthquake accelerograms as input to dynamic analysis, J.J.Bommer a; A.B.Acevedo)

In particolare, gli accelerogrammi possono essere scelti a partire da

1. Parametri di strong-motion;
2. Parametri sismologici;
3. In termini di Magnitudo e/o Distanza e/o Sito

Un criterio per selezionare le registrazioni a partire da parametri di strong-motion, è basato sulle ordinate dello spettro di progetto elastico e in genere effettuando solo un confronto con la PGA. Per perfezionare le ricerche al fine di ottenere registrazioni più probabili che soddisfano il criterio del confronto spettrale, è utile eseguire la selezione minimizzando la deviazione media (*Drms – Deviation Root-Mean-Square*) dello spettro osservato dallo spettro di progetto target:

Se si ha disposizione una stima della pericolosità sismica del sito specifico, allora le possibilità per selezionare le registrazioni sono del tutto differenti. Ovvero:

- Se è stata impiegata una stima deterministica della pericolosità sismica (*DSHA*), la ricerca può essere fatta direttamente in termini di magnitudo del terremoto, distanza del sito dalla faglia di rottura e natura della superficie geologica del sito.

-Se, è impiegata la stima probabilistica della pericolosità sismica (*PSHA*), che calcola la probabilità di superamento di un certo valore limite di un parametro qualsiasi del moto al suolo (ad esempio l'accelerazione spettrale), si considera un aggregato di terremoti appartenenti ad un range di magnitudo provenienti dalle diverse faglie o sorgenti sismiche situate a varie distanze dal sito. Pertanto il controllo dello scenario dei terremoti deve essere ottenuto attraverso la disaggregazione.

In realtà, Iervolino e Cornell [2005] conclusero che se le registrazioni sono scalate allo spettro di progetto elastico in corrispondenza del periodo fondamentale della struttura, non assume molta importanza selezionare tali registrazioni attraverso la combinazione magnitudo-distanza nello scenario dei terremoti di progetto.

Qualora, il metodo di selezione utilizzato fornisca un sufficiente numero di registrazioni funzione della classe di appartenenza del sito e utilizzando una appropriata finestra di magnitudo-distanza, è possibile adottare un ulteriore raffinamento considerando ad esempio anche il meccanismo di rottura, se questo, ovviamente, è determinato dallo scenario di progetto, anche se [Bommer et al. ,2003] suggeriscono che non è essenziale introdurre nella selezione delle registrazioni il tipo di faglia. Ulteriore caratterizzazione della selezione, è che le registrazioni non dovrebbero provenire da un'unica stazione predominante ammenochè non sia molto vicina a quella del sito di interesse. Inoltre appare opportuno evitare registrazioni provenienti da un singolo evento.

## **1.6 La procedura di matching**

Si è già sottolineato, come lo scenario sismico (magnitudo, distanza, condizione di sito e topografiche) è rappresentato, in un certo senso, dallo spettro target, spettro di riferimento normalizzato fornito dalla norma e facilmente valutabile. Si è, altresì, osservato che è possibile, fare riferimento ad un set di accelerogrammi, i quali però devono rispettare alcune condizioni, relative alla loro generazione/selezione. La normativa italiana [D.M. 14-01-08], così come le altre normative europee e mondiali, per quanto riguarda la selezione dell'input sismico, è essenzialmente concentrata sulla compatibilità dello spettro di risposta con quello target, piuttosto che sulla compatibilità con parametri sismologici.

Appare evidente che se la selezione, dei record reali, è eseguita considerando range di parametri vicini a quelli attesi (ovvero a cui fa riferimento lo spettro target), la convergenza con lo spettro di riferimento è più facilmente raggiunta, sia che le registrazioni vengano manipolate secondo operazioni di scalatura che di aggiustamento tramite l'aggiunta di *wavelest*. La stessa cosa non è sempre valida per le registrazioni artificiali, in quanto non sempre i programmi di generazione consentono all'utente di indicare tali parametri.

L'adattamento allo spettro di riferimento (*spectrum matching*) può essere eseguito nel dominio del tempo e nel dominio delle frequenze, in tre diversi modi:

### 1. Registrazioni scalate nel dominio del tempo

In questo approccio, le registrazioni accelerometriche sono semplicemente scalate, da un fattore di scala costante, maggiore o minore dell'unità, in modo uniforme per trovare la migliore corrispondenza con lo spettro target nell'intervallo di periodi di interesse, senza cambiare il contenuto in frequenza dell'accelerogramma originale. Esso corrisponde ad una mera riduzione/amplificazione in termini di ampiezza. La procedura è basata sulla minimizzazione delle differenze tra lo spettro di risposta del moto scalato e lo spettro target.

Una metodologia proposta da Nikolaou [1998], considera come differenza l'espressione riportata nell'equazione 1.5:

$$|\text{Difference}| = \int_{T_A}^{T_B} [\alpha S_a^{\text{actual}}(T) - S_a^{\text{target}}(T)]^2 dT \quad (1.4)$$

$$\min |\text{Difference}| \Rightarrow \frac{d|\text{Difference}|}{d\alpha} = 0 \Rightarrow \alpha = \frac{\sum_{T=T_A}^{T_B} (S_a^{\text{actual}}(T) \cdot S_a^{\text{target}}(T))}{\sum_{T=T_A}^{T_B} (S_a^{\text{actual}}(T))^2} \quad (1.5)$$

Questa è la tipica metodologia di adeguamento adoperata per scalare accelerogrammi reali, al fine di selezionare un set di questi ultimi che sia spettro-compatibile. Nel seguito, si farà riferimento a *Rexel*, un software *opensource* sviluppato per la selezione di set di sette accelerogrammi reali non scalati e set scalati linearmente. Nel secondo caso l'operazione

di scalatura verrà eseguita, per mezzo di un fattore  $\alpha$  tale che la PGA delle registrazioni reali coincida con il valore di ancoraggio dello spettro target.

### 2. Aggiustamento spettrale nel dominio della frequenza

La metodologia di *matching* nel dominio delle frequenze utilizza la registrazione iniziale per generare un moto simile che corrisponde quasi perfettamente allo spettro target. In questo metodo, il moto iniziale è filtrato nel dominio delle frequenze attraverso il suo rapporto spettrale con lo spettro target. Le ampiezze dello spettro di Fourier dell'input vengono modificate, mentre lo spettro di fase di Fourier rimane invariato durante tutta la procedura. La conservazione della fase caratteristica è importante per l'analisi non lineare nel dominio del tempo, perché la soluzione non lineare può essere sensibile alla fase della singola time-history. Al fine di mantenere tali fasi è applicata al segnale una "funzione reale di trasferimento" (a componente immaginaria nulla), per scalare le ampiezze di Fourier. La tecnica viene ripetuta iterativamente fino a quando la corrispondenza, nel piano di Fourier, viene raggiunta per un certo intervallo di tempo. Più iterazioni generano una migliore compatibilità con lo spettro target.

La corrispondenza nel dominio delle frequenze è tipica degli accelerogrammi artificiali. Infatti tutti i software di generazione di time history artificiali eseguono l'operazione di *matching*, variando l'ampiezza spettrale di Fourier dell'input sismico generato per mezzo di un rapporto che tenga conto della non coincidenza degli spettri. Tale procedura, come vedremo costituisce la fase finale della generazione di accelerogrammi artificiali sia nel programma SIMQKE, che nel codice BELFAGOR.

### 3. Corrispondenza spettrale nel dominio del tempo

Un approccio per la corrispondenza spettrale è diretto ad adeguare il record originale iterativamente nel dominio del tempo, per raggiungere la compatibilità con un determinato spettro di risposta target in accelerazione, con l'aggiunta di onde (*wavelets*) aventi uno determinato periodo e durata limitata all'input della time history. Questi pacchetti di onde sono aggiunti all'accelerogramma. Questo metodo conserva soprattutto le fasi caratteristiche, la variabilità temporale (ad esempio, non-stazionaria) ed il contenuto in frequenza. Il risultato è che ogni record presenta uno spettro di risposta elastico che è coincidente, ameno con una certa tolleranza, con lo spettro target. Questa procedura è stata proposta per la prima volta da Kaul [1978] ed è stata estesa alla corrispondenza simultanea con spettri a diversi valori di smorzamento da Lilhanand e Tseng [1987]. Anche se questa

procedura è più complessa di quella nel dominio delle frequenze, nella maggior parte dei casi essa può preservare il carattere non-stazionario della *time-history* iniziale. Abrahamson [1992] ha sviluppato il software RSPMATCH che modifica l'algoritmo di Lilhanand e Tseng, che non conserva sempre il carattere non-stazionario del sisma di riferimento, per una più ampia gamma di *time-history*.

## Capitolo 2 : Codici di generazione selezione di segnali spettrocompatibili

### Premessa

Nel precedente capitolo si è più volte sottolineato che le NTC2008 consentono l'impiego di accelerogrammi artificiali, simulati e provenienti da registrazioni di eventi sismici reali. La scelta del tipo di input da adoperare nella valutazione della risposta sismica delle strutture deve dipendere, tra le altre cose, anche dall'obiettivo. Per quanto riguarda la progettazione può utilmente essere considerato un input "convenzionale". Al contrario, nella stima della vulnerabilità per la predisposizione di scenari sismici è necessario l'impiego di un input "realistico", se non reale, in grado di rappresentare al meglio la variabilità delle azioni sismiche [Mucciarelli,1997]. Ci concentreremo, nel presente lavoro sul primo dei due obiettivi possibili.

In molti studi presenti in bibliografia, i diversi autori sottolineano l'importanza della selezione dell'input sismico, e quale sia la scelta migliore tra registrazioni artificiali, simulate e reali in relazione alla conoscenza dei parametri sismologici e delle variabili da monitorare.

Prima di passare, però, alla fase comparativa tra le differenti opzioni consentite dalla Norma, si vuole in questo capitolo esporre la teoria alla base dei più comuni codici di generazione e/o selezione di input sismico.

In particolare, esso è frutto di uno studio di ricerca bibliografica e lavoro di *'learning by doing'* svolto durante l'attività di tirocinio, prevista nel corso di studi (9cfu), presso il dipartimento di ingegneria strutturale (DIST).

I segnali artificiali più comunemente utilizzati nella pratica sono quelli prodotti dal codice Simqke [Vanmarcke e Gasparini, 1976], il quale genera uno o più segnali direttamente da uno spettro di riferimento, senza richiedere parametri sismologici (i.e. Magnitudo, Distanza, Sito). Una tipologia intermedia tra registrazioni artificiali e simulate è rappresentata da quelle generate dal codice Belfagor, le quali sono derivate dallo spettro fisico di Sabetta e Pugliese [1996], dedotto dalla definizione di parametri sismologici, ma la compatibilità con lo spettro di riferimento è eseguita mediante una procedura di matching simile a quella solitamente usata per le registrazioni artificiali.

Un'alternativa, a cui già si è fatto accenno nel precedente capitolo, consiste nel modificare una registrazione accelerometrica (di origine qualunque, artificiale, simulata o reale) attraverso l'aggiunta di armoniche al fine di migliorare la compatibilità con lo spettro di riferimento. Un programma in grado di realizzare questo matching in maniera semplice e rapida è RSPMatch, sviluppato da Abrahamson [1993]

Per le registrazioni reali, scalate o non scalate, possono essere selezionate attraverso il programma REXEL [Iervolino et al., 2008] dall'European Strong-motion database (ESDB).

## 2.1 Codici per la generazione di accelerogrammi artificiali

Nonostante la continua crescita delle banche dati di accelerogrammi, registrazioni adatte, che presentano gli stessi parametri sismici del sito in esame, come meccanismo di rottura, distanza epicentrale, classificazione di sito, etc..., in alcune circostanze non possono essere ottenute [Bommer et al., 2003].

Questo può imporre la necessità di produrre registrazioni artificiali spettro-compatibili o registrazioni sintetiche simulate.

Numerosi sono i codici che permettono di generare in modo artificiale un numero prefissato di accelerogrammi statisticamente indipendenti facenti riferimento a uno specificato spettro di risposta. Tali accelerogrammi possono essere ottenuti nel dominio delle frequenze utilizzando le diverse ipotesi metodologie cui si è accennato (§1.6), con procedure iterative.

Tra i metodi per la generazione di *time histories*, compatibili con un dato spettro di riferimento, il metodo più comunemente utilizzato si basa sull'aggiustamento iterativo dello spettro di ampiezza di Fourier.

Nell'ultimo ventennio larga diffusione hanno avuto codici come PSEQGN [Ruiz e Penzien, 1969], SIMQKE [Gasparini e Vanmarcke, 1976], GENQKE [Lam, et al., 2000], BELFAGOR [Sabetta e Pugliese, 1996], RASCAL [Silva and Lee, 1987], SYNTH [Naumoski, 2001], RSCTH [Halldorsson et al., 2002], TARSCTHS [Papageorgiou et al., 2002].

PSEQGN, è stato uno dei primi programmi per la generazione di registrazioni artificiali in termini di accelerazione, velocità e spostamento. Il programma originale operava su piattaforma DOS e VAX, ed il moto casuale, avente le proprietà richieste del 'rumore bianco', era sviluppato usando una sequenza di numeri casuali. Il moto casuale è

modificato da una funzione *intensity-time* per produrre un moto al *bedrock*. Il moto in superficie è poi ottenuto passando il moto al *bedrock* attraverso un secondo filtro di ordine lineare. Una correzione parabolica è poi applicata all'accelerogramma per limitare lo spostamento.

Il codice TARSC THS utilizza processi vettoriali stocastici non-stazionari per generare *time history* artificiali da uno spettro di risposta elastico definito dall'utente. Il processo è applicato iterativamente nel dominio delle frequenze in cui gli angoli di fase sono generati in modo casuale.

Come si può notare, la procedura di generazione è spesso molto simile, per cui tra questi si studieranno e valuteranno il codice BELFAGOR e il codice SIMQKE, i quali fanno entrambi riferimento alla procedura di aggiustamento iterativo dello spettro di ampiezza di Fourier per ottenere la compatibilità target con un dato spettro di riferimento, ma presentano, come vedremo, sostanziali differenze, non solo nella procedura di generazione, ma soprattutto nelle caratteristiche prestazionali dell'output.

### 2.1.2 SIMQKE

Il metodo comunemente utilizzato per generare accelerogrammi artificiali, compatibili con il prescritto spettro di progettazione, si basa sulla “*random vibration theory*” (teoria della vibrazione casuale). L'accelerogramma così generato corrisponde in realtà solo per una pura descrizione matematica a quello che sarebbe stato caratterizzato da uno spettro compatibile con quello di riferimento ed è rappresentato come una durata limitata di un segmento di funzione random stazionaria. Anche se sono comunemente utilizzati per determinare la risposta dinamica strutturale, tali accelerogrammi non presentano le stesse caratteristiche fisiche delle registrazioni reali. Essi possono quindi simulare il contenuto in frequenze di un vero e proprio terremoto solo durante la fase “*strong motion*”. Le caratteristiche della *time history* di questi terremoti artificiali differiscono, per questo motivo, notevolmente da quelle dei terremoti reali. Si noti che questa procedura è stata prima sviluppata per consentire analisi dinamiche elastiche [Vanmarcke e Gasparini, 1976] e in seguito attuata nel noto programma per computer SIMQKE (Figura 2.1).

Il programma è un software [SIMQKE User Manual 1976] erogato dalla NISEE software Library, University of California, Berkeley, USA. Fortran 77 con Makefiles in dotazione per una varietà di sistemi operativi: PC DOS, VAX, UNIX, Sun Solaris, HP-UX, e Linux.

Esso è anche disponibile per la piattaforma Win95/98/NT usando il Visual Fortran o il Salford Fortran Compilers.

SIMQKE\_GR è scaricabile al sito [http://bsing.ing.unibs.it/~gelfi/software/simqke\\_gr.htm](http://bsing.ing.unibs.it/~gelfi/software/simqke_gr.htm) Gratuitamente. Esso è interfacciabile con la versione precedente Simqke1 scaricabile al <http://nisee.berkeley.edu/software/simqke1/>

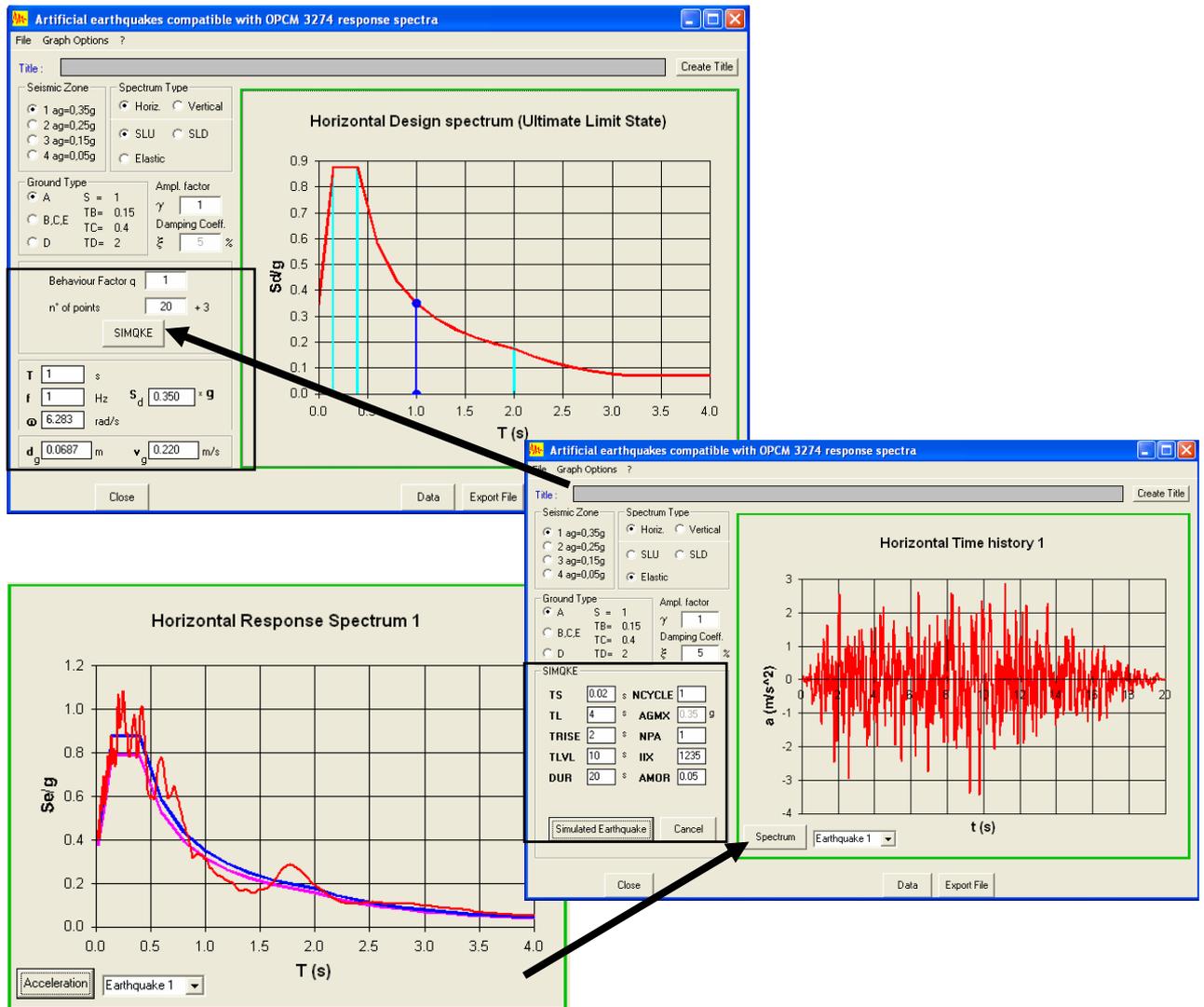


Figura 2.1- Interfaccia grafica del codice SIMQKE\_GR

Il programma simula un terremoto artificiale dalla sovrapposizione di onde sinusoidali, e la *time-history* generata corrisponde a una serie di Fourier stazionaria, le cui ampiezze sono definite da un rapporto che la lega allo spettro di risposta target. Questo rapporto rappresenta effettivamente il cuore del metodo SIMQKE. Inoltre è la sola ‘scelta casuale delle fasi’ che fa differire due registrazioni artificiali Simqke, compatibili con lo stesso spettro di riferimento.

**La procedura utilizzata dal software [SIMQKE, User Manual,1976]**

Il codice SIMQKE permette di generare in modo artificiale un numero prefissato di accelerogrammi statisticamente indipendenti facenti riferimento a uno specificato spettro di risposta [Gasparini e Vanmarcke, 1976]. Il numero di accelerogrammi statisticamente indipendenti può essere deciso dall'utente, esso, infatti, compare tra i parametri di input.

L'approccio impiegato in SIMQKE è di generare una funzione di potenza di densità spettrale dallo spettro di risposta adattato, e quindi di trarre segnali sinusoidali che hanno angoli fase e ampiezze casuali. I moti sinusoidali sono poi sommati e un procedimento iterativo può essere invocato al fine di migliorare la corrispondenza con lo spettro di risposta *target*, calcolando il rapporto tra le ordinate dello spettro di riferimento e le effettive a frequenze selezionate; la funzione di densità di potenza è poi modificata in base al quadrato di questo rapporto e il nuovo moto è generato [Bommer et Acevedo, 2004].

Un sisma può essere descritto come una funzione periodica, visto che consiste in modelli ciclici di movimento. Ciò è dovuto al fatto che il terremoto è il risultato della propagazione delle onde sismiche. Il metodo utilizzato da SIMQKE per la simulazione numerica si basa sul fatto che qualsiasi funzione periodica può essere scomposta in una serie di onde sinusoidali [Housner 1955]:

$$x(t) = A_0 + \sum_i A_i \sin(\omega_i t + \phi_i) \quad (2.1)$$

dove  $A_i$  rappresenta l'ampiezza dell'oscillazione di frequenza  $\omega_i$ , dell' $i$ -esimo contributo sinusoidale. Gli angoli  $\Phi_i$  rappresentano gli angoli di fase e vengono scelti in modo casuale. Simqke usa un "generatore di numeri casuali" atto a generare stringhe di angoli di fase con distribuzione uniforme nell'intervallo  $0-2\pi$

L'ampiezza  $A_i$  è relazionata alla funzione di densità spettrale  $G(\omega)$  come da (2.2)

$$A_i = \sqrt{2 \int_0^{\omega_i} G(\omega_i) \cdot d\omega} \quad (2.2)$$

Le caratteristiche delle onde sinusoidali,  $A_i$  ed  $\omega_i$ , possono essere determinate rispettivamente dalla funzione di densità spettrale  $G(\omega)$  e dallo spettro *target*. La funzione di densità spettrale può essere vista come contributo relativo all'energia totale delle onde

sinusoidali con frequenza interna ad alcune bande di frequenza specifiche, e può essere calcolata, come si vedrà meglio in seguito, a partire dallo spettro target utilizzando la teoria della vibrazione casuale e la risposta strutturale.

### Funzione densità spettrale di potenza

La funzione densità spettrale di potenza  $G(\omega)$  è stata utilizzata come base per i più comuni metodi di generazione di accelerogrammi artificiali perché non descrivere il contenuto energetico del moto come una funzione della frequenza ed è direttamente compatibile con la rappresentazione di modelli strutturali di algebra complessa [Crandall e Mark 1963, Liu 1969, Newmark e Rosenblueth 1971, Gasparini e Vanmarcke e 1976, e Vanmarcke 1976].

La funzione di potenza di densità spettrale dell' $i$ -esimo contributo sinusoidale  $G(\omega_i)$  può essere espressa in termini di velocità spettrale  $S_v$  di un sistema SDOF alla stessa  $i$ -esima frequenza [Gasparini and Vanmarcke, 1976]:

$$G(\omega_n) \cong \frac{1}{\omega_n \left[ \frac{\pi}{4\zeta_s} - 1 \right]} \left\{ \left( \frac{\omega_n \cdot S_v}{r_{s,p}} \right)^2 - \int_0^{\omega_n} G(\omega) d\omega \right\}^{0.5} \quad (2.3)$$

In particolare:

$$\begin{aligned} \zeta_s &= \frac{\zeta}{1 - e^{-2\zeta \cdot \omega_n t}} \\ r_{s,p} &= \left[ 2 \cdot \log \left\{ 2n \left[ 1 - \exp \left( -\delta_y(s) \sqrt{\pi \log 2n} \right) \right] \right\} \right]^{0.5} \\ \delta_y(s) &= \left( \frac{4\zeta \cdot t}{\pi} \right)^{0.5} \\ n &= \frac{-\omega_n \cdot t}{2\pi} \cdot \frac{1}{\log 0.368} \end{aligned} \quad (2.4)$$

Dove :  $S_v$  è una velocità spettrale,  
 $\zeta$  è un rapporto di smorzamento,  
 $s$  è una durata  
 $\omega_n$  una frequenza naturale.

Quindi  $G(\omega_n)$  rappresenta proprio il legame tra la risposta dello spettro e la funzione di densità spettrale della registrazione al sito in esame. Essa è ottenuta da un'analisi di pericolosità sismica da utilizzare nel caso di leggi di attenuazione per la risposta spettrale. La relazione tra  $G(\omega)$  ed  $A_i$ , assumendo  $\omega_i$  qualsiasi nell'intervallo  $\Delta\omega$  può essere espressa come:

$$G(\omega_i)\Delta\omega = \frac{A_i^2}{2} \quad (2.5)$$

In figura 2.2 si può osservare come il valore  $\frac{A_i^2}{2}$  approssimi l'energia totale della fase stazionaria della registrazione  $x(t)$ . La potenza totale sarà quindi data dall'area sottesa dalla curva.

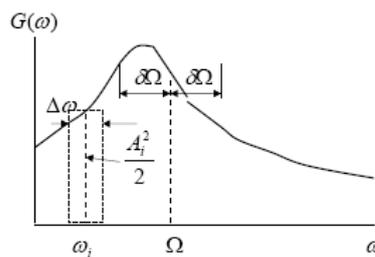


Figure 2.2- Funzione densità spettrale di potenza

### Stazionarietà del segnale

All'inizio, per simulare il terremoto era diffuso l'utilizzo della teoria del "rumore bianco" e la funzione densità spettrale di potenza  $G(\omega)$  ai fini della generazione del segnale si assumeva teoricamente costante per tutte le frequenze [Bycroft 1960, e Rosenblueth Bustamante 1962]. In realtà, le reali registrazioni sismiche tipicamente iniziano con piccole ampiezze che crescono rapidamente fino a raggiungere un'intensità che rimane quasi stazionaria per un certo intervallo di tempo e quindi decresce, costantemente, fino alla fine della registrazione. Pertanto, non è realistico che  $G(\omega)$  rimanga costante per tutte le frequenze; infatti, le osservazioni e le analisi di molti dati di registrazioni di terremoti reali hanno mostrato che una tipica funzione di densità spettrale in genere ha solo un picco spettrale dominante nell'intervallo di frequenza [Liu Jhaveri 1969, Tajimi 1960 e Kanai 1961].

Al fine di simulare la caratteristica di transitorietà dei terremoti reali, le fasi stazionarie del segnale sono moltiplicate da una funzione di intensità deterministica  $I(t)$  (legge inviluppo). Così le registrazioni artificiali  $X(t)$  divengono:

$$X(t) = a(t) = I(t) \sum_n A_n \sin(\omega_n t + \phi_n) \quad (2.6)$$

in cui  $A_n$  rappresenta l'ampiezza dell'oscillazione di frequenza  $\omega_n$ . Gli angoli  $\Phi_n$  rappresentano gli angoli di fase e vengono scelti in modo casuale. In letteratura sono proposte differenti leggi inviluppo; le più utilizzate sono la legge trapezoidale [Hou, 1968], l'esponenziale [Liu, 1969] e la composta [Jennings, 1968]. Gli accelerogrammi generati da SIMQKE sono ottenuti sulla base di un inviluppo trapezoidale, con durate dipendenti dal relativo valore di PGA. Infatti, la forma tipica degli accelerogrammi (figura 2.3) da esso generati è quella trapezoidale con valori fissati della durata dei tratti crescente e decrescente, definibili dall'utente:

- **TRISE** : inizio della parte stazionaria dell'accelerogramma
- **TLVL** : durata della parte stazionaria ( $\geq 10s$ )
- **DUR** : durata totale dell'accelerogramma

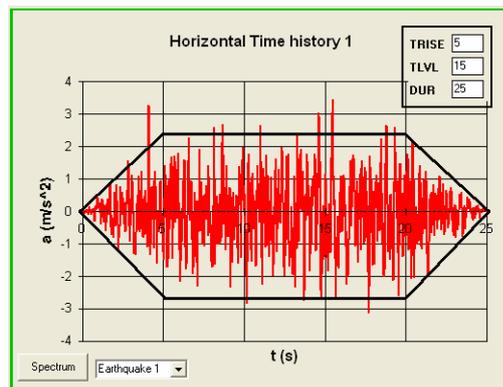


Figura 2.3- Esempio di segnale generato da Simqke

Generato l'accelerogramma  $X(t)$ , il programma calcola lo spettro di risposta elastico ad esso associato, attraverso la risoluzione dell'equazione del moto di un sistema ad un grado di libertà (2.7).

$$\ddot{Y}(t) + 2\xi_t \omega_i \dot{Y}(t) + \omega_i Y(t) = X(t) \quad (2.7)$$

### **Procedura di adeguamento allo spettro target**

Si è già precedentemente sottolineato come gli accelerogrammi artificiali generati da Simqke risultino spettro-compatibili rispetto ad un determinato spettro target.

In particolare, Simqke non genera prima l'accelerogramma per poi realizzare la spettrocompatibilità (procedura questa tipica di molti programmi di generazione di registrazioni artificiali), ma opera *a priori* sul parametro fondamentale  $G(\omega)$ .

L'idea iniziale fu quella di generare una funzione densità spettrale di potenza dallo spettro di riferimento attraverso un rapporto. In questo caso, la compatibilità con lo spettro di riferimento viene verificata nel dominio delle frequenze.

La  $G(\omega)$  può essere derivata dall'ampiezza dello spettro di Fourier di riferimento, poiché il quadrato di tale ampiezza è proporzionale alla funzione di densità spettrale,  $|F(\omega)|^2 \sim G(\omega)$  [Jenkins 1961, Rosenblueth 1964]. Così terremoti artificiali possono essere derivati da tale funzione  $G(\omega)$  grazie alla quale si possono sviluppare accelerogrammi i cui spettri di risposta sono vicini ad un dato spettro di risposta *target*. Numerosi sono gli studi che hanno affrontato il problema di generare accelerogrammi spettro-compatibili [Priestley, 1967; Jennings et al., 1968; Hadjian, 1972; Tsai, 1972; Rizzo et al., 1973; Saragoni e Hart 1974; Scanlan e Sachs, 1974; Levy e Wilkinson, 1976; Kaul, 1978; Iyengar e Rao, 1979]. Tra loro, Scanlan e Sachs (1974) sono stati i primi a generare un movimento artificiale dalla sovrapposizione di onde sinusoidali utilizzando ampiezze derivanti dai valori di spettro di risposta con smorzamento nullo.

Gasparini e Vanmarcke [1976; e Vanmarcke, 1976] proposero una metodologia per chiarire questa relazione utilizzando la “*random vibration theory*”.

Da un'analisi della pericolosità al sito è possibile ottenere lo spettro di risposta da assumere quale riferimento ma non la funzione di densità di energia o lo specifico accelerogramma, dunque la  $G(\omega)$  è generalmente generata dallo spettro di risposta [i.e. Augusti et al., 1984]. Numerosi sono stati gli studi indirizzati alla generazione di accelerogrammi spettro-compatibili che si sono basati sull'originale teoria proposta da Gasparini and Vanmarcke nel 1976; tra questi quelli di Pinto e Pegon [1991], Haddon [1996], Sabetta e Pugliese [1996], Lin e Ghaboussi [2001], Lee e Han [2002].

La modifica della funzione di densità spettrale in ogni ciclo armonico è ottenuta dal rapporto:

$$\frac{G(\omega)}{G^c(\omega)} = \left[ \frac{S_V}{S_V^c} \right]^2 \quad (2.8)$$

in cui:

- $S_V$  è il valore spettrale target
- $S_V^c$  è il valore spettrale calcolato
- $G(\omega)$  è il valore dell'energia spettrale target
- $G^c(\omega)$  è il valore dell'energia spettrale calcolata.

Utilizzando tale procedimento è possibile ricavare un numero opportuno di accelerogrammi definibili come spettro-compatibili per simulare l'evento sismico.

In ogni ciclo, il processo è effettuato per calcolare lo spettro di risposta e confrontato con lo spettro target in una serie di frequenze di controllo, dunque non per ciascuna frequenza.

Il rapporto tra la risposta desiderata e la risposta calcolata è ottenuto ad ogni frequenza di controllo, e il corrispondente valore dell'energia di densità spettrale è modificato in proporzione al quadrato di questo rapporto (Eq 2.8) per qualsiasi ciclo  $i$ -esimo. Con la modifica della funzione di densità spettrale, le nuove ampiezze delle componenti sinusoidali sono generate e quindi un nuovo spettro di risposta è calcolato. Pertanto, non è ragionevole aspettarsi la convergenza a tutte le frequenze. Tuttavia, in ogni ciclo, la risposta a un controllo di frequenza non dipende solo dal valore della densità spettrale a tale frequenza ma anche da altri valori vicini alla frequenza d'interesse. Questa è la ragione per la quale non sono stati implementati in Simqke criteri di convergenza e l'utente specifica semplicemente il numero di iterazioni [Vanmarcke e Gasprini 1976]. Pertanto non vi è un particolare numero di cicli utilizzabili per ottenere una corrispondenza esatta con tutte le frequenze. L'accordo è più difficile da trovare in

- domini di frequenza molto bassi;
- domini di frequenza molto alti;

Il motivo di ciò è che Simqke è volto a calcolare la corrispondenza in un determinato intervallo di frequenza tra 0,02 Hz e 50 Hz [SIMQKE Manuale Utente 1976]. Probabilmente è perché questo intervallo di frequenza è quello di maggiore interesse in ingegneria sismica e sismologia. Inoltre, nel dominio delle basse frequenze, il programma genera meno punti dallo spettro target e lo spettro calcolato sembra essere ben definito. Invece per le alte frequenze esiste una limitazione, il minimo periodo  $\Delta T$  è approssimato a 0.02 secondi per cui la massima frequenza è circa 50Hz ( $\omega_0=2\pi/\Delta T$ ), per cui risulta

difficile valutare i contributi a frequenze superiori rispetto a  $\omega_0$  [Gasparini e Vanmarcke 1976].

### **Prestazioni del programma secondo la letteratura tecnica**

Il codice SIMQKE, generando accelerogrammi compatibili con uno spettro di riferimento definito dall'utente, è quindi dotato di estrema flessibilità. Gli accelerogrammi generati da tale programma sono stati spesso utilizzati in passato poiché garantivano un'oggettiva individuazione dell'input che rendesse confrontabili i risultati tra differenti metodologie e approcci.

Elliott Goodwin [2003] utilizza il programma Simqke per generare accelerogrammi artificiali conformi alla AC156 (“criteri di accettazione per componenti non strutturali”) imponendo un'accelerazione massima pari a 1g. In parallelo fa uso di un ulteriore programma di generazione di accelerogrammi artificiali, RSCTH [Halldorsson et al., 2002], il quale però pur soddisfacendo la compatibilità con lo spettro target, non è in grado di generare segnali il cui involuppo presenti una fase stazionaria e delle fasi degradanti all'inizio e alla fine del segnale. Così per la particolare analisi sceglie di utilizzare solo accelerogrammi Simqke.

I vantaggi di tale programma sono innanzitutto nella possibilità di utilizzare quale spettro di riferimento un qualunque spettro ma anche di poter scegliere una qualunque discretizzazione di quest'ultimo.

Dong-Ho Choi e Sang-Hoon Lee [2003] presentano due metodi iterativi di correzione delle *time history* per ottenere la compatibilità con spettri multi-smorzamento, è possibile così ottenere la generazione di 6 accelerogrammi Simqke, di durata 24s, passo 0.005 e accelerazione massima di 1g, compatibili con spettri smorzamento smorzati rispettivamente al 1, 2, 4, 5, 7%. Le differenze tra la risposta spettrale della *time history* generata e lo spettro target, calcolato a 75 frequenze standard fornite dalle prescrizioni dell' U.S. NRC RG 1.122 (1978), mostra una deviazione spettrale, in termini di radice della media dei quadrati (RMS), pari a 10.8%.

Masi [2003] nella valutazione sismica di edifici progettati per soli carichi verticali esegue analisi non lineari utilizzando due tipologie di input sismico:

- accelerogrammi artificiali (Simqke) spettrocompatibili con lo spettro di risposta elastico dell'EC8 suolo B: 7 set di 8 accelerogrammi con valori di PGA nell'intervallo 0.05-0.35g,

- accelerogrammi naturali tratti dalla sequenza sismica Umbria-marche 1997: più di 20 registrazioni con valori di PGA nell'intervallo 0,04-0,58 g;

La risposta sismica non lineare dei modelli considerati è valutata in termini di taglio alla base diviso il peso totale (NBS), spostamento di piano relativo diviso l'altezza d'interpiano (ID), e domanda di duttilità.

Masi riporta i risultati degli accelerogrammi naturali per mezzo di curve di regressione nello stesso intervallo di PGA degli artificiali e trova bassi valori del coefficiente R (0.3-0.6) a causa della bassa capacità del parametro PGA di rappresentare efficacemente i potenziali danni di un terremoto. Migliori correlazioni si ottengono in termini di intensità di Arias.

I diagrammi relativi agli accelerogrammi naturali mostrano tendenze simili dal punto di vista qualitativo rispetto a quelli ottenuti applicando accelerogrammi artificiali ma i risultati ottenuti sono sistematicamente inferiori. Come lo stesso autore sottolinea, questa differenza è principalmente conseguenza dei valori di intensità di Arias di gran lunga superiore delle registrazioni reali rispetto a quelle artificiali. In successivi lavori [Masi e Vona, 2004] il problema di un'adeguata selezione dell'input sismico viene nuovamente affrontato.: l'utilizzo di accelerogrammi artificiali estratti usando il codice SIMQKE (compatibili con lo spettro tipo B dell'EC8) se, da un lato, porta ad una individuazione oggettiva dell'input che rende meglio confrontabili i risultati, dall'altro conduce ad un input che non appare realistico stante la eccessiva onerosità degli accelerogrammi artificiali a causa del loro elevato potenziale distruttivo dovuto anche al carattere convenzionale degli spettri di normativa. Per effettuare valutazioni reali e non esclusivamente in termini relativi del danno atteso, è necessario che l'intensità, il contenuto in frequenze ed energetico degli accelerogrammi adoperati sia il più possibile rispondente alle effettive caratteristiche sismologiche che potrebbe avere un evento caratteristico nella zona oggetto di studio. Diviene così opportuno, per l'analisi di vulnerabilità sismica, adoperare esclusivamente registrazioni naturali, estrapolate da banche dati sufficientemente estese.

D'Ambrisi e Mezzi [2005] osservano che la risposta sismica di strutture elasto-plastiche, sottoposta sia a registrazioni artificiali Simqke che naturali, è caratterizzata da una grande dispersione dei risultati, anche per accelerogrammi con simili valori di PGA e contenuti in frequenze confrontabili. Come già visto, la normativa attuale, permette di utilizzare come valore della risposta sismica di una struttura la risposta media, a fronte di un minimo

numero di registrazioni artificiali adoperate. Gli autori presentano, un nuovo approccio probabilistico che consente di calcolare il valore della risposta sismica caratterizzata da una predefinita probabilità di non-superamento usando un limitato numero di registrazioni generate.

### **2.1.3 BELFAGOR**

Le registrazioni reali sono segnali non stazionari: l'ampiezza di Fourier da usare per costruire un segnale artificiale o simulato deve variare nel tempo. Tale caratteristica, come abbiamo visto, è simulata in Simqke attraverso una funzione  $I(t)$ . Altri codici di generazione di registrazioni accelerometriche artificiali sono in grado di generare segnali non stazionari basati su differenti funzionali di attenuazione influenzati da valori attesi dello scuotimento al suolo.

Molti sono i parametri che influenzano l'attenuazione: la magnitudo ( $M$ ), la distanza ( $R$ ), che determina l'attenuazione geometrica e la dissipazione anelastica, le condizioni geologiche di sito, il meccanismo cinematico di rottura, il regime goedinamico, etc.. [Romeo, Pugliese, 1997]. Per differenti regioni del mondo sono disponibili diverse equazioni predittive (leggi di attenuazione) [Campbell,1985,1993] per la previsione di un dato parametro caratteristico dello scuotimento (PGA, PGV, ordinata spettrale) [Idriss,1991; Boore et al.,1998].

Per quanto riguarda le relazioni di attenuazione dedotte da registrazioni di terremoti italiani, sono disponibili i funzionali di Tento et.al. [1992] e quelli di Sabetta e Pugliese [1996]. Questi ultimi hanno il vantaggio di presentare un più ampio ventaglio dei parametri di scuotimento e di differenziare gli stessi in base alla componente (verticale ed orizzontale). Per contro il funzionale di S&P non consente di differenziare l'attenuazione geometrica per le diverse frequenze spettrali, essendo definito a priori un decadimento costante pari a  $1/R$  [Romeo e Pugliese, 1997].

Dal metodo empirico sviluppato da Sabetta e Pugliese, nasce il codice Belfagor (Figura 2.4), scaricabile gratuitamente all'indirizzo <http://unibas.it/utenti/mucciarelli/index.html>.

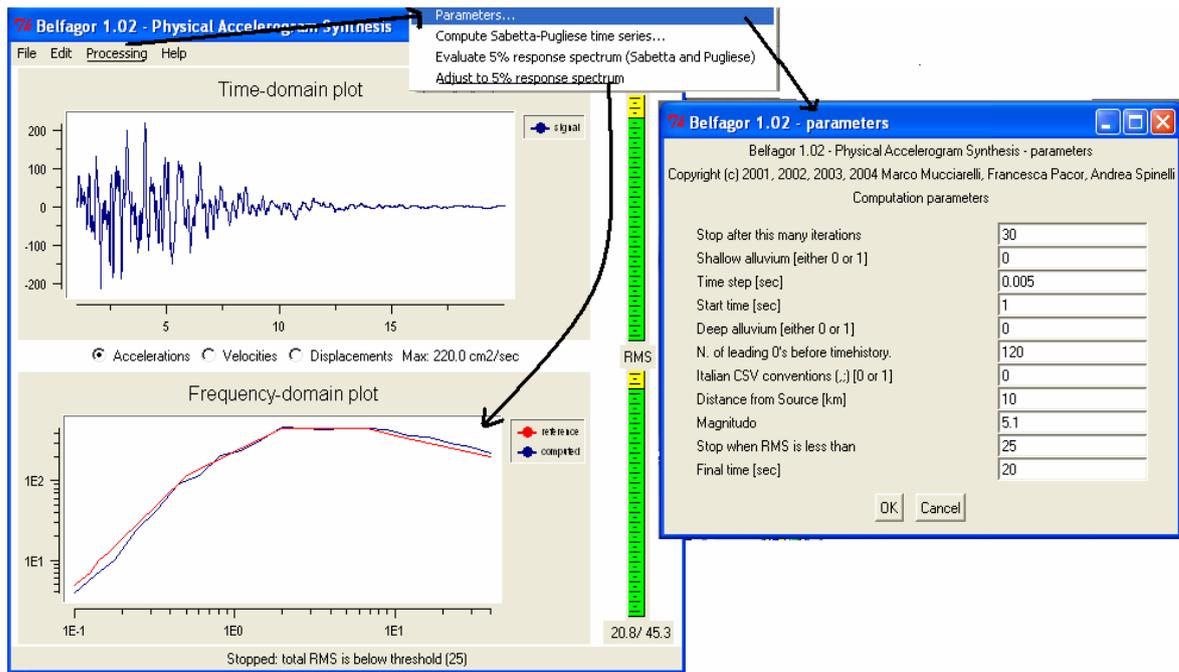


Figura 2.4 Interfaccia grafica del codice BELFAGOR

### La procedura utilizzata dal software [Sabetta e Pugliese, 1996]

Il codice Belfagor deriva dal codice PhySimqe e si articola in due parti. Prima si ha la generazione di un accelerogramma artificiale le cui caratteristiche di durata, ampiezza, inviluppo e distribuzione delle fasi sono determinati da M, R e tipologia di suolo (S) dell'evento sismico che si vuole simulare. Successivamente si ottiene la convergenza dello spettro di risposta desiderato mediante una procedura iterativa che modifica la distribuzione delle ampiezze nel dominio delle frequenze.

La sequenza dettagliata delle operazioni eseguita dal programma è riportata in figura 2.5

La *time histories* è valutata secondo un metodo empirico basato sulla sommataria della serie di Fourier, con fase random e coefficienti tempo-dipendenti:

$$a(t) = 2 \sum_{n=1}^N C_n(t) \cos(\pi 2\pi f_0 t + \phi_n) \quad (2.9)$$

Dove:  $f_0$  è la frequenza fondamentale ( $1/T_d$ )

$\phi_n$  è la fase, numeri random uniformemente distribuiti in un range  $[0, 2\pi]$

$$C_n(t) \text{ è definito dalla } C_n(t) = \sqrt{2\pi f_0 PS(f_n, t)} \quad (2.10)$$

Dove  $PS$  è lo spettro fisico di S&P funzione del tempo e della frequenza

E',quindi, possibile derivare i coefficienti dipendenti dal tempo della serie di Fourier da uno spettro fisico (PS) definito opportunamente in funzione di  $M$ , di  $R$  e di  $S$ .

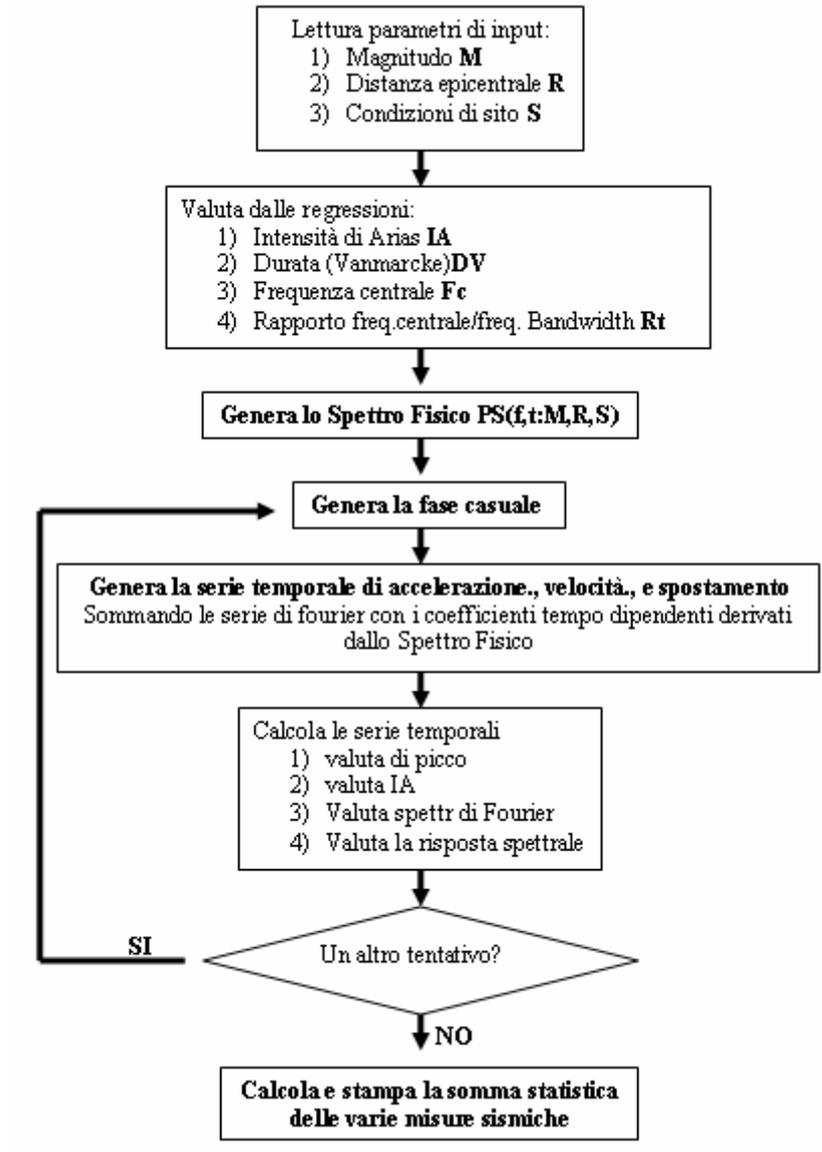


Figura 2.5- Algoritmo implementato in Belfagor

Questi parametri servono per valutare le funzione  $P_a(t)$ ,  $F_c(t)$ ,  $F_b(t)$ , ottenute sperimentalmente da un'analisi di regressione di dati relativi a 190 componenti orizzontali relative a registrazioni di 17 terremoti italiani con magnitudo compresa tra 4,7 e 6,8. In particolare,  $F_c(t)$  è la frequenza centrale ed  $F_b(t)$  è la frequenza di "bandwidth", così definite:

$$\ln[F_c(t)] = 3.4 - 0.35 - \ln(t) - 0.218 - M - 0.15 - S_2$$

$$\frac{F_b}{F_c} = 0.44 + 0.07 - M - 0.08S_1 + 0.03S_2 \quad (2.11)$$

La funzione  $P_a(t)$  è l'energia media istantanea. Essa è ottenuta da un'analisi non lineare dipendente dall'Intensità di Arias [ $I_A = \int P_a(t) dt$ ], e così valutata :

$$P_a(t) = \frac{I_A}{t\sqrt{2\pi\sigma}} e^{-\frac{[\ln(t)-\mu]^2}{2\sigma}} \quad (2.12)$$

in cui

$$\mu = \ln(T_2) + \sigma^2$$

$$\sigma = \frac{\ln \frac{T_3}{T_2}}{2.5} \quad (2.13)$$

$$T_1 = \frac{R}{7}; T_2 = T_1 + 0.5 \cdot DV$$

$$T_3 = T_1 + 2.5 \cdot DV; Tot.Durat. = 1.3 \cdot T_3$$

Note le tre funzioni  $P_a(t)$ ,  $F_c(t)$ ,  $F_b(t)$ , il programma valuta lo spettro fisico approssimato, come:

$$PS_{approx}(t, f) = \frac{P_a(t)}{f\sqrt{2\pi\delta}} e^{-\frac{[\ln f - \ln \beta(t)]^2}{2\delta^2}} \quad (2.14)$$

dove  $\beta$  e  $\delta$  sono funzioni delle frequenze centrale e di "bandwidth":

$$\ln \beta(t) = \ln F_c - \frac{\delta^2}{2}$$

$$\delta = \sqrt{\ln \left[ 1 + \frac{F_b^2(t)}{F_c^2(t)} \right]} \quad (2.15)$$

### **Procedura di adeguamento allo spettro target**

Generata la serie temporale, rappresentativa di precise condizioni, questa deve essere variata al fine di ottenere la coincidenza tra lo spettro di risposta elastico smorzato e lo spettro di riferimento, a meno di un errore stabilito *a priori*.

Lo spettro di risposta del segnale simulato deve quindi essere corretto in modo da avvicinarsi il più possibile a quello di riferimento. La correzione è effettuata nel dominio delle frequenze in modo iterativo, variando l'ampiezza spettrale di Fourier dell'input sismico generato e mantenendo costanti le fasi durante tutta la procedura.

I valori dello spettro di Fourier del segnale  $F(f)$  sono corretti con un coefficiente  $r$  dato dal rapporto tra il valore dello spettro di risposta di riferimento in corrispondenza della frequenza  $f$  [ $SR(f)$ ] ed il valore dello spettro di risposta del segnale all'iterazione  $i$ -esima [ $SR(f)_i$ ] in corrispondenza della stessa:

$$F(f)_{i+1} = F(f)_i \frac{SR(f)}{SR(f)_i} \quad (2.16)$$

L'accordo con lo spettro di riferimento è controllato con il limite inferiore della radice della media dei quadrati (RMS) che può essere stabilita dall'utente, in quanto compare tra i parametri di input del programma. Tale accordo è generalmente raggiunto con 5-10 iterazioni.

Raggiunta la soglia prefissata di convergenza tra gli spettri, la serie temporale viene automaticamente aggiornata.

### **Prestazioni del programma secondo la letteratura tecnica**

Compagnoni e Pergalani [2008] confrontano risultati ottenuti da modellazione 1D e 2D per la valutazione dei fenomeni di amplificazione sismica utilizzando come moti di input accelerogrammi di diversa natura:

- Aggelerogrammi artificialmente generati mediante la legge di attenuazione di Sabetta e Pugliese scegliendo coppie di valori  $M-R$  compatibili con il valore di  $a_{max}$  attesa (0.16g; 0.21g). Gli accelerogrammi così ricavati sono ulteriormente elaborati, per renderli maggiormente compatibili con lo spettro *target*, costruiti sulla base delle indicazioni normative [NTC, 2008].

- Sette accelerogrammi registrati sono estratti dalla banca dati ITACA(2006) in funzione dei parametri di intensità e forma spettrale, picco di accelerazione (PGA). In particolare gli autori scelgono accelerogrammi in modo da far sì che la media degli spettri sia il più possibile simile allo spettro di riferimento, a meno di uno scarto in eccesso e in difetto inferiore al 20% per più punti spettrali consecutivi entro l'intervallo 0,15-2,00 s.

Tutti i modelli presentano un'amplificazione generalizzata su tutti i periodi dello spettro e analizzando i risultati ottenuti si osserva come non si rilevino particolari differenze nei risultati all'applicazione degli accelerogrammi artificiali o sintetici rispetto alle registrazioni naturali. In particolare analizzando le curve medie degli spettri di risposta in accelerazione, ottenute applicando il set di accelerogrammi generati e il set di accelerogrammi registrati, si nota come i valori siano molto simili. Tale comportamento può essere desunto anche dai valori dei fattori di amplificazione che risultano, anch'essi, molto simili.

#### **2.1.4 Confronti bibliografici tra registrazioni artificiali e Reali secondo la letteratura tecnica**

L'attrattiva di un approccio artificiale è evidente perché è possibile ottenere registrazioni in accelerazione che sono quasi completamente compatibili con lo spettro elastico di progetto, che in alcuni casi, rappresentano le uniche informazioni disponibili per il progettista per quanto riguarda la natura del terreno da prendere in considerazione. Comunque, è ormai ampiamente riconosciuto che l'uso di tali segnali artificiali, in particolare per le analisi non lineari, è problematico. Il problema di fondo, con i *records* artificiali spettro-compatibili è che generalmente hanno un numero eccessivo di cicli di forte movimento e, di conseguenza, sono caratterizzati da un contenuto energetico irragionevolmente alto [Bommer et Acevedo, 2004].

Dopo aver analizzato le differenti metodologie di generazione di registrazioni artificiali, ed in particolare aver approfondito due di queste, il codice Simqke e il codice Belfagor, si ritiene indispensabile, a questo punto, riportare preliminarmente i risultati già presenti in letteratura riguardo questo ambito volti alla descrizione e comparazione degli output di registrazioni artificiali.

P.Schwab e P.Lestuzzi [2004] investigano e formulano raccomandazioni per l'uso di registrazioni artificiali per le analisi sismiche, con particolare riferimento alla simulazione

classica stazionaria, Simqke, ed alla simulazione non stazionaria di Sabetta e Pugliese, Belfagor. L'analisi che compara i risultati delle registrazioni artificiali con quelle di 9 accelerogrammi reali (European Strong Motion Database, con magnitudo tra 5.3 e 7.8 e con PGA nell'intervallo  $1.13 - 1.72 \text{ m/s}^2$ ) è eseguita prima per sistemi ad un grado di libertà (SDOF) e successivamente estesa a sistemi a più gradi di libertà (MDOF).

I risultati ottenuti con gli SDOF non-lineari, definiti da sei riconosciuti modelli isteretici, mostrano che l'implementazione della procedura classica stazionaria conduce sempre ad una sottostima della domanda di duttilità ed ad un forte eccesso di domanda di energia. Al contrario, le registrazioni generate tramite procedura non-stazionaria portano chiaramente a risultati migliori. Tali risultati sono confermati anche da applicazioni con i sistemi a più gradi di libertà. Come conseguenza di ciò, in contrasto alla comune assunzione, si può affermare che, per quanto riguarda la domanda di spostamento, le time-history generate artificialmente, non rappresentano un input conservativo per i sistemi non lineari.

Mucciarelli et al. [1997] espone i risultati di una vasta campagna di analisi dinamiche non lineari condotte su alcune tipologie rappresentative di edifici in cemento armato del patrimonio edilizio italiano ed europeo utilizzando nelle simulazione numeriche quattro differenti categorie di registrazioni:

- 30 registrazioni naturali con valori di PGA compresi tra 0.04 e 0.36g opportunamente estratti dalla Banca dati Europea;
- 7 set di 8 accelerogrammi artificiali spetrocompatibili (spettro EC8, suolo B) ottenuti con il codice SIMQKE con PGA compresa nell'intervallo 0.06-0.42g
- accelerogrammi artificiali spetrocompatibili (spettro EC8, suolo B) ottenuti con il codice BELFAGOR in analogia al codice Simqke;
- 14 accelerogrammi Belfagor con PGA nel range 0.07 – 0.85 considerando diverse condizioni di magnitudo(M) e distanza (R) ricavate dalla legge di attenuazione al fine di simulare le registrazioni reali.

La risposta sismica ed i conseguenti livelli di danno delle strutture in esame sono valutati e confrontati in funzione dei principali parametri sismici, quali intensità di Arias  $I_A$ , intensità di Housner  $I_H$ , durata efficace  $t_d$ , e indice di Saragoni PD, PGA.

Emerge la forte dispersione per gli accelerogrammi naturali e come questi abbiano, a parità di PGA, valori generalmente molto più bassi dei parametri sismici considerati rispetto ai corrispondenti accelerogrammi generati da SIMQKE. Differenze molto più limitate emergono per gli accelerogrammi generati da Belfagor.

Sintesi delle caratteristiche degli accelerogrammi adottati								
Input	PGA (g)		IA (m/s)		IH (m)		PD	
	min	max	min	max	min	max	min	max
Naturale	0.04	0.36	0.03	2.88	0.09	2.8	0.03	13.74
SIMQKE	0.06	0.42	0.08	7.5	0.28	1.95	0.03	3.77
Belf_EC8	0.06	0.42	0.05	3.34	0.23	1.78	0.05	10.29
Belf_N	0.07	0.85	0.05	10.02	0.18	3.35	0.05	22.05

Figura 2.6- Sintesi delle caratteristiche degli accelerogrammi [Mucciarelli et al., 1997]

Inoltre i risultati delle analisi non lineari mostrano chiaramente il forte condizionamento esercitato dall'input sismico. Gli accelerogrammi artificiali ricavati con il codice SIMQKE appaiono troppo onerosi racchiudendo in sé elevati potenziali di danno non realistici, testimoniati dai valori ben più grandi dell'intensità di Arias rispetto a quelli relativi ad accelerogrammi naturali a parità di PGA.

Per tale ragione, gli accelerogrammi SIMQKE appaiono non adeguati per la costruzione di curve di danno da adoperare nella selezione di scenari.

Considerando invece gli accelerogrammi artificiali Belfagor (tipo non matchato) i valori della risposta sismica e dei livelli di danno risultanti sono più bassi e mediamente più vicini a quelli ottenuti con le registrazioni naturali.

## 2.2 Codici per la manipolazione e la selezione di accelerogrammi reali

Gli input sismici, per analisi dinamiche non lineari, sono usualmente scelti come rappresentativi dello scenario sismico che controlla l'*hazard* al sito, oppure con predefiniti spettri di risposta elastici caratterizzati da una data forma funzionale (*smooth*). In entrambi i casi, l'input selezionato è alquanto severo [Bazzurro e Luco,2005].

Inoltre, la progettazione dinamica non lineare, come già visto, è spesso complicata dalla scarsità di registrazioni reali caratterizzanti la pericolosità sismica al sito in esame. Per superare tale problema, oltre all'utilizzo di registrazioni artificiali e simulate, il progettista può adoperare due ulteriori tecniche, di ridimensionamento o modifica delle registrazioni reali:

- Utilizzare *records* reali linearmente scalati rispetto ad uno spettro di riferimento
- Modificare il contenuto in frequenze e fase dei *records* reali per farlo corrispondere allo spettro di normativa (aggiustamento mediante aggiunta di *wavelet*).

Carballo e Cornell, [2000] legittimano l'utilizzazione di entrambe le tecniche e ne sottolineano l'utilità in quanto permettono di limitare il numero di analisi dinamiche non

lineari rispetto all'impiego di registrazioni reali originali, senza compromettere la precisione della stima.

Si prenderà in considerazione due Software

- **Rexel**, software sviluppato al fine di determinare combinazioni di accelerogrammi reali, scalati e non scalati, compatibili con gli spettri delle NTC.
- **RSPMATCH**, software sviluppato per la modifica di accelerogrammi reali (o non), attraverso wavelet, al fine di garantire la spettrocompatibilità di questi.

### 2.2.1 RSPMATCH [Hancock et al., 2006]

RspMatch2005, programma sviluppato da N.A.Abrahamson [1993] e successivamente aggiornato da Hancock et al. [2006] modifica nel dominio del tempo una time-history di accelerazione per renderla compatibile con uno specificato spettro di riferimento utilizzando la tecnica di Lilhanand e Tseng [1987, 1988], che impiega forme d'onda sinusoidali dette *wavelets* utilizzando la risposta di sistemi SDOF elastici nel dominio del tempo. Il programma è stato utilizzato grazie alla gentile concessione di D. Grant. La procedura utilizzata dal software è esposta nel diagramma di flusso riportato in Figura 2.7.

In particolare sono distinguibili tre fasi:

1. Calcolare la risposta di un sistema SDOF elastico sotto l'azione della serie temporale di accelerazione, per ciascun periodo e il livello di smorzamento abbinati;
2. Confrontare il picco di ogni risposta SDOF con l'amplificazione target e determinare il disallineamento;
3. Aggiunta di *wavelets* all'accelerogramma con appropriate ampiezze correggendo la fase in modo che il picco di ogni risposta corrisponda all'ampiezza target. Una wavelet è utilizzata per *matchare* una singola risposta SDOF.

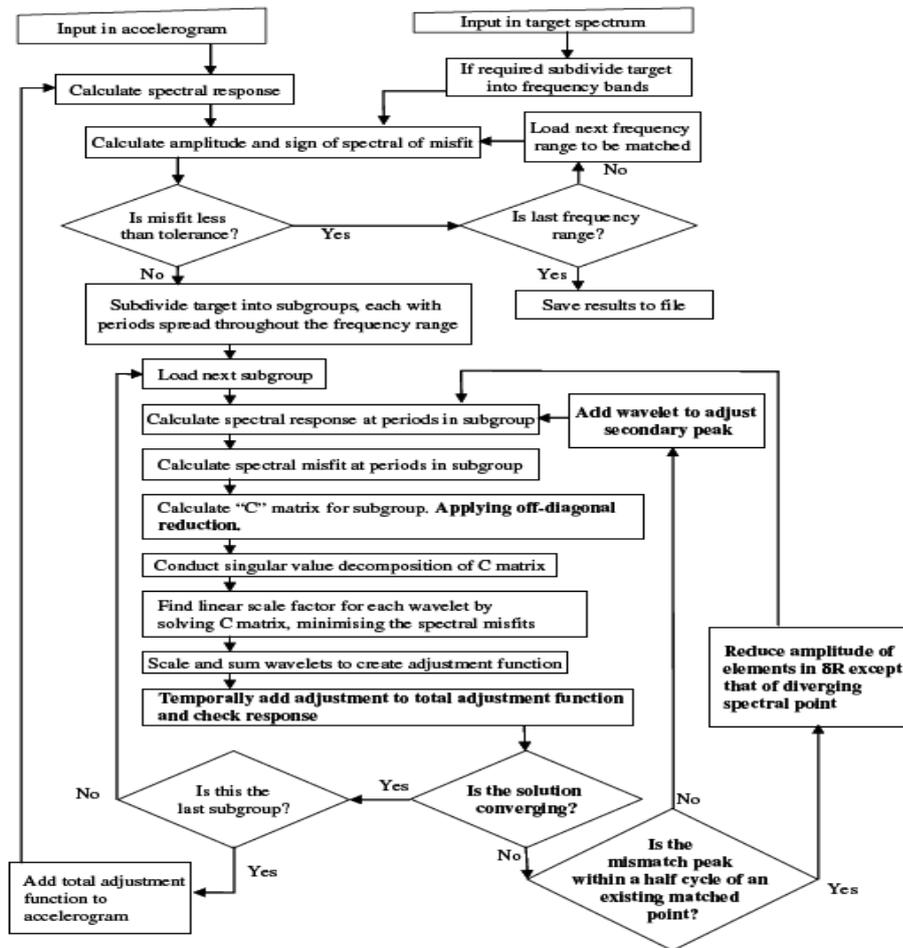


Figura 2.7- Algoritmo implementato in RSPMatch2005 [Hancock et al., 2006]

### Procedura di aggiunta delle wavelet

L'ampiezza di ciascuna *wavelet*, utilizzata nella procedura di *'adjustment'*, è determinata attraverso la soluzione di un sistema di equazioni che tiene conto della *cross*-correlazione di ciascuna *wavelet* con ciascuna delle risposte cui deve essere applicato il *'matching'*. Il sistema di equazioni può essere rappresentato in forma matriciale (2.17).

$$C \mathbf{b} = \delta R \quad (2.17)$$

In cui:

- C è una matrice quadrata con gli elementi che descrivono l'ampiezza di ogni risposta SDOF sotto l'azione di ogni *wavelet*, al momento che la risposta deve essere adeguata;

- b è un vettore di fattori di scala, lineare per ogni *wavelet* utilizzati nella regolazione;
- $\delta R$  è un vettore di richiesta di adeguamento, ovvero la differenza tra il picco della risposta SDOF senza correzione delle serie temporali e l'ampiezza specifica necessaria dello spettro di risposta target per ogni periodo e livello di smorzamento.

I fattori di scala nel vettore  $b$  si trovano invertendo la relazione:

$$\mathbf{b} = \mathbf{C}^{-1} \delta \mathbf{R} \quad (2.18)$$

L'ampiezza della funzione di regolazione wavelet al tempo  $t$  è determinata dalla somma delle ampiezze delle wavelets allo stesso tempo,  $a_j(t)$ , moltiplicato per il rispettivi singoli fattori di scala  $b_j$ :

$$Adjust(t) = \sum_{j=1}^{j=N_w} b_j a_j(t) \quad (2.19)$$

dove  $N_w$  è il numero totale di *wavelets* utilizzate.

La serie temporale di accelerazione “aggiustata” è la somma della serie temporale originale con la funzione di regolazione.

Purtroppo, la matrice di correlazione  $C$  può essere singolare e di una dimensione tale che occorre parecchio tempo per risolvere il sistema. Questi problemi sono stati superati dividendo il problema in sottogruppi più piccoli. Infatti RspMatch suddivide la matrice  $C$  in più sotto-matrici, soluzione che aumenta la velocità, ma ancora più importante riduce la correlazione incrociata delle *wavelets* ed aumenta la probabilità di un cambiamento di fase nella risposta di picco.

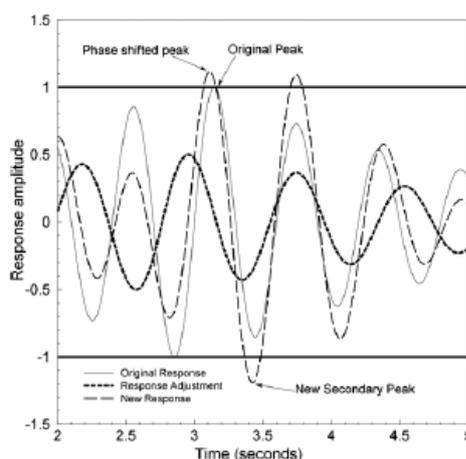
La suddivisione in sostanza definisce nulli alcuni dei termini fuori diagonale, il che è positivo in quanto fornisce la stabilità numerica ma a scapito della precisione della soluzione, perché la correlazione attraverso alcune onde non viene presa in considerazione. Applicando l'adjustment progressivamente in più fasi con bande di frequenza più ampie, le serie temporali saranno più simili al loro carattere originale.

Il metodo Lilhanand e Tseng [1987, 1988] generalmente funziona bene, ma ci sono due problemi nell'applicazione di tale procedura:

Le *wavelet* utilizzate modificano velocità e spostamento della serie temporale degli accelerogrammi quindi, dopo l’inserimento della *wavelet* di regolazione, è necessaria una correzione che può annullare parzialmente la corrispondenza spettrale raggiunta.

Il metodo non è sempre stabile e diverge se l'utente cerca di far corrispondere livelli multipli di smorzamento (soprattutto se bassi) a periodi ravvicinati.

La versione originale del metodo si basava sul presupposto fondamentale di non variazione del tempo della risposta di picco in seguito all’aggiunta della *wavelet*, ovvero il  $T_{\text{picco}}$  rimaneva invariato prima e dopo l’operazione di “*adjustment*”. Ogni *wavelet* veniva applicata, nell’algoritmo originale, alla serie temporale in modo che il tempo massimo di risposta del sistema ad un grado di libertà, sotto l’azione della *wavelet*, fosse lo stesso rispetto al tempo di risposta di picco e dunque fosse conseguentemente adeguato rispetto alla *time-series* iniziale. L’ipotesi non è sempre valida e può portare a soluzioni divergenti. Se l’ipotesi fatta nella versione originale di Abrahamson del 1993 fosse valida, il problema sarebbe lineare e risolvibile con un’unica iterazione.



**Figura 2.8- Il problema dei picchi secondari [Hancock et al., 2006]**

Poiché il problema è non lineare, soprattutto perché i punti spettrali sono molto vicini e sono da accoppiare più livelli di smorzamento, si ha in seguito all’aggiustamento una variazione del periodo di picco, causata sia da una variazione della fase nella risposta di picco, sia dalla comparsa di un “nuovo picco secondario” (figura 2.8).

Queste fonti di divergenza sono causate dalla correlazione incrociata delle diverse *wavelet* di correzione, ovvero una *wavelet* aggiunta per correggere ad un determinato periodo e livello di smorzamento, può avere effetti sulla risposta di picco di un sistema SDOF ad altri periodi e livelli di smorzamento.

Ciò matematicamente equivale a sottolineare che nelle sottomatrici, della matrice  $C$ , i termini al di fuori della diagonale non sono nulli così come ipotizzato nell'algoritmo. Si è già detto che la suddivisione della matrice  $C$  in sottomatrici definisce alcuni dei termini fuori diagonale nulli, il che è positivo in quanto favorisce la stabilità numerica ma a scapito della precisione della soluzione, perché la correlazione incrociata di alcune onde non viene presa in considerazione.

RspMatch2005 evita questo problema usando una matrice  $C$  piena dunque rimuovendo l'ipotesi di indipendenza tra le diverse forme d'onda aggiunte ed ottiene la stabilità numerica, riducendo i termini fuori dalla diagonale di un fattore costante. Effettuando delle prove con diversi fattori di riduzione fuori diagonale, è emerso che un fattore di riduzione di circa 0,7 è molto efficace nel fornire la stabilità numerica.

Quando la correlazione incrociata delle wavelet provoca un cambiamento di fase della risposta di picco, anche con la correzione del picco secondario, la soluzione può talvolta divergere ancora.

Quando, infatti, la risposta originale ha un buon accordo con quella target, può accadere che l'introduzione di wavelet per aggiustare la risposta ad un periodo causi un cambiamento di fase ed una divergenza che prima non c'era. Questo problema è superato aumentando l'importanza del SDOF con risposta divergenti, ovvero riducendo l'ampiezza dell'*'adjustment'*,  $\delta R$ , del 30% per tutti i punti ad eccezione del punto causa della divergenza. Anche se la riduzione artificiale delle ampiezze della funzione di aggiustamento incrementa la stabilità numerica esso si traduce in un maggior numero di iterazioni necessarie per ottenere la necessaria compatibilità con lo spettro di riferimento.

Sebbene l'effetto sulla serie temporale dell'adeguamento spettrale attraverso la tecnica di aggiustamento tramite l'aggiunta di *wavelet* sia abbastanza complesso, e le modalità varino caso per caso, possono essere valutate due situazioni sistematiche: gli effetti sulle registrazioni il cui spettro nel lungo periodo è al di sopra di quello target e quelli il cui spettro è al di sotto. Bazzurro e Luco [2005] analizzano quest'aspetto per le registrazioni *near-source* e spiegano che ciò accade perché le caratteristiche delle registrazioni originali in questi due gruppi sono differenti (figura 2.9).

Nel primo caso, trattandosi di registrazioni *near-source* il cui carattere impulsivo nella storia di velocità può essere decisivo ai fini della valutazione della risposta strutturale, in media, si riscontra una tendenza del programma o ad eliminare l'impulso a due lobi presente in precedenza e a trasformarlo in un impulso a singolo lobo o a ridurre l'ampiezza al fine di abbassare la risposta spettrale a periodi più lunghi.

Nel secondo caso, cioè quando lo spettro da correggere si trova al di sotto di quello di riferimento e non vi è un impulso nel segnale di partenza, gli effetti sono opposti e dunque si riscontra una tendenza ad amplificare il segnale di partenza ma non l’inserimento fittizio d’impulsi non presenti precedentemente. Inoltre se il processo di ‘*adjustment*’ porta parte delle alte frequenze dello spettro a superare lo spettro target del segnale di partenza, si nota una rimozione di alte frequenze dal segnale.

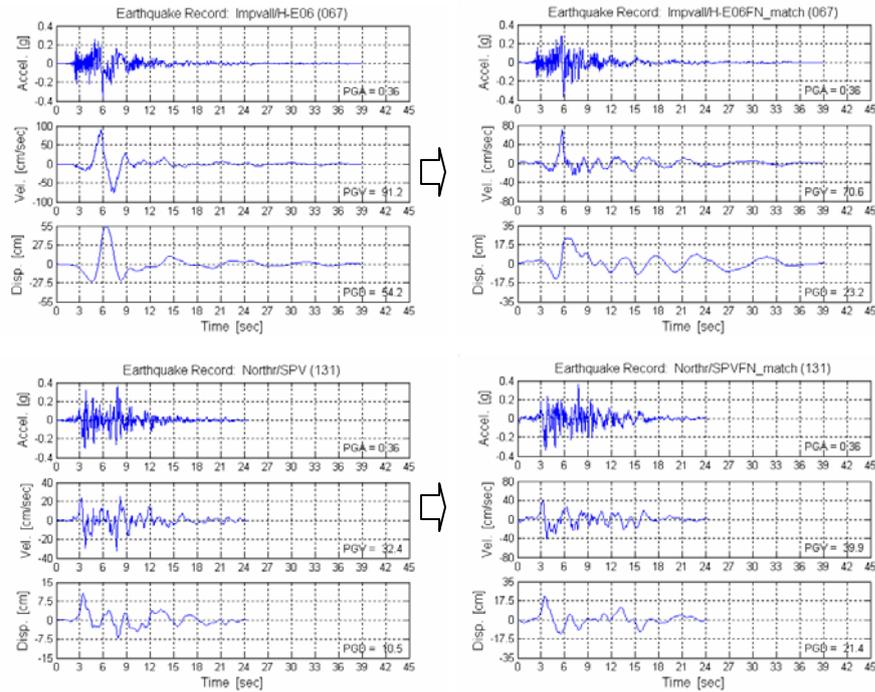


Figura 2.9- Situazioni sistematiche di ‘*adjustment*’ [Bazzurro e Luco, 2005]

Carballo e Cornell [2000] osservano che l’asimmetria dei picchi o la loro eliminazione, fatta per raggiungere la spettro compatibilità, possono condurre, in base alla valutazione del parametro  $\epsilon$ <sup>1</sup>, a risultati a svantaggio di sicurezza. In particolare un picco nel range di periodi superiore al periodo fondamentale della struttura ( $T_1$ ) che è più grande dell’ordinata dello spettro medio per un dato scenario di M-R tende a generare una registrazione in media con un potenziale di danno maggiore. Viceversa una ‘valle’ nel range di periodi superiore a  $T_1$  tende a generare registrazione in media meno aggressiva. Il primo effetto, tuttavia, è più marcato del secondo, e quindi l’eliminazione dei picchi per ottenere la spettro compatibilità genera una risposta generalmente più benigna delle registrazioni corrette mediante *wavelet* rispetto ai naturali.

<sup>1</sup> Ipsilon ( $\epsilon$ ) è definito come la differenza tra il logaritmo in base 10 dell’accelerazione spettrale, ad un dato periodo, di un record e quello previsto dalla legge di attenuazione, diviso la deviazione standard dei residui.

### Procedura di controllo

La procedura di controllo della soluzione per la divergenza usa il massimo disallineamento, definito come il massimo calcolato fra tutti i periodi da abbinare; Il disallineamento al periodo T è definito come:

$$Misfit(T) = \left| \frac{Sa(T) - Sa_{target}(T)}{Sa_{target}(T)} \right| \cdot 100 \quad (2.20)$$

Dove:

$Sa(T)$  è l'accelerazione spettrale di adeguamento all'iterazione considerata al periodo T;

$Sa_{target}(T)$  è l'obiettivo di accelerazione spettrale In corrispondenza dello stesso periodi T.

E' inoltre possibile valutare il cosiddetto "Average Misfit" (disallineamento medio) spettrale, calcolato in tutto l'intervallo, non solo in quello di adeguamento, e definito come:

$$AverageMisfit = \frac{1}{N_p} \sum_{i=1}^{N_p} \left| \frac{PSA_0(T_i) - PSA_s(T_i)}{PSA_s(T_i)} \right| \cdot 100 \quad (2.21)$$

La nuova procedura di soluzione impedisce che si formino picchi secondari aggiungendo nuove wavelet al periodo, livello di smorzamento e tempo del nuovo picco secondario creatosi a seguito della correzione precedente.

La funzione di regolazione viene ricalcolata utilizzando wavelet secondarie.

### Forma funzionale delle wavelet

Le wavelet possono avere forme funzionali differenti, quelle inizialmente utilizzata da RspMatch è la funzione inversa d'impulso (2.22) [Lilhanand e Tseng, 1987,1988].

$$a_j(t) = \frac{-\omega_j}{\sqrt{1-\beta_j^2}} \exp(-\omega_j \beta_j (t_j - t)) \left[ (2\beta_j^2 - 1) \cdot \sin(\omega_j (t_j - t)) - 2\beta_j \sqrt{1-\beta_j^2} \cos(\omega_j (t_j - t)) \right] \quad (2.22)$$

Tale funzione, anche se molto efficiente per l' *adjustment* della risposta, non termina con velocità e spostamento nulli, per cui modifica la time history di velocità e spostamento.

Per superare questo inconveniente, possono essere utilizzate alternativamente due wavelets spostamento-compatibili:

Wavelet con correzione sinusoidale [Suarez e Montejo, 2003,2007] per garantire uno spostamento finale nullo:

$$a_j(t) = e^{-\beta_j \omega_j |t-t_j+\Delta t_j|} \sin(\omega_j(t-t_j-\Delta t_j)) \quad (2.23)$$

dove  $\Delta t_j$  è la differenza tra il tempo di risposta di picco  $t_j$  e il riferimento della wavelet originale.

Essa è applicata ad un numero fisso di cicli ( $N_c$ ) specificato dall'utente e automaticamente ridotto dal programma, al fine di garantire che l'intera wavelet sia applicata all'accelerogramma.

L'errore nello spostamento finale della wavelet di Suarez e Montejo è ottenuto con una doppia integrazione della wavelet e applicando le opportune condizioni iniziali:

$$\text{DispError}_j = 2 \left[ \frac{-2\beta_j + e^{-\beta_j t_{dj} \omega_j} (2\beta_j + t_{dj} + \beta_j^2 t_{dj}) \cos(t_{dj} \omega_j) + e^{-\beta t_{dj} \omega_j} (1 - \beta_j^2 - \beta t_{dj} \omega_j) \sin(t_{dj} \omega_j)}{(1 + \beta_j^2)^2 \omega^2} \right] \quad (2.24)$$

Un mezzo ciclo sinusoidale è messo all'inizio e alla fine della wavelet per correggere lo spostamento delle serie temporali. L'ampiezza della correzione sinusoidale è data da:

$$\text{SinAmplitude}_j = \frac{-\text{Disperror}_j \cdot \omega_j}{\left(\frac{2\pi}{\omega_j}\right) + 4t_{dj}} \quad (2.25)$$

Wavelet rettificata con una conica (onda cosinusoidale) utilizzata da Abrahamson che comprende un'ulteriore correzione al fine di garantire spostamento finale nullo:

$$a_j(t) = \cos[\omega'_j(t-t_j+\Delta t_j)] \exp[-|t-t_j+\Delta t_j| \psi_j] \quad (2.26)$$

Con

$$\Delta t_j = \frac{\tan^{-1} \left[ \frac{\sqrt{1 - \beta_j}}{\beta_j} \right]}{\omega'_j} \quad (2.27)$$

La frequenza di dipendenza  $\psi_j$  deve essere coerente con il riferimento *timehistory*.

Ciò significa che, se la time-history di riferimento ha breve durata in una determinata frequenza, la  $\psi_j$  dovrebbe essere selezionata in modo tale che la funzione di regolazione a quella frequenza abbia una breve durata. Un modello tri-lineare per la  $\psi_j(f)$  utilizzata in questo programma è:

$$\psi(f) = \begin{cases} z_1 & f_j < f_1 \\ z_1 + (z_2 - z_1) \cdot \frac{(f - f_1)}{(f_2 - f_1)} & f_1 < f_j < f_2 \\ z_2 & f_j > f_2 \end{cases} \quad (2.28)$$

dove  $F_1, F_2, z_1$  e  $z_2$  sono costanti e  $f_j$  è la frequenza della wavelet in j-esima in Hz; valori raccomandati delle costanti sono:  $f_1=1\text{Hz}, f_2 = 4\text{HZ}, z_1 = 1,25$  e  $z_2 = 0,25$ .

L'equazione per la rettifica della wavelet è:

$$a_j(t) = \cos[\omega'_j(t - t_j + \Delta t_j)] \exp[-|t - t_j + \Delta t_j| \psi_j] + [c_1(t - t_j + \Delta t_j) + c_2] \exp[-|t - t_j + \Delta t_j| 5\psi_j] \quad (2.29)$$

La rettifica con *wavelet* con conica coseno è fissata in modo da iniziare con 1/4 di ciclo di accelerazione per evitare *drift* di lungo periodo nella *time-series* di spostamento.

### **Prestazioni del programma nella letteratura tecnica**

J.Hancock, N.A., Abrahamson et al. [2006] presentano un esempio di procedura di matching sia per singolo valore di smorzamento (5%), sia per più valori di smorzamento (5, 10, 20, 30%). Nel caso specifico, l'accelerogramma reale preso in esame (Loma Pietra earthquake registrato a 71Km dalla rottura della faglia di Diamon Heights; record 00794T del NGA database) viene prima scalato (SF=3.2) e poi successivamente adeguato allo spettro target mediante RSPMATCH2005. I risultati mostrarono che le caratteristiche della registrazione reale, in termini di accelerazione, velocità e spostamento, furono mantenute, così come, la distribuzione di energia e il contenuto energetico, mostrando un incremento

dell'Intensità di Arias non superiore al 5%. Risultati simili sono ottenuti a più livelli di smorzamento, mostrando però differenze di Intensità di Arias (circa il 10%).

Bazzurro e Luco [2005], prendono in considerazione un set di 31 registrazioni reali con magnitudo e distanza intermedi, che vengono successivamente modificati dando origine a due nuovi sets:

- amplitude-scaled records,
- Spectrum-matched records, ottenuti adoperando RSPMatch e scalando alla PGA ( $iModPGA=2$ )

In particolare, viene studiata, l'eventuale distorsione sistematica che queste tecniche di ridimensionamento e di adeguamento possono produrre. Per far ciò, vengono implementati 43 sistemi SDOF a comportamento elastico-perfettamente plastico con periodo T [0.0625-4.0sec] e quattro differenti 'yield strenghts' (R=1,2,4,8).

Le 16.00 analisi dinamiche non lineari forniscono i seguenti risultati:

- I tre spettri medi di spostamento elastico sono indistinguibili ai fini pratici;
- I tre spettri medi di spostamento inelastici, per R=2,4,8, non coincidono, soprattutto ai bassi periodi. In media, i records scalati tendono ad essere superiori, quelli matchati tendono ad essere inferiori. In particolare, all'aumentare di R i records ottenuti da rspmatch presentano 'distorsioni' che tendono a stabilizzarsi (fino al 10% per R=8). Inoltre, mentre per bassi livelli di R la tendenza è variabile con il periodo (10-50%) ciò non accade per valori elevati di non linearità.

I valori medi della dispersione, sono, ovviamente, molto più bassi per gli le registrazioni corrette con RSPMatch, e comunque in tutti e tre i set diminuiscono all'aumentare delle non linearità.

### **2.2.2 REXEL**

Il software REXEL v2.31 beta [Iervolino et al., 2008] permette la ricerca di combinazioni di accelerogrammi naturali compatibili con gli spettri delle Norme Tecniche per le Costruzioni (NTC) e dell'Eurocodice 8 (EC8) che possono anche rispecchiare caratteristiche di sorgente di interesse in termini di magnitudo e distanza epicentrale. Il programma è scaricabile gratuitamente al sito <http://www.reluis.it>. Le registrazioni accelerometriche cui fa riferimento sono quelle dello European Strong-motion database (ESDB) scaricabile gratuitamente al sito <http://www.isesr.cv.ic.ac.uk>.

Il programma (Figura 2.10) consente di definire automaticamente, per qualunque luogo sul territorio nazionale, gli spettri di normativa orizzontali e verticali a partire dalle coordinate geografiche, dalla geologia locale, dallo stato limite in esame, dalla vita nominale e dalla classe di utilizzo. Determinato così lo spettro di riferimento, è possibile selezionare accelerogrammi reali appartenenti ad intervalli di magnitudo e distanza definibili dall'utente, accelerogrammi che saranno poi utilizzati per creare combinazioni di sette registrazioni che in media rispettino, in un definibile intervallo di periodo, lo spettro precedentemente definito, con una tolleranza superiore ed inferiore, anch'essi definibili dall'utente. E' inoltre possibile eseguire l'analisi includendo una, due o tre componenti, a seconda che si desideri eseguire analisi piane, spaziali, che includano o meno la componente verticale.

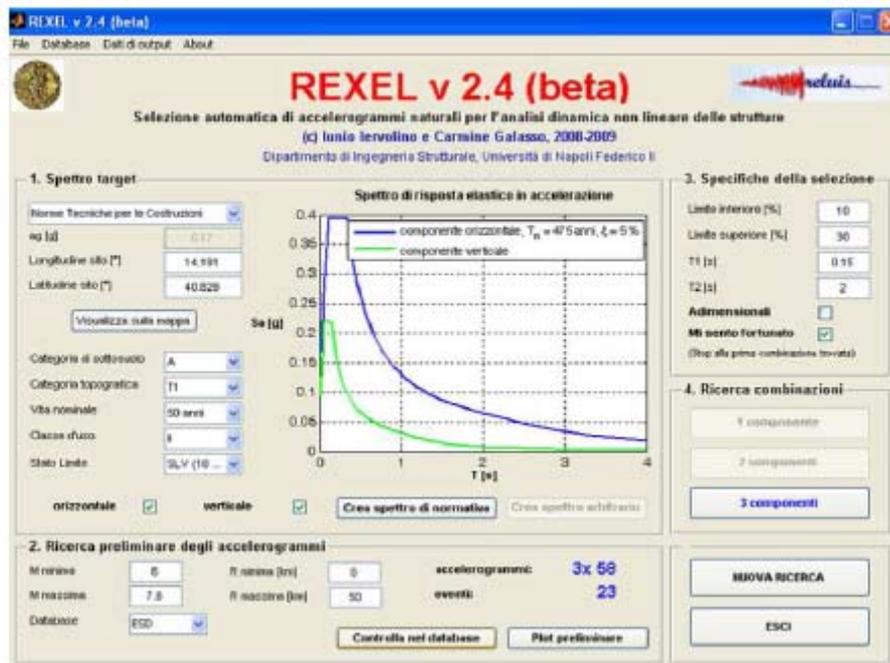


Figura 2.10- Interfaccia grafica REXEL all'avvio del programma

Rexel, per ogni set di accelerogramma trovato restituisce un file che riassume le caratteristiche dei records selezionati ed i codici identificativi del terremoto di provenienza associato ad ogni singolo accelerogramma. Infatti, generalmente ad ogni terremoto possono corrispondere più registrazioni accelerometriche ottenute disponendo gli strumenti di misura (accelerometri) in diversi punti. Diversi accelerogrammi possono quindi presentare identico codice se relativi allo stesso terremoto di provenienza.

I set ottenuti sono automaticamente ordinati secondo un'ordine crescente di dispersione rispetto allo spettro target secondo i seguenti parametri di deviazione [Iervolino et al., 2008], quali deviazione spettrale  $j$ -esima ( $\delta_j$ ), deviazione spettrale media ( $\delta_{\text{medio}}$ ) deviazione spettrale massima ( $\delta_{\text{max}}$ ) :

$$\delta_j = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \left( \frac{Sa_j(T_i) - Sa_{\text{target}}(T_i)}{Sa_{\text{target}}(T_i)} \right)^2} \quad (2.30)$$

$$\delta_{\text{medio}} = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \left( \frac{Sa_{\text{medio}}(T_i) - Sa_{\text{target}}(T_i)}{Sa_{\text{target}}(T_i)} \right)^2} \quad (2.31)$$

$$\delta_{\text{max}} = \max_{\text{inaset}} \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \left( \frac{Sa_j(T_i) - Sa_{\text{target}}(T_i)}{Sa_{\text{target}}(T_i)} \right)^2} \quad (2.32)$$

Dove:

- $Sa_j(T_i)$  è l'ordinata spettrale di pseudo-accelerazione dell' $i$ -esimo accelerogramma in corrispondenza del periodo  $T_i$ ;
- $Sa_{\text{target}}(T_i)$  è l'ordinata spettrale di pseudo-accelerazione dello spettro target in corrispondenza del periodo  $T_i$ ;
- $Sa_{\text{medio}}(T_i)$  è l'ordinata media spettrale di pseudo-accelerazione del set di accelerogrammi reali in corrispondenza del periodo  $T_i$ ;
- $N$  è il numero di punti osservato all'interno dell'intervallo di periodi specificato;

La deviazione dello spettro medio  $\delta_{\text{medio}}$  (2.31) fornisce una misura quantitativa dello scostamento che assume l'andamento dello spettro medio, relativo alla singola combinazione, nei confronti dello spettro di riferimento esaminato.

La deviazione massima,  $\delta_{\text{max}}$  (2.32) del singolo spettro è intesa come lo scostamento medio relativo ad ogni singola registrazione facente parte della combinazione. La selezione secondo questo parametro prevede la determinazione della  $\delta_{\text{max}}$  nella settupla di accelerogrammi e di selezionare le combinazioni caratterizzate dal valore minimo assunto da essa. Questo criterio consente di individuare le combinazioni in cui gli spettri reali sono

meno dispersi rispetto allo spettro di riferimento. Qualora si dovesse presentare più di una combinazione avente lo stesso valore minimo della deviazione  $\delta_{max}$ , la scelta di quella più opportuna può essere ottenuta considerando il valore della deviazione  $\delta$  minima.

Inoltre il programma consente di selezionare, oltre che set di record reali non scalati, combinazioni di accelerogrammi scalati, la cui media spettrale risulti compatibile con lo spettro assunto quale riferimento. Ogni accelerogramma è prima adimensionalizzato rispetto al proprio valore di *peak ground acceleration* (PGA) e successivamente viene scalato linearmente mediante un fattore tale che la PGA del record corrisponda alla PGA dello spettro di normativa.

Eseguita l'operazione di 'Adimensionalizzazione' e specificato il massimo fattore medio di scala desiderato (SF), Rexel genera, se ne esistono, le combinazioni di record scalati con media spettro-compatibile, così come esposto per i set di accelerogrammi non scalati.

## Capitolo 3: Selezione di sei categorie di accelerogrammi

### Premessa

Nei precedenti capitoli, e nella bibliografia corrente riportata, è emerso chiaramente, il problema della selezione dell'input sismico, e di come esso influenzi significativamente i risultati delle analisi. Le normative attuali permettono l'utilizzo, nell'esecuzione di analisi dinamiche non lineari, di tre differenti tipologie di accelerogrammi, reali, artificiali e sintetici, di cui sono state mostrate alcune delle modalità di selezione/generazione più comuni e di maggiore interesse scientifico.

In realtà, l'ideale sarebbe avere a disposizione set di registrazioni passate, con caratteristiche simili allo scenario di 'hazard' caratteristico del sito in esame. Il vantaggio di usare accelerogrammi reali è legato alla loro 'autenticità', ovvero nel riportare tutte le caratteristiche dello scuotimento prodotto dai terremoti (ampiezza, contenuto in frequenze, durata, fase caratteristica, ...) nonché nel riflettere fattori, quali caratteristiche della sorgente, traiettoria e sito, che influenzano l'accelerogramma stesso. Purtroppo tali registrazioni reali non coprono tutte le combinazioni di magnitudo-distanza-sito, per cui nonostante la diffusione di database di registrazioni accelerometriche rilevate durante i terremoti in diverse zone del mondo ed europee, al fine di soddisfare il prestabilito scenario, o spettro di risposta elastico di progetto, la pratica ingegneristica si è orientata sulla modifica delle registrazioni reali, ovvero procedure di scalatura lineare, o aggiunta di *wavelet*. Un'alternativa a tale modifica, è la generazione di segnali artificiali spettro-compatibili con lo spettro di progetto, oppure segnali simulati fondati su principi fisici di che simulino il meccanismo di sorgente o di rottura di faglia e la propagazione delle onde dalla sorgente al sito.

In realtà, come vedremo, l'impiego di tecniche di scalatura (*scaling*) o di adattamento spettrale (*adjustment*) possono generare delle registrazioni che non è detto che rappresentino le reali condizioni dello scenario di terremoti.

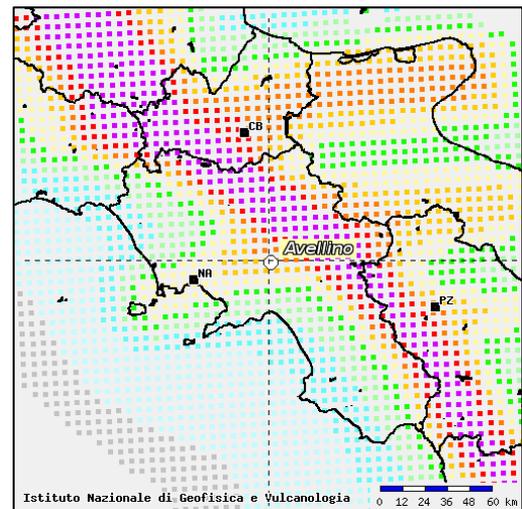
Il presente capitolo, si divide in due parti, nella prima sono riportate le procedure di selezione e valutazione di sei differenti categorie di segnali (selezionati e generati), secondo le procedure illustrate nel capitolo 2; nella seconda, per ciascun record delle sei

categorie, sono stati valutati diversi parametri caratterizzanti l'evento sismico, immediatamente deducibili dalle registrazioni, ovvero parametri di picco o ottenuti per integrazione dell'accelerogramma, i quali costituiscono informazioni sintetiche sulla registrazione stessa.

La puntuale descrizione dei parametri e i criteri assunti per la selezione o generazione delle registrazioni insieme con l'analisi delle caratteristiche di ciascun record permettono una più facile interpretazione dei risultati in termini di risposta di picco e ciclica (Capitolo 4) nonché una definizione quanto più rispondente possibile agli effettivi criteri di selezione dei modelli statistici interpretativi adottati come si vedrà nel capitolo 5.

### 3.1 Spettro target del sito relativo al caso studio

Attraverso l'utilizzo de software Rexel v2.31 beta è stato individuato, in conformità alle NTC2008, lo spettro di risposta elastico orizzontale in accelerazione relativo al sito di coordinate geografiche latitudine 40.914 e longitudine 14.78, relativo al comune di Avellino. Il programma, scelto in alternativa a quello disponibile al sito web del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici, infatti permette anche la definizione degli spettri di normativa per qualunque luogo del territorio nazionale, definite ovviamente oltre alle coordinate geografiche la geologia del sito, lo stato limite, la classe di utilizzo e la vita nominale.



**Figura 3.1-** Mappa di  $a_g$  con periodo di ritorno di 475 anni, per la campania

Nel caso in esame sono state considerate le seguenti caratteristiche:

Latitud. [°]	Longitud. [°]	Categoria di sottosuolo	Categoria Topografica	Vita nominale [anni]	Classe d'uso	Stato limite
<b>40.914</b>	<b>14.78</b>	<b>A</b>	<b>T1</b>	<b>50</b>	<b>II</b>	<b>SLV (10%)</b>

e valutato lo spettro di riferimento (Figura 3.2).

Poiché il punto è un punto di griglia, dall'Allegato B delle NTC2008, facilmente entrando con i valori di Latitudine e Longitudine desiderati, ed un periodo di ritorno  $T_R$  (2.1)

$$T_R = \frac{-(V_n \cdot C_u)}{\ln(1 - P_{vR})} = \frac{-(50 \cdot 1)}{\ln(1 - 10\%)} = 475 \text{ anni} \quad (3.1)$$

sono stati controllati i seguenti parametri:

$a_g$	$F_0$	$T_c$	$T_B$	$T_D$	S	$F_v$
[g]	[...]	[sec]	[sec]	[sec]		
<b>0.192</b>	<b>2.373</b>	<b>0.367</b>	<b>0.122</b>	<b>2.3831</b>	<b>1</b>	<b>1.418</b>

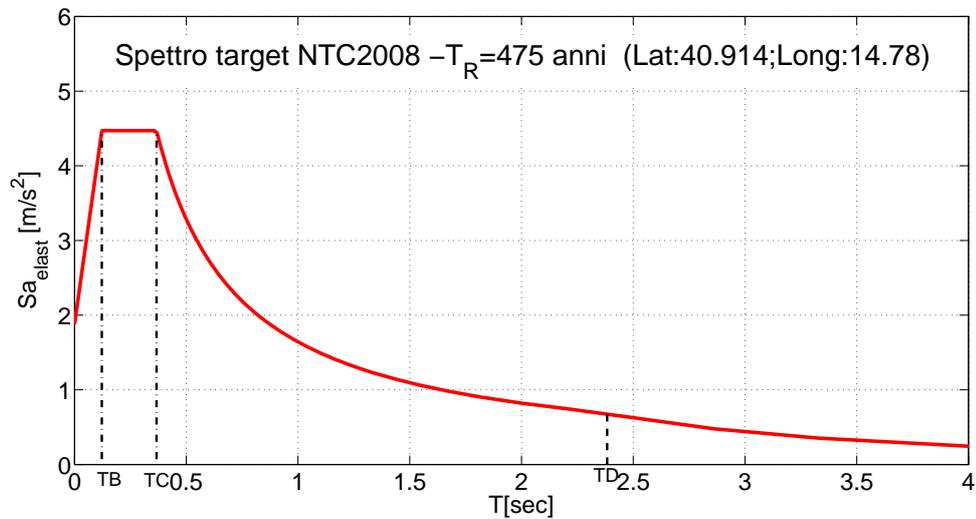


Figura 3.2- Spettro Target in accelerazione

Dallo spettro di progetto in accelerazione, è possibile risalire allo spettro di riferimento

target in spostamento ( $S_d = \frac{1}{\omega^2} S_a$ ), di seguito riportato (Figura 3.3):

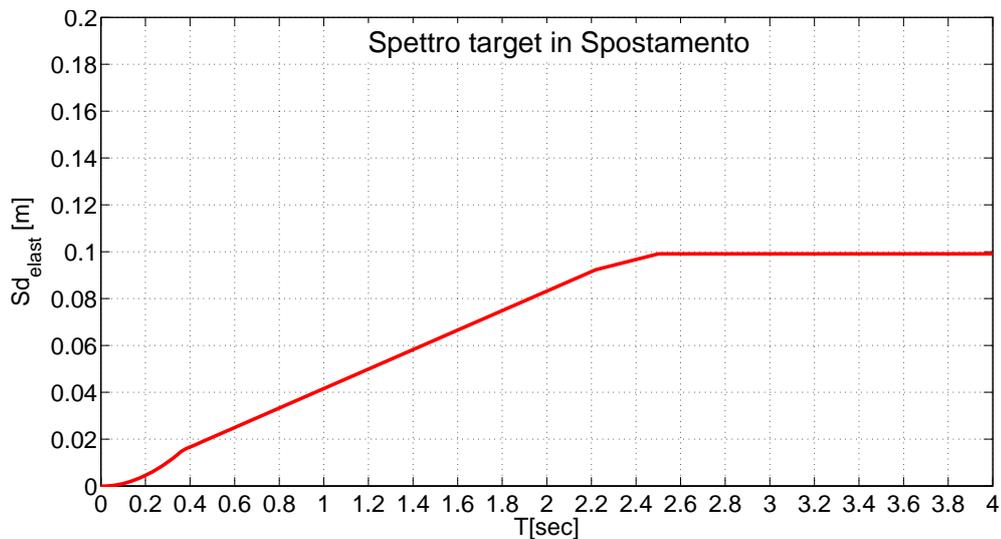


Figura 3.3- Spettro target in Spostamento

## 3.2 Selezione delle categorie degli accelerogrammi

Le registrazioni naturali sono selezionate dalla vasta banca dati dell'ESMDB attraverso l'utilizzo del software Rexel, mentre le artificiali sono generate mediante l'ausilio dei software Belfagor, che fa riferimento all'algoritmo di Sabetta e Pugliese, e Simqke, che fa riferimento alla teoria delle vibrazione casuale. Vi è poi un'ulteriore categoria, volta ad investigare le caratteristiche di accelerogrammi reali modificati attraverso il software RSPMatch che aggiunge onde sinusoidali per garantire una migliore compatibilità con lo spettro target.

In particolare sono state selezionate, 6 categorie di accelerogrammi:

- Accelerogrammi Reali Non Scalati (RNS);
- Accelerogrammi Reali Scalati con registrazioni comuni ai RNS con fattore di scala inferiore a 5 (SF5);
- Accelerogrammi Reali Scalati senza registrazioni comuni ai RNS e con fattore di scala inferiore a 12 (SF12);
- Accelerogrammi Reali Scalati mediante l'aggiunta di Wavelet (RSPMatch);
- Accelerogrammi Artificiali Belfagor (Belfagor);
- Accelerogrammi Artificiali Simqke (Simqke) .

L'input naturale è considerato come campione, per cui le restanti 5 categorie spesso sono ad esso rapportate.

Per ciascuna categoria sono stati selezionati 28 accelerogrammi, in conformità con le NTC2008, per questo l'aspetto prioritario è stato in primo luogo la verifica della spettrocompatibilità nell'intervallo d'interesse. Nel caso particolare si è scelto di considerare il range di periodi [0.15 – 2 sec] nel quale ricadono la maggior parte degli edifici non isolati, coerentemente con l'indicazioni delle NTC.

### 3.2.1 Set di reali non scalati (RNS)

Sono stati selezionati dall' European Strong Motion Database (ESDB), sempre grazie all'ausilio di Rexel quattro gruppi di sette accelerogrammi reali, la cui media spettrale, in ogni set, risultasse compatibile con lo spettro di riferimento assunto, ovvero, lo spettro medio risultasse compreso nell'intervallo di periodi [0.15 – 2 sec.] tra il 90% dello spettro

target in difetto ed il 130% dello spettro target (limitazione non di norma). La selezione è stata eseguita considerando i seguenti intervalli di magnitudo e distanza:

Combinazione	Magnitudo	Distanza Epicentrale
I	5.6 – 7.8	0 - 15
II	5.6 – 7.8	0 – 15
III	5.6 – 7.8	16 – 35
IV	5.6 – 7.8	16 - 35

Come si può osservare, le combinazioni I e II e le III e IV hanno tra lo gli stessi intervalli. Infatti, grazie all’opzione diversi2, Rexel permette di individuare nella lista delle combinazioni di output coppie di combinazioni formate da accelerogrammi tutti provenienti da eventi diversi. In tal modo per i set I e II e per i set III e IV non sono presenti registrazioni provenienti dallo stesso evento, ciò non esclude che ad esempio tra i set I e III non ci siano registrazioni provenienti dallo stesso evento ma di stazioni diverse. Sono stati in questo modo selezionati 28 registrazioni differenti (Tabella 1), relative a 17 differenti eventi poiché non è detto che in un set non vi siano registrazioni dello stesso evento relative a differenti stazioni di registrazione, od anche alla stessa ma lungo le due diverse direzioni.

Si riportano di seguito le deviazioni calcolate dal software dello spettro relativo all’i-esimo record del set rispetto allo spettro target, sia la deviazione media del set, così come discusso nel 2.2

Scarto $\delta_i$							Scarto $\delta_{medio}$
Combinazione I RNS							
006335xa	004675xa	004675ya	006326ya	000365ya	004674xa	006332xa	
0.266	0.3	0.323	0.337	0.606	1.333	1.44	<b>0.163</b>
Combinazione II RNS							
000242ya	000242xa	001231xa	007142ya	003802xa	001231ya	000182ya	
0.372	0.412	0.427	0.513	0.56	0.652	0.782	<b>0.134</b>
Combinazione III RNS							
000665xa	000287xa	000234xa	000287ya	007156xa	000290xa	006500xa	
0.398	0.44	0.664	0.724	0.769	0.821	1.068	<b>0.152</b>
Combinazione IV RNS							
000198xa	004678xa	006342xa	006342ya	000198ya	000055xa	007187xa	
0.355	0.567	0.573	0.576	0.715	0.78	1.577	<b>0.141</b>

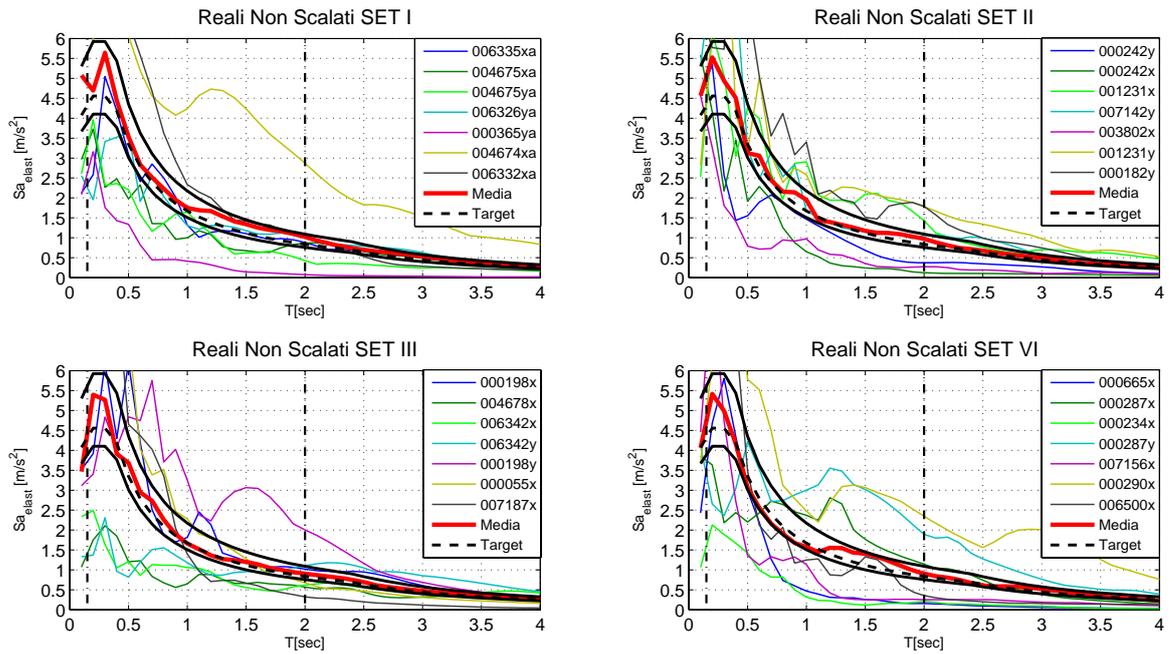
**Tabella 3.1- Deviazioni dei record Reali non Scalati dallo spettro target**

Si riportano, di seguito, le informazioni relative ai set selezionati (Tab 3.2), e la verifica grafica della rispettata compatibilità spettrale (Fig 3.3), la quale evidenzia ancor più l’elevata variabilità delle registrazioni reali selezionate.

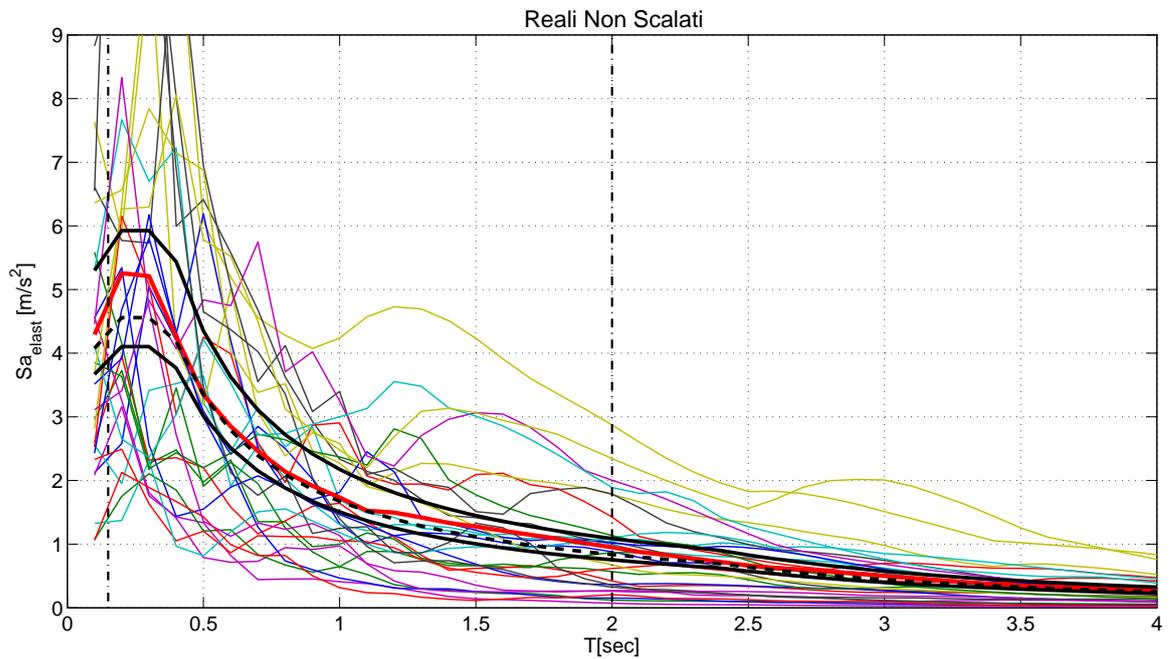
Comb.	Waveform ID	Earthquake ID	Station ID	Earthquake Name	Date	Mw	Fault Mechanism	Building Type	Instrument Location	Epicentral Distance [km]	Fault Distance [km]
I	6335	2142	2557	South Iceland (aftershock)	21/06/2000	6.4	strike slip	free-field	ground level	15	15
	4675	1635	2487	South Iceland	17/06/2000	6.5	strike slip	free-field	ground level	13	10
	4675	1635	2487	South Iceland	17/06/2000	6.5	strike slip	free-field	ground level	13	10
	6326	2142	2496	South Iceland (aftershock)	21/06/2000	6.4	strike slip	free-field	ground level	14	14
	365	175	140	Lazio Abruzzo	07/05/1984	5.9	normal	free-field	ground level, accelerometer shelter	5	11
	4674	1635	2486	South Iceland	17/06/2000	6.5	strike slip	free-field	ground level	5	4
	6332	2142	2483	South Iceland (aftershock)	21/06/2000	6.4	strike slip	free-field	ground level	6	3
II	242	115	225	Valnerina	19/09/1979	5.8	normal	free-field	ground level, accelerometer shelter	5	1
	242	115	225	Valnerina	19/09/1979	5.8	normal	free-field	ground level, accelerometer shelter	5	1
	1231	472	575	Izmit	17/08/1999	7.6	strike slip	structure related free-field	ground level	9	5
	7142	2309	539	Bingol	01/05/2003	6.3	strike slip	free-field	ground level	14	10
	3802	1226	2368	SE of Tirana	09/01/1988	5.9	thrust	free-field	?	7	6
	1231	472	575	Izmit	17/08/1999	7.6	strike slip	structure related free-field	ground level	9	5
	182	87	54	Tabas	16/09/1978	7.3	oblique	free-field	ground level or basement	12	14
III	665	286	238	Umbria Marche	26/09/1997	6	normal	free-field	ground level or basement	21	14
	287	146	93	Campano Lucano	23/11/1980	6.9	normal	free-field	ground level, accelerometer shelter	23	6
	234	108	68	Montenegro (aftershock)	24/05/1979	6.2	thrust	free-field	ground level	30	28
	287	146	93	Campano Lucano	23/11/1980	6.9	normal	free-field	ground level, accelerometer shelter	23	6
	7156	2313	3291	Firuzabad	20/06/1994	5.9	strike slip	free-field	ground level	21	NaN
	290	146	96	Campano Lucano	23/11/1980	6.9	normal	free-field	ground level, accelerometer shelter	32	14
	6500	497	3136	Duzce 1	12/11/1999	7.2	oblique	free-field	ground level	23	9
IV	198	93	64	Montenegro	15/04/1979	6.9	thrust	structure related free-field	ground level	21	11
	4678	1635	2557	South Iceland	17/06/2000	6.5	strike slip	free-field	ground level	32	32
	6342	2142	2556	South Iceland (aftershock)	21/06/2000	6.4	strike slip	structure related free-field	ground level	20	16
	6342	2142	2556	South Iceland (aftershock)	21/06/2000	6.4	strike slip	structure related free-field	ground level	20	16
	198	93	64	Montenegro	15/04/1979	6.9	thrust	structure related free-field	ground level	21	11
	55	34	20	Friuli	06/05/1976	6.5	thrust	dam related free-field	ground level	23	7
	7187	2322	3311	Avej	22/06/2002	6.5	thrust	free-field	ground level	28	NaN

Tabella 3.2- Dati delle registrazioni reali selezionate per in set RNS

**Spettri di risposta elastici in accelerazione dei 4 Set RNS**



**Spettri di risposta elastici in accelerazione dei 28 records selezionati**



**Figura 3.4-** Spettro di risposta elastico in accelerazione per la categoria Reali non scalati

### 3.2.2 Set di reali moderatamente scalati (SF5)

Così, come operato per la selezione dei reali non scalati, utilizzando gli stessi intervalli di magnitudo e distanza, sono stati individuati quattro set di sette accelerogrammi, scegliendo però, stavolta, l'opzione "Adimensionalizza". In tal modo, Rexel seleziona combinazioni di accelerogrammi scalati linearmente, secondo un fattore tale che la massima accelerazione coincida con il valore di ancoraggio dello spettro target (PGA).

Il software dà all'utente la possibilità di limitare il fattore di scala, definendone il massimo valore medio del set. Nel caso in esame si è scelto  $SF_{mean} \leq 5$

Delle 28 registrazioni 15 provengono da eventi differenti. Di questi 15 eventi, 10 appartengono ai 17 dei RNS.

Come già fatto per i RNS si riportano la deviazioni rispetto allo spettro target (Tabella 3.3), così come predisposto da software:

Scarto $\delta_i$							Scarto $\delta_{medio}$
Combinazione I RSs5							
<b>000292xa</b>	<b>000368xa</b>	<b>000410xa</b>	<b>005272xa</b>	<b>000234ya</b>	<b>006262ya</b>	<b>000410ya</b>	
0.141	0.174	0.221	0.251	0.355	0.43	0.501	<b>0.082</b>
Combinazione II RSs5							
<b>007142ya</b>	<b>001243xa</b>	<b>000182ya</b>	<b>004675xa</b>	<b>000471ya</b>	<b>000182xa</b>	<b>004674xa</b>	
0.196	0.221	0.27	0.298	0.299	0.339	0.524	<b>0.087</b>
Combinazione III RSs5							
<b>000055xa</b>	<b>006327ya</b>	<b>006331ya</b>	<b>006333xa</b>	<b>006331xa</b>	<b>000055ya</b>	<b>007187xa</b>	
0.235	0.244	0.252	0.256	0.393	0.453	0.455	<b>0.069</b>
Combinazione IV RSs5							
<b>006335ya</b>	<b>006332xa</b>	<b>006349ya</b>	<b>003802xa</b>	<b>000473ya</b>	<b>006335xa</b>	<b>006326ya</b>	
0.272	0.297	0.301	0.36	0.414	0.419	0.447	<b>0.089</b>

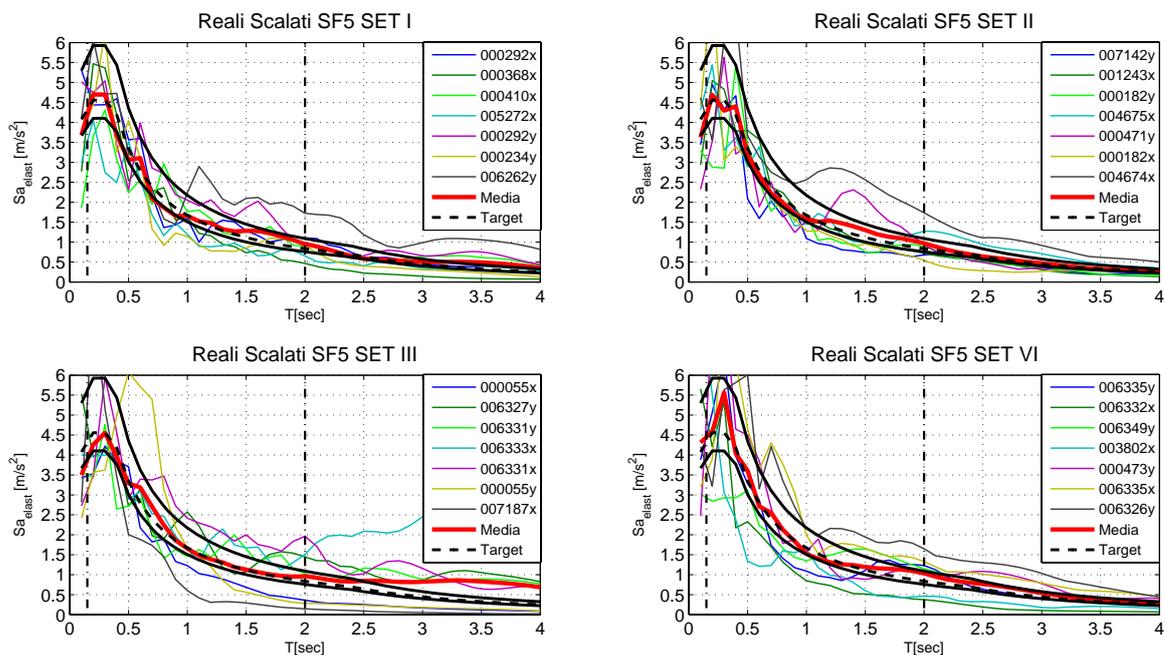
**Tabella 3.3- Deviazioni dei record Reali Scalati SF5 dallo spettro target**

Di seguito sono riportate le informazioni relative ai set selezionati (Tabella 3.4), e la verifica grafica (Figura 3.5) della rispettata compatibilità spettrale nell' intervallo [0.15 – 2 sec.]. E' così ancora possibile osservare, così come accadeva per la categoria RNS un'elevata variabilità dei risultati, anche se in misura minore, soprattutto per periodi medio-bassi.

Comb.	Waveform ID	Earthquake ID	Station ID	Earthquake Name	Date	Mw	Fault Mechanis	Building Type	Instrument Location	Epicentral Distance	Fault Distance	SF	
I	292	146	98	Campano Lucano	23/11/1980	6.9	normal	free-field	ground level, accelerometer shelter	25	10	3.206	
	368	175	143	Lazio Abruzzo	07/05/1984	5.9	normal	free-field	ground level, accelerometer shelter	22	27	3.000	
	410	189	161	Golbasi	05/05/1986	6	oblique	free-field	ground level or basement	29	27	4.918	
	5272	1338	2487	Mt. Vatnafjoll	25/05/1987	6	oblique	free-field	ground level	24	NaN	5.848	
	292	146	98	Campano Lucano	23/11/1980	6.9	normal	free-field	ground level, accelerometer shelter	25	10	3.207	
	234	108	68	Montenegro (aftershock)	24/05/1979	6.2	thrust	free-field	ground level	30	28	2.499	
	6262	1635	2496	South Iceland	17/06/2000	6.5	strike slip	free-field	ground level	31	31	2.848	
II	7142	2309	539	Bingol	01/05/2003	6.3	strike slip	free-field	ground level	14	10	0.646	
	1243	473	575	Izmit (aftershock)	13/09/1999	5.8	oblique	structure relat	ground level	15	NaN	2.640	
	182	87	54	Tabas	16/09/1978	7.3	oblique	free-field	ground level or basement	12	14	0.499	
	4675	1635	2487	South Iceland	17/06/2000	6.5	strike slip	free-field	ground level	13	10	1.459	
	471	227	40	Yrancea	30/05/1990	6.9	thrust	free-field	ground level or basement	6	8	8.037	
	182	87	54	Tabas	16/09/1978	7.3	oblique	free-field	ground level or basement	12	14	0.568	
	4674	1635	2486	South Iceland	17/06/2000	6.5	strike slip	free-field	ground level	5	4	0.604	
III	55	34	20	Friuli	06/05/1976	6.5	thrust	dam related fr	ground level	23	7	0.539	
	6327	2142	2552	South Iceland (aftershock)	21/06/2000	6.4	strike slip	free-field	ground level	24	24	3.241	
	6331	2142	2486	South Iceland (aftershock)	21/06/2000	6.4	strike slip	free-field	ground level	22	22	4.881	
	6333	2142	2487	South Iceland (aftershock)	21/06/2000	6.4	strike slip	free-field	ground level	28	27	9.450	
	6331	2142	2486	South Iceland (aftershock)	21/06/2000	6.4	strike slip	free-field	ground level	22	22	3.673	
	55	34	20	Friuli	06/05/1976	6.5	thrust	dam related fr	ground level	23	7	0.608	
	7187	2322	3311	Avej	22/06/2002	6.5	thrust	free-field	ground level	28	NaN	0.431	
IV	6335	2142	2557	South Iceland (aftershock)	21/06/2000	6.4	strike slip	free-field	ground level	15	15	1.664	
	6332	2142	2483	South Iceland (aftershock)	21/06/2000	6.4	strike slip	free-field	ground level	6	3	0.363	
	6349	2142	2558	South Iceland (aftershock)	21/06/2000	6.4	strike slip	structure relat	ground level	5	3	0.229	
	3802	1226	2368	SE of Tirana	09/01/1988	5.9	thrust	free-field	?	7	6	1.693	
	473	228	40	Yrancea	31/05/1990	6.3	thrust	free-field	ground level or basement	7	NaN	21.822	
	6335	2142	2557	South Iceland (aftershock)	21/06/2000	6.4	strike slip	free-field	ground level	15	15	1.510	
	6326	2142	2496	South Iceland (aftershock)	21/06/2000	6.4	strike slip	free-field	ground level	14	14	1.649	
												SF n	3.276

Tabella 3.4- Dati delle registrazioni reali selezionate per in set RSSF5

Spettri di risposta elastici in accelerazione dei 4 Set Reali Scalati SF5



Spettri di risposta elastici in accelerazione dei 28 records selezionati

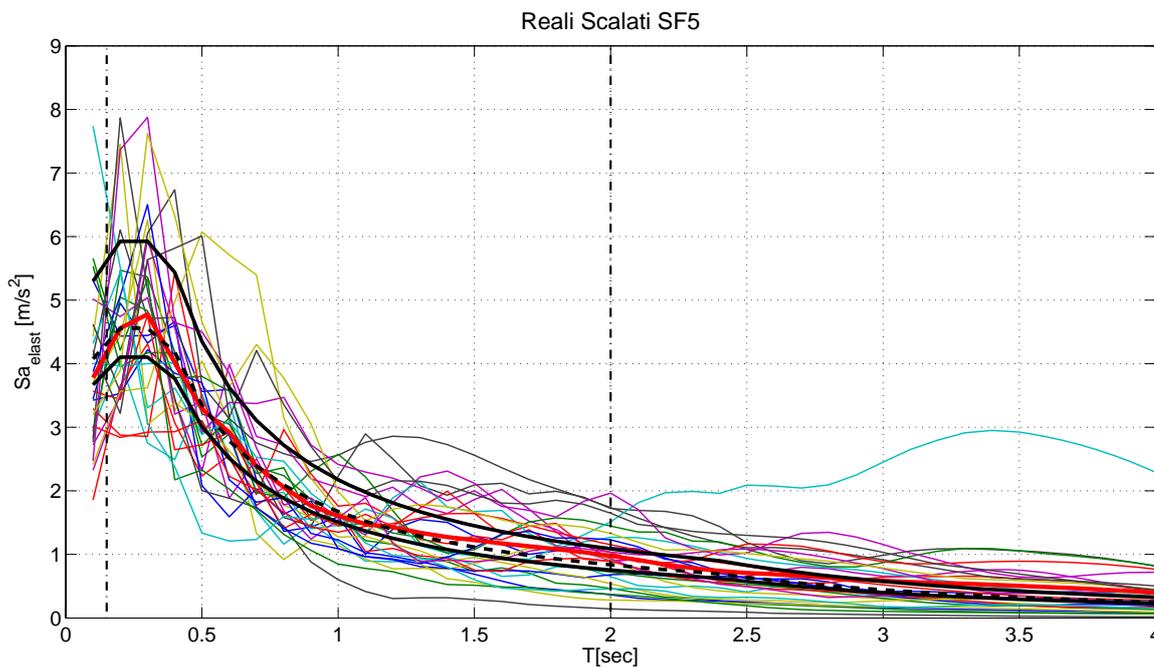


Figura 3.5- Spettri di risposta elastici in accelerazione per la categoria RSSF5

### 3.2.3 Set di reali significativamente scalati (SF12)

Al fine di ampliare il campione, e rendere indipendenti i risultati da eventuali effetti dominanti di alcuni eventi particolari, si è scelto di costruire un nuovo set di accelerogrammi scalati, senza alcun evento in comune con gli RNS. A tal fine, e per facilitare la selezione, si sono scelti intervalli di magnitudo e distanza differenti da quelli RNS, e si sono selezionati, sempre grazie a Rexel, tre set di sette accelerogrammi, ciascuno spettro-compatibile nell'intervallo come prima definito. Al fine di ottenere omogeneità nei confronti, risultava necessario individuare altri sette accelerogrammi senza mutare la condizione di spettrocompatibilità. Per far ciò sono stati selezionati 7 accelerogrammi nell'intervallo di magnitudo [ 5.5-7.8] e distanza [0-50] aventi eventi diversi rispetto agli RNS (e per loro selezione dai 21 già individuati), e sono stati “manualmente” scalati fino a verificare la spettrocompatibilità della media dei 28.

Combinazione	Magnitudo	Distanza Epicentrale
I	5.2– 5.6	0 - 20
II	5.2– 5.6	21 – 30
III	5.2– 5.6	31 – 45
IV	5.5 – 7.8	0 - 50

Come è possibile di seguito osservare (Tab 3.6) delle 28 registrazioni selezionate, ben 21 fanno riferimento a eventi sismici differenti, di cui 5 eventi (e corrispondenti registrazioni) già selezionati nel set RSSF5.

Di seguito sono riportate le deviazioni, come precedentemente definite, il controllo grafico della spettrocompatibilità (Figura 3.6) nell'intervallo definito e i dati caratteristici dei records selezionati:

Scarto $\delta_i$							Scarto $\delta_{medio}$
Combinazione I RSsf12							
005078xa	000383xa	000382ya	005090xa	005086xa	000169xa	005085xa	<b>0.072</b>
0.194	0.278	0.291	0.312	0.315	0.361	0.832	
Combinazione II RSsf12							
005089ya	001891ya	001893ya	000095ya	000642ya	000095xa	005895ya	<b>0.078</b>
0.188	0.248	0.256	0.268	0.293	0.299	0.559	
Combinazione III RSsf12							
004560ya	001899xa	001884ya	001994xa	007089xa	000847xa	005087xa	<b>0.117</b>
0.292	0.321	0.341	0.395	0.402	0.462	0.527	
Combinazione IV RSsf12							
000410xa	005272xa	006761ya	006761xa	001243xa	000471ya	000473ya	<b>0.2068</b>
0.3034	0.5336	0.312	0.5718	0.3229	0.3332	0.366	

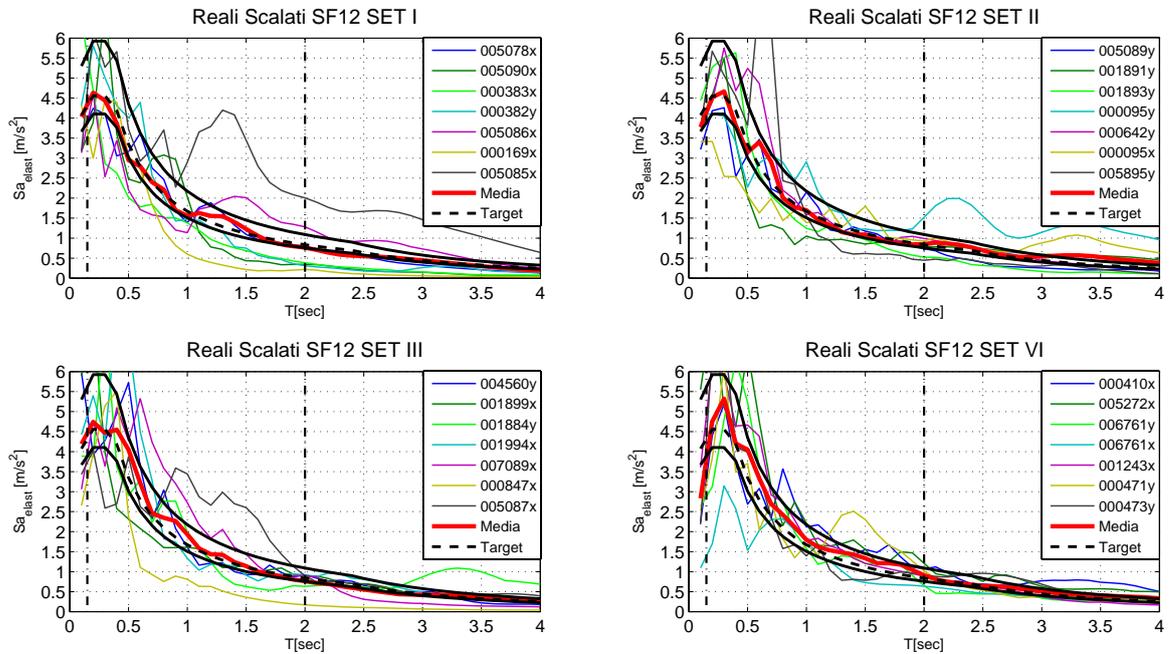
Tabella 3.5- Deviazioni dei record Reali Scalati SF12 dallo spettro target

Comb.	Waveform ID	Earthquake ID	Station ID	Earthquake Name	Date	Mw	Fault Mechanis	Building Type	Instrument Location	Epicentral Distance [km]	Fault Distance [km]	CF	
I	5078	1464	2496	Mt. Hengill Area	04/06/1998	5.4	strike slip	free-field	ground level	18	NaN	14.219	
	5090	1464	2495	Mt. Hengill Area	04/06/1998	5.4	strike slip	structure related free-field	ground level	18	NaN	6.128	
	383	176	153	Lazio Abruzzo (aftershock)	11/05/1984	5.5	normal	free-field	ground level, accelerometer shelter	14	10	9.502	
	382	176	140	Lazio Abruzzo (aftershock)	11/05/1984	5.5	normal	free-field	ground level, accelerometer shelter	16	13	12.811	
	169	80	45	Calabria	11/03/1978	5.2	normal	free-field	ground level, accelerometer shelter	10	NaN	2.539	
	5086	1464	2556	Mt. Hengill Area	04/06/1998	5.4	strike slip	structure related free-field	ground level	15	NaN	8.396	
	5085	1464	2497	Mt. Hengill Area	04/06/1998	5.4	strike slip	structure related free-field	ground level	15	NaN	15.714	
II	5089	1464	2493	Mt. Hengill Area	04/06/1998	5.4	strike slip	free-field	ground level	23	NaN	11.917	
	1891	651	1320	Kranidia	25/10/1984	5.5	?	free-field	basement	23	21	7.382	
	1893	652	1321	Near SW coast of Peloponnes	10/12/1987	5.2	?	free-field	basement	30	NaN	11.385	
	95	52	20	Friuli (aftershock)	17/06/1976	5.2	oblique	dam related free-field	ground level	26	NaN	21.301	
	642	292	225	Umbria Marche (aftershock)	14/10/1997	5.6	normal	free-field	ground level, accelerometer shelter	23	NaN	3.049	
	95	52	20	Friuli (aftershock)	17/06/1976	5.2	oblique	dam related free-field	ground level	26	NaN	19.028	
	5895	1932	1354	Armissa	09/07/1984	5.2	normal	structure related free-field	basement	30	NaN	17.543	
III	4560	1387	727	Bovec	12/04/1998	5.6	strike slip	free-field	tunnel	38	36	19.425	
	1899	657	1323	Gulf of Kiparissiakos	07/09/1985	5.4	oblique	free-field	lower level	37	NaN	9.182	
	1884	229	1312	Filippias	16/06/1990	5.5	thrust	structure related free-field	basement	43	NaN	16.711	
	1994	645	1354	Skydra-Edessa	18/02/1986	5.3	?	structure related free-field	basement	31	NaN	18.973	
	7089	2290	557	Pasinler	10/07/2001	5.4	strike slip	free-field	ground level or basement	32	NaN	9.833	
	847	363	269	Umbria Marche (aftershock)	26/03/1998	5.4	oblique	free-field	ground level, accelerometer shelter	41	NaN	8.620	
	5087	1464	2491	Mt. Hengill Area	04/06/1998	5.4	strike slip	structure related free-field	ground level	32	NaN	28.143	
IV	410	189	161	Golbasi	05/05/1986	6	oblique	free-field	ground level or basement	29	27	5.918	
	5272	1338	2487	Mt. Vatnafjoll	25/05/1987	6	oblique	free-field	ground level	24	NaN	10.848	
	1243	473	575	Izmit (aftershock)	13/09/1999	5.8	oblique	structure related free-field	ground level	15	NaN	3.237	
	471	227	40	Vrancea	30/05/1990	6.9	thrust	free-field	ground level or basement	6	8	8.737	
	473	228	40	Vrancea	31/05/1990	6.3	thrust	free-field	ground level or basement	7	NaN	19.322	
	6761	2222	40	Vrancea	30/08/1986	7.2	thrust	free-field	ground level or basement	49	26	1.439	
	6761	2222	40	Vrancea	30/08/1986	7.2	thrust	free-field	ground level or basement	49	26	1.100	
												SF,	11.117

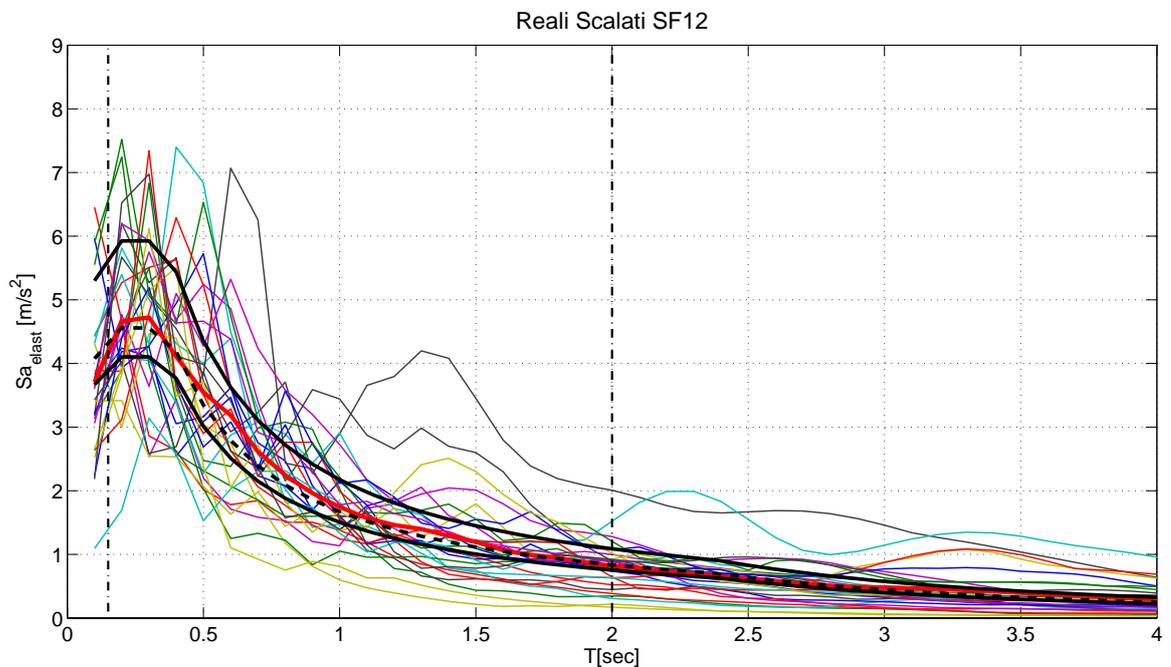
Tabella 3.6- Dati delle registrazioni reali selezionate per in set RSsf12

Si osservi come le dispersioni siano sicuramente minori dei RNS che dei RSSF5, tranne che per il set 4, a causa della loro modalità di selezione.

**Spettri di risposta elastici in accelerazione dei 4 Set Reali Scalati SF12**



**Spettri di risposta elastici in accelerazione dei 28 records selezionati**



**Figura 3.6- Spettro di risposta elastico in accelerazione relativo alla categoria RSSF12**

### 3.2.4 Set di reali modificati con wavelet

Al fine di poter considerare la differenza prestazionale tra accelerogrammi scalati ed accelerogrammi modificati nel dominio del tempo attraverso l'aggiunta di *wavelet*, si decide di modificare il set RNS con il programma RSPMATCH, ampiamente trattato nel capitolo precedente. Così come fatto nei set fino a questo punto analizzati, si decide di migliorare la spettrocompatibilità del set nell'intervallo di periodo [0.15-2sec.]. Come già visto, il software, vuole tale intervallo espresso in frequenze, o meglio in più 'pass' di frequenze, al fine di agevolare la coincidenza tra gli spettri, a meno di una tolleranza precedentemente impostata. In seguito a valutazioni di attendibilità dei risultati e tempi di elaborazione, e coerentemente con quanto espresso nella bibliografia disponibile, si è deciso di utilizzare nel file di input i seguenti parametri:

<b>N° di passi</b>	<b>4</b>
<b>Max numero di iterazioni</b>	<b>15</b>
<b>Tolleranza per max mismatch</b>	<b>0.05</b>
<b>Modello</b>	<b>14</b>
<b>Max numero di wavelet addizionabili</b>	<b>20</b>
<b>Fattore fuori diagonale</b>	<b>0.7</b>
<b>Accelerazione (1-assoluta;2-pseudo)</b>	<b>2</b>
<b>Scale flag (0-no;1-2-si)</b>	<b>0</b>
<b>Minimo valore di controllo sulla convergenza</b>	<b>1.0E-04</b>
<b>Dimensione gruppo</b>	<b>250</b>
<b>Intervallo di frequenza</b>	<b>.....</b>
<b>Fattore di scala</b>	<b>1</b>

**Tabella 3.7(a)- Dati input per la manipolazione dei RNS**

Gli intervalli di frequenza scelti per ogni passo, coerentemente con le raccomandazioni da manuale, sono stati allargati di passo in passo, anche se considerando la piccola dimensione di *matching* scelta (0.15-2 sec) e l'unico livello di smorzamento, risultati molto simili potevano essere ottenuti con un solo step. Infatti tale accortezza è raccomandata, soprattutto se il matching deve essere ottenuto per più valori di smorzamento. Per le finalità dell'elaborato, ci si è accontentati del solo smorzamento standard al 5%, ma per avere termini di paragone con la manualistica raccolta, si è deciso di rispettare comunque tale condizione. In particolare i passi scelti, in Hz, sono:

	<b>Intervallo di frequenza</b>
<b>Passo 1:</b>	<b>5.0 – 7.0</b>
<b>Passo 2:</b>	<b>3.0 – 7.0</b>
<b>Passo 3:</b>	<b>1.0 – 7.0</b>
<b>Passo 4:</b>	<b>0.5 – 7.0</b>

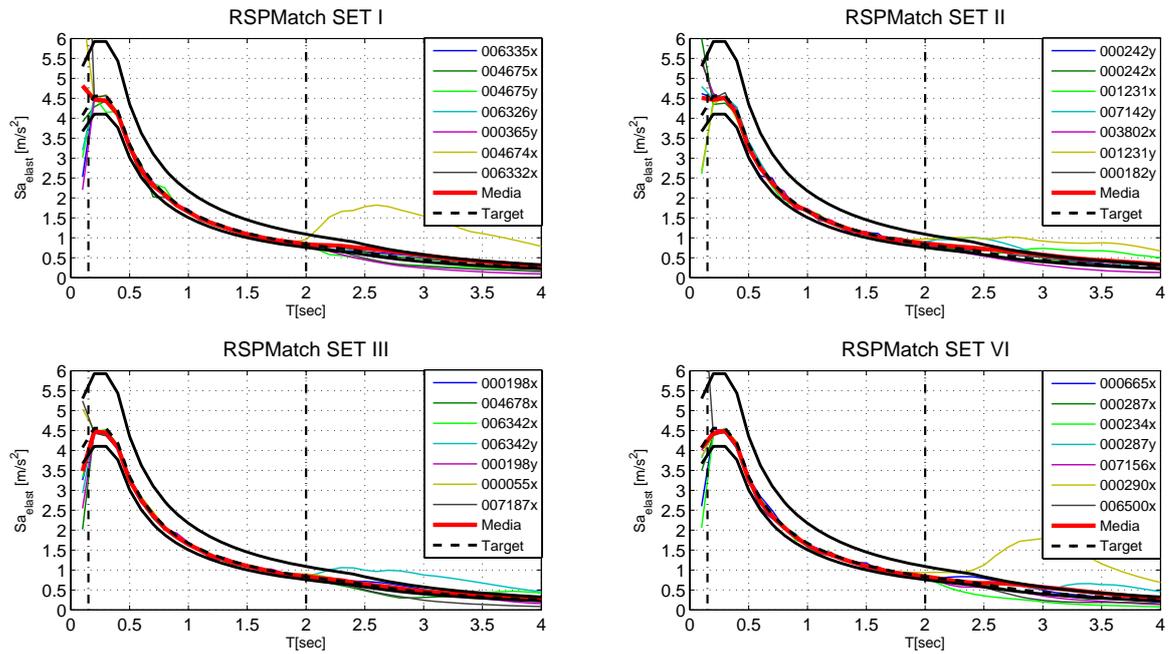
**Tabella 3.7(b)- Dati input per la manipolazione dei RNS**

Per tutti gli accelerogrammi tranne che per i records 000242x, 007187x, 006500x, per i quali, al fine di migliorare la corrispondenza si è scelto di allargare maggiormente l'ultimo intervallo di frequenza (passo 4) a 0.4 - 7.0.

Preparato il file di input, unitamente al file dall'accelerogramma reale, e a quella dello spettro target, RSPMatch genera per ogni passo due file, \*.acc<sub>i</sub> ed \*.rsp<sub>i</sub>, contenenti rispettivamente l'accelerogramma modificato ed il relativo spettro elastico in accelerazione, più un file \*itt in cui sono mostrati i passaggi per la procedura di controllo della soluzione, ovvero riporta pass to pass i valori di 'disallineamento' con lo spettro target (Paragrafo 2.2.3)

Ovviamente, è di interesse l'ultimo step, per cui sono stati estratti dai file \*.acc<sub>4</sub> gli accelerogrammi modificati, i quali si presentano, come era da attenderci molto poco dispersi nell'intervallo d'interesse (Figura 3.7). Si osservi come l'andamento degli spettri sia stato modificato anche al di fuori del range [0.1-2 sec], dove gli spettri comunque sono più 'vicini' al target, ma non rispettano la spettrocompatibilità.

Spettri di risposta elastici in accelerazione dei 4 Set modificati RSPMatch



Spettri di risposta elastici in accelerazione dei 28 records selezionati

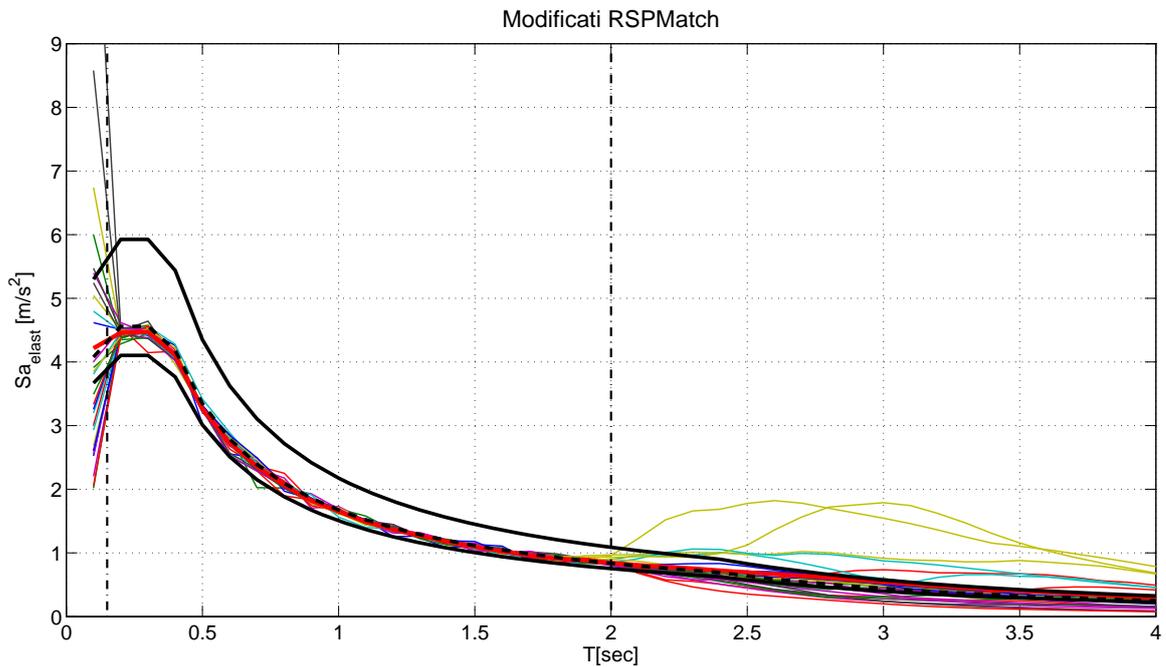


Figura 3.7- Spettro di risposta elastico in accelerazione relativo alla categoria RSPMatch

### 3.2.5 Set di artificiali belfagor (Belfagor)

Gli accelerogrammi Belfagor, sono generati attraverso la procedura messa a punto da Sabetta e Pugliese, già illustrata nel capitolo precedente 2. I parametri di input richiesti dal programma per la generazione della time-history, possono essere divisi in tre tipologie:

1. Caratteristiche della serie temporale
  - 1.1 Time step
  - 2.1 Start time
  - 3.1 Final time
2. Caratteristiche dell'evento che si vuole simulare
  - 1.2 Shallow alluvium
  - 2.2 Deep alluvium
  - 3.2 Distance from source
  - 4.2 Magnitudo
3. Parametri di convergenza
  - 1.3 stop after this many iterations
  - 2.3 stop RSM is less that
  - 3.3 N. of leading 0's before timehistory

L'output è contenuto in una cartella (Belfagor ⇒ src ⇒ data) e suddiviso in 5 file excel:

- correctedfft ⇒ Trasmormata di Fourier corretta dal segnale.
- correctesignal ⇒ Segnale corretto nel dominio del tempo (Time History).
- Responsespectrum ⇒ Contiene lo spettro di risposta relativo alla time-history generata.  
In particolare esso è espresso come n coppie frequeza-accelerazione  
[1/T – S<sub>e</sub>\*9,81\*100].
- sabettapugliese ⇒ Restituisce lo spettro di Sabetta&Pugliese, in formato frequenza-accelerazione.
- signalfft ⇒ Trasformata di Fourier del segnale.

Sono così stati generati 28 accelerogrammi, con parametri di input opportunamente scelti, uguali per tutte e ventotto le registrazioni generate, salvo che per i parametri 3.2 e 4.2, ovvero scegliendo differenti valori di coppie Magnitudo-Distanza. Successivamente generato l'accelerogramma, è stata assicurata la spettrocompatibilità con lo spettro target

mediante la procedura di “Adjust to 5% response spectrum”. Il programma consente di verificare graficamente la riuscita (o non riuscita) operazione di “adattamento” nel piano di Fourier, indicando anche se si è raggiunto, e con che tolleranza, il valore di RSM desiderato. Tale visualizzazione, risulta utile ed indispensabile, perché se l’adattamento non è sufficiente, l’utente deve ripetere l’operazione, fin quando il valore di RSM non va “sotto soglia”. E’ ovvio che se si scelgono coppie di magnitudo-distanza compatibili con il valore di  $a_{g,max}$  atteso, 1-2 aggiustamenti bastano a garantire la spettrocompatibilità, mentre qualora quest’accortezza non venga considerata, occorrono maggiori iterazioni (8-10). Nel caso in esame, al fine di rendere quanto più generale possibile il set, e compatibilmente alle caratteristiche delle altre 5 categorie esaminate, sono stati scelti per la generazione i parametri riportati in tabella 3.8

Parametri di input per la generazione degli artificiali Belfagor (1-28)	
Stop after this many iterations	30
Shallow alluvium [ 0 or 1]	0
Time step [sec]	0.005
Start time [sec]	1
Deep alluvium [ 0 or 1]	0
N.of leading 0's befor timehistory	100
Italian CSV conversion [0 or1]	0
Distance from Source [km]	.....
Magnitudo	.....
Stop when RMS is less than	25
Final time [sec]	21.48

	Magnitudo	Distanza	N°di iterazioni per la spettrocompatibilità
Eartquake 1	5.1	10	2
Eartquake 2	6.5	13	2
Eartquake 3	5.3	13	4
Eartquake 4	8	5	8
Eartquake 5	7	8	8
Eartquake 6	6.5	5	2
Eartquake 7	8	30	2
Eartquake 8	5.8	5	2
Eartquake 9	6.1	12	2
Eartquake 10	7.6	9	2
Eartquake 11	6.3	14	2
Eartquake 12	5.9	7	2
Eartquake 13	7.6	29	3
Eartquake 14	7.3	12	2
Eartquake 15	5.4	30	2
Eartquake 16	6.9	23	2
Eartquake 17	6.2	30	3
Eartquake 18	7.4	5	8
Eartquake 19	5.9	21	7
Eartquake 20	6.9	32	6
Eartquake 21	7.2	23	2
Eartquake 22	6.3	27	2
Eartquake 23	6.5	32	5
Eartquake 24	6.4	20	3
Eartquake 25	6.7	18	3
Eartquake 26	7.3	26	3
Eartquake 27	6.5	23	3
Eartquake 28	6.5	28	4

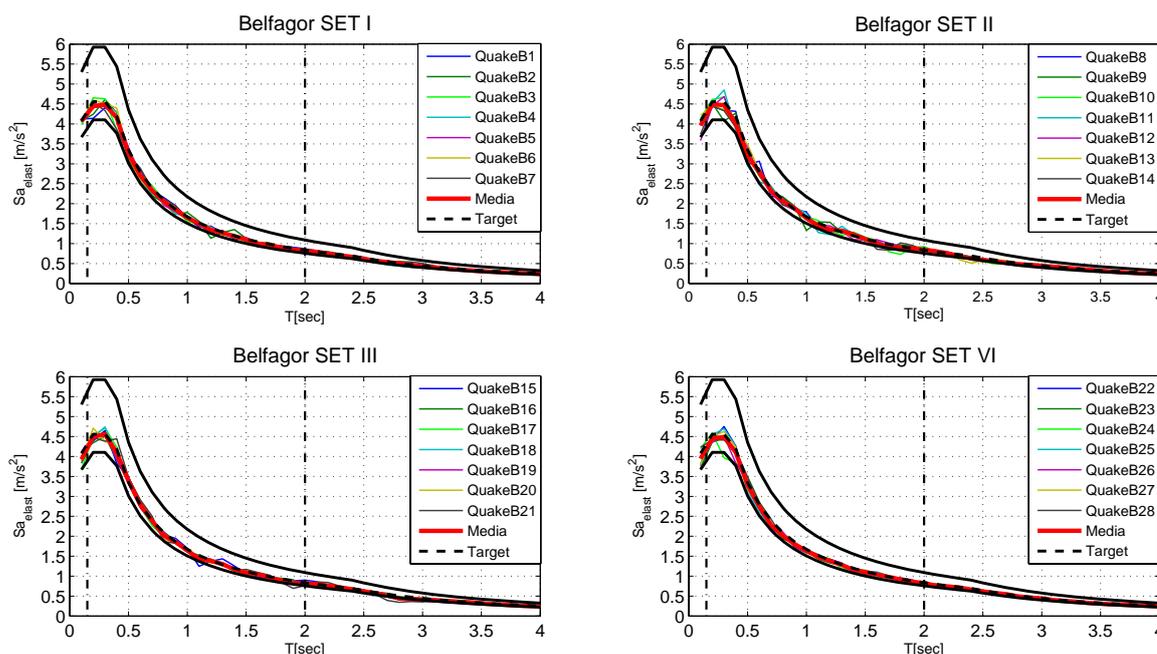
**Tabella 3.8- Dati input per la generazione di artificiali Belfagor**

Gli accelerogrammi ottenuti, generati uno ad uno, sono ciascuno spettro-compatibile con lo spettro campione, per cui questi, a differenza degli RNS (ed anche RSsf5; RSsf12) presentano una dispersione molto bassa. Si sottolinea inoltre che Belfagor assicura la compatibilità nell’intero intervallo in cui lo spettro target è stato definito, ed è per questo motivo che tale condizione, a differenza di quanto fatti per i set RNS, RSsf5, RSsf12, è rispettata nell’intero intervallo [0.1 – 4 sec], come appare evidente dalla Figura 3.8.

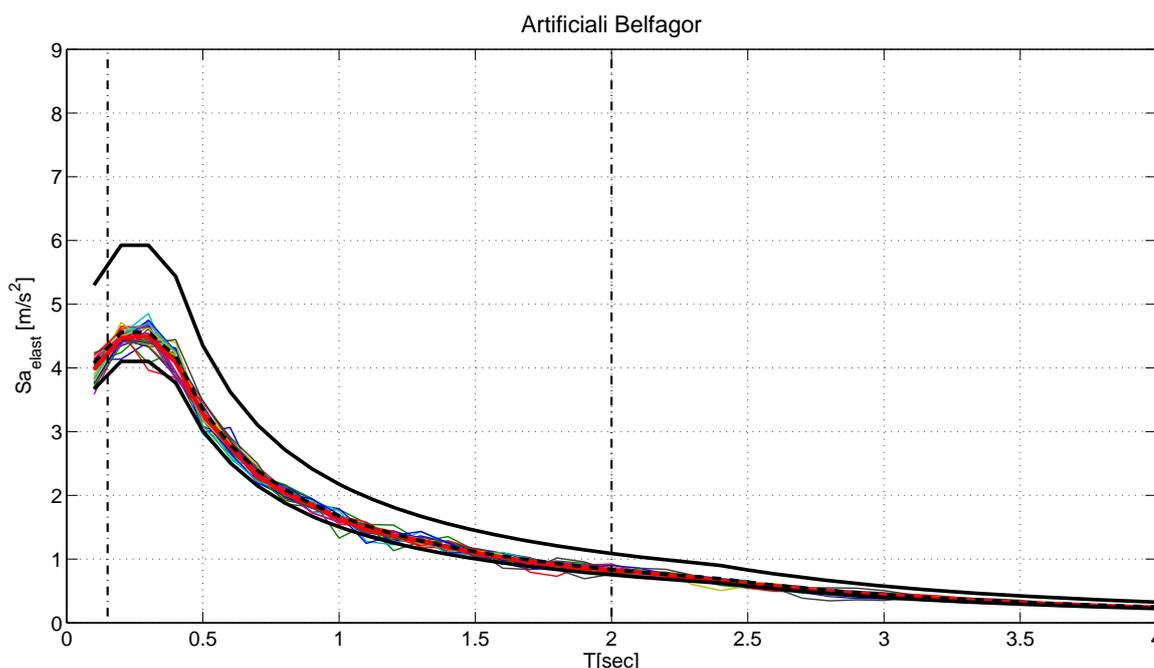
Va evidenziato che la durata della registrazione è di 20.48 secondi campionate per un  $t$  pari a 0.005 secondi; a rigore la durata di tali record generati non rispetta la durata minima richiesta dalla normativa (25 secondi).

Si osservi (Figura 3.8) che la suddivisione in Set è effettuata per consistenza con le restanti categorie, poiché i record sono stati generati spetrocompatibili uno ad uno, per cui il raggruppamento in set è puramente formale.

**Spettri di risposta elastici in accelerazione dei 4 Set artificiali Belfagor**



**Spettri di risposta elastici in accelerazione dei 28 records selezionati**



**Figura 3.8- Spettro di risposta elastico in accelerazione relativo alla categoria Belfagor**

### 3.2.6 Set di artificiali simqke (Simqke)

Diversamente da quanto visto per gli artificiali Belfagor, per la generazione degli accelerogrammi Simqke non sono richiesti parametri quali Magnitudo e Distanza. Infatti, al loro posto, il software, che si differenzia notevolmente nella generazione degli accelerogrammi, come si è visto nel capitolo precedente, richiede all'utente direttamente il valore della PGA (parametro AGMX), ovvero, deduce tale valore dallo spettro di risposta, che l'utente definisce prima di procedere alla generazione. Tale definizione, può essere eseguita definendo parametri quali "Seismic Zone", "Spectrum Type", "Ground Type", valutati secondo le direttive dell'OPCM3431, oppure richiamando un file \*.doc (file → import spectrum) contenente le n coppie Periodo (in sec) -Pseudo accelerazione (in g). Poiché lo spettro campione è stato valutato secondo le recenti norme NCT, ovviamente nel caso in esame ci si è affidati alla seconda opzione, richiamando lo spettro così come valutato da Rexel (§3.1). Importato lo spettro target, sono stati definiti i parametri richiesti dal programma, coerentemente alle decisioni prese per le precedenti categorie di set.

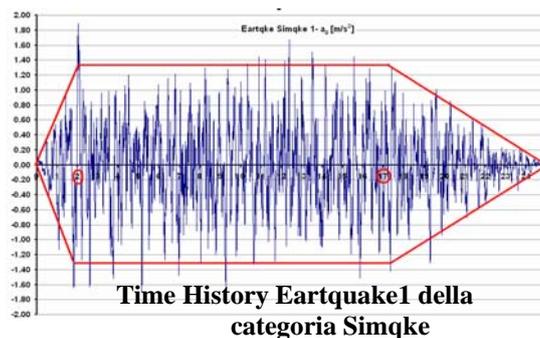
SIMQKE			
TS	0.02	§ NCYCLE	30
TL	4	§ AGMX	0.192 g
TRISE	2	§ NPA	28
TLVL	15	§ IIX	1235
DUR	25	§ AMOR	0.05

**Tabella 3.9- Dati input per la generazione di artificiali Simqke**

Infatti, anche in questo caso, il numero di iterazioni è posto pari a 30 (NCYCLE) e la spettro-compatibilità è stata assicurata in tutto il range di periodo [0.02 – 4sec], considerando un coefficiente di smorzamento viscoso del 5% (AMOUR). A differenza di Belfagor, Simqke ha

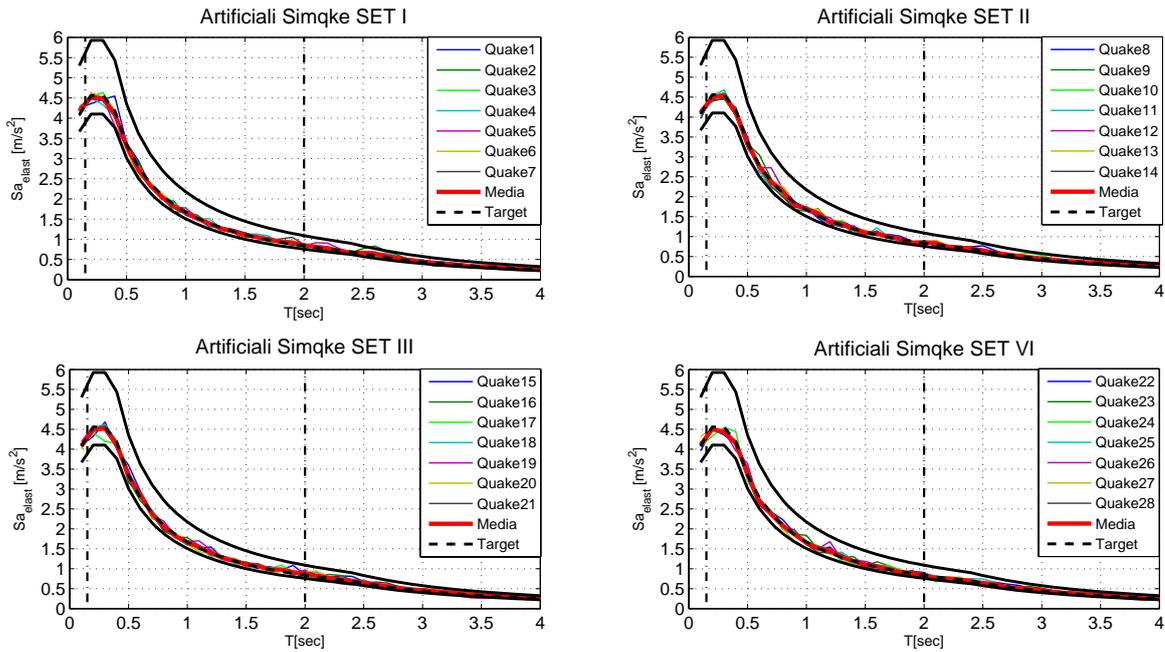
permesso di generare direttamente i 28 accelerogrammi (NPA), riducendo notevolmente i tempi di generazione.

Come già notato al paragrafo (§2.1.2) gli accelerogrammi generati dal software hanno carattere stazionario, legato all'assunzione teoricamente costante della funzione di potenza di densità spettrale  $G(\omega)$  per tutte le frequenze. Per simulare il carattere transitorio, le "steady-state motions" sono moltiplicate per una legge d'involuppo, definibile dall'utente attraverso la definizione dei parametri TRISE e TLVT (>10sec, per normativa), ovvero l'inizio della parte stazionaria e la durata di essa.

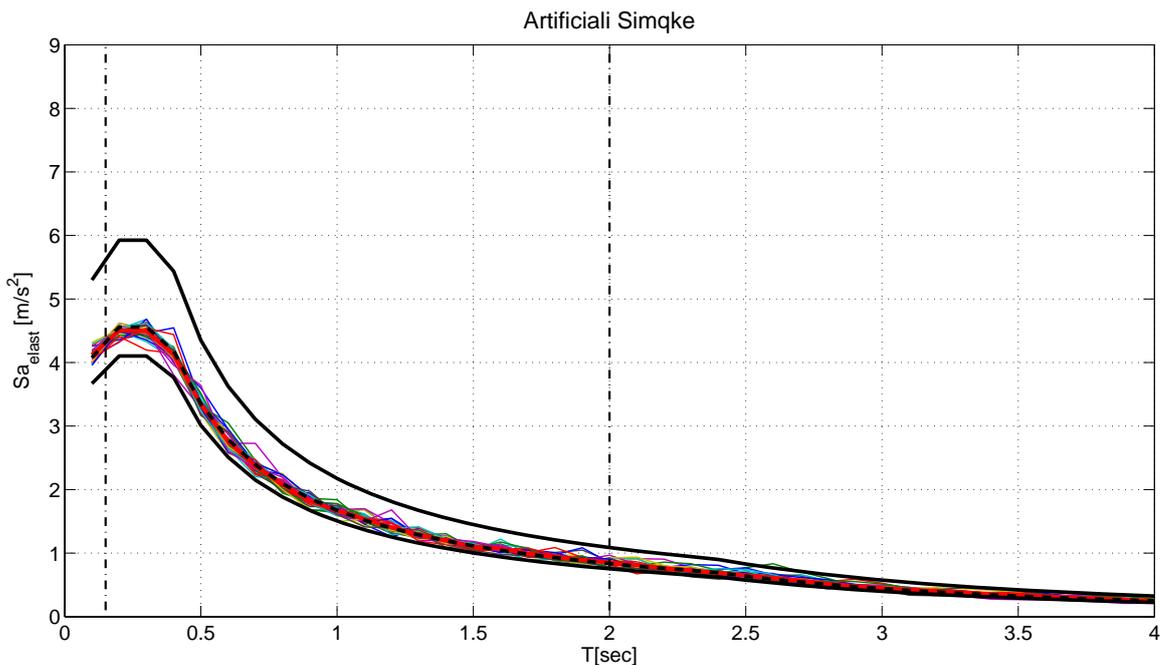


Anche in questo caso, inoltre, gli spettri elastici risultano molto prossimi a quello target (Figura 3.9) e verificano ampiamente la spettrocompatibilità, come evince chiaramente dalla Figura 3.9 . In tale caso la durata delle registrazioni generate rispetta la normativa (25 secondi ) e i segnali risultano campionati ad un  $\Delta t$  pari a 0.01 secondi.

**Spettri di risposta elastici in accelerazione dei 4 Set Artificiali Simqke**



**Spettri di risposta elastici in accelerazione dei 28 records selezionati**



**Figura 3.9-** Spettro di risposta elastico in accelerazione relativo alla categoria Simqke

### 3.3- Caratterizzazione delle registrazioni accelerometriche

Un accelerogramma contiene una grande quantità di informazioni, che ne caratterizza il sistema di riferimento. Tali informazioni, ricavate da una registrazione, possono essere sintetizzate in una serie di parametri, ciascuno dei quali, però non può compiutamente descrivere, da solo, tutte le caratteristiche del moto sismico.

Le informazioni utili ai fini ingegneristici riguardano essenzialmente:

- Ampiezza
- Contenuto in frequenze
- Durata
- Parametri d'intensità
- Parametri di Danno

#### Grandezze di Ampiezza

L'Ampiezza, descritta, comunemente e compiutamente utilizzando l'intera time history del moto in termini di accelerazione, velocità e spostamento, dove una (generalmente l'accelerazione) viene misurata direttamente e le altre ricavate per successive integrazioni o derivazioni. La valutazione dei parametri di picco, in termini assoluti, risulta sicuramente la più semplice per caratterizzare l'evento sismico:

- PGA massimo valore di accelerazione dell'i-esimo accelerogramma
- PGV massimo valore di velocità dell'i-esimo accelerogramma
- PGD massimo valore di spostamento dell'i-esimo accelerogramma

Purtroppo tali parametri di picco, ed in particolare la PGA, non consentono una valutazione esaustiva del potenziale di danno, anche se la PGA è il parametro maggiormente utilizzato per descrivere i terremoti. Infatti è noto che eventi caratterizzati da elevati valori di '*peak ground acceleration*' possono anche non produrre danni strutturali apprezzabili, mentre terremoti con PGA molto bassi possono essere anche molto distruttivi. Più indicativa è la PGV in quanto strettamente connessa all'intensità sismica. Il rapporto  $PGA/PGV$  rappresenta un altro indicatore molto interessante del potenziale di danno di una registrazione accelerometrica. Studi sismologici hanno mostrato che l'attenuazione del valore massimo della velocità con la distanza è generalmente più lenta di

quella dell'accelerazione. Come risultato si ha che il rapporto  $PGA/PGV$  è più alto vicino all'epicentro e diminuisce al crescere della distanza.

### **Stima del contenuto in frequenze**

Il Contenuto in frequenze, descrive come le ampiezze del moto sismico siano distribuite tra le varie frequenze. Tale analisi completa, unitamente alla misura di ampiezza, la descrizione del moto sismico, in quanto la risposta dinamica delle strutture dipende fortemente oltre che dall'intensità dei carichi applicati anche dalle relative frequenze in relazione alla propria. Il contenuto in frequenze può essere ottenuto attraverso:

- lo spettro di Fourier, che esprime al variare della frequenza/periodo come variano le ampiezze/fasi delle singole armoniche ricavate dalla trasformata di Fourier;
- la funzione di densità spettrale di potenza, che esprime al variare della frequenza l'intensità del moto sismico;
- lo spettro di risposta elastico, che esprime la massima risposta di un sistema ad un grado di libertà elastico al variare del periodo proprio e del rapporto di attenuazione.

Si osservi che gli spettri di Fourier in termini di ampiezza e di fase e quello di potenza bastano da soli a descrivere completamente il moto sismico, mentre quello di risposta, anche se in maniera semplificata, tende più a valutarne gli effetti e quindi ha un maggiore interesse ingegneristico.

### **Parametri di durata**

La durata di un evento sismico si presenta di difficile definizione e va distinta dalla durata della registrazione. Infatti, ai fini ingegneristici interessa solo la porzione 'strong motion' dell'accelerogramma per cui deve essere intesa come la durata relativa a tale porzione. In letteratura esistono differenti definizioni, alcune delle quali cercano di relazionare tale parametro al contenuto energetico. Bommer e Martinez-Preira [1999], definiscono tre famiglie differenti:

Bracketed Duration, ovvero l'intervallo di tempo compreso tra il primo e l'ultimo superamento di una soglia di accelerazione (o meglio del suo quadrato), solitamente posto pari a 0.05 g (od anche 5% PGA).

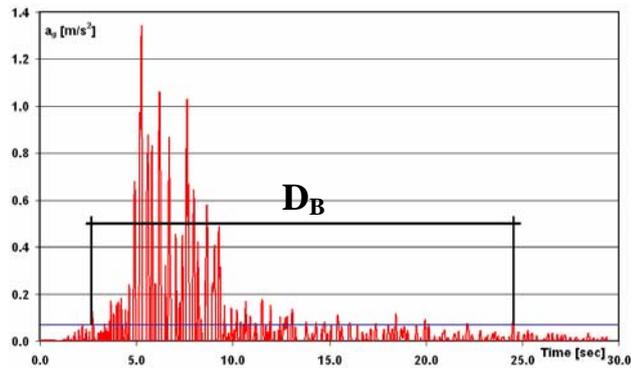


Figura 3.10- Esempio di Bracketed Duration [Bommer e Martínez Pereira ,1999]

Uniform Duration, ovvero il tempo totale, inteso come somma degli intervalli, durante il quale l'accelerazione è di dimensioni superiori a un determinato valore di soglia, di solito il 5% della PGA.

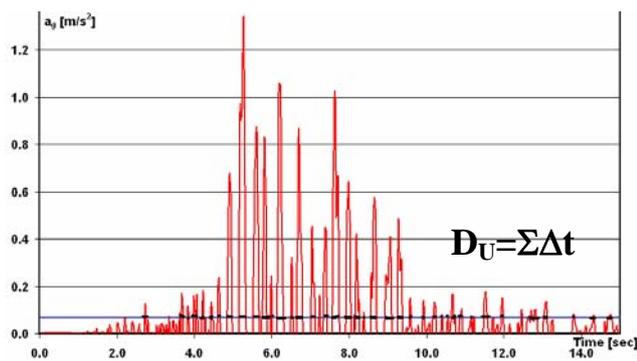


Figura 3.11- Esempio di Uniform Duration [Bommer e Martínez Pereira ,1999]

Significant Duration, ovvero l'intervallo di tempo compreso tra gli istanti in cui l'energia complessiva registrata passa dal 5% al 95%.

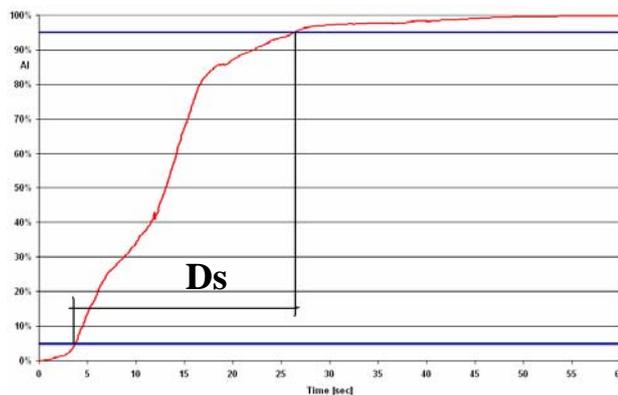


Figura 3.12- Esempio di Significant Duration [Bommer e Martínez Pereira ,1999]

Quest'ultima presenta il vantaggio di considerare l'intero accelerogramma e di definire una finestra continua in cui il sisma può effettivamente ritenersi significativo. Viceversa accade per la durata uniforme, la quale, per sua definizione, non porta alla valutazione di una finestra temporale continua durante la quale sia possibile considerare sufficientemente intenso il terremoto. Infine la Bracketed duration considerando solo il primo e l'ultimo picco che superano il valore prefissato di  $a_g$ , ignora completamente le caratteristiche delle diverse fasi che compongono l'evento, il quale potrebbe essere caratterizzato da una serie di piccoli eventi accorsi a seguito della scossa principale.

### Parametri d'intensità

Esistono, tutta una serie di altri parametri, di tipo integrale, che riflettono contemporaneamente più aspetti. Essi sono essenzialmente basati sulla radice quadrata media dell'accelerazione, della velocità o dello spostamento, e consentono una misura più efficace del contenuto energetico del sisma. Tra i molti parametri d'intensità presenti in letteratura i più utilizzati sono:

Accelerazione RMS ( $a_{rms}$ ) e rispettive omologhe in termini di velocità e spostamento, definite come:

$$a_{rms} = \sqrt{\frac{1}{T_r} \int_0^{T_r} a^2(t) dt}; \quad v_{rms} = \sqrt{\frac{1}{T_r} \int_0^{T_r} v^2(t) dt}; \quad d_{rms} = \sqrt{\frac{1}{T_r} \int_0^{T_r} d^2(t) dt}; \quad (3.2)$$

Tale parametro riflette sia il contenuto in frequenza che l'ampiezza del moto sismico. Essa non è influenzata dai picchi ad alta frequenza ma dipende dalla definizione della durata. E' inoltre possibile analogamente valutare le  $v_{rms}$  e  $d_{rms}$ ;

Intensità di Arias ( $I_A$ ) definita come:

$$I_A = \frac{\pi}{2g} \int_0^{t_f} [a(t)]^2 dt \quad (3.3)$$

Tale parametro riflette, anch'esso sia il contenuto in frequenze che l'ampiezza del moto sismico, ma non è influenzata dal criterio adottato per definire la durata *strong motion*, dipendendo dall'intera durata della registrazione. Come è evidente dalla sua espressione

originale  $I = \int_0^{\infty} E d\omega$ , essa è una funzione dell'energia dissipata, mentre è indipendente dal valore di smorzamento del sistema.

Intensità dello spettro di risposta (SI) in termini di accelerazione e velocità, definite come:

$$ASI = \int_{0.1}^{0.5} Sa(\zeta, T) dT \quad ; \quad VSI = \int_{0.1}^{2.5} Sv(\zeta, T) dT \quad (3.4)$$

Tale parametro riflette sia il contenuto in frequenze che l'ampiezza del moto sismico, in un range del periodo  $T$  nel quale sono contenuti i periodi fondamentali di gran parte delle strutture. Essa può essere calcolata per ogni valore del rapporto di smorzamento  $\xi$

### Parametri di Danno

In generale, se si è interessati alla risposta in termini di duttilità, le ordinate spettrali sono sufficienti, mentre se si è interessati alla valutazione della risposta ciclica sono più indicati parametri d'integrazione del segnale, quali ad esempio Intensità di Arias ( $I_A$ ), o la durata significativa ( $S_d$ ). Infatti molti studi [e.g., Iervolino et al., 2006; Bojòrquez et al., 2006] mostrano come la durata del moto o parametri basati sull'energia influenzino la risposta strutturale non lineare.

Tuttavia questi parametri, in particolare quelli di picco non sono in grado di fornire indicazioni esaustive circa il potenziale di danno di un evento sismico, che è poi l'aspetto più importante di uno studio sismico. La valutazione del danno causato da una data eccitazione, è strettamente legato al numero di cicli plastici ed alla loro ampiezza. Un ottimo strumento per una stima di questi valori è l'**Indice di Cosenza e Manfredi** [Cosenza e Manfredi, 1997; Manfredi, 2001]. Tale parametro è definito come:

$$I_D = \frac{I_A \cdot \frac{2g}{\pi}}{PGA \cdot PGV} = \frac{\int_0^{t_f} a^2(t) dt}{PGA \cdot PGV} \quad (3.5)$$

Essendo  $I_D$  collegato al numero di cicli plastici, è messo in relazione con il contenuto energetico dell'evento sismico, infatti confronti con i risultati ottenuti da numerosi accelerogrammi italiani e stranieri hanno, infatti, evidenziato la stretta correlazione tra il

valore assunto da  $I_D$  e l'energia dissipata dalla struttura [Manfredi, 2001]. Inoltre, come sarà mostrato più avanti, esso permette di tenere in considerazione la distribuzione dei cicli plastici attraverso l'individuazione del numero di cicli plastici, ed il valore medio della loro distribuzione.

Nel caso in esame, per la caratterizzazione delle sei categorie investigate, si è scelto di valutare le distribuzioni dei seguenti parametri:

- PGA massimo valore di accelerazione dell'*i*-esimo accelerogramma
- PGV massimo valore di velocità dell'*i*-esimo accelerogramma
- PGD massimo valore di spostamento dell'*i*-esimo accelerogramma
- Spettri di risposta elastici (capitolo 5)
- Spettri di risposta inelastici (capitolo 5)
- Bracketed Duration
- Significant Duration
- Intensità di Arias
- Indice di danno

### **3.4.1- Analisi dei parametri di Ampiezza**

Si osservi che per le categorie RSSF5 e RSSF12, data la procedura di scalatura adoperata da Rexel, ovvero scalare linearmente l'accelerogramma secondo un fattore tale che la massima accelerazione del record corrisponda alla PGA dello spettro target, non aveva senso considerare i parametri PGA PGV PGD degli accelerogrammi scalati, in quanto corrispondenti ai valori di ancoraggio dello spettro di riferimento. Per questo per ambedue le categorie, e per questi tre parametri, sono state considerati i valori dedotti dagli accelerogrammi naturali ovvero prima di scalarli linearmente. Inoltre, i due suddetti set scalati, in termini di PGA, si presentano molto differenti, sia in termini medi che di dispersione. Infatti mentre i RSSF5 hanno un valore medio molto prossimo alla  $PGA_{target}$  ma con una dispersione molto elevata ( $dev.st.=1.93$ ;  $PGA_{mean,RSSf5}=1.79$ ), le registrazioni RSSF12 presentano un valore di PGA e dispersione più bassa ( $PGA_{mean,RSSf12}=0.234$ ;  $dev.st.=0.30$ ).

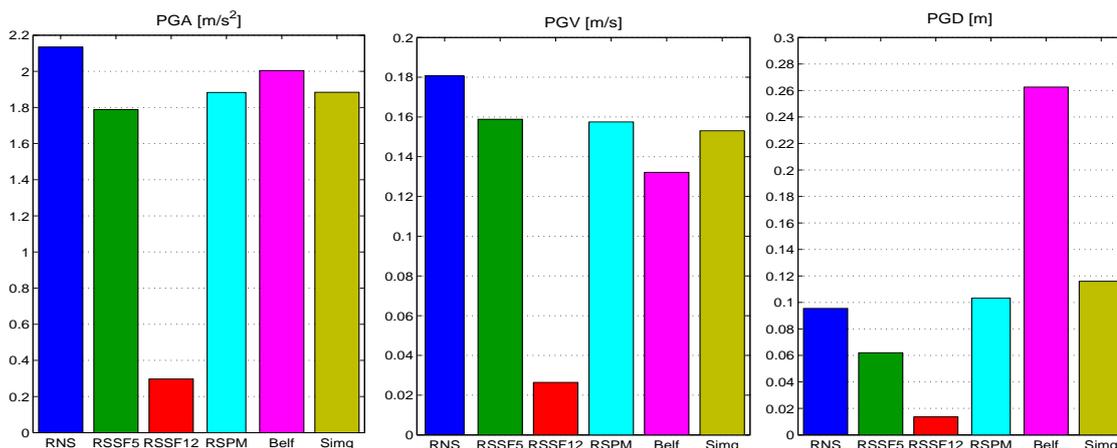


Figura 3.13- Valori medi dei parametri di picco per le sei categorie investigate

Invece, per le registrazioni RNS la PGA è superiore di circa il 15% rispetto alla  $PGA_{target}$ , imputabile al fatto di aver scelto un intervallo di compatibilità spettrale 0.15-2 sec, per cui non è stata assicurata la spetrocompatibilità a periodo nullo. Si osservi, comunque che pur non avendo avuto tale accortezza, in riferimento al limite superiore del 30%, tutte le categorie reali, e vedremo anche le artificiali, soddisfano a  $t=0$  la spetrocompatibilità. Inoltre, si noti come i RNS presentino una dispersione elevata (dev.st.=1.25), nonostante il fatto che tutti e quattro i set (Figura 3.4) mostrano valori molto prossimi alla media totale. Ciò ad indicare che la dispersione dei valori è insita nel set. Invece, entrambe le categorie reali scalate, a monte dell'operazione di scala, presentano differenze significative anche tra set.

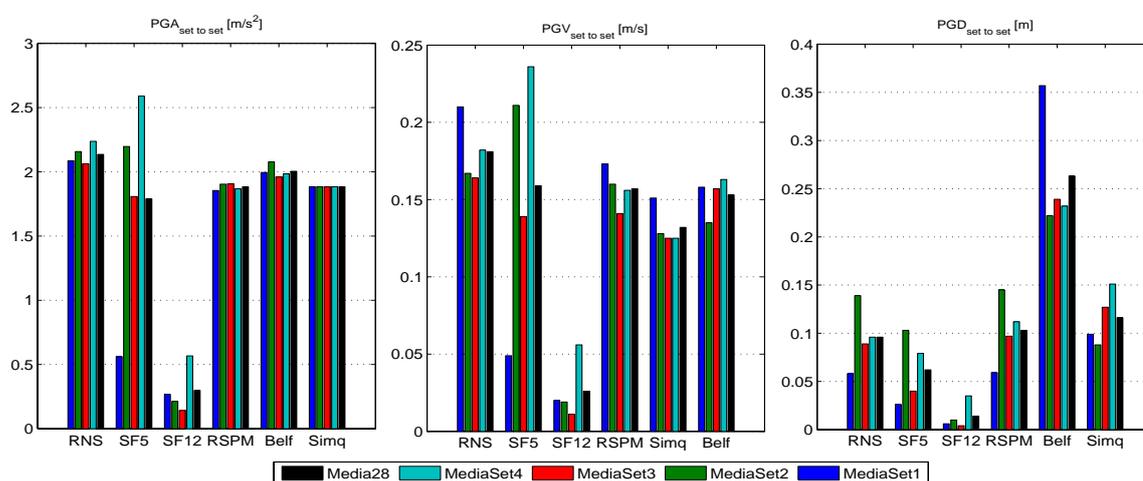
Par.Picco		RNS	RSSF5	RSSF12	SRPMatch	Belfagor	Simqke
PGA [m/s <sup>2</sup> ]	Media	2.1353	1.7885	0.2974	1.8832	2.0041	1.8841
	Dev.ST.	1.2543	1.9265	0.3038	0.4465	0.0718	0.0000
PGV [m/s]	Media	0.1807	0.1589	0.0264	0.1575	0.1322	0.1531
	Dev.ST.	0.1150	0.1959	0.0328	0.0365	0.0192	0.0216
PGD [m]	Media	0.0955	0.0620	0.0136	0.1032	0.2626	0.1160
	Dev.ST.	0.1063	0.0750	0.0277	0.1095	0.2084	0.0716

Tabella 3.10- Media e deviazioni Standard dei parametri di picco

Le registrazioni artificiali Simqke, invece, presentano tutte lo stesso valore di PGA (Allegato1) corrispondente alla  $PGA_{target}$ , ciò era atteso, data la procedura di generazione del programma (cfr Capitolo 2). Lo stesso accade per i Belfagor, anche se il valore di tale parametro risulta superiore di appena il 6% rispetto alla  $PGA_{target}$  e presenta una dispersione trascurabile. Come era da attenderci, inoltre, per queste due categorie, in

riferimento ai parametri di picco, non sono presenti significative differenze *set to set*, eccetto che per la PGD.

Si osservi, infine che la categoria RSPMatch, presenta risultati, molto incoraggianti, con una PGA media molto prossima al valore target, nonostante, non sia stato eseguito il match a  $T=0$ . Ciò è dovuto al fatto che la PGA di partenza era alquanto vicina a quella target (15% superiore, perché è quella dei RNS), ed anche perché le *wavelet* aggiunte alla registrazione, ovviamente, generano delle variazioni sullo spettro non solo nell'intervallo di *matching*, ma anche al di fuori di esso. Purtroppo, come espresso già in precedenza "l'*adjustment*" non è facilmente controllabile, infatti si osservi che la modifica *set to set* non è proporzionale; ad esempio la  $PGA_{RNS,SET4}$  è superiore ai restanti tre set della stessa categoria, mentre la  $PGA_{RSPMatch,SET4}$  è inferiore.



**Figura 3.14- Parametri di Picco set to set**

Anche in termini di PGV e PGD, le registrazioni modificate con *wavelet*, sono mediamente molto prossime ai valori relativi agli RNS, mentre lo stesso non vale per la categorie di registrazioni artificiali Belfagor. Infatti soprattutto in termini di PGD, si può osservare come le registrazioni Belfagor mediamente sovrastimano, rispetto alle altre categorie e soprattutto rispetto ai RNS, il valore di picco dello spostamento.

Come già detto, però, tali parametri di picco non permettono una definizione esaustiva del potenziale di danno di un terremoto, anzi possono dare anche indicazioni fuorvianti, per cui si procede alla valutazione di grandezze in grado di dare informazioni più complete.

### 3.2.2- Analisi dei parametri d' Intensità e di Danno

Tra i differenti parametri d'intensità presenti in letteratura, alcuni dei quali riportati al §3.1.4 , si è scelto di calcolare nel presente lavoro l'intensità di Arias (3.3), in quanto non solo è un parametro puntuale ma risulta anche di facile determinazione in quanto valutabile senza passare per gli spettri ed è, inoltre, strettamente connesso, come si è visto, ad altri interessanti parametri di seguito analizzati come l'energia dissipata e l'indice di Cosenza-Manfredi (3.5).

Valutando questi due parametri,  $I_A$  ed  $I_D$ , per ciascuno dei record selezionati/generati, si osserva che l'intensità di Arias per tutte le categorie presenta deviazioni standard basse, mentre una dispersione maggiore si può osservare per l'indice  $I_D$ .

Par.Intensità/danno		RNS	RSSF5	RSSF12	SRPMatch	Belfagor	Simqke
IA [m/s]	Media	0.6120	0.3968	0.4317	0.4420	0.5727	1.0590
	Dev.ST.	0.5681	0.1466	0.1866	0.2349	0.1029	0.0339
ID	Media	8.7210	7.9609	8.8940	9.5519	13.7252	23.3673
	Dev.ST.	3.5099	3.4234	4.1796	4.3312	2.8113	3.3109

Tabella 3.11- Media e deviazioni Standard dei parametri di Intensità/Danno

Gli accelerogrammi Simqke presentano in media valori di intensità di Arias, di gran lunga superiori alle restanti categorie. Tale risultato, era atteso, e perfettamente concorde con la bibliografia esistente nella quale spesso si sottolinea l'elevato contenuto energetico di queste registrazioni. Minore, invece sono i valori mostrati dagli accelerogrammi non stazionari Belfagor, che in termini di  $I_A$  sono più vicini alle registrazioni reali, ma in termini di  $I_D$  assumono valori ad essi superiori.

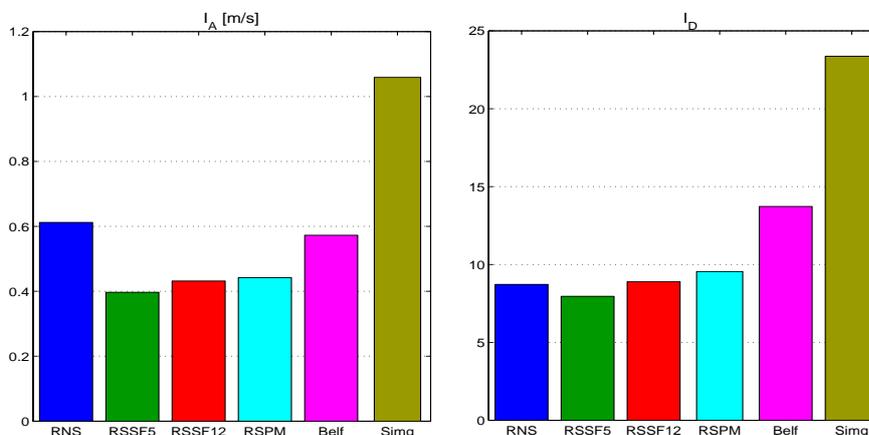


Figura 3.15- Valori medi dei parametri  $I_A$  ed  $I_D$  per le sei categorie investigate

Si osservi, inoltre, come tutte le categorie, eccetto i Simqke, in media (su 28 ma *non set to set*), mostrano valori di  $I_A$  più bassi, mentre in termini di  $I_D$  anche le registrazioni Belfagor superano in media del 57% le RNS, a dimostrazione del fatto che anche questa categoria di artificiali presenta un potenziale di danneggiamento sismico elevato, sebbene molto inferiore ai Simqke.

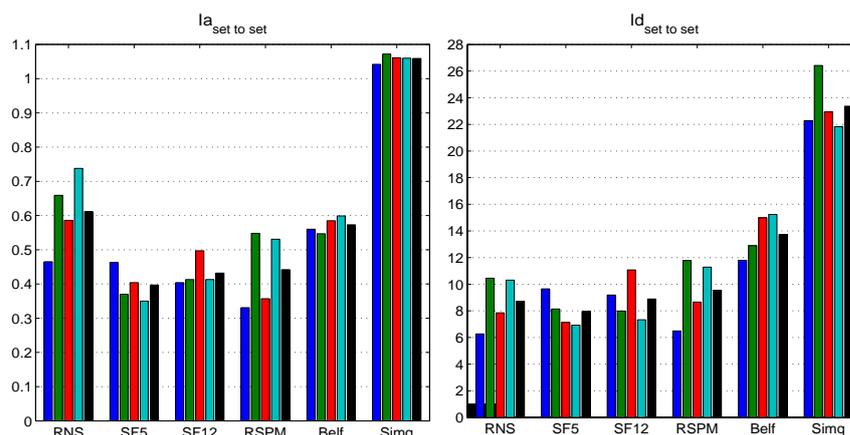


Figura 3.16- Parametri IA ID set to set

### 3.2.3- Analisi dei parametri di Durata

L'esperienza, mostra che la durata di un terremoto influenza significativamente il livello di danneggiamento delle strutture, determinando la velocità con cui l'energia di input viene rilasciata, indi per cui una corretta analisi delle registrazioni selezionate/generate non può non tener conto di tali parametri. Inoltre dobbiamo ricordare che la maggior parte dei parametri integrali dipendono da essa, che tra l'altro è di difficile definizione tecnica.

In particolare, la Significant Duration (§ 3.1.3) delle registrazioni Simqke, come era da attendersi, presenta valori maggiori.

Par.Durata		RNS	RSSF5	RSSF12	RSPMatch	Belfagor	Simqke
Sign. Dur [s]	Media	13.6724	12.5185	10.4185	13.8005	12.0286	17.9618
	Dev.ST.	12.3288	11.0608	2.6328	13.0749	2.3580	0.3932
Brak. Dur [s]	Media	28.4439	27.9925	21.5186	30.0307	19.6334	24.0821
	Dev.ST.	17.1142	15.2012	8.9352	16.5323	1.9870	0.1798

Tabella 3.12- Media e deviazioni Standard dei parametri di Durata

Dall'analisi delle misure di durata considerate si può notare come i due algoritmi di generazione di registrazioni stazionarie (Simqke) e non stazionarie (Belfagor) producano

set con dispersioni di gran lunga inferiori rispetto a quelle provenienti da *scaling* o *adjustment* di registrazioni reali.

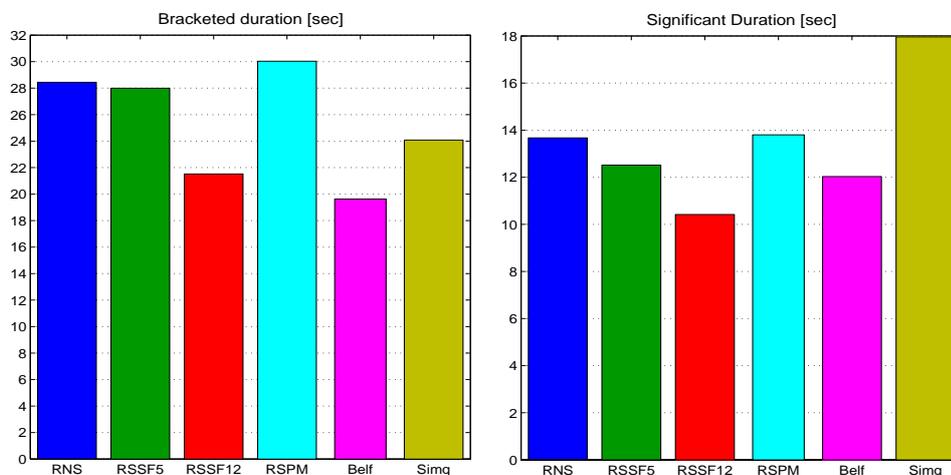


Figura 3.17- Valori medi dei parametri di durata per le sei categorie investigate

Va osservato inoltre come la procedura Belfagor garantisca una maggiore variabilità delle durate in ragione della correlazione in fase di generazione della registrazione con parametri quali la Magnitudo e la Distanza.

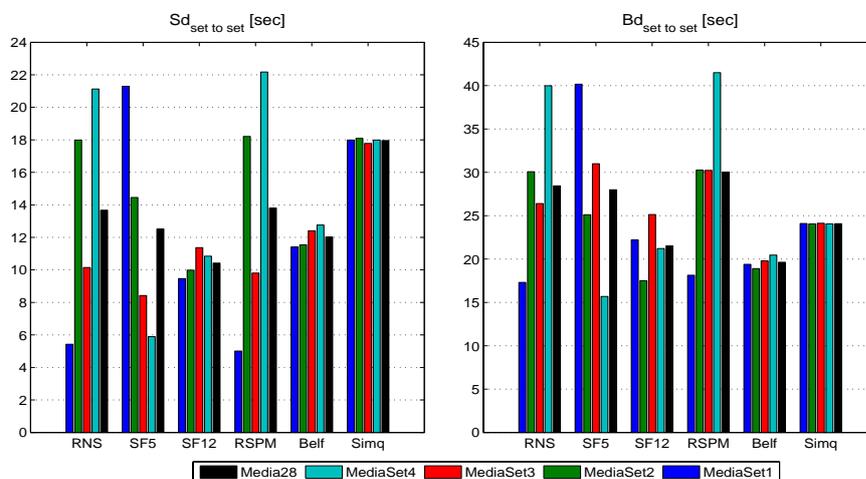


Figura 3.18- Parametri di durata set to set

## Capitolo 4: Analisi della risposte sismica inelastica

### Premessa

Il potenziale di danno d'un terremoto si valuta sia attraverso la caratterizzazione delle registrazioni accelerometriche, ricavabili immediatamente dalla semplice conoscenza delle registrazioni dell'evento sismico in esame, vista nel capitolo precedente, ma anche attraverso l'analisi della risposta, lineare e non lineare, d'un oscillatore semplice sottoposto agli eventi in oggetto che simula in maniera macroscopica il comportamento globale di una struttura. Gli spettri di risposta costituiscono, infatti, uno strumento indispensabile per una più accurata interpretazione dell'evento sismico.

La previsione del comportamento dinamico di una struttura, può essere realizzata attraverso due approcci differenti:

- Criterio dell'energia, ovvero si suppone che il collasso avvenga quando, sotto carichi ciclici, si raggiunge un ammontare di energia dissipata pari alla quantità di energia che la struttura può dissipare.
- Criterio della duttilità, ovvero si ipotizza che la struttura collassi in dipendenza di un prefissato valore di spostamento.

Infatti il primo ha la limitazione concettuale di considerare alla stessa maniera tutti i cicli plastici, computando l'energia dissipata indipendentemente dall'ampiezza del singolo ciclo. Per questo motivo risulta più adatto per quelle strutture che, presentando meccanismi di degrado progressivi e storie di carico caratterizzate da vari cicli ad elevata deformazione, hanno un collasso sicuramente condizionato dall'ammontare dell'energia plastica dissipata. Il secondo, invece, equivale ad assumere che la crisi avvenga per l'attingimento della massima escursione inelastica, indipendentemente dal numero di cicli e dalla quantità di energia dissipata. Questo tipo di approccio può essere maggiormente indicato nel caso in cui l'andamento dei cicli plastici sia caratterizzato da un unico ciclo con grande escursione plastica e da molti cicli con ridotta richiesta di duttilità.[Cosenza e Manfredi, 2000]

Quindi per una corretta valutazione del comportamento non lineare di una struttura, non si può prescindere da parametri quali la duttilità richiesta, energia totale da dissipare,

ampiezza e forma dei cicli di deformazione, numero dei cicli plastici e valore medio della loro ampiezza, parametri caratterizzanti l'evento (Durata, valori di picco,...).

Di qui l'importanza di definire per gli accelerogrammi in analisi i seguenti spettri:

- Spettri di risposta elastici (in Accelerazione e Spostamento).
- Spettri di risposta inelastici (Spostamento).
- Spettri di duttilità (Cinematica, Ciclica ed Isteretica).
- Spettri di energia (Isteretica)
- Numero di cicli equivalenti

Le analisi condotte nel seguito faranno quindi riferimento ad un oscillatore semplice (SDOF, single degree of freedom), modello di notevole importanza nel campo dell'ingegneria sismica perché in grado di mettere in luce alcune informazioni sulla natura del terremoto di non immediata estrapolazione sulla base dei soli accelerogrammi e di fornire risultati nella maggioranza dei casi applicabili, con accettabile approssimazione, anche ai sistemi dotati di più gradi di libertà.

#### 4.1- Descrizione del sistema SDOF

La modellazione della risposta strutturale sotto azioni cicliche dipende dalla tipologia strutturale, dai materiali e dalle caratteristiche della storia di carico e può essere attenuata attraverso approcci basati su macromodelli oppure su micromodelli. Nel presente lavoro ci si affida alla macromodellazione, assimilando la generica struttura come un sistema SDOF. Per cui i set selezionati al Capitolo 3 sono stati applicati a 20 sistemi SDOF (Figura 4.1) con smorzamento 5% e periodo compreso tra 0.1 e 2 secondi, con passo 0.1 sec, al fine d'includere nel range i periodi di maggiore interesse ingegneristico.

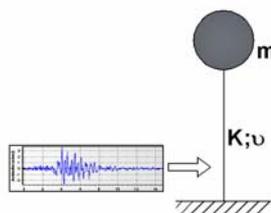


Figura 4.1- Oscillatore semplice (SDOF)

In prima analisi, si procede alla caratterizzazione dinamica del sistema elastico ad un solo grado di libertà. Ciò è indispensabile, al fine di impostare la successiva fase post-elastica non lineare la quale consente una più diretta valutazione del potenziale di danno. Si procede, quindi successivamente, ad un'analisi dinamica in campo non lineare, mediante la valutazione di spettri di risposta inelastici in termini di spostamento, duttilità ed energia.

L'analisi del danneggiamento delle strutture (o parte di esse) sottoposte ad azioni sismiche (e quindi cicliche) richiede l'individuazione di modelli capaci di descrivere efficacemente il loro reale comportamento. Concettualmente, occorre, quindi definire i criteri di collasso per carichi ciclici con distribuzione casuale ed introdurre legami costitutivi capaci di descrivere in modo affidabile il comportamento isteretico. I primi possono essere definiti attraverso l'individuazione dei limiti sui parametri strutturali capaci di controllare il collasso. I secondi possono essere sviluppati definendo le regole di comportamento di carico, scarico e ricarico. In particolare, è possibile distinguere:

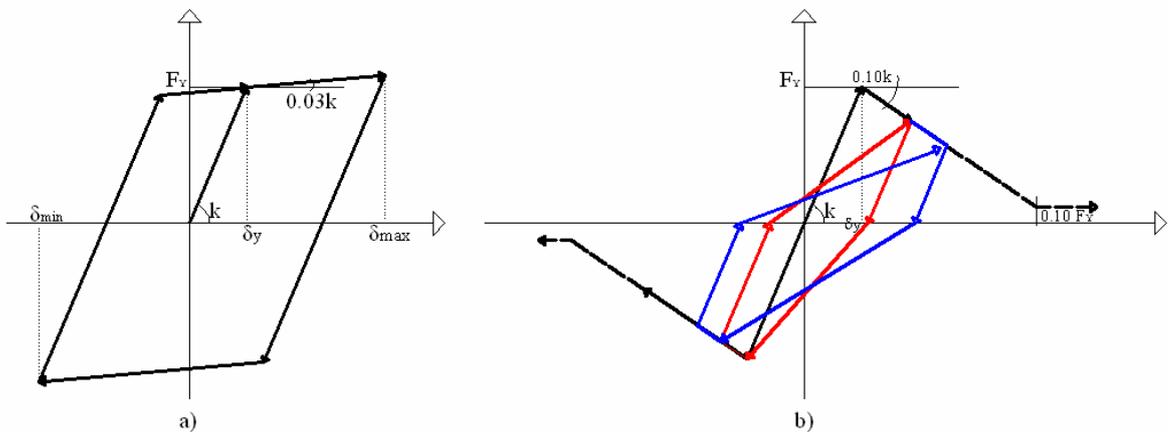
- Modelli non evolutivi, definito dall'individuazione dei valori  $F_y$  ed  $d_y$ , il cui stato è noto dalla sola conoscenza dello spostamento  $d$  e della velocità  $dd/dt$  nell'istante  $dt$ ;
- Modelli evolutivi, il cui stato del sistema al tempo  $t_{i+1}$  dipende dagli stati assunti dal sistema negli istanti precedenti. Possono essere di tipo degradante o non degradante, a seconda che dipendano o meno anche dallo stato di danno.

Tra i diversi modelli isteretici evolutivi (i.e. modello di Clough-Johnston, modello di Wen, modello di Kunnath.) sono stati scelti due a caratterizzare i 20 sistemi SDOF :

- a) Elasto-plastico incrudente (EPH), ovvero legame costitutivo bi-lineare non degradante (al crescere del numero di cicli, non manifestano alcun degrado di rigidezza né di resistenza) con un 3% di post-snervamento incrudente (Figura 4.2a);
- b) Elasto-plastico Takeda (ESD), ovvero legame costitutivo tri-lineare degradante con rigidezza secondaria pari a -0.10 volte quella principale e un'entità di forza residua pari al 10% del valore allo yielding (Figura 4.2b).

I due modelli hanno lo stesso valore di rigidezza elastica  $k$  (pendenza del ramo elastico) e lo stesso valore di  $F_y$ , ragion per cui l'analisi elastica coincide per entrambi i modelli.

L'adozione di tali modelli si giustifica, ritenendo opportuno, per un primo approccio allo studio di segnali spettrocompatibili, adottare modelli semplici, che comportino l'introduzione di un numero limitato di parametri e che consentano nel contempo la produzione di importanti risultati di carattere generale.



**Figura 4.2-** Legame costitutivo elasto-plastico incrudente: a) legame bi-lineare non degradante; b) legame tri-lineare degradante

La costruzione degli spettri a duttilità controllata può ottenersi sia in maniera esatta, implementando una procedura di analisi non lineare al passo, sia in modo approssimato introducendo un fattore di riduzione  $R$ . Si sceglie di seguire la seconda delle due opzioni.

Per un dato terremoto, il fattore  $R_i$  (Figura 4.3) dipende dal periodo di vibrazione  $T$  della struttura, dallo smorzamento relativo, dal comportamento isteretico del sistema e dal livello di duttilità stabilito, ovvero dipende dalle caratteristiche proprie del sistema, e dell'input sismico (4.1)

$$R_i = \frac{F_{\text{elast.}}}{F_{y,i}} \Rightarrow F_{y,i} = \frac{F_{\text{elast.}}}{R_i} \quad (4.1)$$

Si decide di operare in termini di uguaglianza degli spostamenti (Figura 4.3), per cui  $R_i$  oltre ad essere definito come rapporto tra la forza ultima del sistema elastico equivalente ( $F_{\text{elast}}$ ) e quella di snervamento del sistema elasto-plastico ( $F_y$ ), può essere visto, per la proporzionalità dei triangoli, come il rapporto tra lo spostamento ultimo e quello di snervamento. Ovvero coincide con la duttilità.

Sono, inoltre stati considerati 5 livelli di inelasticità,  $R_i$ , per ognuno dei 20 periodi scelti. I cinque livelli di inelasticità sono caratterizzati da valori di  $R$  pari a 2, 4, 6, 8, 10, al fine di controllare la risposta del sistema, alle sei categorie investigate, all'aumentare del livello di inelasticità. Si noti che livelli di risposta non lineare severi implicano, per alcuni sistemi SDOF, grandi valori di duttilità che, ovviamente, non possono essere fisicamente raggiunti

da talune strutture comuni, ma rappresentative ad esempio del comportamento di strutture isolate alla base ( $R=10$ ).

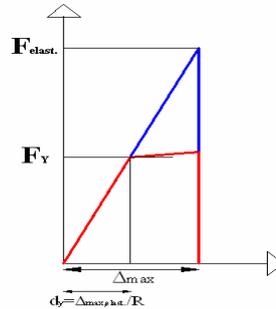


Figura 4.3- Definizione del fattore di riduzione R

Lo stesso valore di R può essere ottenuto per ogni record del set, caso noto come “*Constant R*”, dove, però, il valore di  $F_y$  varia record to record:

$$F_y = \frac{[Sa_{\text{elast.}}(T)_{i\text{-esimo record}} \cdot m]}{R} \quad (4.2)$$

oppure, può essere eseguita un’analisi “*Constant Strangth*”, ovvero con  $F_y$  costante per ogni record ma con R variabile record to record la cui media è però prossima al valore  $R_i$  considerato:

$$F_y = \frac{Sa(T)_{\text{spettro-target}} \cdot m}{R} \quad (4.3)$$

Poiché il caso “*Constant Strangth*” è più vicino alla realtà, e di più facile interpretazione fisica, nel seguente lavoro si decide di eseguire un’analisi a ‘ $F_y$  costante’. Infatti il sistema è sempre la stesso, per ogni periodo, poiché la forza di snervamento  $F_{y,R=i}$  è sempre la stessa, quello che varia è  $R_i$  relativo ad ogni registrazione.

## 4.2- Spettri di risposta elastici

Si procede alla caratterizzazione dinamica del sistema elastico ad un solo grado di libertà, assumendo:

Range di periodo	$T = [0.1-4 \text{ sec}]$ con passo 0.1
Massa	$m = 1$
Rigidezza del sistema	$k = \frac{m}{\left(\frac{T}{2\pi}\right)^2}$
Viscosità	$v = 5\%$
Costante di smorzamento viscoso	$b = 2v\sqrt{km}$

per la risoluzione dell'equazione differenziale che governa il problema delle oscillazioni forzate :

$$m \ddot{x}(t) + b \dot{x}(t) + kx(t) = -m \ddot{x}_g(t) \quad (4.4)$$

Definita la pulsazione come:

$$\omega = \sqrt{\frac{k}{m}} \text{ legata al periodo dalla relazione } T = \frac{2\pi}{\omega}$$

L'equazione diviene:

$$\ddot{x}(t) + 2v\omega \dot{x}(t) + \omega^2 x(t) = -\ddot{x}_g(t) \quad (4.5)$$

Per ogni record in esame (28x6), ognuno dei quali descrive una funzione accelerazione  $\ddot{x}_g(t)$ , la soluzione dell'equazione del moto è stata perseguita attraverso il procedimento di integrazione numerica di Newmark [Newmark e Rosenblueth, 1971].

Noto, quindi, il valore dello spostamento istante per istante, si considera il suo valore massimo in valore assoluto  $S_d(v, T)$ . Facendo variare il periodo  $T$ , nel range considerato, si

ottiene lo spettro di risposta elastico in termini di spostamento. A partire da questo, è poi possibile valutare lo spettro di risposta elastico di Pseudo-velocità  $S_v(v, T)$  e di Pseudo-accelerazione  $S_a(v, T)$ . Il “Pseudo” evidenzia l’ipotesi che all’istante in cui si attinge lo spostamento massimo  $S_d$  si annulli lo smorzamento  $v$  e cessi di esistere la perturbazione esterna  $\ddot{x}_g(t)$ , per cui  $S_v$  e  $S_a$  sono valutabili come:

$$\begin{aligned}x_{\max} &= S_d \\ \dot{x}_{\max} &= \omega S_d = S_v \\ \ddot{x}_{\max} &= \omega^2 S_d = S_a\end{aligned}\tag{4.6}$$

#### 4.2.1- Spettri elastici in accelerazione

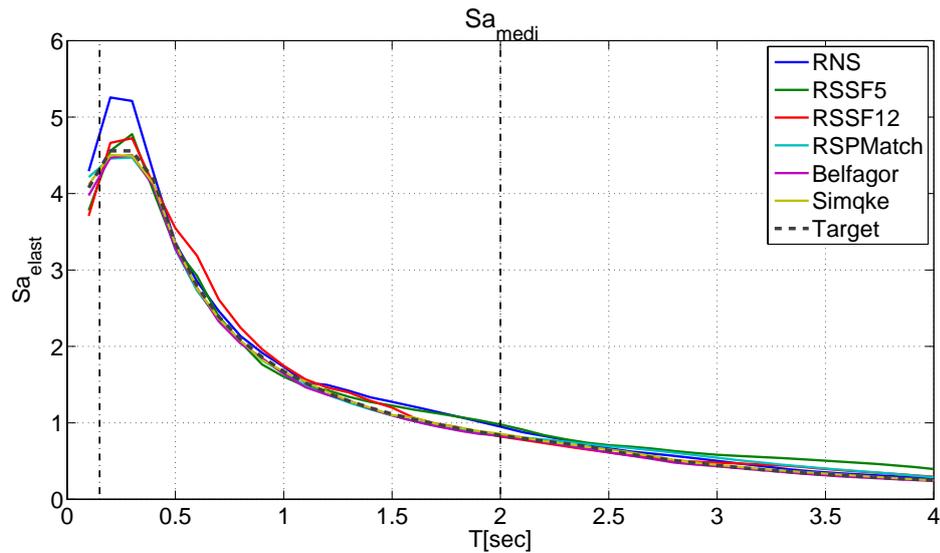
Il valore dell’accelerazione  $S_a$  è una misura della richiesta di resistenza dal sisma, essendo proporzionale alla massima forza sismica agente sulla stessa.

$$F_{St.Equ.,max} = mS_a$$

La richiesta in termini di resistenza, inoltre, può essere usata come un parametro di danno, in quanto, nell’ottica di una progettazione basata sul confronto richiesta-capacità strutturale, se la domanda di resistenza sulla struttura, calcolata assumendo un comportamento elastico, non eccede il valore della sua capacità ultima, il grado di danneggiamento sarà limitato. Al contrario, se la domanda supera il livello disponibile il livello di danno potrà essere elevato.

Per tale motivo, si ritiene indispensabile, ed un primo passo, la valutazione degli spettri di risposta elastici medi in termini di accelerazione, già ampiamente mostrati al capitolo 3, ove a proposito della selezione avevamo verificato che le medie rientravano nei limiti del +30% -10% quest’ultimo imposto dalla norma, in maniera più fedele per gli artificiali e meno per i reali. A ricordare ciò, di seguito in Figura 4.4, si riporta la sovrapposizione sullo stesso piano delle medie delle sei categorie selezionate.

Inoltre se si osservano gli spettri record per record, di ciascuna delle sei categorie investigate, mostrate in Figura 4.5 è ancor più evidente la differenza tra le tre categorie dei Reali (RNS, SF5, SF12) con le tre categorie di artificiali (RspMatch, Belfagor, Simqke), legata essenzialmente al fatto che i primi rispettano la spettrocompatibilità ‘set to set’, mentre i secondi ‘record to record’.



**Figura 4.4-** Spettri di accelerazione elastici medi per le sei categorie investigate

Infatti, in Figura 4.5 si mostra oltre allo spettro medio, anche lo spettro medio set to set, per tutte le categorie esaminate. Appare evidente, per quanto appena detto che per le categorie Belfagor, Simqke e RspMatch (nel range 0.1-2.0sec) che tale distinzione per set risulta superflua, infatti non è possibile distinguere distintamente le 4 medie. L'operazione è, invece, importante per i Reali, le cui medie per set risultano differenti, ovviamente sempre nei limiti di spettrocompatibilità imposti.

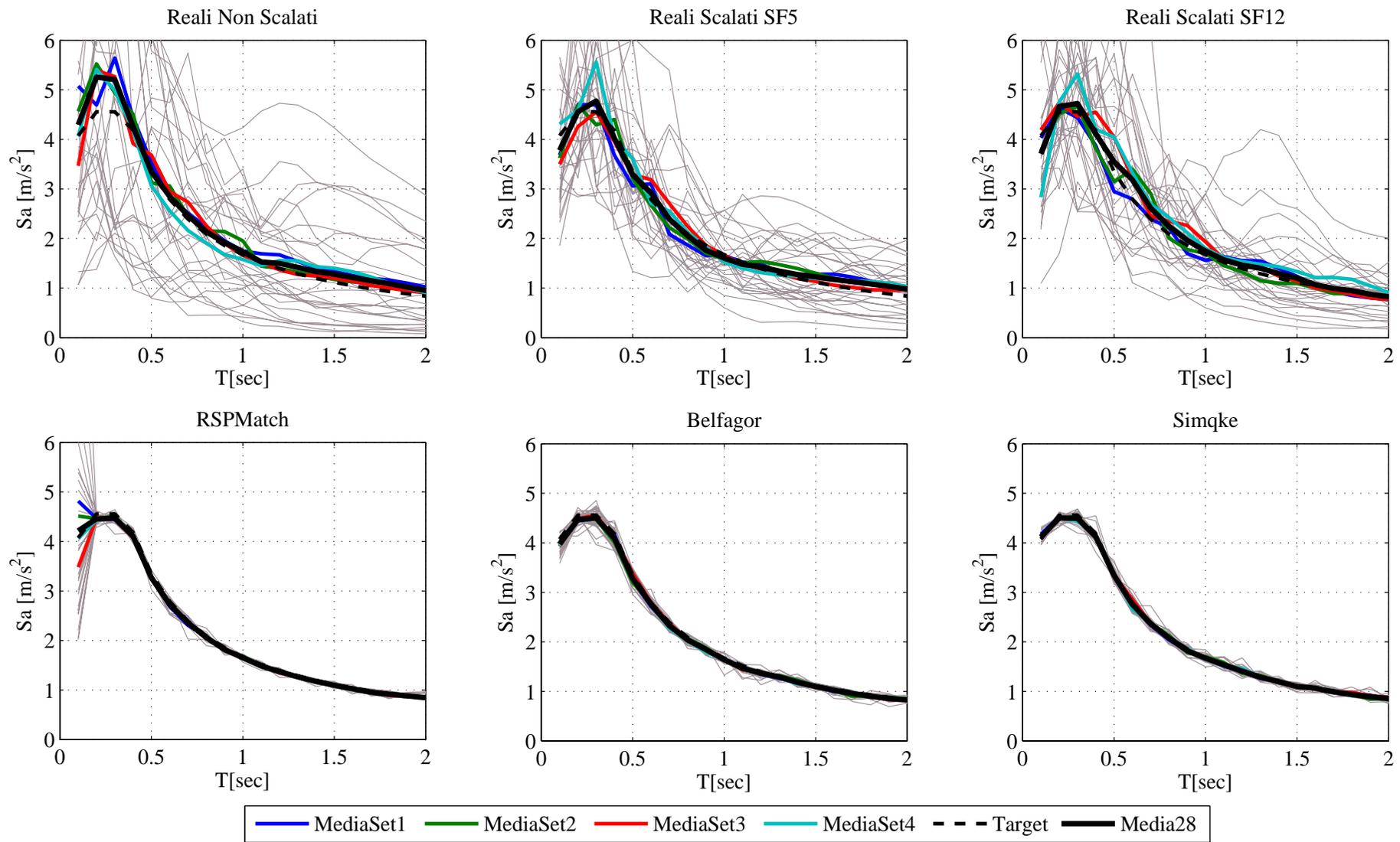


Figura 4.5- Spettri elastici in accelerazione set to set per le sei categorie investigate

#### 4.2.2- Spettri elastici in spostamento

Gli spettri di spostamento elastico, nella progettazione sismica, sono estremamente importanti in quanto la loro conoscenza permette un adeguato controllo sul danneggiamento strutturale.

In Figura 4.6 si riportano gli spettri di risposta elastici medi per le sei categorie analizzate, mentre in Figura 4.7 si riportano gli stessi, record to record (in grigio) e set to set, al fine di avere un'idea sulla dispersione dei risultati, estremamente variabili per i reali e più contenuti per gli artificiali, così come già riscontrato per gli spettri di accelerazione.

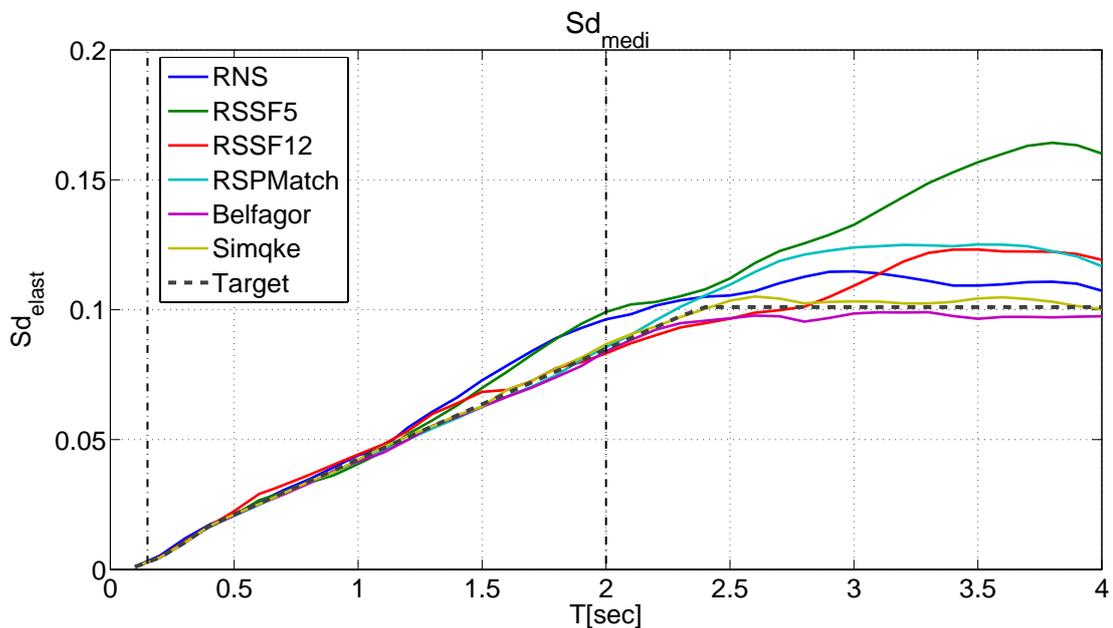


Figura 4.6- Spettri di spostamento elastici medi per le sei categorie investigate

Gli accelerogrammi Simqke, sembrano ricalcare molto bene lo spettro target, in maniera più fedele anche degli RNS. Anche gli RSPMatch ed i RSSF12, nel range di spettrocompatibilità assicurato, si prestano abbastanza fedelmente, mentre qualche scostamento eccessivo, in media, in ogni caso paragonabile a quello dei RNS è mostrato dai RSSF5. Inoltre, i 4 set RNS presentano valori simili, mentre set to set i RSSF5 variano significativamente.

Si osservi, inoltre come mentre in termini di accelerazioni gli RSPMatch migliorano anche fuori dal range di spettrocompatibilità, in termini di spostamento, sempre in questa zona, l'andamento medio set to set peggiora, ovvero il parametro risulta sovrastimato. Infine, i Belfagor, sottostimano la domanda di spostamento elastica anche se apparentemente non in maniera significativa.

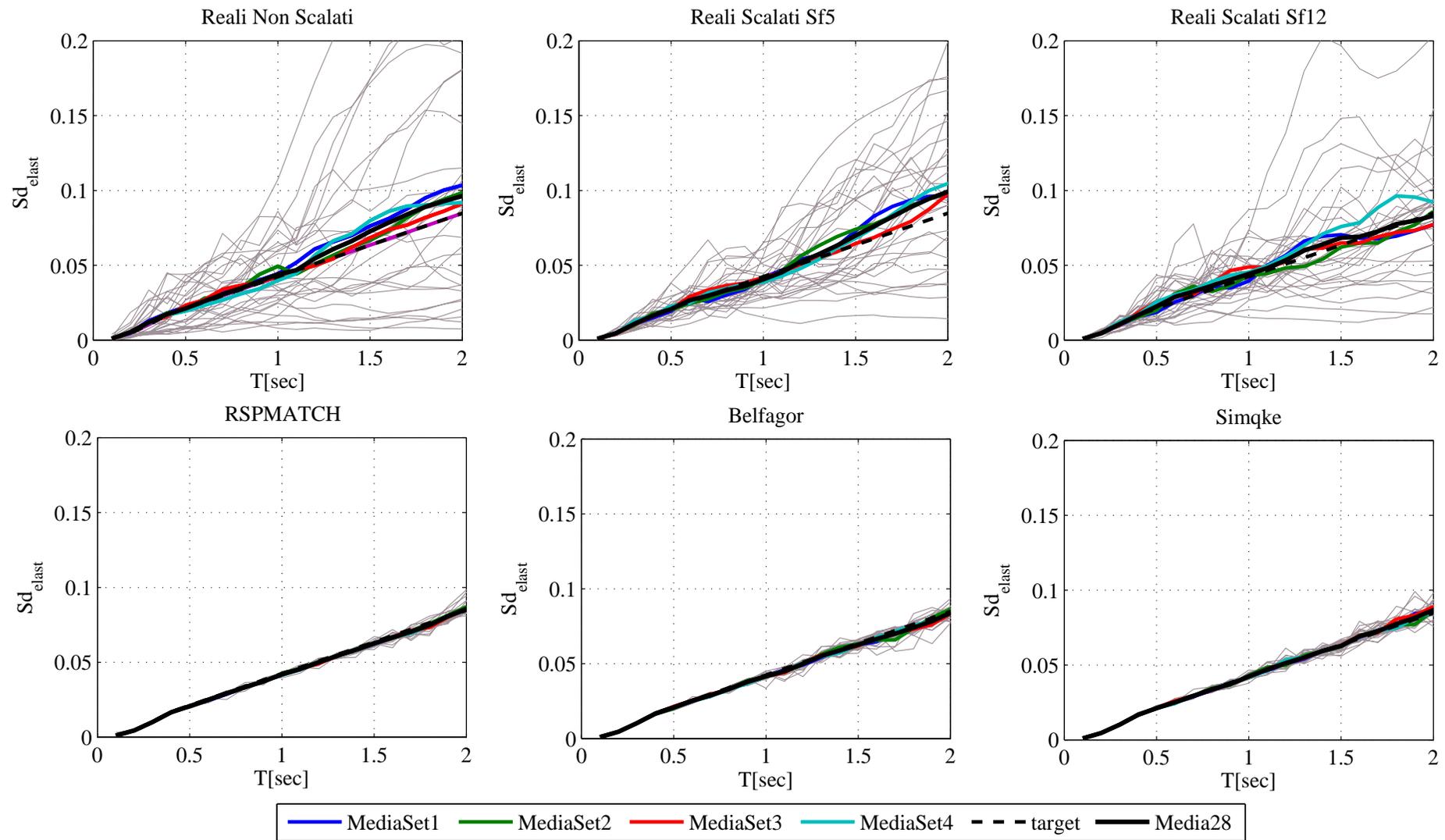


Figura 4.7- Spettri elastici in spostamento set to set per le sei categorie investigate

### 4.3- Spettri di risposta inelastici per parametri di picco

Come già osservato, una valutazione diretta del potenziale di danno dei terremoti può ottenersi mediante l'analisi dinamica delle strutture in campo non lineare. Lo spettro di risposta inelastico, o spettro a duttilità controllata, rappresenta la risposta di un oscillatore semplice caratterizzato da una legge isteretica e da una prefissata duttilità disponibile.

Per la legge isteretica, si sono scelte due caratterizzazioni EPH (Figura 4.2a) ed ESD (Figura 4.2b) già descritte al §4.1, resta da definire la duttilità disponibile dei sistemi.

La scelta della duttilità come parametro di danneggiamento equivale ad assumere che la crisi avvenga per l'attingimento della massima escursione inelastica, indipendentemente dal numero di cicli e dalla quantità di energia dissipata [Cosenza e Manfredi, 2000]. Nonostante questo limite tale approccio è stato preso in considerazione per la sua semplicità e per la grande mole di dati sperimentali disponibili [Zahrah e Hall, 1984; Akiyama, 1985; Uang e Bertero, 1990].

#### 4.3.1- Spettri inelastici in Spostamento

I risultati dell'analisi in termini di spostamento set to set, per le categorie investigate, e per i cinque livelli di duttilità considerate, e relativamente ai due modelli isteretici scelti sono riportate in Allegato 2, dove è possibile osservare ancora una volta la dispersione dei risultati per le tre categorie reali.

Dalla Figura 4.8, relativa al modello EPH, si osserva, anzitutto come l'ipotesi di uguaglianza degli spostamenti elastico-post elastico sia alquanto rispettata da tutte le categorie in esame. Ovviamente, quanto maggiore è il fattore di riduzione  $R_i$  tanto più tale ipotesi risulta approssimata. Ancora una volta il comportamento peggiore è prestato, sempre in termini medi, da Belfagor il quale mostra una sottostima sistematica della domanda di spostamento inelastica rispetto alla categoria RNS. Migliore invece sono i valori mostrati da Simqke e RSPMatch. Inoltre per periodi inferiori a 1.5 sec RNS RSSF5 RSSF12, e per alti livelli di duttilità anche RSPMatch, la domanda di spostamento è superiore, e quindi a vantaggio di sicurezza, di quella target. Lo stesso non si ripete per Belfagor e Simqke che, eccetto che per periodi bassissimi, sottostimano lo spettro target.

I risultati trovati per i sistemi modellati con legge isteretica ESD (Figura 4.9) sono di tutt'altro aspetto. Infatti come era da attendersi, già a bassissimi livelli di duttilità gli scostamenti con lo spettro target sono notevoli, e si amplificano all'aumentare di  $R$ .

Ciò è ancora più evidente in Figura 4.10 e 4.11 dove sono riportati i rapporti con lo spettro target. Infatti per la modellazione non degradante i valori tendono all'unità per periodi intorno ai 0.5 secondi. Tale tendenza non è evidente per la modellazione degradante, anche se in entrambi i casi, come è noto, i diagrammi all'aumentare del periodo diminuiscono con pendenza via via maggiore all'aumentare del fattore di riduzione.

Relativamente alla modellazione ESD è ancora leggibile una sottostima significativa delle registrazioni Belfagor, ma non in maniera uniforme come in Figura 4.8, ovvero per periodi bassi si legge una sovrastima rispetto ai RNS (fino a  $T \sim 0.6$ sec). I Simqke, che nella modellazione EPH mostrano valori inferiori rispetto ai RNS, con la modellazione ESD sovrastimano le restanti categorie in tutto il *range* di periodi per elevati livelli di duttilità e per intervalli via via minori al diminuire di  $R$  (comunque sempre alle alte frequenze). In particolare per  $R$  pari a 2 e 4 sono molto prossimi ai Belfagor, mostrando comportamento analogo, poi per  $R \geq 6$  si scostano notevolmente.

In realtà gli RNS, alle alte frequenze (fino a  $f \approx 2$ Hz) mostrano valori minori rispetto alle restanti categorie per fattori di riduzione  $R=6,8,10$ , mentre per livelli di duttilità bassi ciò si verifica solo ad altissime frequenze. Si osservi che in Figura 4.8, invece, i RNS alle alte frequenze sovrastimano le altre categorie, a tutti i livelli di duttilità.

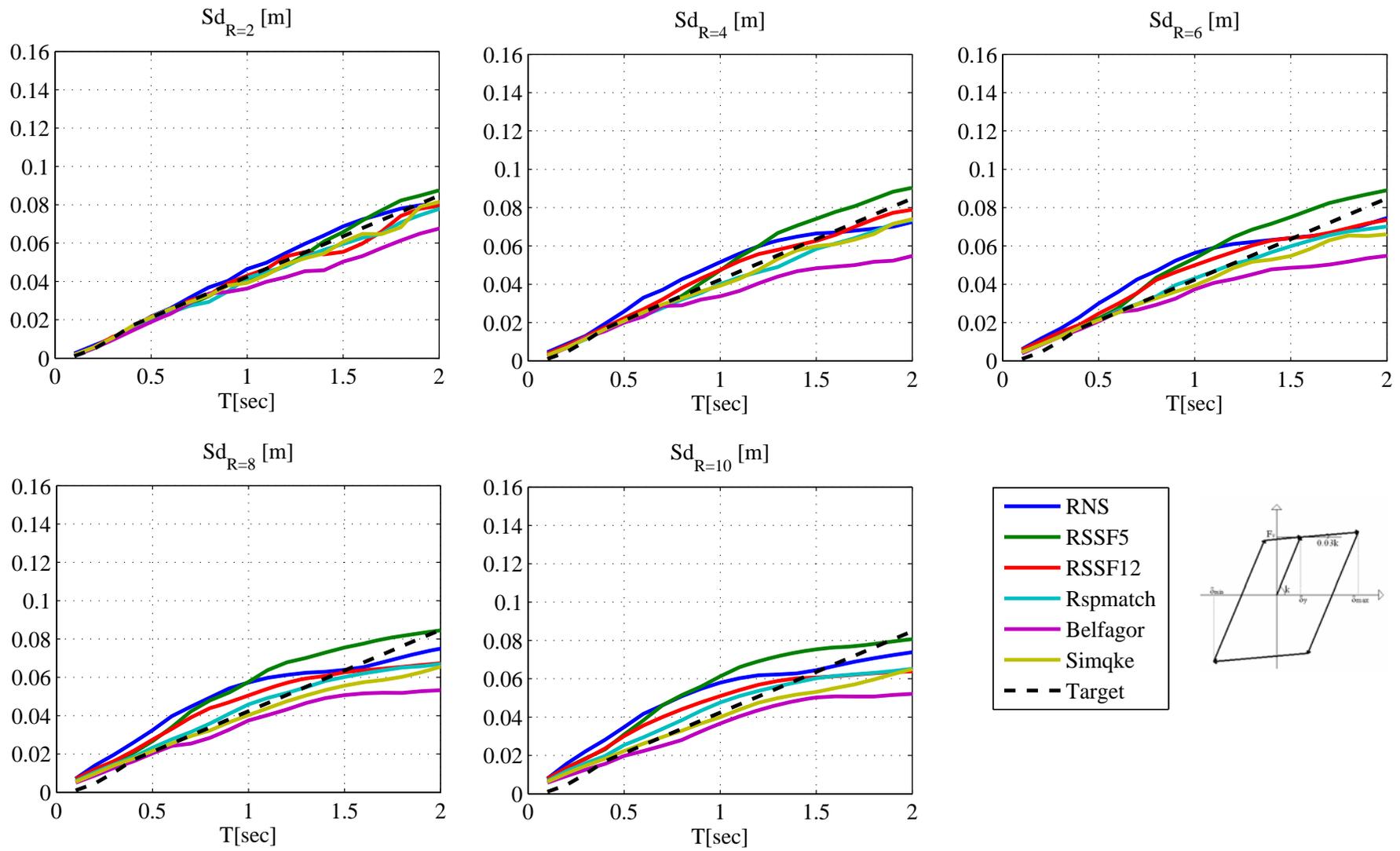


Figura 4.8- Spettri inelastici medi in spostamento al variare del fattore di riduzione  $R_i$  relativi al modello EPH

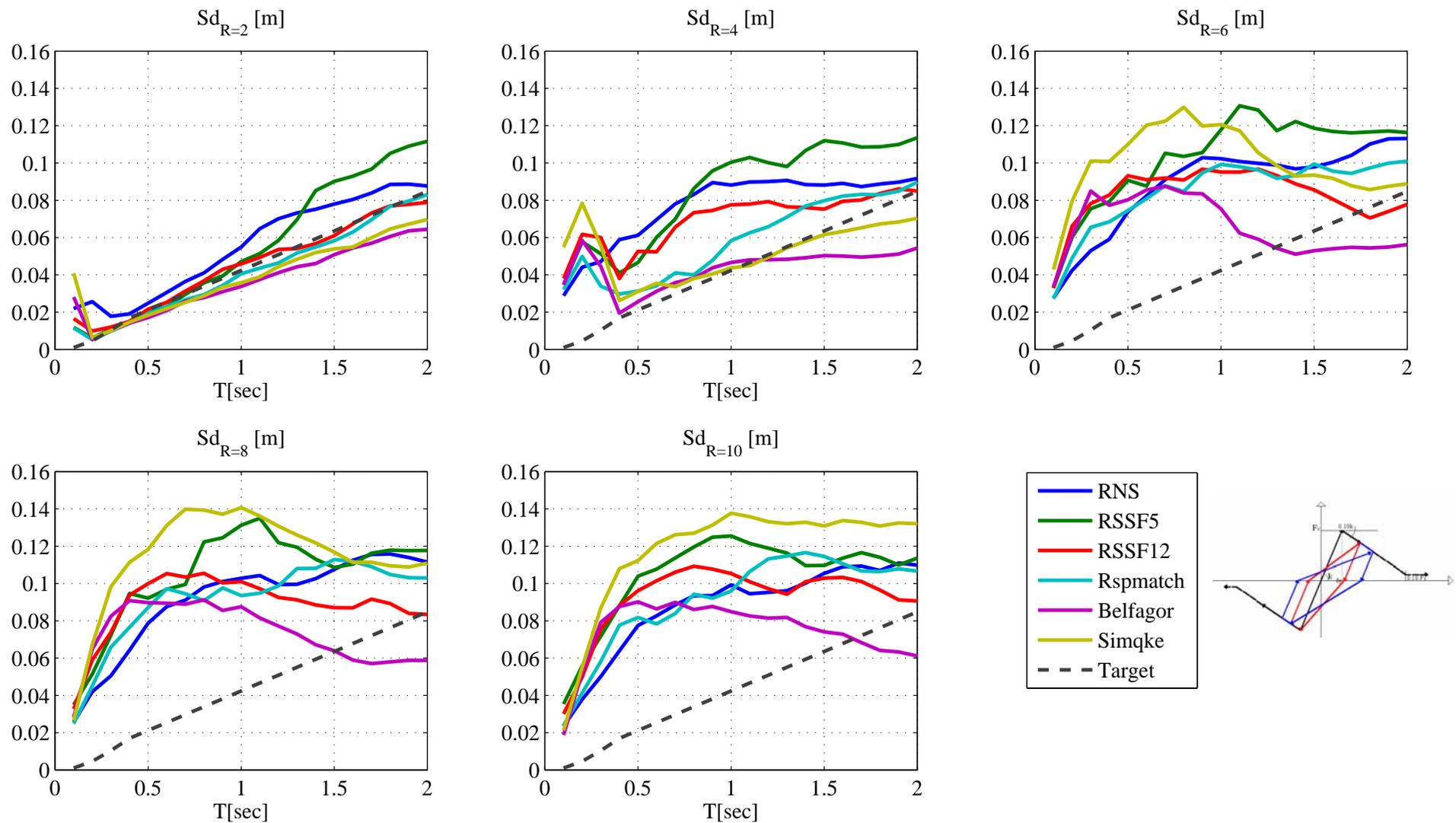


Figura 4.9- Spettri inelastici medi in spostamento al variare del fattore di riduzione  $R_i$  relativi al modello ESD

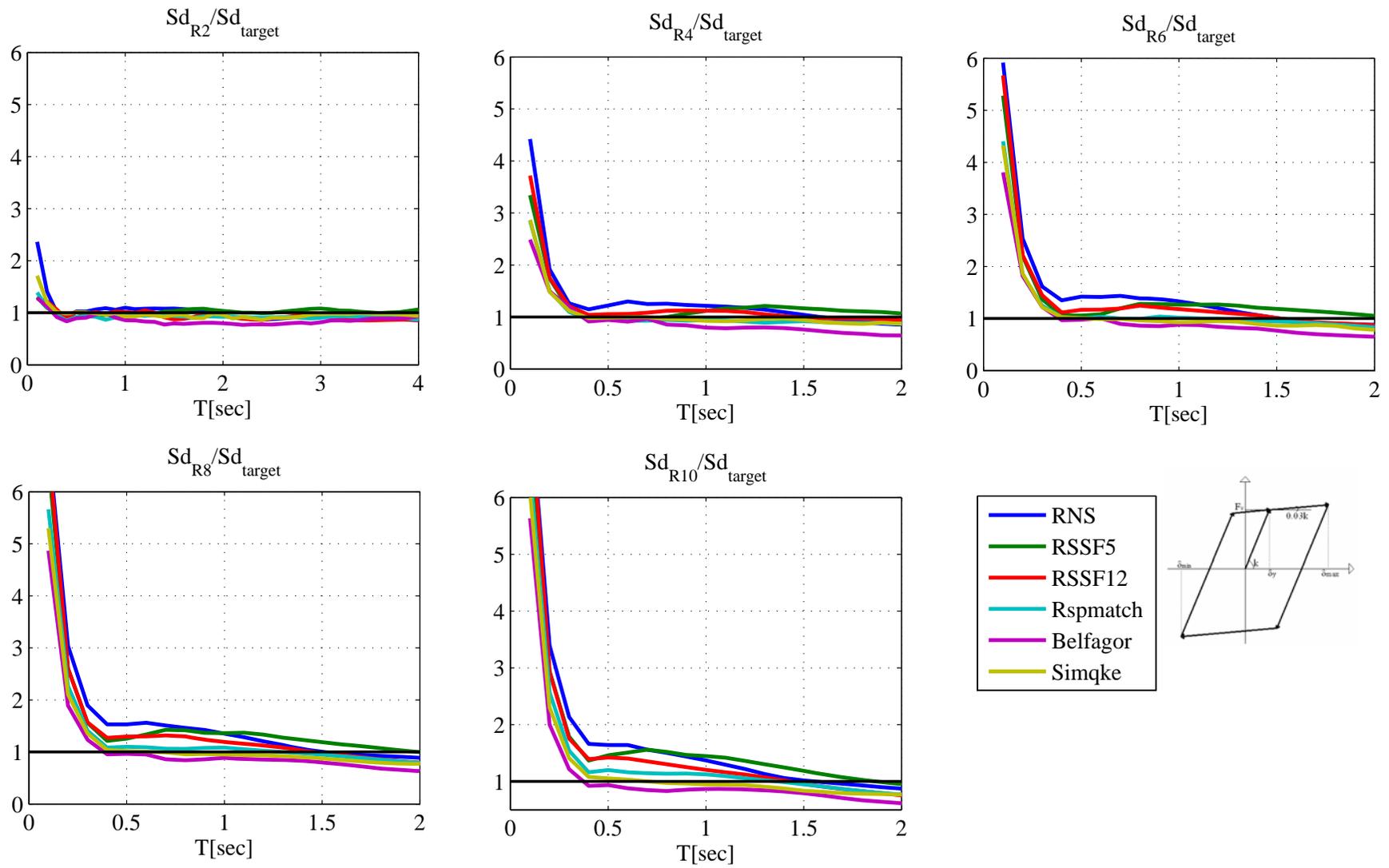


Figura 4.10-Rapporto  $Sd_{R_i}/Sd_{target}$  al variare del fattore di riduzione  $R_i$  relativi al modello EPH

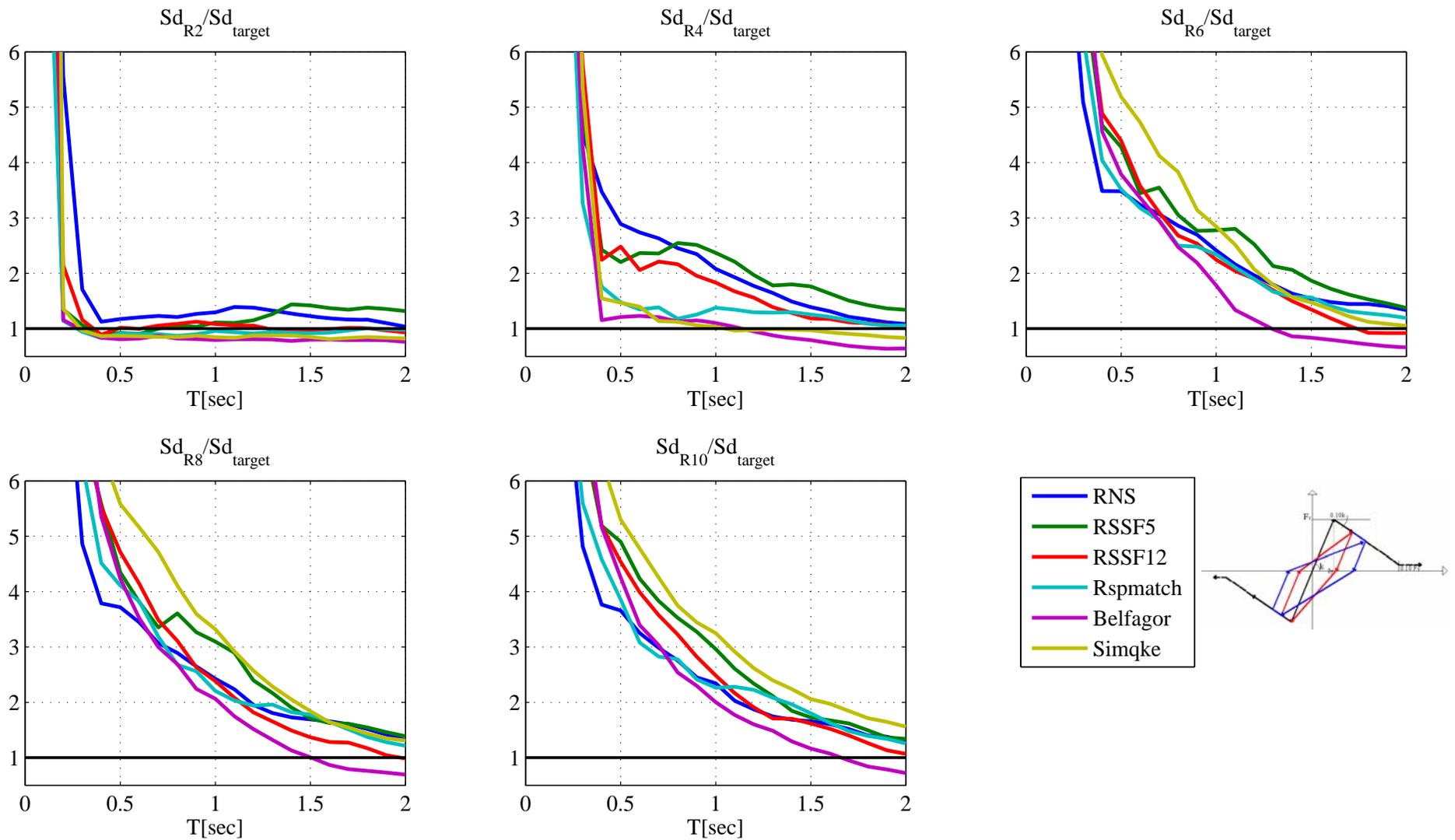


Figura 4.11-Rapporto  $Sd_{R_i}/Sd_{target}$  al variare del fattore di riduzione  $R_i$  relativi al modello ESD

### 4.3.2 Spettri di Duttività cinematica

Il livello di deformazione plastica cui viene sottoposto il sistema durante una sisma è dato tipicamente dal rapporto fra lo spostamento massimo (in valore assoluto) in campo plastico e il corrispondente valore al limite elastico:

$$D_{kin} = \frac{\delta_{max}}{\delta_y} \quad (4.7)$$

Si premette che non tutti i sistemi considerati snervano, ovvero in corrispondenza di alcuni record ad alcuni periodi, il valore di  $D_{kin}$  è minore dell'unità, conseguenza del fatto che  $\delta_y > \delta_{max}$ . Ciò non è visibile in Figura 4.9 dove sono riportati i soli valori medi, ma è evidente in Allegato 4.

Inoltre in Tabella 4.1 è riportato il numero di sistemi che soggetti al record  $i$ -esimo, e per fattore di riduzione  $j$ -esimo, non snervano. Ciò è senza dubbio legato alla scelta 'constant strength' fatta nella modellazione. Tale situazione, si presenta in misura maggiore per la categoria non scalata, minore per le due categorie scalate, ed in pochi casi per la categoria modificata con *wavelet*. Per le artificiali, tale problema non sussiste.

Ovviamente se il sistema non snerva, non ha senso parlare di duttilità, né ciclica né isteretica, né tanto meno, come vedremo in seguito, di energia isteretica, che assumerà in corrispondenza di quei periodi un valore nullo. Tale situazione sarà maggiormente approfondita nel seguente paragrafo.

In Figura 4.13 sono riportate le medie di  $D_{kin}$  per le sei categorie investigate al variare del fattore  $R_i$ , relativamente ai sistemi caratterizzati con legame elasto-plastico bilineare non degradante, mentre in Figura 4.14 quelle relative ai sistemi caratterizzati con legame elasto-plastico trilineare degradante. Inoltre, una visione più completa, degli andamenti set to set dello stesso parametro è riportata in Allegato 4.

Come si può osservare, per i sistemi EPH in termini di duttività cinematica, gli artificiali, ed i modificati con *wavelet*, presentano valori inferiori. In particolare, nel range di spettrocompatibilità, questa volta, la massima sottostima, sempre considerando gli RNS come riferimento, è presentata dagli accelerogrammi Belfagor, mentre i Simqke e gli RSPMach sottostimano meno.

Reali non scalati								Reali scalatiSF5							
set-01	'006335xa'	'004675xa'	'004675ya'	'006326ya'	'000365ya'	'004674xa'	'006332xa'	set-01	'000292xa'	'000368xa'	'000410xa'	'005272xa'	'000292ya'	'000234ya'	'006262ya'
R2	0	1	2	1	18	0	0	R2	0	0	1	0	0	1	0
R4	0	0	0	0	14	0	0	R4	0	0	0	0	0	0	0
R6	0	0	0	0	7	0	0	R6	0	0	0	0	0	0	0
R8	0	0	0	0	5	0	0	R8	0	0	0	0	0	0	0
R10	0	0	0	0	2	0	0	R10	0	0	0	0	0	0	0
set-02	'000242ya'	'000242xa'	'001231xa'	'007142ya'	'003802xa'	'001231ya'	'000182ya'	set-02	'007142ya'	'001243xa'	'000182ya'	'004675xa'	'000471ya'	'000182xa'	'004674xa'
R2	6	13	0	0	17	0	0	R2	0	0	0	0	0	0	0
R4	0	8	0	0	1	0	0	R4	0	0	0	0	0	0	0
R6	0	2	0	0	0	0	0	R6	0	0	0	0	0	0	0
R8	0	0	0	0	0	0	0	R8	0	0	0	0	0	0	0
R10	0	0	0	0	0	0	0	R10	0	0	0	0	0	0	0
set-03	'000198xa'	'004678xa'	'006342xa'	'006342ya'	'000198ya'	'000055xa'	'007187xa'	set-03	'000055xa'	'006327ya'	'006331ya'	'006333xa'	'006331xa'	'000055ya'	'007187xa'
R2	0	10	8	5	0	0	3	R2	4	0	0	0	0	6	12
R4	0	0	0	2	0	0	0	R4	0	0	0	0	0	0	7
R6	0	0	0	0	0	0	0	R6	0	0	0	0	0	0	0
R8	0	0	0	0	0	0	0	R8	0	0	0	0	0	0	0
R10	0	0	0	0	0	0	0	R10	0	0	0	0	0	0	0
set-04	'000665xa'	'000287xa'	'000234xa'	'000287ya'	'007156xa'	'000290xa'	'006500xa'	set-04	'006335ya'	'006332xa'	'006349ya'	'003802xa'	'000473ya'	'006335xa'	'006326ya'
R2	13	1	20	0	12	0	1	R2	0	8	0	5	0	0	0
R4	9	0	11	0	4	0	0	R4	0	0	0	0	0	0	0
R6	0	0	7	0	0	0	0	R6	0	0	0	0	0	0	0
R8	0	0	2	0	0	0	0	R8	0	0	0	0	0	0	0
R10	0	0	0	0	0	0	0	R10	0	0	0	0	0	0	0
Reali scalati sf 12								RSPMATCH							
set-01	'005078xa'	'005090xa'	'000383xa'	'000382ya'	'005086xa'	'000169xa'	'005085xa'	set-01	'006335xa'	'004675xa'	'004675ya'	'006326ya'	'000365ya'	'004674xa'	'006332xa'
R2	0	7	2	2	0	12	0	R2	0	0	0	0	0	0	0
R4	0	0	0	0	0	6	0	R4	0	0	0	0	0	0	0
R6	0	0	0	0	0	0	0	R6	0	0	0	0	0	0	0
R8	0	0	0	0	0	0	0	R8	0	0	0	0	0	0	0
R10	0	0	0	0	0	0	0	R10	0	0	0	0	0	0	0
set-02	'005089ya'	'001891ya'	'001893ya'	'000095ya'	'000642ya'	'000095xa'	'005895ya'	set-02	'000242ya'	'000242xa'	'001231xa'	'007142ya'	'003802xa'	'001231ya'	'000182ya'
R2	0	2	0	0	0	0	0	R2	0	0	0	0	0	0	0
R4	0	0	0	0	0	0	0	R4	0	0	0	0	0	0	0
R6	0	0	0	0	0	0	0	R6	0	0	0	0	0	0	0
R8	0	0	0	0	0	0	0	R8	0	0	0	0	0	0	0
R10	0	0	0	0	0	0	0	R10	0	0	0	0	0	0	0
set-03	'004560ya'	'001899xa'	'001884ya'	'001994xa'	'007089xa'	'000847xa'	'005087xa'	set-03	'000198xa'	'004678xa'	'006342xa'	'006342ya'	'000198ya'	'000055xa'	'007187xa'
R2	0	0	0	0	0	15	0	R2	0	1	0	0	0	0	9
R4	0	0	0	0	0	3	0	R4	0	0	0	0	0	0	0
R6	0	0	0	0	0	0	0	R6	0	0	0	0	0	0	0
R8	0	0	0	0	0	0	0	R8	0	0	0	0	0	0	0
R10	0	0	0	0	0	0	0	R10	0	0	0	0	0	0	0
set-04	'000410xa'	'005272xa'	'006761ya'	'006761xa'	'001243xa'	'000471ya'	'000473ya'	set-04	'000665xa'	'000287xa'	'000234xa'	'000287ya'	'007156xa'	'000290xa'	'006500xa'
R2	0	0	0	3	0	0	0	R2	0	0	0	0	0	0	0
R4	0	0	0	0	0	0	0	R4	0	0	0	0	0	0	0
R6	0	0	0	0	0	0	0	R6	0	0	0	0	0	0	0
R8	0	0	0	0	0	0	0	R8	0	0	0	0	0	0	0
R10	0	0	0	0	0	0	0	R10	0	0	0	0	0	0	0

Tabella 4.1- Numero di periodi (su 20) in corrispondenza dei quali  $\delta_y > \delta_{max}$  ( Dhyst=1;Dcyc<0)

Per quanto riguarda i Reali scalati, mentre gli SF12 presentano un andamento prossimo, e sempre inferiori, ai RNS, gli SF5 per periodi intorno all'unità mostrano una sovrastima, legata essenzialmente alla presenza di un record dominante nel set III, 006333x (riportato in tabella 4.2). Si osservi che tale anomalia si riflette non solo nei diagrammi di duttilità cinematica, ma era già comparsa negli spettri di spostamento ed accelerazione, e sarà ancor più evidente negli spettri di energia.

Waveform ID	Earthquake ID	Station ID	Earthquake Name	Date	Mw	Fault Mechanism	Building Type	Instrument Location	Epicentral Distance [km]	Fault Distance [km]	SF
6333x	2142	2487	South Iceland (aftershock)	21/06/2000	6.4	strike slip	free-field	ground level	28	27	9.45

Tabella 4.2- Reference record 006333xa

Eccetto che per bassi valori del fattore di riduzione (R=2; R=4), i risultati relativi ai sistemi ESD sono opposti, ovvero lo spettro medio dei RNS è superiore a quello delle restanti categorie, eccetto che per le registrazioni Belfagor, le quali persistono nella sottostima.

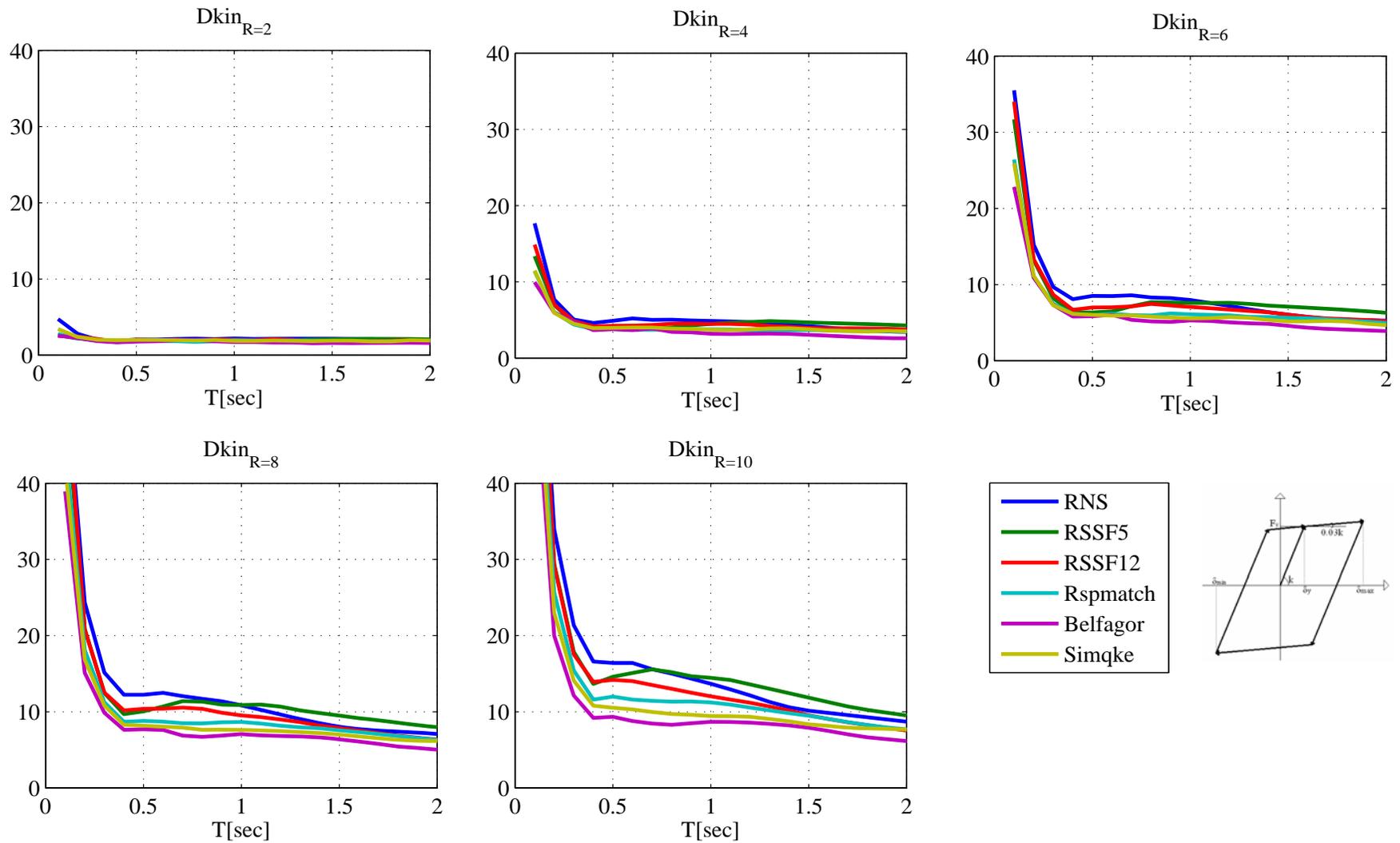


Figura 4.12-Duttilità cinematica per le sei categorie investigate al variare del fattore di riduzione  $R_i$  relativi al modello EPH

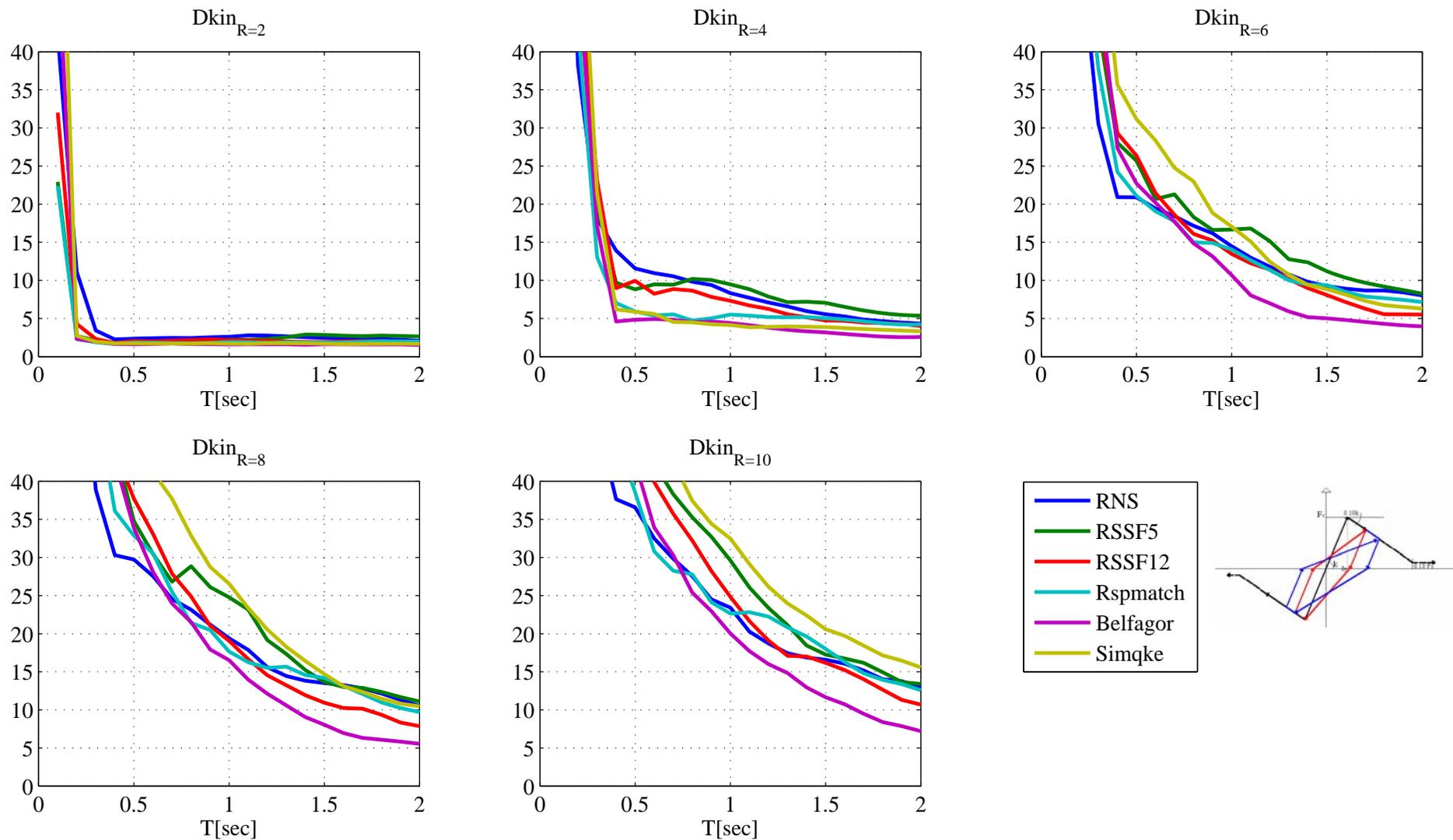


Figura 4.13-Duttività cinematica per le sei categorie investigate al variare del fattore di riduzione  $R_i$  relativo al modello ESD

#### 4.4 Spettri di risposta inelastica per parametri ciclici

Per i frequenti cambi di segno dell'accelerazione sismica, si verificano cicli plastici caratterizzati da spostamenti di segno opposto, per cui il fattore di duttilità in termini di spostamento massimo in valore assoluto non sembra essere la misura più realistica della massima deformazione inelastica subita dal sistema.

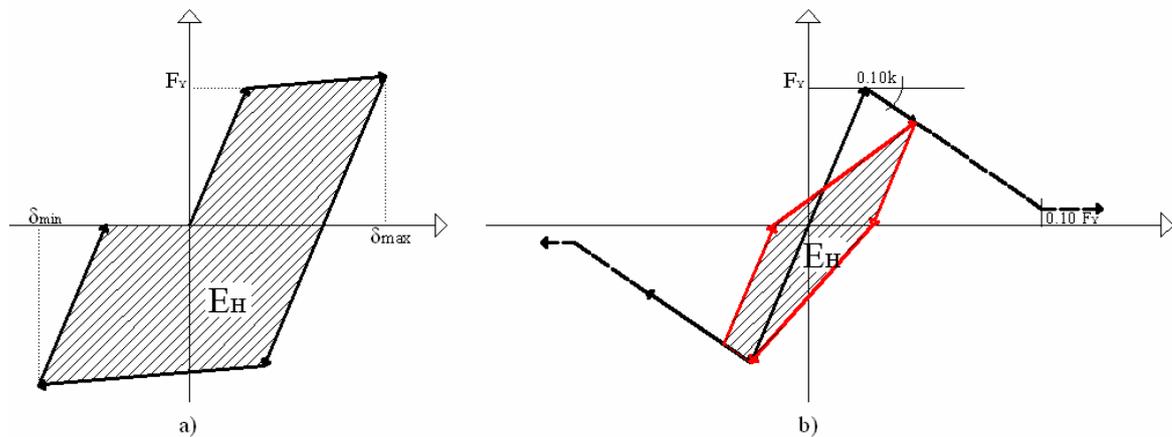


Figura 4.14-Modello isteretico di riferimento: a) legame bi-lineare non degradante; b) legame tri-lineare degradante.

##### 4.4.1 Spettri di duttilità ciclica ed isteretica

Per quantificare, quindi, la massima escursione inelastica può essere conveniente definire i seguenti fattori [Mahin e Bertero, 1981]:

La duttilità ciclica, definita come somma del massimo spostamento negativo (in valore assoluto) e quello massimo positivo, ovvero, il rapporto tra la massima escursione subita sul ramo plastico, rapportato allo spostamento di limite elastico :

$$D_{cyc} = \frac{-\delta_{min} + \delta_{max}}{\delta_y} \quad (4.8)$$

La scelta della duttilità cinematica o ciclica come parametro di danneggiamento equivale ad assumere che la rottura avvenga per effetto della massima escursione inelastica ma indipendentemente dal numero di cicli e dalla quantità di energia dissipata. Invece, per

tener conto dell'effetto cumulativo dell'energia dissipata nei cicli inelastici, è conveniente far riferimento ad un parametro che tenga conto anche dell'energia isteretica dissipata, comparabile con le duttilità già introdotte:

La duttilità isteretica, l'adimensionalizzazione dell'energia dissipata dal sistema:

$$D_{\text{hyst}} = \frac{E_H}{F_y \delta_y} + 1 \quad (4.9)$$

In conclusione, mentre  $D_{\text{kin}}$  ed  $D_{\text{cyc}}$  rappresentano una buona misura del danneggiamento nel caso in cui l'andamento dei cicli plastici sia caratterizzato da un unico ciclo con grande escursione plastica e da molti cicli con ridotta richiesta di duttilità,  $D_{\text{hyst}}$  è utile nel caso di storie di carico caratterizzate da vari cicli ad elevata deformazione, ovvero rottura condizionata sia dalla massima escursione inelastica, sia dall'ammontare dell'energia plastica dissipata e dalle relative modalità di dissipazione.

Per ciascuno dei 20 sistemi considerati, sono stati valutati i due parametri appena descritti.

In termini di Duttilità isteretica, e per entrambe le modellazioni, i RSSF5 sembrano sovrastimare il parametro in misura uguale ai Simqke, il che spingerebbe a rivalutare tale categoria artificiale. In realtà, un'analisi veloce di tutti i parametri considerati, eseguita escludendo tale record dai calcoli della media, ha mostrato, un andamento della categoria SF5 più prossimo a quella dei SF12, come era da attendersi [Luco and Bazzurro, 2007; Baker, 2007].

Per le restanti categorie relativamente ai sistemi EPH, invece, sia i Belfagor che gli RSPMatch sono alquanto fedeli all'andamento degli RNS e dei RSSF12, per quanto concerne la duttilità isteretica (Figura 4.15), mentre in termini di duttilità ciclica, anche i Belfagor, anche se in misura minore dei Simqke, sottostimano eccessivamente l'andamento degli RNS, meglio gli RSPMatch. (Figura 4.17)

Nel caso di modellazione ESD, in termini di Dhyst, si osserva che i RNS assumono valori minori di tutte le restanti categorie, con gli RSPMatch di poco superiori. In particolare lo spettro medio relativo ai Simqke si trova nettamente al di sopra rispetto ai restanti, appena sotto i Belfagor, (Figura 4.16). In termini di duttilità ciclica, a differenza di quanto accade nel caso EPH, i Belfagor sottostimano più dei Simqke, i quali, stavolta addirittura conducono ad una sovrastima rispetto alle restanti categorie. Ciò accade, ancora una volta per  $R=6,8,10$ . (Figura 4.18).

Il parametro di duttilità ciclica dà conto già della risposta in termini energetici di ciascun sistema e può condurre insieme con quelli che verranno analizzati successivamente ad una valutazione complessiva della risposta dei sistemi alle diverse categorie di record da tale punto di vista. A tal proposito va ulteriormente evidenziato che la normativa e dunque la selezione effettuata non impone alcun tipo di vincolo o controllo su parametri integrali possibili predittori della risposta energetica associata alle registrazioni accelerometriche.

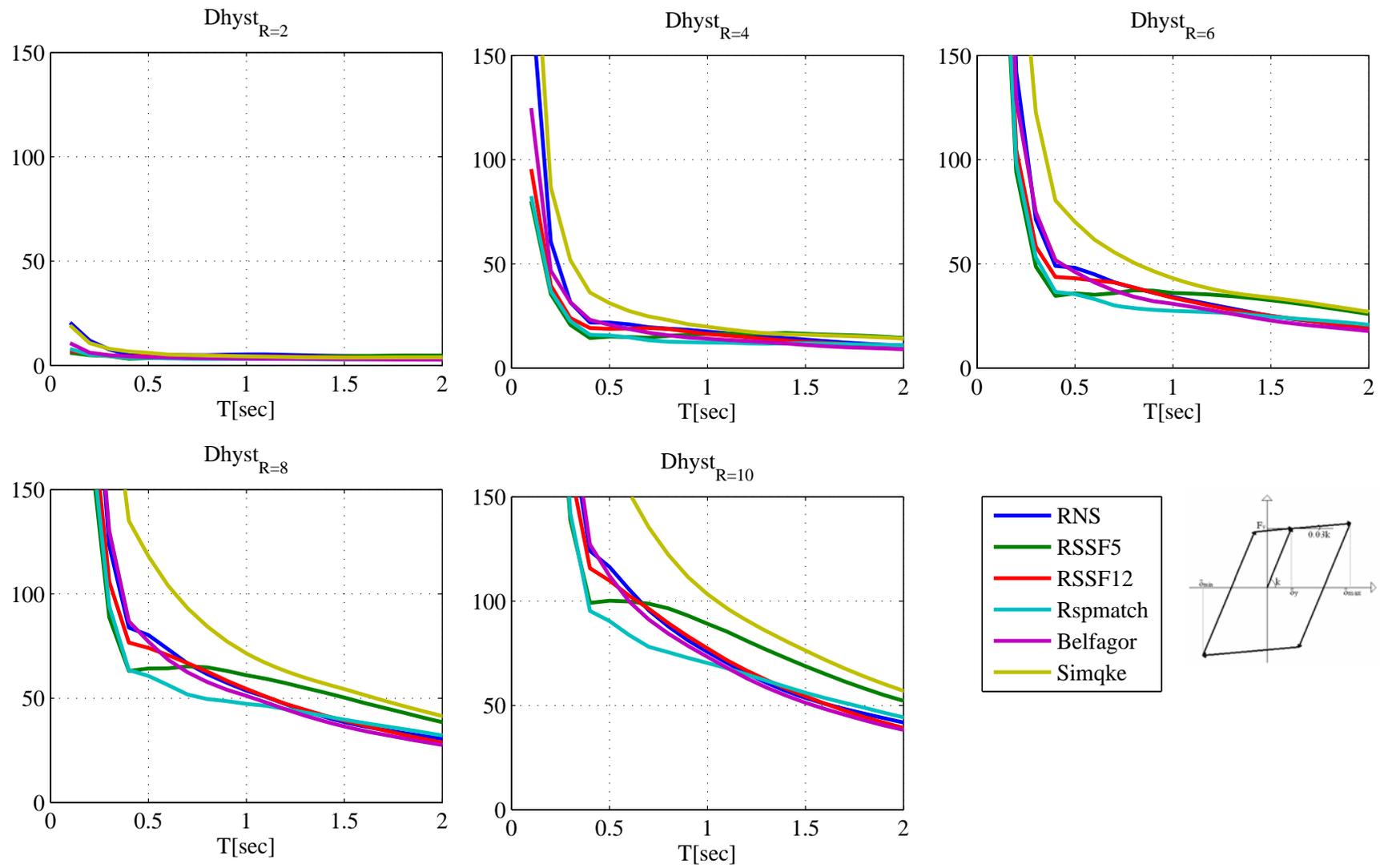


Figura 4.15-Duttilità isteretica per le sei categorie investigate al variare del fattore di riduzione  $R_i$  relativi al modello EPH

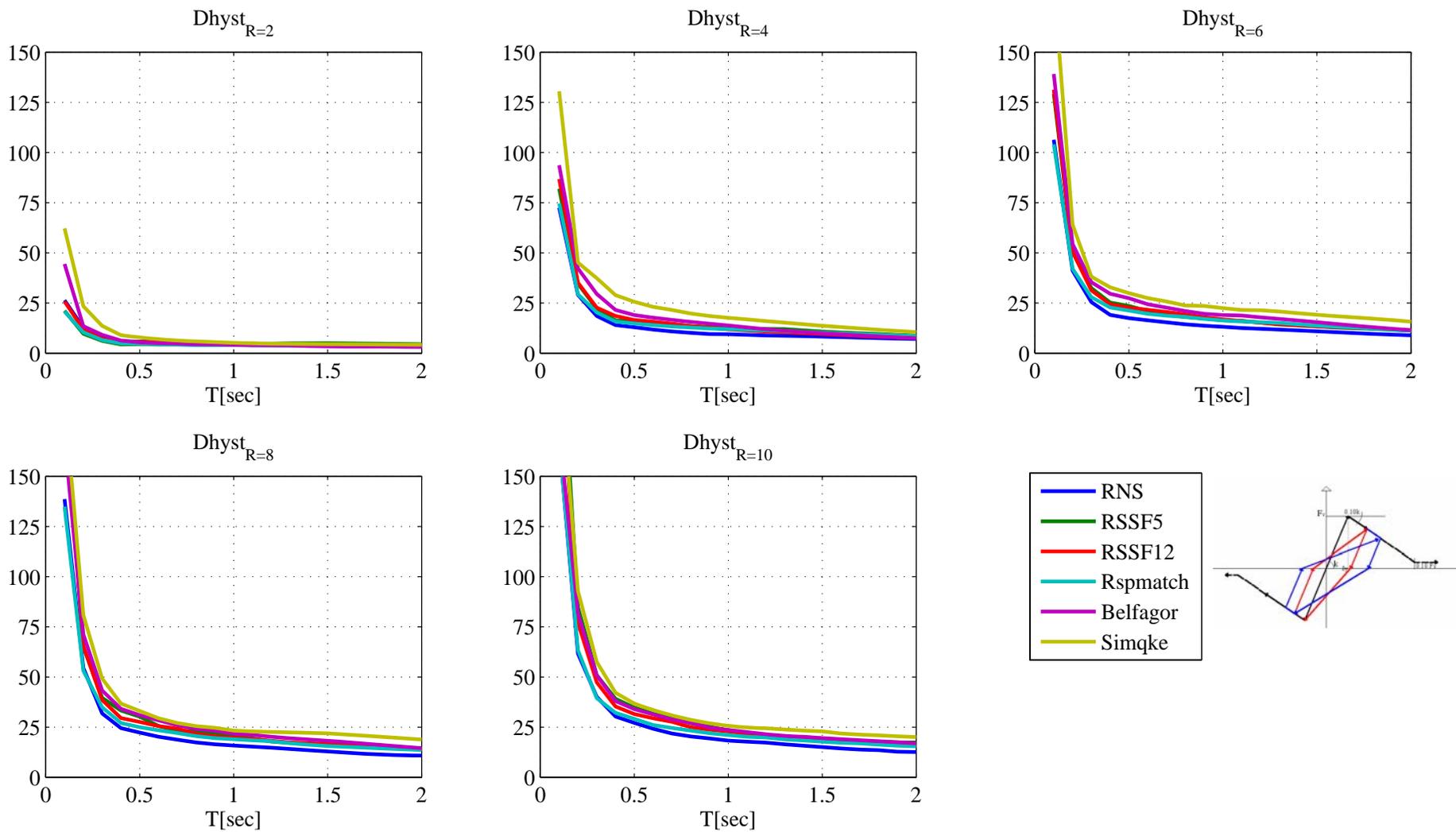


Figura 4.16-Duttività isteretica per le sei categorie investigate al variare del fattore di riduzione  $R_i$  relativi al modello ESD

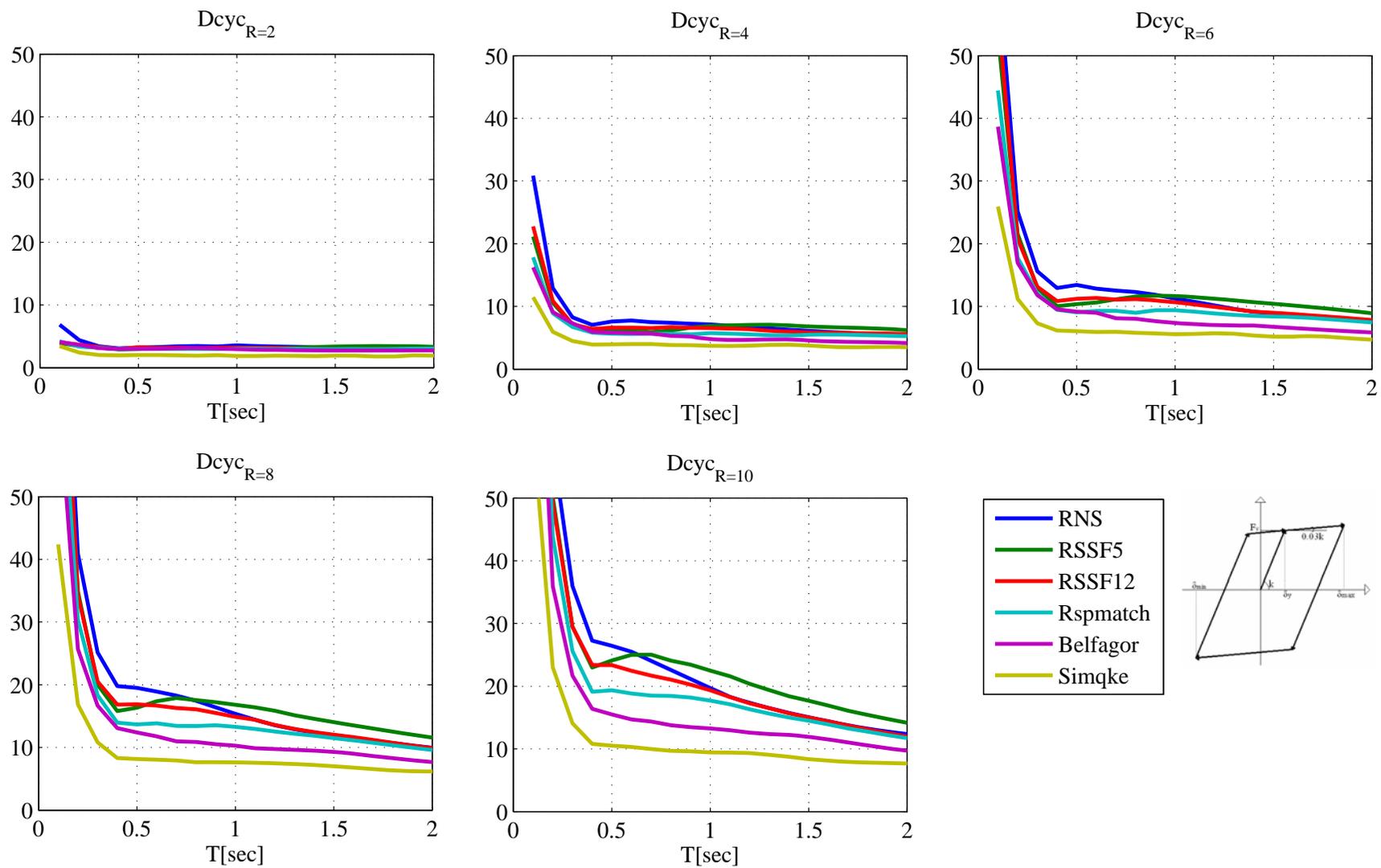


Figura 4.17-Duttività ciclica per le sei categorie investigate al variare del fattore di riduzione  $R_i$  relativi al modello EPH

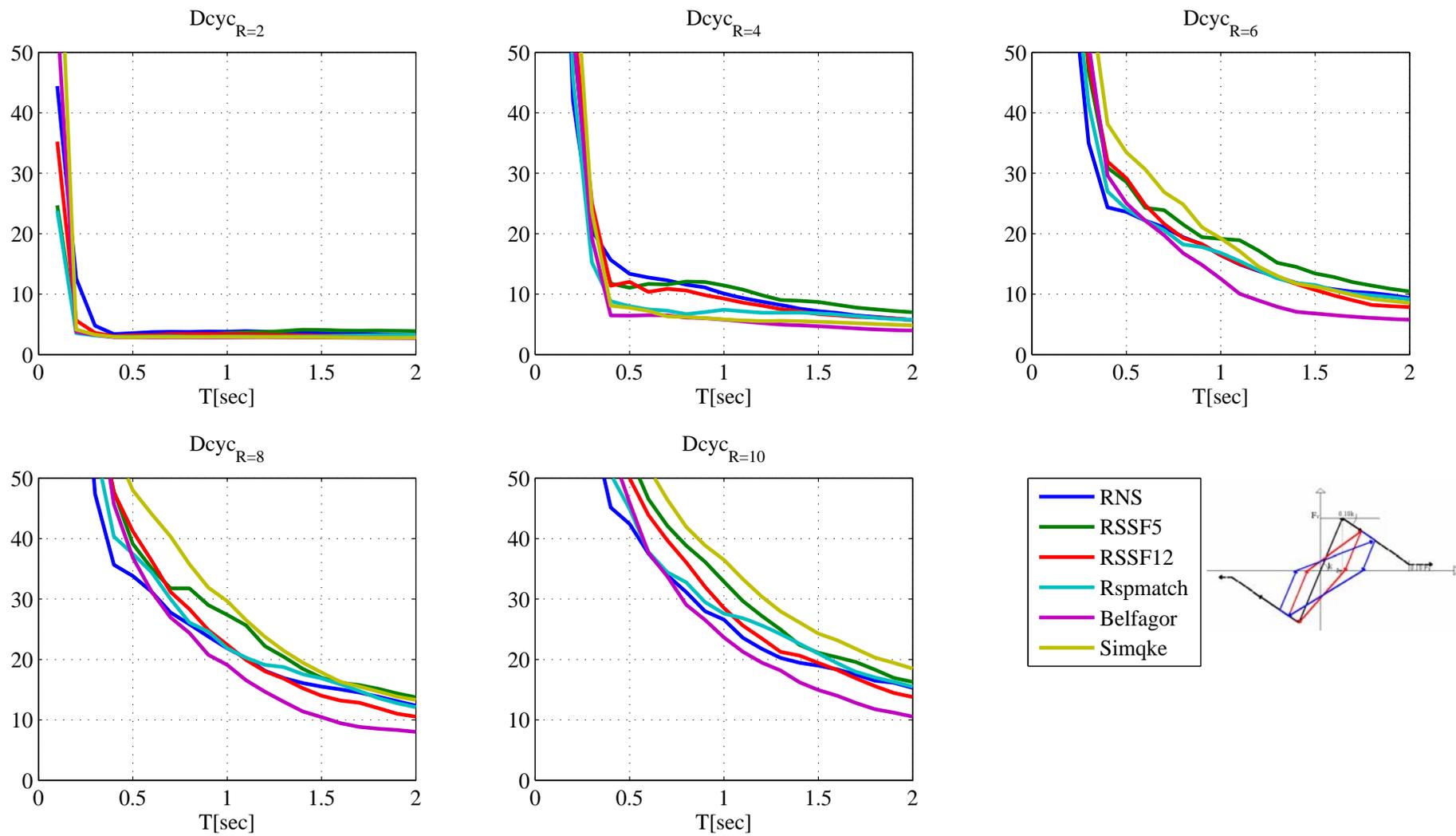


Figura 4.18-Duttività ciclica per le sei categorie investigate al variare del fattore di riduzione  $R_i$  relativi al modello ESD

#### 4.4.2 Spettri di Energia isteretica

Un'efficace misura del potenziale di danno di un terremoto su una struttura, è senza dubbio l'Energia Isteretica  $E_h$  dissipata correlata a fenomeni di degrado delle caratteristiche meccaniche.

L'azione sismica, infatti, equivale ad immettere nel sistema una determinata quantità di energia (energia di input,  $E_I$ ), numericamente uguale al lavoro compiuto dalle forze che dall'esterno agiscono sul sistema, nell'intervallo di tempo considerato. Tale energia viene trasformata in forme di energia recuperabili (energia cinetica  $E_k$  ed elastica di deformazione  $E_E$ ) e non recuperabili (energia dissipata per smorzamento viscoso  $E_\zeta$  ed energia d'isteresi  $E_H$ ).

Mentre l'energia viscosa e quella isteretica rappresentano forme di energia non recuperabili e sono, perciò, funzioni crescenti del tempo, l'energia cinetica e quella elastica di deformazione sono restituite (ad esempio l'energia elastica è restituita allo scarico) e presentano picchi e ritorni allo zero.

A partire dall'equazione del moto di un sistema SDOF (4.1), moltiplicando ogni termine per  $dx = \dot{x}dt$  ed integrando fra l'inizio del terremoto ed il generico istante  $t$ , con semplici passaggi si ottiene l'equazione globale di bilancio energetico al generico istante  $t$ :

$$E_k(t) + E_\zeta(t) + E_E(t) + E_H(t) = E_I(t) \quad (4.10)$$

Con

$$\begin{aligned} E_I(t) &= \int_0^t m \ddot{x}_t dx \\ E_k(t) &= \frac{1}{2} m \dot{x}_t^2 \\ E_\zeta(t) &= \int_0^t kx \dot{x} dt \\ E_E(t) &= \frac{1}{2} kx^2 \\ E_H(t) &= \int_0^t (F_{tot} - b\dot{x}) x dt \end{aligned} \quad (4.11)$$

Tale equazione relativa ad un dato terremoto (ad una data registrazione), evidenzia la trasformazione dell'energia di input in energia viscosa e d'isteresi. Ma se, per l'intera

durata del terremoto, il sistema rimane in campo elastico  $E_H=0$  ed  $E_\zeta=E_I$ . Se invece le escursioni in campo plastico sono numerose, ed il coefficiente di smorzamento relativo è piccolo, come accade nella maggior parte dei casi ( nel caso specifico assunto pari al 5%), l'energia dissipata per smorzamento viscoso è trascurabile,  $E_\zeta \ll E_H$ , e l'energia di input viene dissipata essenzialmente per via isteretica:  $E_H=E_I$ .

Per ogni accelerogramma selezionato, di ciascuna categoria investigata sono stati valutati gli spettri di energia isteretica, per i cinque livelli di duttilità considerati, e per i due modelli isteretici scelti. Si osservi dall'Allegato 7 come per taluni sistemi (periodi) e talune registrazioni  $E_H=0$ . Ciò accade in maniera significativa per il livello di duttilità basso ( $R=2$ ) e va via via scemando all'aumentare della duttilità. Tale risultato non è sorprendente, data l'analisi eseguita. Infatti avendo scelto di eseguire analisi di duttilità "constant strength", non è assicurato che il sistema snervi, ciò perché  $R$  è solo mediamente pari a 2,4,6,8,10, ma potrebbe essere, per talune registrazioni, anche minore dell'unità. Ciò era emerso già dall'osservazione dei risultati in termini di duttilità.

Se si considera ad esempio il record '000365y' dei reali non scalati (RNS), il cui riferimento è riportato in Tabella 4.3, si riscontra che già per periodi molto bassi il sistema non snerva, ed  $E_H=0$  per  $R=2$  per tutti i periodi a partire da  $T=0.3$  sec. (Tabella 4.2)

SET	Waveform ID	Earthquake ID	Station ID	Earthquake Name	Date	Mw	Fault Mechanism	Building Type	Instrument Location	Epicentral Distance [km]	Fault Distance [km]
I	365	175	140	Lazio Abruzzo	07/05/1984	5.9	normal	free-field	ground level, accelerometer shelter	5	11

Tabella 4.3- Reference record 000365y

Anche per livelli di duttilità superiore, tale situazione persiste, ma in corrispondenza di sistemi via via meno rigidi, fino al caso limite  $R=10$ , in corrispondenza del quale 2 sistemi (da  $T=1.9$  a  $T=2$  sec) comunque non snervano, mostrando ancora un comportamento di tipo elastico, pur essendo a livelli di duttilità elevatissimi.

Tale situazione, evidenzerebbe la scelta 'poco felice' di una modellazione a ' $F_y$  costante', la quale, si sottolinea ancora una volta, è la più vicina alle condizioni reali e quindi di maggiore interesse. Situazioni simili si riscontrano anche nelle restanti categorie, anche se in misura di gran lunga minore date le inferiori dispersioni delle altre categorie intorno allo spettro di riferimento. Dalla Tabella 4.2, si riportano il numero di sistemi (tra i 20 considerati) che soggetti all'i-esima registrazione, di ciascuna delle categorie investigate,

ed al j-esimo livello di duttilità, permangono in campo elastico e quindi presentano valori di duttilità cinematica minori dell'unità, ovvero valori di energia isteretica nulla.

Valutando la media dei valori ottenuti, per ciascuna categoria e per i diversi livelli di duttilità, Figura 4.19 – 4.20, si può osservare in maniera diretta l'elevato contenuto energetico delle registrazioni Simqke, in pieno accordo con la bibliografia corrente.

E' evidente che a partire da periodi intorno a 1.3 secondi il contenuto energetico medio dei RSSF5 diviene paragonabile a quello delle registrazioni Simqke. Ciò è condizionato, come già detto precedentemente, essenzialmente dal solo record 006333x (Tabella 4.1) che condiziona significativamente la media della categoria RSSF5.

Come era da attendersi nel caso EPH, una prestazione migliore, in media, è offerta dagli artificiali Belfagor, anche se di sottostima rispetto alle registrazioni RNS. Sottostima che diviene significativa per le registrazioni RSPMatch, soprattutto per periodi bassi.

Ovviamente, i risultati relativi al sistema degradante minoreranno un andamento meno distinto, mantenendo però lo stesso trend, anche se si osserva che in questo caso i valori minori sono mostrati dalle registrazioni RNS.

In conclusione, rapportando gli spettri di energia delle categorie SF5, SF12, RSPMatch, Belfagor e Simqke con quello degli RNS, dalla Tabella 4.4 è immediatamente deducibile che:

- Per entrambe le modellazioni i Simqke sovrastimano sempre tutte le restanti categorie (freccia blu);
- Per sistemi EPH per periodi medio-bassi la sottostima maggiore è prestata dalle registrazioni RSPMatch (rettangolo rosso);
- Per i sistemi ESD eccetto che per il livello di duttilità R=2 le registrazioni RNS presentano uno spettro di energia sempre inferiore di quello relativo alle altre categorie (i valori minori dell'unità sono riportati in grassetto).

In ultimo si osservi che poiché il criterio dell'energia è un approccio che può condurre ad una sottostima della capacità del sistema, sovrastimare eccessivamente il parametro EH potrebbe portare ad una progettazione eccessivamente a vantaggio di sicurezza, mentre, sottostime dell'ordine del 10-20% appaiono meno onerose e più accettabili.

T [sec]	Rapporto con lo spettro RNS EPH					Rapporto con lo spettro RNS ESF					
	SF5	SF12	RSPMatch	Belfagor	Simqke	SF5	SF12	RSPMatch	Belfagor	Simqke	
R=2	0.1	0.2566	0.2976	0.3566	0.4932	0.9325	0.7912	0.9732	0.7788	1.7104	2.4123
	0.2	0.3533	0.4380	0.3771	0.4690	0.8846	0.7444	0.9355	0.8057	1.0740	1.9327
	0.3	0.5150	0.5500	0.5308	0.5741	1.0469	0.7468	0.8787	0.8074	1.1833	1.8411
	0.4	0.5452	0.7907	0.6354	0.8260	1.4087	0.6784	0.8648	0.7566	1.0559	1.5976
	0.5	0.5750	0.8312	0.6194	0.6919	1.1813	0.7435	0.9597	0.7664	0.9114	1.4152
	0.6	0.6698	0.9485	0.5907	0.7041	1.0515	0.7121	1.0086	0.7487	0.8680	1.2952
	0.7	0.5903	0.9207	0.5838	0.6846	1.0299	0.7346	1.0446	0.7125	0.8099	1.1737
	0.8	0.5961	0.9555	0.5396	0.6417	0.9595	0.7751	1.0170	0.6887	0.8000	1.1385
	0.9	0.5720	0.8582	0.4953	0.5481	0.8424	0.8285	0.9608	0.7218	0.8223	1.0955
	1	0.5737	0.7573	0.4779	0.5354	0.7772	0.9017	0.9551	0.7853	0.8124	1.0690
	1.1	0.6106	0.7439	0.4974	0.5039	0.7555	0.9836	0.9896	0.8043	0.8011	1.0743
	1.2	0.7247	0.7728	0.5046	0.5098	0.7371	1.0835	0.9811	0.8239	0.8538	1.0789
	1.3	0.8165	0.8058	0.5077	0.5667	0.7673	1.1545	0.9450	0.8426	0.8524	1.0877
	1.4	0.9187	0.8033	0.5290	0.5775	0.7504	1.2061	0.8981	0.8614	0.7804	1.0934
	1.5	0.9757	0.7878	0.5425	0.5463	0.7565	1.2395	0.8671	0.8881	0.7357	1.0933
	1.6	1.0483	0.7889	0.5595	0.5387	0.8353	1.2404	0.8671	0.9028	0.7400	1.0836
	1.7	1.1103	0.7862	0.5961	0.5316	0.8571	1.2626	0.8780	0.9398	0.7657	1.1207
	1.8	1.1980	0.8041	0.6553	0.5786	0.8984	1.2516	0.8539	1.0012	0.7632	1.1334
	1.9	1.2346	0.7976	0.7187	0.5988	0.9336	1.2499	0.8314	1.0317	0.7513	1.1343
	2	1.2694	0.7843	0.7846	0.6024	0.9817	1.2341	0.8227	1.0393	0.7299	1.1342
R=4	0.1	0.4425	0.5287	0.4563	0.6921	1.3163	1.1324	1.2000	1.0293	1.2959	1.8110
	0.2	0.5789	0.6472	0.6024	0.7670	1.4365	1.1972	1.2147	1.0113	1.4670	1.5712
	0.3	0.6470	0.7516	0.7034	1.0006	1.6613	1.2085	1.2355	1.1028	1.6266	2.0750
	0.4	0.6455	0.8711	0.7178	1.0609	1.6866	1.2525	1.4334	1.2041	1.6775	2.2853
	0.5	0.6793	0.8554	0.7055	0.9490	1.4485	1.2988	1.3845	1.2255	1.6009	2.1936
	0.6	0.6950	0.9021	0.6899	0.8906	1.3220	1.2965	1.3668	1.2083	1.5447	2.0553
	0.7	0.7315	0.9797	0.6630	0.8599	1.2793	1.3558	1.3889	1.2426	1.5820	2.0819
	0.8	0.8034	0.9932	0.6541	0.8231	1.2349	1.3673	1.3584	1.2960	1.5933	2.0523
	0.9	0.8666	0.9540	0.6610	0.7891	1.1570	1.4006	1.3687	1.3339	1.5980	2.0545
	1	0.9280	0.9307	0.6837	0.7960	1.1377	1.3746	1.2989	1.3010	1.5247	1.9832
	1.1	0.9805	0.9317	0.7175	0.8000	1.1238	1.3720	1.2686	1.3058	1.4568	1.9537
	1.2	1.0450	0.9331	0.7395	0.8090	1.1177	1.5065	1.3276	1.4121	1.4898	2.0383
	1.3	1.1184	0.9204	0.7663	0.8163	1.1192	1.6529	1.4198	1.5186	1.5368	2.1423
	1.4	1.1791	0.9093	0.8156	0.8086	1.1371	1.6155	1.3933	1.5013	1.4910	2.1002
	1.5	1.2158	0.9084	0.8574	0.7957	1.1783	1.5940	1.3913	1.4954	1.4603	2.0676
	1.6	1.2613	0.9339	0.9005	0.7952	1.2380	1.6181	1.3827	1.5251	1.4568	2.0658
	1.7	1.3249	0.9536	0.9418	0.8053	1.2875	1.4300	1.2126	1.3567	1.2586	1.8010
	1.8	1.3670	0.9537	0.9679	0.8231	1.3242	1.4178	1.1957	1.3564	1.2189	1.7716
	1.9	1.3719	0.9406	0.9852	0.8206	1.3399	1.3973	1.1803	1.3505	1.1856	1.7368
	2	1.3587	0.9318	1.0034	0.8195	1.3345	1.3739	1.1814	1.3280	1.1534	1.7011
R=6	0.1	0.5856	0.6919	0.6066	0.8648	1.5781	1.2159	1.2361	0.9780	1.3107	1.7589
	0.2	0.6604	0.7353	0.6923	0.9032	1.6266	1.2310	1.2334	1.0228	1.3316	1.5712
	0.3	0.6792	0.8158	0.7414	1.0508	1.7303	1.2853	1.2376	1.1016	1.4062	1.5205
	0.4	0.7009	0.8899	0.7410	1.0586	1.6532	1.3413	1.2953	1.2034	1.5858	1.7635
	0.5	0.7401	0.8937	0.7322	0.9580	1.4685	1.3687	1.3153	1.2290	1.6021	1.7589
	0.6	0.7777	0.9331	0.7297	0.9124	1.3787	1.3006	1.3436	1.2111	1.5238	1.7205
	0.7	0.8695	0.9992	0.7236	0.9017	1.3591	1.2597	1.3616	1.2309	1.5105	1.7257
	0.8	0.9671	1.0053	0.7382	0.8864	1.3207	1.2749	1.3729	1.2767	1.5015	1.7089
	0.9	1.0296	1.0022	0.7683	0.8864	1.2958	1.2848	1.3218	1.2647	1.4621	1.7716
	1	1.0598	0.9893	0.7967	0.9002	1.2749	1.2655	1.3030	1.2615	1.4801	1.7646
	1.1	1.1105	0.9822	0.8378	0.9072	1.2554	1.3039	1.2956	1.2789	1.5382	1.7789
	1.2	1.1674	0.9751	0.8759	0.9090	1.2539	1.2744	1.2713	1.2957	1.5081	1.8270
	1.3	1.2149	0.9778	0.9170	0.9078	1.2760	1.2416	1.2530	1.3129	1.5003	1.8421
	1.4	1.2636	0.9881	0.9478	0.9052	1.3126	1.2444	1.2352	1.2892	1.4753	1.8182
	1.5	1.3106	1.0004	0.9813	0.9086	1.3615	1.2702	1.2441	1.2834	1.4632	1.8384
	1.6	1.3424	1.0063	1.0115	0.9079	1.3969	1.2423	1.2566	1.2866	1.4345	1.8485
	1.7	1.3493	0.9969	1.0309	0.9031	1.4027	1.2629	1.2789	1.2962	1.3978	1.8607
	1.8	1.3454	0.9823	1.0389	0.8981	1.3956	1.2921	1.3228	1.3043	1.3882	1.8924
	1.9	1.3258	0.9619	1.0402	0.8886	1.3826	1.2994	1.3160	1.2968	1.3664	1.8859
	2	1.3096	0.9463	1.0390	0.8827	1.3660	1.2917	1.2939	1.2833	1.3364	1.8653
R=8	0.1	0.6567	0.7772	0.7002	0.9965	1.7557	1.3657	1.3564	0.9728	1.2232	1.3669
	0.2	0.7035	0.8003	0.7367	0.9746	1.7030	1.1954	1.2043	0.9725	1.3128	1.4916
	0.3	0.7186	0.8587	0.7624	1.0581	1.7089	1.2509	1.2168	1.0992	1.3728	1.5639
	0.4	0.7499	0.9133	0.7545	1.0373	1.6197	1.3730	1.2125	1.1076	1.4087	1.5203
	0.5	0.7983	0.9227	0.7534	0.9603	1.4773	1.3744	1.2494	1.1281	1.4089	1.5092
	0.6	0.8732	0.9608	0.7627	0.9303	1.4210	1.2813	1.2743	1.1279	1.4222	1.4795
	0.7	0.9791	1.0031	0.7731	0.9356	1.4051	1.2425	1.3155	1.1888	1.4078	1.4713
	0.8	1.0533	1.0210	0.8031	0.9374	1.3777	1.3535	1.2632	1.1900	1.4115	1.4989
	0.9	1.1003	1.0166	0.8433	0.9404	1.3520	1.3670	1.2599	1.2002	1.4392	1.5335
	1	1.1410	1.0168	0.8801	0.9530	1.3397	1.3281	1.2626	1.2115	1.3996	1.5047
	1.1	1.1765	1.0029	0.9150	0.9469	1.3290	1.2893	1.2742	1.2225	1.4142	1.5324
	1.2	1.2181	1.0028	0.9487	0.9458	1.3441	1.2285	1.2525	1.2357	1.3997	1.5821
	1.3	1.2580	1.0132	0.9819	0.9464	1.3706	1.2285	1.2492	1.2140	1.4073	1.6281
	1.4	1.2901	1.0162	1.0093	0.9462	1.3983	1.2652	1.2847	1.2261	1.4340	1.6946
	1.5	1.3135	1.0178	1.0305	0.9434	1.4215	1.2887	1.3110	1.2320	1.4425	1.7605
	1.6	1.3187	1.0121	1.0466	0.9406	1.4274	1.3186	1.3540	1.2595	1.4739	1.8150
	1.7	1.3120	0.9927	1.0541	0.9304	1.4137	1.3478	1.3469	1.2779	1.4775	1.8412
	1.8	1.3004	0.9734	1.0566	0.9196	1.3985	1.3578	1.3585	1.3016	1.4573	1.8564
	1.9	1.2855	0.9552	1.0564	0.9098	1.3858	1.3420	1.3630	1.2998	1.4195	1.8521
	2	1.2730	0.9405	1.0552	0.9018	1.3719	1.3423	1.3312	1.2823	1.3747	1.8151
R=10	0.1	0.7032	0.8380	0.7606	1.0805	1.8731	1.4081	1.3172	0.9800	1.0288	1.2395
	0.2	0.7320	0.8479	0.7661	1.0256	1.7392	1.3813	1.2532	1.0279	1.3319	1.5139
	0.3	0.7534	0.8899	0.7710	1.0539	1.6865	1.2761	1.1849	0.9837	1.2755	1.4458
	0.4	0.7976	0.9329	0.7663	1.0255	1.5965	1.3039	1.1705	1.0635	1.2630	1.4068
	0.5	0.8598	0.9429	0.7748	0.9631	1.4873	1.2904	1.1681	1.0772	1.2631	1.3683
	0.6	0.9449	0.9715	0.7910	0.9449	1.4448	1.3193	1.2233	1.0785	1.3078	1.3965
	0.7	1.0336	1.0076	0.8152	0.9533	1.4208	1.3674	1.2796	1.1336	1.3384	1.4374
	0.8	1.0995	1.0180	0.8569	0.9598	1.3958	1.3416	1.2365	1.1512	1.3484	1.4294
	0.9	1.1481	1.0244	0.8958	0.9680	1.3803	1.3245	1.2418	1.1443	1.2973	1.4144
	1	1.1828	1.0242	0.9302	0.9692	1.3729	1.2887	1.2620	1.1621	1.3084	1.4268
	1.1	1.2150	1.0178	0.9625	0.9647	1.3764	1.2214	1.2499	1.1492	1.2875	1.4243
	1.2	1.2425	1.0207	0.9917	0.9636	1.3940	1.1914	1.2071	1.1549	1.2600	1.4362
	1.3	1.2657	1.0235	1.0167	0.9628	1.4145	1.2106	1.2448	1.1631	1.2731	1.4838
	1.4	1.2809	1.0198	1.0344	0.9605	1.4275	1.2382	1.2511	1.1726	1.3004	1.5073
	1.5	1.2890	1.0144	1.0470	0.9568	1.4308	1.2645	1.2621	1.1941	1.3283	1.5618
	1.6	1.2876	1.0016	1.0557	0.9502	1.4237	1.3039	1.2675	1.2156	1.3413	1.5571
	1.7	1.2795	0.9831	1.0616	0.9411	1.4114	1.3229	1.2726	1.2419	1.3673	1.5825
	1.8	1.2673	0.9644	1.0622	0.9290	1.3952	1.3263	1.2701	1.2268	1.3671	1.5931
	1.9	1.2593	0.9495	1.06							

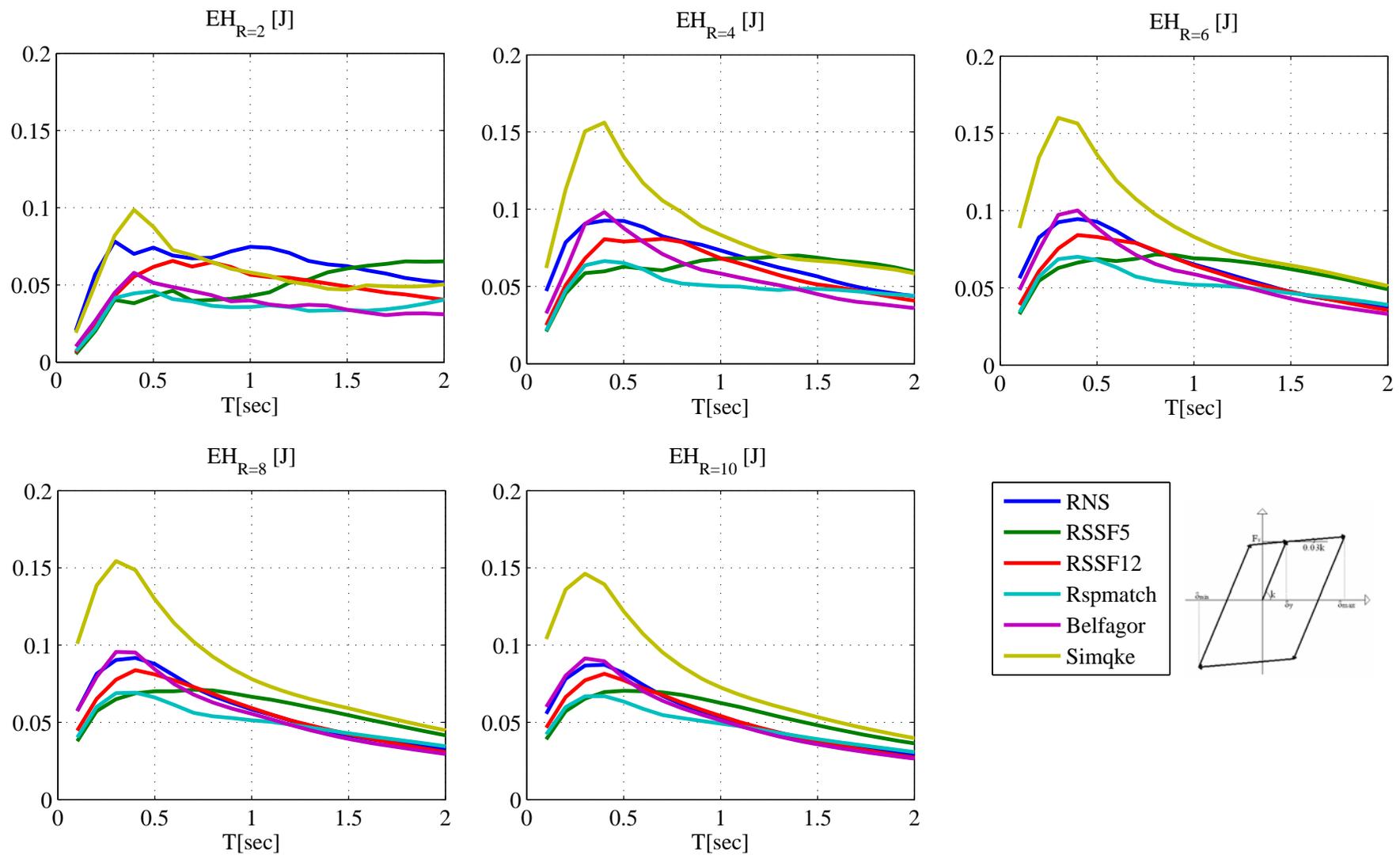


Figura 4.19-Spettri di Energia Isteretica per le sei categorie investigate al variare del fattore di riduzione  $R_i$  relativi al modello EPH

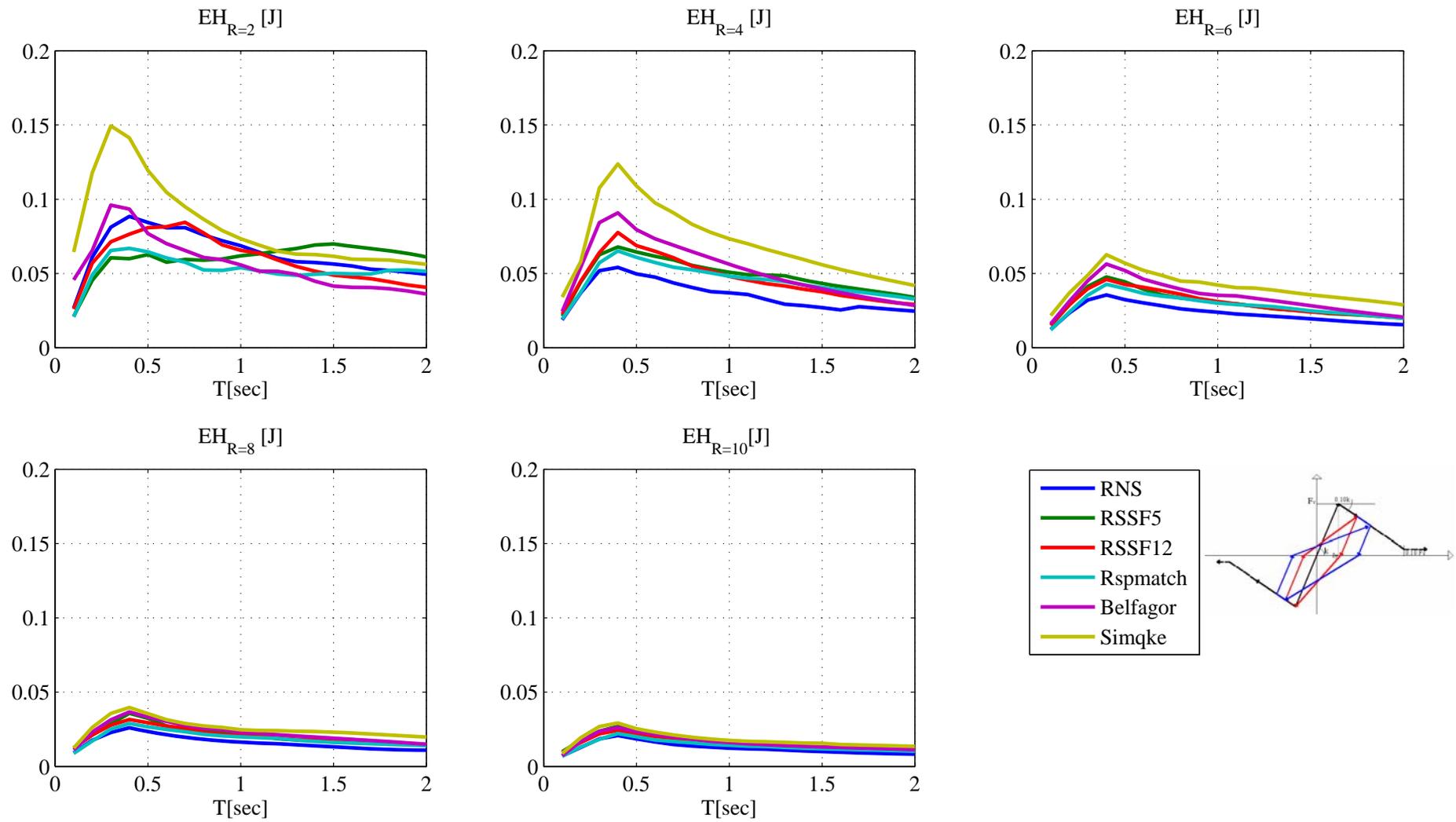


Figura 4.20-Spettri di Energia Isteretica per le sei categorie investigate al variare del fattore di riduzione  $R_i$  relativi al modello ESD

### 4.4.3 Numero di cicli Equivalenti

Il criterio della duttilità consente di verificare la sicurezza strutturale controllando la massima ampiezza. Però ripetuti cicli plastici possono indurre fenomeni di fatica plastica a basso numero di cicli, oppure condurre al collasso per eccesso di energia da dissipare plasticamente. In questi due casi non si può prescindere dall'ampiezza dei due cicli plastici, per cui è necessario conoscere l'intera distribuzione.

Per tanto, valutare il livello di danno associato, risulterebbe molto più affidabile se fossimo in grado di stimare il numero di cicli d'isteresi che si verificano durante un sisma. Purtroppo non è così semplice, poiché non tutti i cicli sono uguali e soprattutto non tutti sono pieni.

In letteratura esistono diverse definizioni volte a determinare il numero di cicli [i.e. Hadidi e Krawlinker, 1988; McCabe e Hall, 1988] sia in termini assoluti che relativi. Hadidi e Krawlinker correlano il numero di cicli plastici alla durata del sisma. McCabe e Hall, invece, introdussero il Numero di Cicli Equivalente,  $N_e$ . Tale parametro misura il numero di cicli con la massima escursione plastica verificatasi ( $\delta_{\max} - \delta_y$ ) che il sistema deve compiere per dissipare la quantità di energia isteretica  $E_H$ , associata alla reale distribuzione di cicli.  $N_e$  è definito per un sistema EPH come da (4.12). Per un sistema evolutivo e degradante la definizione di  $N_e$  è stata modificata adimensionalizzando l'energia isteretica totale,  $E_H$ , rispetto all'area relativa al massimo involuppo monotono del ciclo,  $A_u$ , (4.13).

$$N_e = \frac{E_H}{F_y (\delta_{\max} - \delta_y)} \text{ per modello EPH} \quad (4.12)$$

$$N_e = \frac{E_H}{A_u} \text{ per modello ESD} \quad (4.13)$$

Dove  $E_H$  è l'energia isteretica,  $F_y$  è la forza al limite elastico ed  $(\delta_{\max} - \delta_y)$  è la massima escursione in campo plastico.

Si osservi che tale parametro così come definito è una misura media, in quanto rappresenta proprio il rapporto tra un'energia totale e quella massima dissipata, per cui se il terremoto è di tipo impulsivo,  $N_e$  è circa unitario, viceversa terremoti di lunga durata, sono caratterizzati da valori elevati di  $N_e$ . Tale misura ha il vantaggio di adimensionalizzare la

risposta ciclica e quindi di correlarla da quella di picco, per tale motivo si presta particolarmente quale parametro di controllo aggiuntivo rispetto a misure di picco evitando una misura intrinsecamente ridondante.

Nel caso in esame, per ciascuno dei 20+20 sistemi considerati ed in riferimento alle 28X6 registrazioni, è stato valutato il numero di cicli equivalenti. Dalla Figura 4.21 si evince, l'elevata sovrastima degli artificiali Simqke rispetto ai Reali Non Scalati, sovrastima, che si riscontra anche per gli artificiali Belfagor anche se in misura minore. Tale differenza tra artificiali e reali non scalati, ovviamente, si accentua all'aumentare di R.

Come era da attendersi dallo studio dei parametri integrali delle diverse categorie di record, invece, i set Scalati e gli RSPMatch si presentano più vicini ai Reali Non Scalati, e comunque l'errore è sempre a vantaggio di sicurezza tranne che nel caso  $R=2$ , nel quale si può osservare una sottostima del parametro ad altissime frequenze, ed occasionalmente, anche per medie frequenze.

Il legame isteretico degradante per bassi livelli di R e per frequenze alte non mostra il tipico andamento iperbolico, tale situazione è frutto del modello isteretico assunto che per tali situazioni enfatizza la presenza di cicli plastici intorno alla posizione di forza residua del legame; alla stessa ragione va addotto l'andamento pressoché costante di  $N_e$  per valori di R elevati, anche in tale caso il sistema cicla intorno alla resistenza residua.

A titolo di completezza, in Allegato 8 sono riportati per ciascun valore di  $R_i$  il valore del numero di cicli equivalenti, set to set, per le sei categorie investigate e per entrambe le modellazioni scelte, nel range in cui è assicurata la spettrocompatibilità.

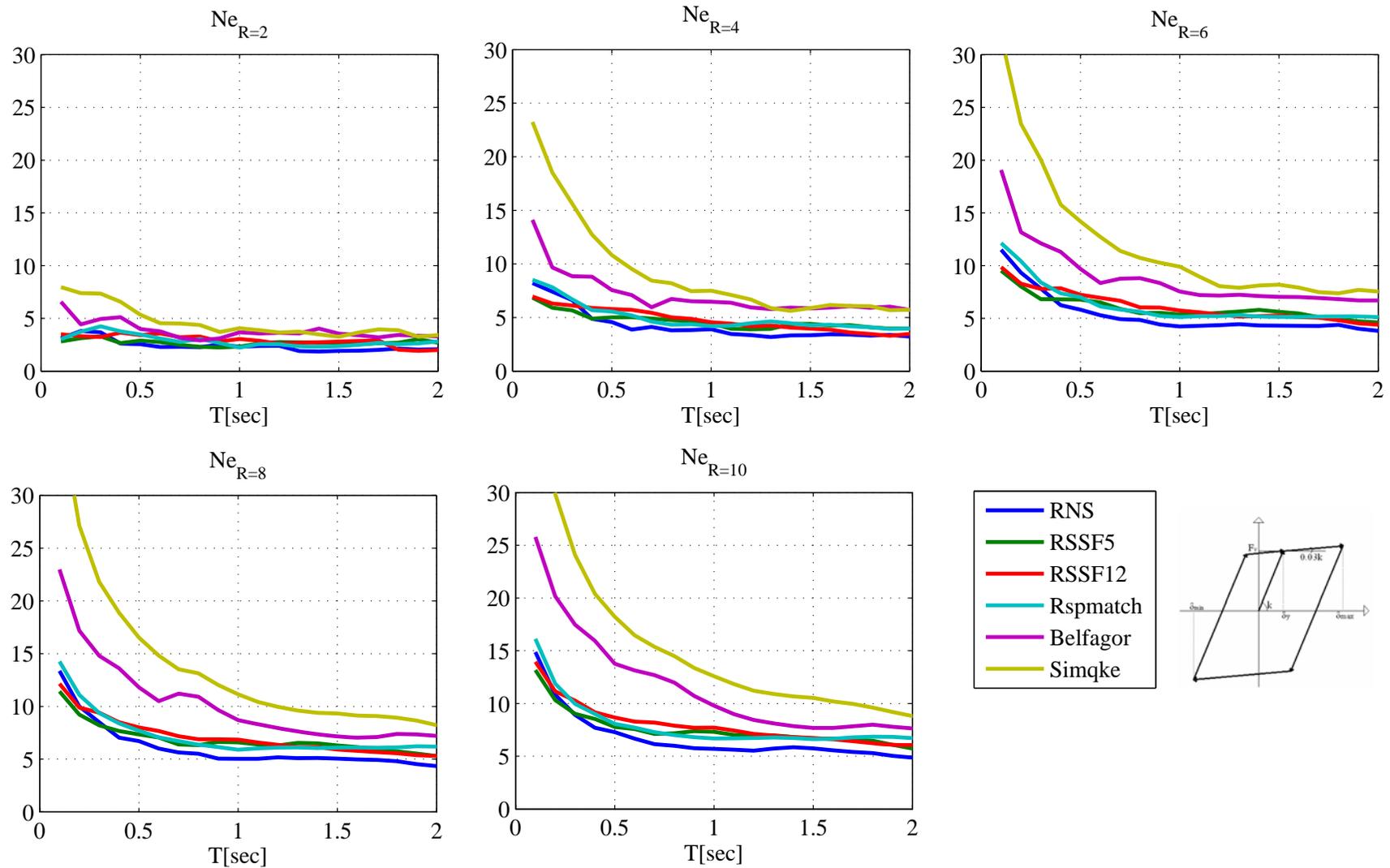


Figura 4.21-Numero di Cicli Equivalenti per le sei categorie investigate al variare del fattore di riduzione R relativi al modello EPH

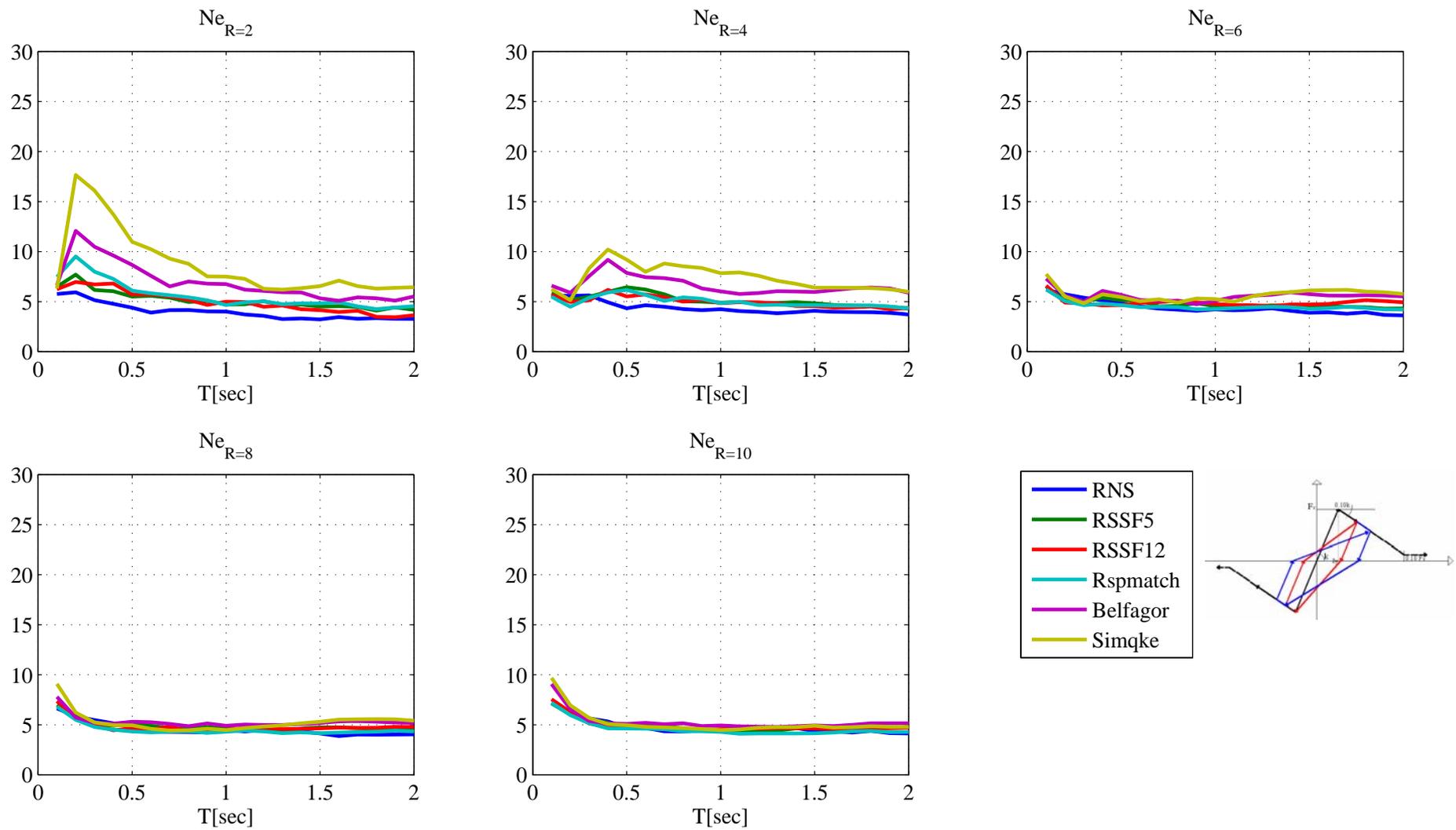


Figura 4.22-Numero di Cicli Equivalenti per le sei categorie investigate al variare del fattore di riduzione  $R$  relativi al modello ESD

### 4.5 Correlazione tra $N_e$ ed $I_D$

I risultati riscontrati nel paragrafo precedente, sembrano essere in accordo con quelli già ottenuti in termini di parametri integrali. Infatti, nel capitolo precedente avevamo valutato l'indice di Cosenza Manfredi,  $I_D$  (3.5), per ciascuno degli accelerogrammi selezionati/generati. Tale parametro, immediatamente deducibile dall'accelerogramma, è in relazione con il contenuto energetico dell'evento sismico e quindi correlabile al numero di cicli plastici.

In figura 4.23-4.25, sono mostrate per il livello di duttilità  $R=6$ , e per i periodi  $T= 0.3, 0.6, 1.0$  sec il legame  $I_D$ - $N_e$ , per ciascuno dei 28 records delle sei categorie investigate e relativamente alla modellazione EPH.

Si osservi come i segnali Simqke, sono posizionati in alto a destra del piano. Infatti avevamo per questa categoria ottenuto valori elevati di  $I_D$  (figura 3.14-3.15), che mostrano un potere predittivo degli elevati valori di energia. I grafici seguenti, non fanno che confermare tale risultato atteso.

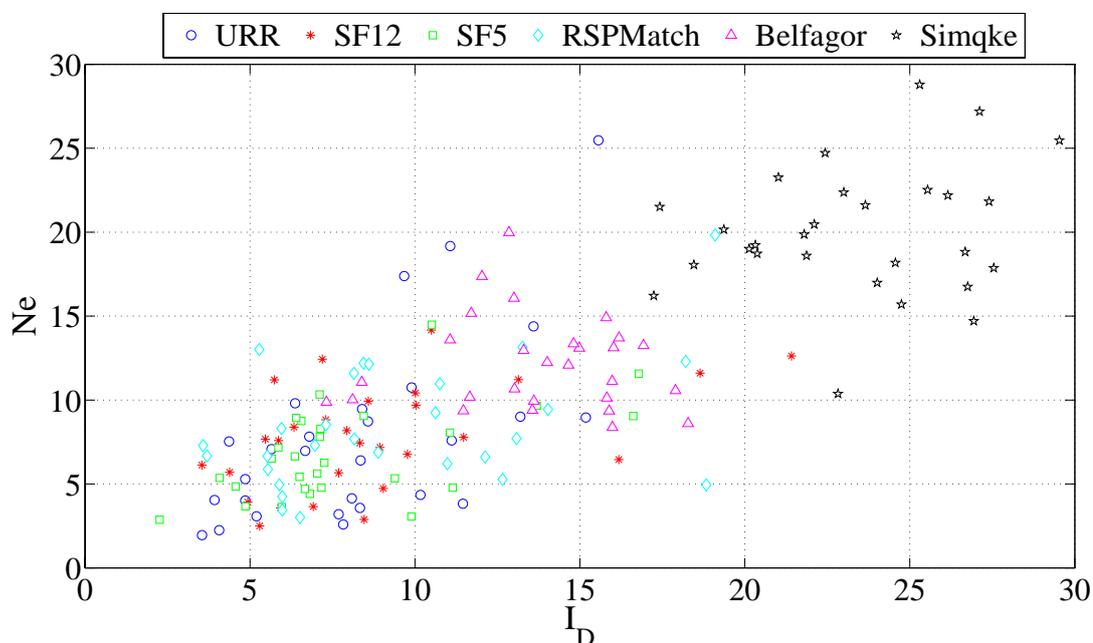


Figura 4.23-Legame  $I_D$ - $N_e$  per ogni record di ogni categoria,  $R=6$ ,  $T= 0.3$  sec (EPH)

Gli artificiali Belfagor, i quali presentavano valori medi di  $I_D$ , si posizionano nella parte centrale del piano, mentre i modificati RSPMatch, presentano un trend molto prossimo a quelli dei RNS, così come entrambe le categorie scalate.

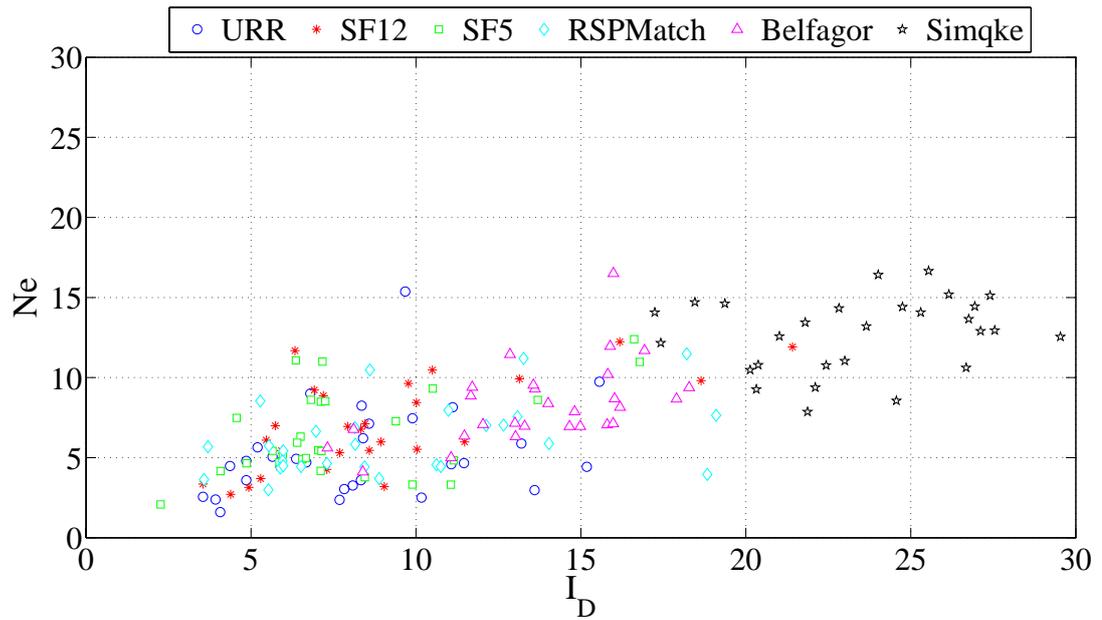


Figura 4.24-Legame ID-Ne per ogni recod di ogni categoria, R=6, T=0.6 sec (EPH)

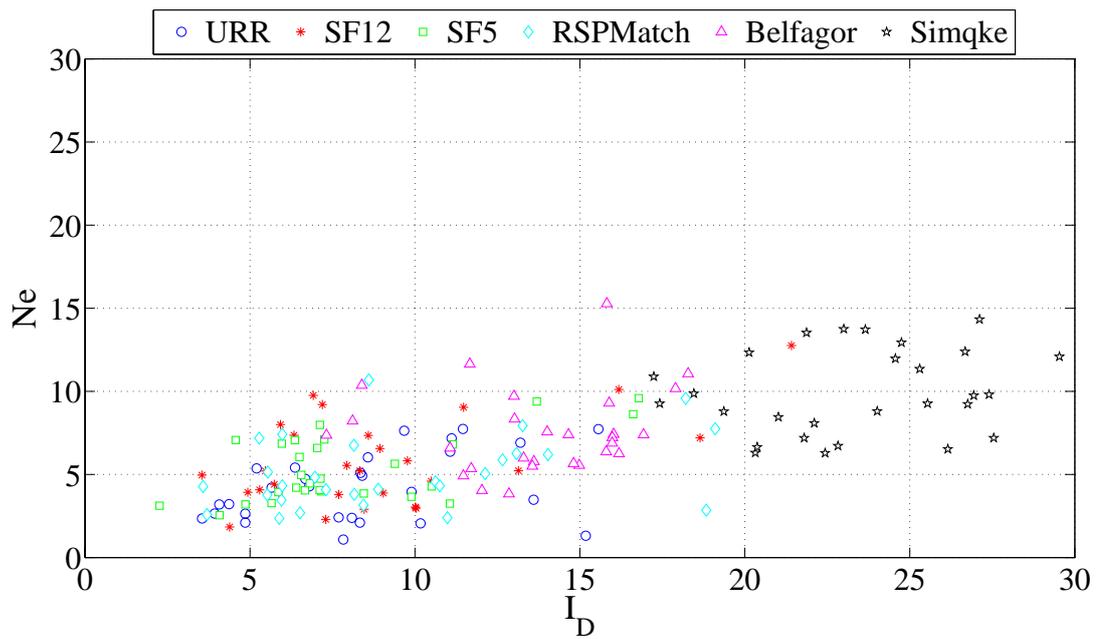


Figura 4.25-Legame ID-Ne per ogni recod di ogni categoria, R=6, T= 1 sec (EPH)

Nel caso di modellazione ESD invece la correlazione è meno evidente come si evince dalle Figure 4.26-4.27-4.28.

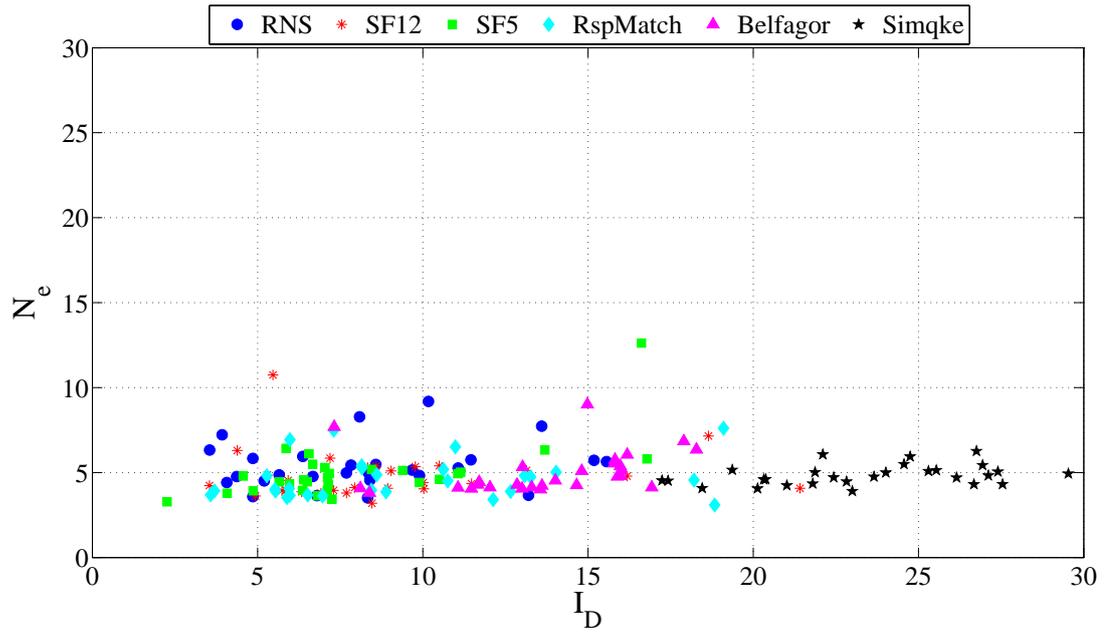


Figura 4.26-Legame  $I_D$ - $N^e$  per ogni record di ogni categoria,  $R=6$ ,  $T= 0.3$  sec (ESD)

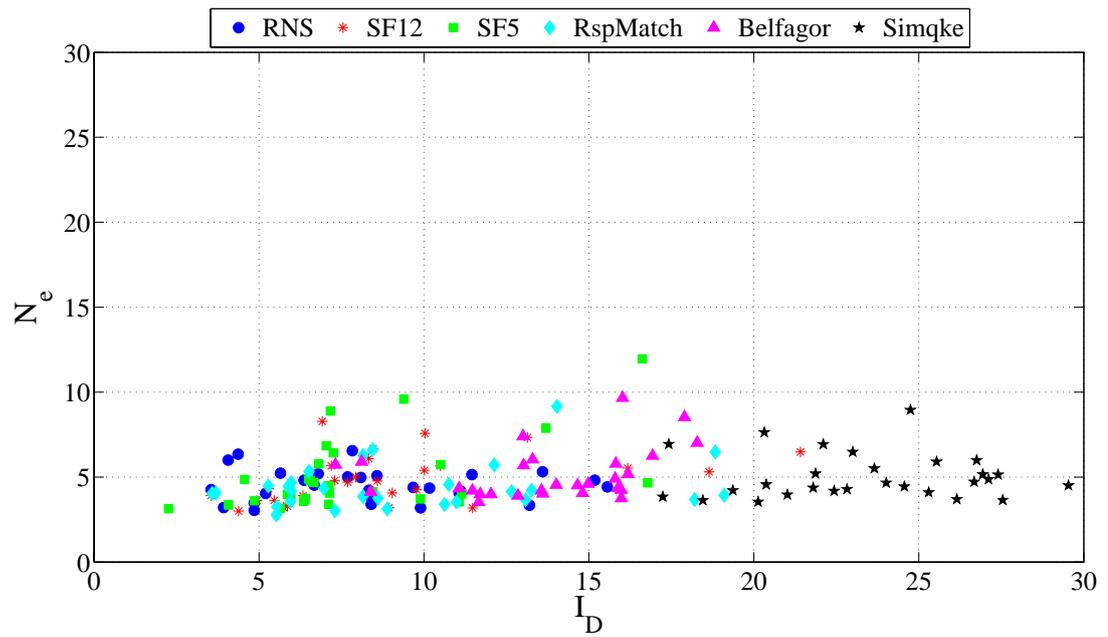


Figura 4.27-Legame  $I_D$ - $N^e$  per ogni record di ogni categoria,  $R=6$ ,  $T= 0.6$  sec (ESD)

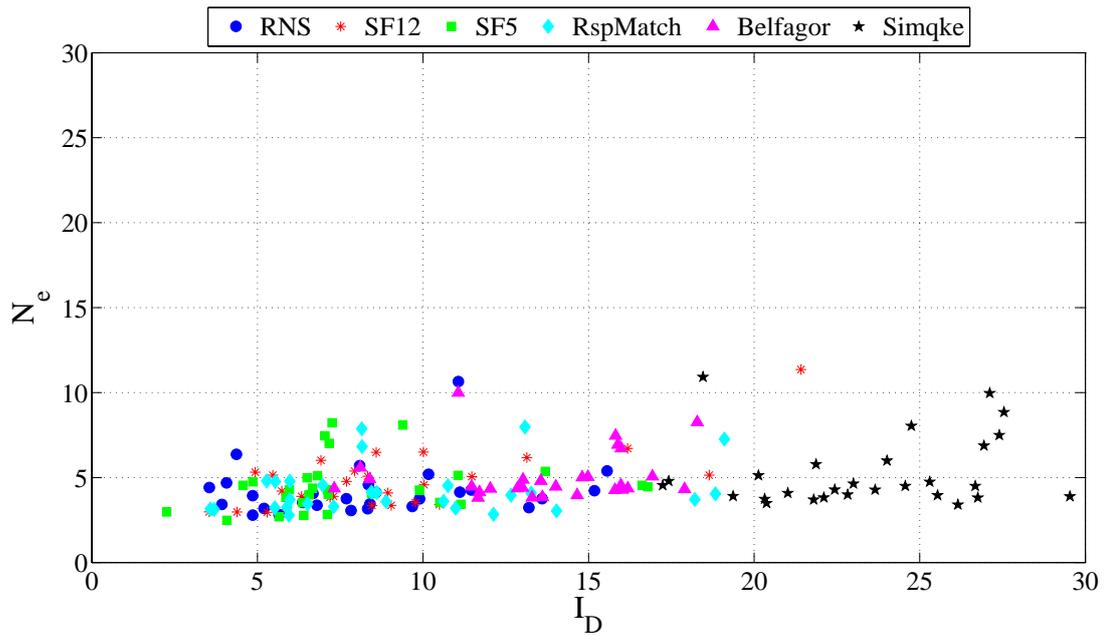


Figura 4.28-Legame  $I_D$ - $N^e$  per ogni record di ogni categoria,  $R=6$ ,  $T= 1\text{sec}$  (ESD)

Si conclude, che l'indice di danno, nei casi esaminati, si è mostrato un ottimo parametro predittivo delle prestazioni sismiche cicliche in maniera semplice ed immediata.

La correlazione individuata seppur già evidenziabile da risultati di letteratura [Stafford e Bommer, 2009; Bommer et al 2006; Elenas 2000] andrebbe ulteriormente indagata.

## 4.6 Analisi statistica dei risultati

In questo capitolo, si vuole mostrare, attraverso lo strumento statistico, che la categoria di segnale scelto per effettuare l'analisi può avere un peso rilevante nella valutazione della risposta sismica delle strutture.

Infatti, una volta determinati i parametri di duttilità, energia e spostamento, per le sei categorie analizzate, un coerente epilogo dello studio non può che essere un test volto a valutare l'omogeneità (o meno) delle medie delle distribuzioni di tali parametri ad esse associate.

Le tecniche statistiche utilizzate per distinguere gli “scostamenti” (o “mutamenti”) accidentali, dovuti a fattori non identificabili *a priori*, da quelli deterministici, spiegabili come effetto di fattori noti, sono i così detti test d'ipotesi, i quali consentono quindi di verificare se, e quanto, una determinata ipotesi è supportata dall'evidenza empirica.

Quindi, si vuole capire se la differenza tra le medie tra le sei categorie selezionate, pur essendo state scelte come spettrocompatibili con il medesimo spettro target, in termini di spostamenti duttilità ed energia sono differenti “per caso”, oppure sono differenti “per natura”.

Si ricorda, però che *“Il test per se stesso non da un verdetto finale, ma è uno strumento che aiuta il ricercatore a formarsi la sua decisione finale”* [Neyman e Pearson, 1928].

In Appendice, sono riportate le diverse tipologie di Test parametrici applicabili, a campioni indipendenti e con distribuzioni normali, a seconda delle ipotesi di base, soffermandosi, con particolare interesse su Test T di Student con varianze differenti (modifica di Aspin-Welch), essendo questa la soluzione adottata per il confronto tra le medie sui parametri d'interesse.

### 4.6.1 Caratterizzazione della statistica test

Le medie dei parametri di risposta valutati ai paragrafi precedenti delle sei categorie investigate sono state statisticamente comparate per verificarne l'uguaglianza.

Sotto l'assunzione che le risposte individuali sono di tipo log-normale, e poiché è irragionevole supporre un'uguaglianza delle varianze tra le sei categorie investigate,

palesamente evidente dai risultati presentati nel precedente capitolo, s'intende eseguire test di Student con la modifica di Aspin-Welch [Welch, 1937], su i parametri di maggiore interesse, quali:

- Spostamenti,  $S_d$  (Elastico, R=2; R=4; R=6; R=8; R=10)
- Duttilità cinematica,  $D_{kin}$  (R=2; R=4; R=6; R=8; R=10)
- Numero di cicli equivalenti,  $N_{e+1}$  (R=2; R=4; R=6; R=8; R=10)
- Duttilità isteretica,  $D_{hyst}$  (R=2; R=4; R=6; R=8; R=10)

Statisticamente parlando, l'assunzione da testare è che la media delle distribuzioni di probabilità del parametro  $X$  considerato ( $S_d$ ,  $D_{kin}$ ,  $N_{e+1}$ ,  $D_{hyst}$ ), sia la stessa per ciascuna delle 15 coppie di categorie:

RNS vs RSSF5; RNS vs RSSF12; RNS vs RSPMatch; RNS vs Belfagor; RNS vs Simqke  
 RSSF5 vs RSSF12; RSSF5 vs RSPMatch; RSSF5 vs Belfagor; RSSF5 vs Simqke  
 RSSF12 vs RSPMatch; RSSF12 vs Belfagor; RSSF12 vs Simqke  
 RSPMatch vs Belfagor; RSPMatch vs Simqke  
 Belfagor vs Simqke

Ad esempio, se il parametro da testare è il Numero di cicli equivalenti ( $N_{e+1}$ ), indicando con 1 i RNS e con 2 i RSSF5, dette:

$$\mu_1 = \text{media}[\ln(N_{e1,1}), \ln(N_{e1,2}), \dots, \ln(N_{e1,28})]$$

$$\mu_2 = \text{media}[\ln(N_{e2,1}), \ln(N_{e2,2}), \dots, \ln(N_{e2,28})]$$

L'ipotesi nulla del test è:

$$\mathcal{H}_0: \text{la media delle risposte sono uguali} \leftrightarrow \mathcal{H}_0: \mu_1 - \mu_2 = 0$$

In quanto interessati a verificare la sola non-uguaglianza, poiché il verso della disuguaglianza, se è significativa la non-uguaglianza, può essere immediatamente dedotto dai grafici 4.8/9 - 4.13/14 - 4.21/22 - 4.15/16, e quindi è nota a priori. Si decide di eseguire test bilaterali (a due code), ovvero:

$$\mathcal{H}_1: \text{la media delle risposte non sono uguali} \leftrightarrow \mathcal{H}_1: \mu_1 - \mu_2 \neq 0$$

Pertanto, seguendo la procedura dettagliatamente illustrata in Appendice, possiamo valutare la seguente statistica, dove, nel caso in esame  $n=m=28$ :

$$t = \frac{\bar{x}_1 - \bar{x}_2}{\sqrt{\left(\frac{s_1^2}{n} + \frac{s_2^2}{m}\right)}} \quad (5.1)$$

I cui gradi di libertà sono valutati con la modifica A&W, come:

$$f = \frac{\left(\frac{s_1^2}{n} + \frac{s_2^2}{m}\right)^2}{\frac{\left(\frac{s_1^2}{n}\right)^2}{n-1} + \frac{\left(\frac{s_2^2}{m}\right)^2}{m-1}} \quad (5.2)$$

All'accettazione dell'ipotesi si associa un livello di significatività statistico al quale corrisponde un rischio di rigetto quando essa è corretta del 5%:

$$\alpha = \Pr[\text{rigettare } H_0 | H_0 \text{ è corretta}] = 0.05$$

Nelle tabelle dei valori critici del T di Student bilaterale, per gradi di libertà  $gdl=f$  ed  $\alpha=0.05$ , è riportato il  $t_{f,0.05}$ . Se  $t$  risulta maggiore di  $t_{f,0.05}$  l'ipotesi nulla viene rigettata, essendo significativa la differenza riscontrata.

Ad esempio, relativamente al parametro  $Ne+1$ , ed al confronto  $RNS_{28}$  vs  $RSSF_{528}$   $R=8$  EPH, si sono ottenuti i seguenti risultati (Tabella 4.4). Si osservi che è stato eseguito, a titolo di controllo anche un test di Student standard (riquadro blu), ma le valutazioni di seguito esposte faranno riferimento al solo test con modifica di A&W, ritenendolo, come già sottolineato, maggiormente idoneo nello studio in esame.

Nello specifico caso riportato, si osservi che per periodi  $T=0.9$  ed  $T=1$ , l'ipotesi di uguaglianza viene rigettata, infatti il p-value (A&W p) risulta inferiore ad  $\alpha_{0.05}$ . Si noti che il test standard avrebbe portato allo stesso risultato, in termini di numero di rigetti. Ciò è vero in questo caso specifico, ma non è sempre riscontrato nelle restanti applicazioni.

Parametri di input				Test di Student Standard						Test di student con la modifica di Aspin Welch							
Per.	mean1	sigma1	mean2	sigma2	T_t	T_p	T_ci_inf	T_ci_sup	T_stat	T_df	T_sd	A&T_t	A&W_p	A&W_ci_inf	A&W_ci_inf	A&W_stat	A&W_df
0.1	2.494455	0.626929	2.467148	0.341922	0	0.840408	-0.243259	0.297873	0.202345	54	0.504951	0	0.84063	-0.245088	0.299702	0.202345	41.756761
0.2	2.264174	0.525335	2.277971	0.316488	0	0.905687	-0.24617	0.218576	-0.119038	54	0.433671	0	0.905783	-0.247338	0.219744	-0.119038	44.317829
0.3	2.120259	0.503049	2.151497	0.372991	0	0.79282	-0.268514	0.206036	-0.263954	54	0.44282	0	0.792905	-0.268973	0.206496	-0.263954	49.797045
0.4	1.959497	0.501385	2.099732	0.348716	0	0.229642	-0.371632	0.091162	-1.215027	54	0.431851	0	0.230278	-0.372275	0.091806	-1.215027	48.168075
0.5	1.959075	0.412852	2.063491	0.342201	0	0.307432	-0.307589	0.098756	-1.030365	54	0.379176	0	0.307589	-0.307749	0.098917	-1.030365	52.203347
0.6	1.864212	0.404836	2.020452	0.371629	0	0.138304	-0.364455	0.051976	-1.504405	54	0.388588	0	0.138346	-0.364489	0.052011	-1.504405	53.60922
0.7	1.810836	0.410525	1.941707	0.352602	0	0.206137	-0.335911	0.074169	-1.279656	54	0.382661	0	0.206261	-0.336018	0.074276	-1.279656	52.797209
0.8	1.811503	0.360616	1.939143	0.337088	0	0.176903	-0.31467	0.059391	-1.36824	54	0.34905	0	0.176929	-0.31469	0.05941	-1.36824	53.756036
0.9	1.740266	0.350447	1.970375	0.360585	1	0.018843	-0.420623	-0.039595	-2.421556	54	0.355552	1	0.018846	-0.420627	-0.039591	-2.421556	53.956146
1	1.727941	0.377135	1.954977	0.380843	1	0.029129	-0.430111	-0.023961	-2.241441	54	0.378994	1	0.02913	-0.430112	-0.023961	-2.241441	53.994832
1.1	1.694776	0.468594	1.903878	0.430764	0	0.087851	-0.450265	0.032062	-1.738339	54	0.450077	0	0.087891	-0.450304	0.032101	-1.738339	53.621838
1.2	1.707517	0.47522	1.890045	0.445514	0	0.143958	-0.429333	0.064277	-1.482734	54	0.460606	0	0.143982	-0.429357	0.064301	-1.482734	53.776554
1.3	1.68385	0.499273	1.915596	0.473292	0	0.080289	-0.492402	0.028911	-1.782508	54	0.486456	0	0.080305	-0.492419	0.028928	-1.782508	53.846651
1.4	1.65302	0.595254	1.911478	0.471054	0	0.077182	-0.546067	0.029152	-1.801664	54	0.536759	0	0.077477	-0.546415	0.029501	-1.801664	51.29062
1.5	1.633616	0.610532	1.894819	0.446243	0	0.073122	-0.547727	0.025322	-1.827695	54	0.534734	0	0.073633	-0.548334	0.025928	-1.827695	49.443044
1.6	1.628655	0.598389	1.880162	0.430574	0	0.076608	-0.530822	0.027808	-1.805277	54	0.521279	0	0.077171	-0.531469	0.028455	-1.805277	49.048413
1.7	1.640827	0.566984	1.843483	0.436232	0	0.139697	-0.473704	0.068392	-1.499	54	0.50585	0	0.140079	-0.474112	0.0688	-1.499	50.671138
1.8	1.635081	0.540817	1.813972	0.441197	0	0.180961	-0.443522	0.085739	-1.355311	54	0.493873	0	0.181183	-0.443762	0.085979	-1.355311	51.940171
1.9	1.587288	0.535279	1.775131	0.461223	0	0.165234	-0.455555	0.07987	-1.406739	54	0.499625	0	0.165359	-0.455689	0.080004	-1.406739	52.84534
2	1.560734	0.525615	1.742176	0.456206	0	0.173431	-0.445141	0.082257	-1.379485	54	0.492136	0	0.173543	-0.445261	0.082377	-1.379485	52.951942

**Tabella 4.4- Risultati test RNS<sub>28</sub> vs RSSF<sub>528</sub> relativo al parametro Ne+1 al variare del periodo nell'intervallo [0.1-2].**

In seconda battuta, sono stati eseguiti test d'ipotesi, nelle stesse condizioni, effettuando i confronti anche *set to set*, sia tra le sei categorie investigate, sia tra i 4 set della stessa categoria. In sintesi sono state eseguite tre tipologie di tests:

- 'Totale a 28', ovvero confrontando tra loro le sei categorie costituite da 28 accelerogrammi cadauna: n=m=28, per un totale di 15 tests;
- 'Set to set', ovvero confrontando i quattro set costituenti ciascuna categoria con i quattro set costituenti le restanti categorie: n=m=7, per un totale di 240 (4x4x15) tests;
- 'Interni', ovvero confrontando ciascun set dei quattro costituenti la categoria i-esima con i restanti tre: n=m=7, per un totale di 36 (6x6) tests.

In particolare, il confronto 'interni', apparentemente superfluo, viene eseguito per stabilire se ciascuno dei quattro set selezionati di ciascuna categoria può essere usato indifferentemente. Vedremo in seguito, infatti, che il risultato del test non è sempre non significativo, e ci sono casi in cui tale condizione non sussiste.

I risultati sono stati sintetizzati in matrici, nella quale, in ciascuna cella sono riportati il numero di periodi (tra 0 e 20, avendo scelto  $T \equiv [0.1-2 \text{ sec}]$ ) per la quale si verifica il rigetto del test. In particolare, detta organizzazione dei risultati, permette una visione completa delle tre tipologie di test. Inoltre avremo una tabella per ciascuno dei 5 livelli di duttilità considerati, per i parametri Ne+1; Dkin; Dhyst, mentre per lo spostamento Sd, avremo sei tabelle, in quanto si è ritenuto importante valutare anche gli scostamenti in termini di risposta elastica.

In Allegato 9 sono riportate le (3X5 + 1X6)X2 tabelle di sintesi dei risultati, la cui lettura va effettuata, come mostrato in figura 5.1. Si osservi che la matrice totale, risulta simmetrica, ed in particolare mentre le matrici dei test ‘Interni’ sono simmetriche, quelle dei ‘test *set to set*’ non lo sono per loro natura.

Param.		Numero di periodi in cui il test risulta Significativo																							
Fatt.Rid.	Ne	RNS				RSSF12				RSSF5				RSPMatch				Belfagor				Simqke			
		SET_1	SET_2	SET_3	SET_4	SET_1	SET_2	SET_3	SET_4	SET_1	SET_2	SET_3	SET_4	SET_1	SET_2	SET_3	SET_4	SET_1	SET_2	SET_3	SET_4	SET_1	SET_2	SET_3	SET_4
RNS	SET_1	0	11	1		0	13	14	18	18	6	14	0	3	16	11	19	20	20	20	20	20	20	20	20
	SET_2		0	0		0	0	0	0	6	0	0	0	0	0	0	0	6	3	5	10	14	18	17	13
	SET_3			0		0	0	1	0	12	0	0	10	0	2	0	0	10	10	11	14	20	19	20	18
	SET_4				0	0	0	0	0	8	0	0	0	0	0	0	0	4	3	4	8	14	17	18	9
	28									6				2				6				20			
RSSF12	SET_1					0	0	0	0	14	0	0	1	0	5	0	1	11	11	15	16	20	20	20	20
	SET_2									4	0	0	8	1	0	0	0	4	3	6	11	17	15	19	13
	SET_3								1	2	1	0	10	2	0	1	0	6	3	3	8	12	12	12	9
	SET_4									5	0	0	16	0	0	0	0	3	2	3	13	20	17	20	15
	28												0	0			0					20			
RSSF5	SET_1									16	8	16					14	0	16	4	3	4	4	8	
	SET_2											5					0	0	0	0	12	9	12	16	
	SET_3												11				2	0	1	0	9	5	9	11	
	SET_4																	0	14	12	16	20	20	20	20
	28																				0				17
RSPMatch	SET_1													4	0	5					13	13	14	18	
	SET_2																				0	0	0	4	
	SET_3																				13	14	18	19	
	SET_4																				2	0	2	8	
	28																							17	
Belfagor	SET_1																	0	0	2					
	SET_2																	0	0						
	SET_3																		1						
	SET_4																								
	28																							19	
Simqke	SET_1																					5	0	0	
	SET_2																						3	3	
	SET_3																							2	
	SET_4																								
	28																								

- Sono indicati il parametro sul quale viene eseguito il test ed il livello di duttilità (Ri)
- Sono i test “set to set”, ad esempio nel riquadro selezionato,  $set_{1RNS}$  vs  $set_{2RSSF12}$  si riporta che su 20 periodi considerati, ben 13 rigettano;
- Sono i test “interni”, ad esempio ne riquadro selezionato,  $set_{1RSPMatch}$  vs  $set_{2RSPmatch}$ , 4 periodi su 20 rigettano l’ipotesi;
- Sono i test “Totali a 28”, ad esempio nel riquadro selezionato, il test RNS vs RSSF5, presenta 6 rigetti su 20.

Figura 4.29- Sintesi dei risultati: Numero di periodi di rigetto per tutte le combinazioni testate.

Inoltre, in Allegato10 sono riportati i p-value relativi a tutti i tests ‘Totale a 28’ per ciascuno dei 20 sistemi considerati e per i quattro parametri indagati, relativamente ai due legami isteretici considerati. Qualora l’ipotesi nulla venga rigettata, ovvero  $p\text{-value} < 0.05$ , il valore viene riportato in grassetto.

#### 4.6.2 Analisi dei risultati statistici

Dall'osservazione dei risultati riportati in Allegato 9 e 10, unitamente alle analisi nei precedenti paragrafi effettuate (sintetizzati nei grafici 4.8/9 - 4.13/14 - 4.21/22- 4.15/16) è possibile *“riuscire a formarsi una decisione finale”* al quesito posto all'inizio dell'elaborato: *“è rilevante sulla risposta sismica delle strutture la natura del segnale selezionato?”*.

L'ausilio dei test d'ipotesi, è stato indispensabile a conferire significatività ai risultati, i quali si sono presentati non molto incoraggianti, in quanto caratterizzati da un elevato numero di rigetti dell'ipotesi nulla. La risposta del sistema, rappresentata da quattro parametri, quando esso è soggetto a set di registrazioni di diversa natura, ma compatibili in media con lo stesso spettro target non è la stessa. In particolare:

##### Spostamento e Duttilità cinematica

Avendo assicurato la spettrocompatibilità, ci si aspettava, in termini di spostamento e duttilità cinematica, di non avere significativi rigetti.

In prima istanza si presentano i risultati dell'analisi statistica relativa al sistema elasto-plastico incrudente (EPH). Il confronto con i reali non scalati non dà alcun rigetto, per tutti e tre i livelli di test sia per il caso elastico (per lo spostamento) che per i cinque livelli di duttilità considerati. Ciò indica che in termini di spostamento, ad una prima analisi *“non è rilevante la categoria di segnale selezionata”* poiché non vi è rigetto dell'ipotesi nulla, e quindi le medie risultano paragonabili. Ciò però è dovuto essenzialmente all'elevata variabilità degli RNS assunti quale riferimento (si veda figura 4.8 e l'Allegato2). Infatti procedendo nell'analisi statistica, eseguendo i restanti confronti, gli accelerogrammi Belfagor rigettano l'ipotesi nulla se confrontati con le restanti categorie (esclusi i RNS), in percentuale minore con le categorie scalate, in maniera marcata con gli RSPMatch (i.e. 12/20 rigetti per il test *“totali a 28”*,  $R=2,8,10$ ) ed ancor più con i Simqke (i.e. 15/20 per  $R=2$  e 13/20 per  $R=10$ , rigetti per il test *“totali a 28”*). Tale risultato, era atteso, in quanto, si era già riscontrato, nei paragrafi precedenti, una sottostima, ora definibile *“significativa”* di questa categoria artificiale. Un'ulteriore osservazione, già notata in Allegato2 è che il set più critico è il set<sub>4,Belfagor</sub>, il quale sottostima più dei restanti tre lo spostamento, soprattutto per periodi superiori all'unità.

Per quanto riguarda i Simqke, rigetti dell'ipotesi nulla sono stati riscontrati solo se confrontati con i Belfagor, e con gli RSPMatch, ma in misura minore. In particolare, per Simqke vs

RSPMatch si osserva una riduzione del numero di periodi che rigettano all'aumentare di  $R$ ; a differenza dei Belfagor, non è univoco il verso della disuguaglianza: talvolta la domanda di spostamento è inferiore (coda destra della distribuzione) altre volte superiore (coda sinistra della distribuzione). Questo risultato è confermato oltre che dal grafico (figura 4.9) anche da test unidirezionali non riportati nel presente lavoro.

Tale risultato per le categorie di record artificiali è condizionato anche dal fatto che esse sono caratterizzate da varianze molto piccole, il che rende il test molto più sensibile.

In conclusione, nel caso di modellazione EPH, per gli RNS, gli RS (sia SF5 che SF12), e gli RSPMatch, in termini di Spostamento e Duttività cinematica si può affermare che “non è rilevante la categoria di segnale”. Ciò non è una novità per le categorie scalate [Iervolino et al., 2008], ma è importante per le registrazioni RSPMatch, per le quali ancora non sussistono analisi in questa direzione, ed il risultato trovato di non-significatività incoraggia l'utilizzo di questi accelerogrammi con modifica mediante *wavelet*. Per gli artificiali, in particolare per i Belfagor, “la categoria di segnale è rilevante”, infatti il confronto Belfagor vs Simqke, sia ‘totali a 28’ che ‘set to set’, è quello caratterizzato dal maggior numero di rigetti, allo stesso modo in tale caso va evidenziata la ridotta varianza di tali categorie che rende il test particolarmente sensibile. S’invita quindi a riflettere sull'utilizzo di accelerogrammi artificiali Belfagor nelle analisi dinamiche non lineari, in quanto sottostimare la domanda di spostamento, può portare a valutazioni errate e per giunta a svantaggio di sicurezza. Tale risultato è in accordo con la bibliografia corrente [Schwab e P.Lestuzzi, 2004].

Si osservi che non è possibile definire un trend crescente del numero di rigetti all'aumentare del fattore di riduzione; ma, come era da attendersi, i risultati mostrano un aumento dei rigetti tra il caso  $R=1$  (elastico) ed  $R>1$ .

In ultimo, dall'Allegato10, è possibile osservare immediatamente, ancora una volta, che i rigetti interessano esclusivamente le sole categorie artificiali Belfagor e Simqke, e che all'aumentare di  $R$ , il rigetto si verifica prima alle basse frequenze e poi alle alte ( $R=8,10$ ).

Relativamente alla modellazione ESD, si osserva che, il numero di rigetti aumenta notevolmente, ed in particolare si hanno rigetti anche con il confronto con gli RNS, soprattutto nel confronto con i Simqke, ed in misura minore con i Belfagor. Alcuni rigetti, per  $R>6$  si hanno con i reali scalati, mentre con gli RSPMatch rigettano solo  $Set_{1,RNS}$  vs  $Set_{2,RSPMatch}$  a 0,6

secondi per  $R=6$  ed a 0,4 secondi per  $R=8$ , e  $Set_{3,RNS}$  vs  $Set_{2,RSPmatch}$  a 1,1 secondi per  $R=6$  ed a 0,4 secondi per  $R=8$ .

Anche il confronto RSPMatch vs Simqke, mostra risultati differenti rispetto al caso di modellazione EPH, infatti, ipotizzando una modellazione ESD il rifiuto dell'ipotesi nulla è notevole. Più interessanti risultano i risultati osservabili in Allegato 10 relativo ai 'test a 28'. E' possibile notare che mentre le categorie artificiali mantengono l'andamento già notato per la modellazione EPH, i rigetti rispetto alla categoria RNS si verificano ad alte frequenze dove la presenza della resistenza residua nel legame può condurre a tale effetto (cfr capitolo 4).

In ultimo è da notare come i valori di p-value sono sistematicamente minori rispetto alla modellazione EPH.

#### Numero di cicli equivalenti e Duttività isteretica

Non avendo utilizzato nella costituzione dei set parametri di controllo dell'energia, ci si aspetta un elevato numero di rigetti, confermati dal risultato dei test eseguiti.

In prima istanza si presentano i risultati dell'analisi statistica relativa al sistema elasto-plastico incrudente (EPH).

Dall'osservazione delle matrici dei risultati relativi ad  $N_e$ , ovvero  $N_e+1$ , infatti, appare evidente la 'pienezza' delle celle, ad indicare che relativamente al numero di cicli equivalenti "è rilevante la categoria di segnale selezionato" su tutti e tre i livelli testati ("totali a 28", "set to set", "interni"). Infatti già, se avessimo eseguito la selezione dei set, ad esempio sulla base di parametri integrali quali  $I_D$  (3.5) o anche  $I_A$  (3.3), si sarebbero potuti ottenere risultati diversi.

Gli scostamenti maggiori, sempre in termini di numero di periodi di rigetto su venti, sono riscontrati per le categoria artificiali Simqke, in accordo con i risultati ottenuti al capitolo 3, dove si era osservato un elevato valore di  $I_D$  ed  $I_A$ . Il verso della disuguaglianza è in questo caso noto *a priori* ( $N_{eSimqke} > N_{e\text{restanti categorie}}$ ). Ciò è coerente con la bibliografia presentata al Capitolo2, che vedeva questi segnali caratterizzati da un forte potenziale di danno ed un eccessivo contenuto energetico [i.e. Schwab e Lestuzzi ,2004; Masi e Vona, 2004].

Le categorie artificiali rigettano anche con gli RNS in misura via via maggiore all'aumentare del fattore di riduzione  $R_i$ . In realtà il set I degli RNS è caratterizzato da un gran numero di rigetti sia con i restanti set delle altre categorie, sia con i restanti tre set della stessa categoria.

Ad esempio, per  $R=8$  abbiamo 11/20 rigetti vs  $RNS_{set\_3}$ , 18/20 rigetti vs  $RSSF12_{set\_4}$ , 18/20 vs  $RSSF5_{set\_1}$ , 19/20 rigetti vs  $RSPMatch_{set\_4}$ , 20/20 rigetti vs  $Belfagor_{set\_i}$  e vs  $Simqke_{set\_i}$ .

Dalle tabelle in Allegato 10 relative al caso in esame, ed alla modellazione EPH non è più possibile individuare un andamento dei rigetti a determinate frequenze all'aumentare di  $R$ , come notato per  $S_d$  ed  $D_{kin}$ . Quello che però si nota è il basso valore del p-value, in molti addirittura nullo (nullo, ovvero il valore è minore di  $E-18$ ) ad indicare che si ottiene il rigetto dell'ipotesi nulla per valori del rischio di prima specie arbitrariamente bassi.

Per la modellazione ESD si osserva che mentre per  $R=2$  e  $R=4$ , il numero di sistemi (su 20) che rigettano è sostanzialmente simile al caso di modellazione EPH, per  $R=6,8,10$  invece si nota una sensibile riduzione. Infatti se si osservano i risultati dei 'test a 28' (Allegato 10) si nota un elevato numero di sistemi con p-value minore di  $\alpha$  (riportati in grassetto) nella zona superiore (relativa ad  $R=2$  ed  $R=4$ ), non riscontrabile nella zona inferiore. Ciò è essenzialmente legato al tipo di modello isteretico considerato, ovvero al fatto che da  $R=6$  in poi diviene rilevante il peso dei cicli isteretici intorno alla zona di resistenza residua che rende simili i comportamenti degli SDOF rispetto alle sei categorie di record.

## Capitolo 5: Conclusioni

Il presente lavoro, ha sottolineato il problema, di non immediato riscontro, della selezione dell'input sismico più idoneo per l'esecuzione di analisi dinamiche non lineari. Ciò è legato principalmente alla numerosità dei parametri chiamati in gioco. Poiché non esiste uno specifico orientamento sulla preparazione dei dati di input alle analisi dinamiche non lineari, la selezione degli accelerogrammi è generalmente ottenuta sulla base di solo poche caratteristiche trascurando alcuni importanti parametri intrinseci dei segnali che influenzano significativamente l'output. Infatti la norma dice di selezionare le registrazioni reali in modo che esse siano rappresentative della sismicità del sito ed adeguatamente giustificate, ma non espone univocamente come eseguire la selezione. Mentre se si opta per segnali artificiali, salvo poi alcune prescrizioni circa la durata del segnale, basta verificarne la compatibilità con lo spettro target. In realtà anche le registrazioni reali (scalate o meno) possono essere selezionate in modo da approssimare gli spettri di risposta nel campo di periodi di interesse. Per cui, in base a quanto espresso al §3.2.3.6 delle NTC tutto si riduce alla verifica di spettro compatibilità in mancanza di adeguate informazioni sulla sismicità del sito in esame (meccanismo di sorgente, magnitudo, distanza, etc..).

Quindi, non essendo presente una chiara identificazione delle registrazioni da selezionare/generare, appare evidente la difficoltà dell'ingegnere ad individuare uno scenario di terremoti che meglio si presti a rappresentare la pericolosità del sito. Infatti pur rispettando a pieno la norma, sono state selezionate/generate, per uno stesso sito, sei distinte categorie di accelerogrammi che hanno portato a risultati "significativamente" diversi.

Allo scopo di verificare quanto il vincolo di spettro compatibilità influenzi la risposta alle registrazioni cui si applica tale vincolo si sono considerate sei categorie di 28 registrazioni:

- Registrazioni reali non scalate (RNS), selezionate in maniera tale che la media aritmetica di queste ultime fosse compresa tra il 90% e il 130% del valore dello spettro target nell'intervallo di periodi 0.15-2.0 secondi.
- Registrazioni reali mediamente scalate (RSSF5), selezionate con gli stessi criteri di quelle non scalate vincolando il fattore di scala lineare medio al valore di 5.

- RegISTRAZIONI reali sensibilmente scalate (RSSF12), selezionate con gli stessi criteri di quelle non scalate vincolando il fattore di scala lineare medio al valore di 12.
- RegISTRAZIONI reali corrette mediante inserimento di wavelet (RSPMatch), considerando le registrazioni appartenenti al primo gruppo e utilizzando il software RSPMatch2005.
- RegISTRAZIONI artificiali non stazionarie (Belfagor), generate utilizzando il codice Belfagor e rendendo compatibili gli spettri con quello di riferimento assumendo valori di M ed R del primo gruppo di registrazioni reali.
- RegISTRAZIONI artificiali stazionarie (Simqke), generate con il codice Simqke riferendosi esclusivamente allo spettro di normativa assunto quale riferimento.

Dalle analisi eseguite sui set selezionati in funzione della sola spettro compatibilità e sottoponendo i risultati a test statistici per il confronto tra medie delle risposte, si è giunti a diverse conclusioni per le varie categorie.

Per quanto riguarda le registrazioni artificiali:

- In termini di spostamento le registrazioni artificiali sembrano prestarsi alquanto bene per sistemi non degradanti, mentre risultano non applicabili per sistemi degradanti, mostrando una sottostima, seppur non statisticamente significativa, in ogni caso sistematica, della risposta in termini di spostamento che si enfatizza per livelli di duttilità elevati.
- In termini di energia le registrazioni artificiali non risultano idonee, tendono a sovrastimare in maniera sensibile la risposta in termini ciclici dei sistemi non lineari; a tal proposito va evidenziato che le registrazioni non stazionarie (Belfagor) hanno una sovrastima in termini energetici più contenuta rispetto a quella di registrazioni stazionarie (Simqke).

Lo studio svolto sulle registrazioni reali non scalate e scalate linearmente conduce alle seguenti conclusioni:

- L'applicazione di un fattore di scala medio anche particolarmente elevato, stante la presenza del vincolo spettrale non sembra influenzare sensibilmente la risposta strutturale né in termini di picco (eg. Spostamenti) né in termini integrali (eg. Energia).
- Il vincolo spettrale imposto esclusivamente sulla media aritmetica delle registrazioni selezionate conduce a set particolarmente dispersi, situazione che si riflette in campo non lineare sulla dispersione dei risultati. L'elevata dispersione,

inoltre, conduce alla necessità di selezionare un numero più elevato di registrazioni al fine di ottenere una risposta non lineare la cui media sia stabile indipendentemente dai record selezionati nel caso specifico. A tal proposito l'inserimento di un vincolo normativo anche sulla dispersione intorno allo spettro target potrebbe rivelarsi utile.

La correzione mediante *wavelet* nel dominio del tempo ha mostrato invece i seguenti risultati:

- In termini di spostamento si riscontra in ogni caso una sottostima, sistematica seppur ridotta e non statisticamente significativa, della risposta non lineare che si enfatizza per livelli di duttilità alti.
- In termini di energia le registrazioni corrette hanno un comportamento del tutto affine alle registrazioni reali, non sembrano sovrastimare la risposta energetica e non mostrano potenziali di danno irrealistici come le registrazioni artificiali.

L'utilizzo di test statistici per valutare la significatività dei risultati ottenuti si è rivelato particolarmente utile, in quanto oltre a verificare l'eventuale ipotesi di uguaglianza o diversità delle medie si è trasformato in un utile strumento di verifica di stabilità della risposta, la sensibilità dei test utilizzati, infatti, varia in funzione della varianza dei campioni adottati; per tenere conto della diversa dispersione delle categorie assunte si è utilizzato il test di Aspin-Welch che permette di valutare nella statistica test l'effetto di varianze diverse dei campioni delle popolazioni analizzate.

Le due tipologie di legame isteretico adottate hanno inoltre messo in luce quanto i sistemi evolutivi e degradanti si prestino in misura minore a generalizzazioni di alcun tipo.

Per il sistema elasto-plastico incrudente (EPH) si è riscontrata una stabilità dei trend delle risposte a tutti i livelli di duttilità che riflette anche i risultati di precedenti lavori di letteratura. Il sistema degradante ed evolutivo assunto (ESD) se nel complesso conferma i risultati trovati per il sistema EPH mostra una maggiore sensibilità alla tipologia di registrazione utilizzata e un trend diverso in funzione dei livelli di duttilità assunti; per livelli di duttilità bassi e medi (fino a  $R=6$ ) il comportamento è complessivamente simile a quello del sistema EPH mentre per livelli di duttilità alti il comportamento è sostanzialmente diverso in quanto la presenza del valore residuo di resistenza pari al 10% intorno al quale si collocano i cicli abbatte completamente la sensibilità della risposta alla categoria di record.

Quale risultato rilevante, seppur non oggetto di specifica indagine, si è mostrato il potere predittivo di parametri di danno di natura integrale rispetto alla risposta ciclica dei sistemi. Si è riscontrata, infatti, una stretta correlazione tra l'indice di danno  $I_D$  con il numero di cicli equivalenti  $N_e$  dei sistemi analizzati e si è mostrato come  $I_D$  avrebbe potuto predire la sovrastima energetica delle registrazioni artificiali.

## Richiami di Statistica

I due approcci per affrontare i test d'ipotesi sono *i test di significatività* di Fisher e la *teoria dei tests* di Neyman e Pearson. Il primo prevede il controllo di una sola ipotesi, l'ipotesi di casualità, che può essere rifiutata o non rifiutata in funzione della probabilità dell'avverarsi del risultato campionario. Il secondo contrappone all'ipotesi di casualità dell'esito osservato un'ipotesi alternativa e il rifiuto dell'una implica necessariamente l'accettazione dell'altra.

Nel caso in studio, si farà riferimento alla teoria dei test di Neyman e Pearson. Secondo tale teoria, per verificare l'ipotesi  $\mathcal{H}_1$  si deve anzitutto definire l'ipotesi  $\mathcal{H}_0$  detta nulla perché indica l'assenza di ciò che invece prevede  $\mathcal{H}_1$ . Successivamente, si deve individuare quell'insieme di possibili risultati estremi, detto regione di rigetto, che ha una probabilità  $\alpha$  bassa rispetto al problema specifico di verificarsi se l'ipotesi  $\mathcal{H}_0$  è vera. Tale probabilità deve essere sufficientemente bassa che, se il risultato dell'indagine sperimentale cadrà in detta regione, sarà ragionevole dato un rischio determinato ritenere che ciò che si è verificato è verosimilmente una conseguenza di una realtà non conforme ad  $\mathcal{H}_0$ , bensì ad  $\mathcal{H}_i \notin \mathcal{H}_0$  ( $i=1,2, \dots$ ). Un test risulta tanto più significativo, nel rigettare l'ipotesi  $H_0$ , quanto minore è la probabilità  $\alpha$ , detta rischio (errore) di I specie, di rigettare  $\mathcal{H}_0$  qualora questa fosse vera. Pertanto il complemento all'unità di  $\alpha$ ,  $1-\alpha$ , è detto livello di significatività del test. Si osservi che il valore di probabilità che serve ad effettuare la scelta tra due ipotesi, non deve essere attribuita una capacità discriminante assoluta: se la probabilità è inferiore a quella indicata come critica, il risultato non è di natura completamente diversa da quello ottenuto con una probabilità leggermente superiore. In particolare, per consolidata convenzione internazionale, i livelli di soglia delle probabilità  $\alpha$  sono tre:

Livello di probabilità	Risultato del Test
P < 0.05 (livello 5%)	Significativo
P < 0.01 (livello 1%)	molto significativo
P < 0.001 (livello 0.1%)	altamente significativo

Questi valori critici di probabilità sono puramente orientativi e non possiedono particolari proprietà intrinseche e vanno necessariamente correlati al giudizio dell'esperto riguardo lo specifico problema in esame.

La probabilità  $\beta_i$  di accettare  $\mathcal{H}_0$  quando è falsa si chiama rischio (errore) di II specie. Il complemento all'unità del rischio di II specie,  $\psi(\mathcal{H}_1)=1-\beta_i$  è la probabilità di rigettare  $\mathcal{H}_0$  quando è falsa ed esprime la potenza del test. [Erto,1999]

La costruzione del test relativo ad un parametro  $\theta$  con ipotesi  $\mathcal{H}_0$  semplice è del tipo:

$$\mathcal{H}_0 : \theta = \theta_0$$

Ma l'ipotesi alternativa  $\mathcal{H}_1$  è composta, ma consistente in una classe di ipotesi alternative semplici:

$$\mathcal{H}_1 : \theta \in \Theta$$

Dove  $\Theta$  definisce l'insieme dei possibili valori di  $\theta$  sotto  $\mathcal{H}_1$ , per esempio lo spazio parametrico  $\Theta$  sarà definito da:

- 1)  $\theta > \theta_0$  ;
- 2)  $\theta < \theta_0$  ;
- 3)  $\theta \neq \theta_0$

Nei primi due casi si parla di test unidirezionali, detti anche ad una coda, perché tale è la regione di rigetto individuata dall'insieme dei valori di  $X$  così estremi da avere nel complesso una probabilità di verificarsi uguale ad  $\alpha$  ; nel terzo caso si parla invece di test bidirezionale, detto a due code, perché la regione di rigetto è individuata nei due insiemi di valori di  $X$  così estremi da avere ciascuno una probabilità di verificarsi pari ad  $\alpha/2$ .

### Confronto tra campioni

Date due distinte popolazioni  $\pi_1$   $\pi_2$ , sulla quale è osservata una variabile  $X$ . Sulla base di questi due campioni si vuole decidere se certe caratteristiche delle due popolazioni possono essere considerate uguali o differenti. Ad esempio si desidera confrontare due categorie di segnali, RNS e Simqke, sulle medie degli spostamenti, si vuole conoscere se queste sono diverse per le due popolazioni. Questa differenza potrebbero essere imputabili a due cause:

- Le caratteristiche delle due popolazioni sono effettivamente differenti;
- Le caratteristiche delle due popolazioni non sono differenti, lo scarto osservato è dovuto al caso, o a fluttuazioni campionarie.

Il problema è di scegliere tra queste due ipotesi, decidere se questo scarto osservato è significativo ad un livello  $\alpha$  prefissato individuando una differenza di carattere tra le due

popolazioni (categorie), o al contrario non è significativo e può essere attribuito al caso. Volendo è possibile eseguire confronti anche in termini di varianze o frequenze, ma nel caso in esame ci si concentra su quello tra medie.

Consideriamo, quindi, due popolazioni descritte da due v.a.  $X_1$  e  $X_2$  normali sulle quali è osservato un parametro  $X$ . Dati due campioni casuali  $X_{11}, \dots, X_{1n}$  e  $X_{21}, \dots, X_{2m}$  indipendenti generati rispettivamente da  $X_1 \sim N(\mu_1, \sigma_1^2)$  e  $X_2 \sim N(\mu_2, \sigma_2^2)$ . Si vuole verificare il seguente sistema di ipotesi:

$$H_0: \mu_1 - \mu_2 = 0 \text{ contro } H_1: \mu_1 - \mu_2 \neq 0$$

Il test è basato sulla distribuzione della differenza delle medie campionarie ( $\bar{X}_1 - \bar{X}_2$ ). Al variare dei campioni la differenza tra due v.a. normali ed indipendenti è una v.a. con media pari alla differenza tra le medie e varianza uguale alla somma delle varianze, ovvero:

$$\bar{X}_1 - \bar{X}_2 \approx N\left(\mu_1 - \mu_2; \frac{\sigma_1^2}{n} + \frac{\sigma_2^2}{m}\right) \quad (\text{Ap.1})$$

È possibile distinguere tre casi (sintetizzati in figura Ap1):

- 1) le varianze sono note
- 2) le varianze non sono note ma sono uguali
- 3) le varianze non sono note ma sono differenti, e la numerosità dei due campioni è grande.

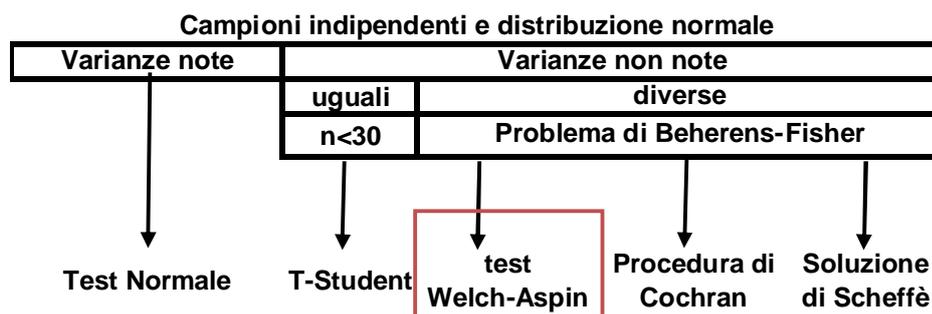


Figura AP.1- Soluzioni statistiche

Se le varianze sono note, si può utilizzare il rapporto  $Z$  che si distribuisce come una normale standardizzata:

$$Z = \frac{(\bar{X}_1 - \bar{X}_2) - (\mu_1 - \mu_2)}{\sqrt{\left(\frac{\sigma_1^2}{n} + \frac{\sigma_2^2}{m}\right)}} \Rightarrow \text{sotto ipotesi nulla} \Rightarrow Z = \frac{(\bar{X}_1 - \bar{X}_2)}{\sqrt{\left(\frac{\sigma_1^2}{n} + \frac{\sigma_2^2}{m}\right)}} \approx N(0,1) \quad (\text{Ap.2})$$

Praticamente fissato il livello di significatività  $\alpha$  si accetta  $H_0: \mu_1 - \mu_2 = 0$  se la differenza delle medie campionaria cade all'interno dell'intervallo  $\pm Z_{\frac{\alpha}{2}} \sqrt{\left(\frac{\sigma_1^2}{n} + \frac{\sigma_2^2}{m}\right)}$ , altrimenti si rifiuta l'ipotesi nulla.

Se le varianze non sono note ma si possono supporre uguali, il denominatore dalla (5.2) diventa:

$$\sqrt{\sigma^2 \left(\frac{1}{n} + \frac{1}{m}\right)} \quad (\text{Ap.3})$$

Dove una stima puntuale comune della varianza (*pooled*) è:

$$s_c^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (x_{1i} - \bar{x}_1)^2 + \sum_{i=1}^m (x_{2i} - \bar{x}_2)^2}{n + m - 2} \quad (\text{Ap.4})$$

L'uso di questa stima è basata sul presupposto che entrambi i campioni sono stati prelevati da normali popolazioni con la stessa varianza, ovvero le differenze riscontrate tra le due misure campionarie  $s_{c1}$  e  $s_{c2}$  della varianza comune  $\sigma^2$  sono dovute al caso, per cui la stima più corretta della varianza comune è data dalla media ponderata delle due misure campionarie  $s_{c1}$  e  $s_{c2}$ . Al variare del campione nell'universo dei campioni,  $s_c^2$  varia e descrive una v.a. che si distribuisce a meno di una costante, come una v.a.  $\chi^2$  con  $n + m - 2$  gradi di libertà. La statistica-test

$$t = \frac{\bar{x}_1 - \bar{x}_2}{s_c \sqrt{\left(\frac{1}{n} + \frac{1}{m}\right)}} \quad (\text{Ap.5})$$

è una determinazione di una v.a. T di Student con  $n + m - 2$  gradi di libertà.

Praticamente fissato il livello di significatività  $\alpha$  si accetta  $\mathcal{H}_0 : \mu_1 - \mu_2 = 0$  se la differenza

delle medie campionaria cade all'interno dell'intervallo  $\pm t_{\frac{\alpha}{2}, n+m-2} \hat{s}_c \sqrt{\left(\frac{1}{n} + \frac{1}{m}\right)}$ ,

altrimenti si rifiuta l'ipotesi nulla.

Spesso, però, non ci sono sufficienti elementi di prova per giustificare una tale assunzione di omogeneità della varianza. In particolare se  $\sigma_1 \neq \sigma_2$  questo metodo è errato, perché si è più facilmente indotti a rifiutare l'ipotesi nulla quando in realtà essa è vera: la probabilità reale di un errore di I specie è maggiore di quella indicata da  $\alpha$ .

Le alternative classiche per effettuare ugualmente il confronto tra due medie con varianza differente sono:

- ricorrere alla trasformazione dei dati, ma se la differenza è grande spesso le due varianze restano diverse;
- utilizzare un metodo non parametrico [i.e. Yuen, 1974; Tiku e Singh, 1981].

Le soluzioni alternative, trascurando le classiche, si indirizzano verso l'opzione di un test simile a quello classico di Student ma nel quale:

- la varianza *pooled* è determinata dalla semplice media aritmetica delle due varianze campionarie e nel quale i valori critici hanno una distribuzione differente da quella classica del t di Student;
- si utilizza la tabella dei valori critici del T di Student, ma i gradi di libertà devono essere calcolati in modo differente, risultando tanto minori di  $(n-1)+(m-1)$  quanto maggiore è la differenza tra le due varianze.

La prima espressione e soluzione a questo problema fu di Behrens (1929) poi ripresi da Fisher (1939), così il test T-Student sulla differenza tra due medie quando il rapporto tra le varianze delle due popolazioni da cui i dati sono stati inclusi nel campione non è uguale a uno, prende il nome di "problema Behrens-Fisher". Questa condizione è nota come "eteroschedasticità" che è una violazione di una delle ipotesi sottostanti il test T-Student. Il risultato statistico non è distribuito come T-Student, e pertanto i relativi *p-value*<sup>1</sup> trovati entrando nella tabella T standard non sono corretti.

<sup>1</sup> Il p-value è il livello di significatività osservato, ovvero il più piccolo livello di significatività in corrispondenza del quale  $H_0$  è rifiutata.

L'utilizzo di valori critici tabulati può portare ad un aumento di falsi positivi, che sono noti come errori di tipo I, o a un test conservativo con un insufficiente potere statistico a rilevare gli effetti significativi di trattamento [Sawilowsky, 2002].

Il problema di Behrens-Fisher ha da sempre attratto l'attenzione di matematici e statistici e molte sono le ricerche tuttora applicate [i.e. Scheffè, 1943; Brown e Forsythe, 1974; Kruskal e Wallis, 1952.].

Poiché la soluzione esatta a tale problema non è accessibile con gli strumenti usuali, si espone un metodo approssimato che ha la caratteristica di essere conservativo.

### Soluzione di Aspin-Welch

La soluzione tipica in statistica, dati due campioni indipendenti, è il test a varianze separate di Welch, più noto come Test di Aspin-Welch con modifica dei gradi di libertà, valutati come:

$$f = \frac{\left( \frac{s_1^2}{n} + \frac{s_2^2}{m} \right)^2}{\frac{\left( \frac{s_1^2}{n} \right)^2}{n-1} + \frac{\left( \frac{s_2^2}{m} \right)^2}{m-1}} \quad (\text{Ap.6})$$

Si noti che  $f$  è semplicemente un termine nell'approssimazione matematica, e che questo calcolo non fornisce valori interi, per cui si deve scegliere un valore arrotondato per difetto, che risulta, comunque, sempre minore di quelli classici per il test T-Student (Ap.7), ed in modo tanto più marcato quanto maggiore è la differenza tra le due varianze (Ap.6).

$$f < (n-1) + (m-1) \quad (\text{Ap.7})$$

Ovviamente diventa più difficile rifiutare l'ipotesi nulla, in quanto per un numero minore di gradi di libertà ( $f$ ) il valore di  $T$  è maggiore.

Welch perviene anche a soluzioni per un problema generalizzato con più di due popolazioni a confronto [Welch, 1947a].

In realtà Welch (1937) considera due differenti criteri (Ap.8 ; Ap.9) , e mostra che le statistiche  $u$  e  $v$  possono essere distribuite approssimativamente come  $c\alpha$ , dove  $t$  è distribuita come una T-Student avente  $f$  gradi di libertà e  $c$  ed  $f$  sono funzioni di  $n$  ed  $m$  e del rapporto  $\sigma_1 / \sigma_2$ . La scelta del criterio dipende dalle ipotesi sottostanti il test che siamo interessati a rilevare. In particolare, Welch dimostra che il criterio  $u$  è il migliore se si

desidera individuare le differenze in media, senza considerare le differenze delle deviazioni standard.

Lo stesso autore afferma che se è noto che  $\sigma_1 = \sigma_2$ , non si può dubitare che  $u$  sia migliore, *more sensitive*, del criterio  $v$ . Se invece, esiste la possibilità che  $\sigma_1$  e  $\sigma_2$  siano differenti,  $u$  può dare risultati molto fuorvianti ed è più sicuro il criterio  $v$  [Welch, 1938].

$$u = \frac{\bar{x}_1 - \bar{x}_2}{\sqrt{\frac{\Sigma 1 + \Sigma 2}{(n + m - 2)} \left( \frac{1}{n} + \frac{1}{m} \right)}}$$

$$f = \frac{\left\{ (n - 1)\sigma_1^2 + (m - 1)\sigma_2^2 \right\}^2}{\left\{ (n - 1)\sigma_1^4 + (m - 1)\sigma_2^4 \right\}} \quad (\text{Ap.8})$$

$$c = \sqrt{\frac{(n + m - 2) \left( \frac{\sigma_1^2}{n} + \frac{\sigma_2^2}{m} \right)}{\left( \frac{1}{n} + \frac{1}{m} \right) \left\{ (n - 1)\sigma_1^2 + (m - 1)\sigma_2^2 \right\}}}$$

$$v = \frac{\bar{x}_1 - \bar{x}_2}{\sqrt{\frac{\Sigma_1}{n(n - 1)} + \frac{\Sigma_2}{n(n - 1)}}}$$

$$f = \frac{\left( \frac{\sigma_1^2}{n} + \frac{\sigma_2^2}{m} \right)^2}{\frac{\sigma_1^4}{n^2(n - 1)} + \frac{\sigma_2^4}{m^2(m - 1)}} \quad (\text{Ap.9})$$

$$c = 1$$

Per ulteriori approfondimenti si rimanda a Welch, 1938; Welch, 1947; Aspin, 1948; Aspin 1949; Satterthwaite, 1941.

## Allegato 1: Valori dei parametri di picco, intensità e durata delle sei categorie investigate

Reali Non Scalati							
Earth ID	PGA	PGV	PGD	la	ID	Sd	Bd
006335x	1.250	0.167	0.043	0.212	6.369	5.347	17.230
004675x	1.290	0.161	0.039	0.162	4.858	4.495	19.550
004675y	1.530	0.101	0.027	0.190	7.688	5.788	16.640
006326y	1.140	0.174	0.110	0.179	5.653	4.889	21.060
000365y	1.080	0.037	0.008	0.054	8.575	10.572	26.620
004674x	3.120	0.612	0.128	1.244	4.067	3.932	12.230
006332x	5.190	0.218	0.050	1.212	6.675	2.974	7.850
000242y	2.010	0.139	0.022	0.196	4.367	5.204	14.170
000242x	1.510	0.076	0.014	0.267	14.556	5.695	21.390
001231x	1.580	0.182	0.400	0.700	15.178	34.080	51.160
007142y	2.920	0.210	0.039	0.825	8.398	6.810	23.900
003802x	1.110	0.054	0.047	0.095	9.896	6.138	11.040
001231y	2.190	0.270	0.201	0.917	9.676	34.553	49.160
000182y	3.780	0.240	0.252	1.611	11.113	33.445	39.670
000198x	1.770	0.169	0.088	0.632	13.197	12.234	40.140
004678x	0.706	0.072	0.034	0.066	8.087	17.082	38.100
006342x	1.040	0.095	0.050	0.056	3.548	9.453	16.440
006342y	0.845	0.122	0.052	0.065	3.928	9.637	17.420
000198y	2.200	0.253	0.252	0.744	8.352	12.242	38.700
000055x	3.500	0.210	0.110	0.799	6.799	4.360	18.200
007187x	4.370	0.225	0.037	1.742	11.068	6.004	15.830
000665x	1.830	0.101	0.012	0.232	7.829	4.140	17.640
000287x	1.360	0.205	0.043	0.373	8.333	41.074	72.360
000234x	0.667	0.045	0.011	0.049	10.168	9.996	24.190
000287y	1.780	0.306	0.162	0.454	5.198	31.808	56.790
007156x	3.040	0.114	0.042	0.753	13.596	7.681	19.090
000290x	2.120	0.335	0.366	1.304	11.455	40.016	65.030
006500x	4.860	0.165	0.036	2.002	15.561	13.176	24.830
Media	2.135	0.181	0.096	0.612	8.721	13.672	28.444

Reali Scalati SF5							
Earth ID	PGA	PGV	PGD	IA	ID	Sd	Bd
000292x	0.588	0.043	0.064	0.689	16.783	40.225	66.360
000368x	0.628	0.056	0.007	0.358	7.039	20.922	32.350
000410x	0.383	0.029	0.013	0.273	6.361	11.870	18.630
005272x	0.322	0.017	0.007	0.213	7.168	9.513	32.860
000292y	0.588	0.059	0.051	0.779	13.694	40.798	65.340
000234y	0.754	0.064	0.012	0.455	9.390	9.620	23.910
006262y	0.662	0.078	0.032	0.474	7.121	16.133	41.760
007142y	2.920	0.210	0.039	0.344	8.449	6.808	23.900
001243x	0.714	0.055	0.015	0.254	5.859	6.103	16.990
000182y	3.780	0.240	0.252	0.400	11.145	33.444	39.670
004675x	1.290	0.161	0.039	0.345	4.862	4.498	19.550
000471y	0.234	0.019	0.005	0.274	5.964	14.012	23.810
000182x	3.320	0.183	0.242	0.520	16.615	32.412	39.630
004674x	3.120	0.612	0.128	0.455	4.078	3.932	12.230
000055x	3.500	0.210	0.110	0.232	6.814	4.361	18.210
006327y	0.581	0.071	0.024	0.456	6.557	9.098	51.940
006331y	0.386	0.039	0.019	0.415	7.136	11.011	33.780
006333x	0.199	0.043	0.025	0.556	4.563	15.217	39.750
006331x	0.513	0.057	0.022	0.412	6.503	8.031	32.240
000055y	3.100	0.326	0.044	0.433	7.254	5.223	25.220
007187x	4.370	0.225	0.037	0.323	11.058	6.003	15.830
006335y	1.130	0.108	0.026	0.385	7.112	4.986	19.530
006332x	5.190	0.218	0.050	0.160	6.668	2.974	7.850
006349y	8.220	0.923	0.270	0.144	2.261	3.373	10.070
003802x	1.110	0.054	0.047	0.273	9.893	6.138	11.040
000473y	0.086	0.007	0.005	0.516	10.508	13.575	23.050
006335x	1.250	0.167	0.043	0.484	6.400	5.347	17.230
006326y	1.140	0.174	0.110	0.488	5.651	4.887	21.060
Media	1.789	0.159	0.062	0.397	7.961	12.518	27.993

Reali Scalati SF12							
Earth ID	PGA	PGV	PGD	la	ID	Sd	Bd
005078x	0.133	0.011	0.003	0.238	5.292	7.212	16.290
005090x	0.307	0.020	0.003	0.314	8.586	12.668	45.820
000383x	0.198	0.014	0.006	0.339	8.460	12.724	18.030
000382y	0.147	0.008	0.008	0.698	21.414	11.339	21.180
005086x	0.224	0.019	0.009	0.236	4.936	6.995	11.800
000169x	0.742	0.047	0.004	0.261	7.298	6.853	16.710
005085x	0.120	0.019	0.007	0.739	8.329	8.489	25.680
005089y	0.158	0.009	0.002	0.233	6.918	11.509	23.650
001891y	0.255	0.023	0.012	0.225	4.383	8.658	17.560
001893y	0.165	0.013	0.014	0.513	11.473	12.338	20.840
000095y	0.089	0.013	0.017	0.464	5.737	9.316	10.520
000642y	0.618	0.052	0.011	0.370	7.689	5.077	18.770
000095x	0.099	0.013	0.007	0.261	3.545	9.850	10.510
005895y	0.107	0.010	0.004	0.825	16.180	13.160	20.750
004560y	0.097	0.006	0.002	0.672	18.644	15.891	26.490
001899x	0.205	0.015	0.009	0.380	9.039	11.000	15.380
001884y	0.113	0.010	0.009	0.401	7.935	7.428	9.600
001994x	0.099	0.008	0.003	0.606	13.137	10.097	15.450
007089x	0.192	0.024	0.004	0.632	8.939	11.223	36.230
000847x	0.219	0.010	0.001	0.271	10.032	12.750	34.730
005087x	0.067	0.006	0.002	0.515	9.773	11.210	38.050
000410x	0.383	0.029	0.013	0.395	6.334	11.870	18.630
005272x	0.322	0.017	0.007	0.733	7.193	9.513	32.860
006761y	1.410	0.112	0.146	0.521	10.015	9.578	16.570
006761x	0.823	0.151	0.053	0.132	5.463	11.282	16.570
001243x	0.714	0.055	0.015	0.383	5.864	6.103	16.990
000471y	0.234	0.019	0.005	0.324	5.926	14.013	23.810
000473y	0.086	0.007	0.005	0.405	10.498	13.575	23.050
Media	0.297	0.026	0.014	0.432	8.894	10.419	21.519

RspMatch							
Earth ID	PGA	PGV	PGD	la	ID	Sd	Bd
'006335xa'	1.380	0.163	0.053	0.263	7.305	4.421	18.440
'004675xa'	1.810	0.166	0.043	0.287	5.977	5.507	13.510
'004675ya'	1.650	0.133	0.032	0.296	8.443	5.712	18.500
'006326ya'	1.630	0.166	0.115	0.259	5.956	4.600	19.710
'000365ya'	1.440	0.145	0.024	0.176	5.280	4.061	25.390
'004674xa'	2.130	0.292	0.095	0.550	5.525	6.157	19.920
'006332xa'	2.940	0.149	0.052	0.488	6.968	4.595	11.500
'000242ya'	2.520	0.210	0.047	0.304	3.578	5.208	14.640
'000242xa'	1.670	0.152	0.044	0.378	9.318	4.826	17.130
'001231xa'	1.420	0.140	0.409	0.600	18.832	34.152	51.170
'007142ya'	2.140	0.156	0.035	0.568	10.622	9.238	28.730
'003802xa'	1.580	0.115	0.053	0.251	8.605	4.439	11.020
'001231ya'	1.590	0.188	0.218	0.633	13.263	34.918	49.170
'000182ya'	2.410	0.157	0.211	1.103	18.207	34.699	39.930
'000198xa'	1.680	0.147	0.108	0.480	12.129	13.945	40.140
'004678xa'	1.440	0.121	0.031	0.247	8.887	5.718	31.910
'006342xa'	1.500	0.132	0.056	0.207	6.519	4.163	18.480
'006342ya'	2.100	0.156	0.049	0.194	3.694	7.298	14.670
'000198ya'	1.710	0.124	0.265	0.442	13.078	20.570	40.260
'000055xa'	2.350	0.185	0.135	0.386	5.542	7.162	30.120
'007187xa'	2.570	0.123	0.033	0.543	10.754	9.803	36.020
'000665xa'	1.750	0.157	0.049	0.259	5.887	4.613	18.350
'000287xa'	1.350	0.161	0.048	0.441	12.656	41.120	72.360
'000234xa'	1.590	0.127	0.028	0.263	8.161	5.395	20.100
'000287ya'	1.770	0.188	0.163	0.433	8.151	36.351	56.790
'007156xa'	2.030	0.135	0.031	0.483	10.984	10.057	28.310
'000290xa'	1.770	0.203	0.426	0.806	14.032	41.654	65.050
'006500xa'	2.810	0.120	0.037	1.034	19.100	16.034	29.540
Media	1.883	0.157	0.103	0.442	9.552	13.800	30.031

Artificiali Belfagor							
Earth ID	PGA	PGV	PGD	IA	ID	Sd	Bd
1	2.053	0.145	0.171	0.348	7.316	6.466	20.480
2	2.118	0.119	0.129	0.518	12.851	11.074	20.145
3	2.014	0.151	0.155	0.395	8.112	7.565	13.795
4	1.900	0.182	0.605	0.647	11.664	14.420	20.480
5	1.984	0.160	0.615	0.597	11.708	12.365	20.480
6	1.854	0.122	0.106	0.649	17.897	13.051	20.480
7	2.043	0.180	0.718	0.765	13.002	14.928	19.875
8	2.082	0.137	0.083	0.383	8.388	7.898	13.085
9	2.105	0.124	0.068	0.461	11.064	9.816	17.805
10	2.059	0.135	0.529	0.603	13.605	13.836	20.445
11	2.139	0.119	0.193	0.492	12.032	10.183	20.310
12	2.027	0.118	0.156	0.560	14.655	10.792	20.150
13	2.017	0.134	0.335	0.731	16.927	14.338	20.005
14	2.106	0.130	0.190	0.595	13.560	13.926	20.470
15	2.009	0.115	0.052	0.424	11.468	7.778	16.100
16	1.954	0.137	0.547	0.678	15.814	14.051	20.205
17	1.933	0.116	0.100	0.575	16.019	12.559	20.480
18	1.932	0.143	0.281	0.590	13.295	13.418	20.480
19	1.908	0.121	0.103	0.519	14.008	10.853	20.480
20	1.934	0.116	0.275	0.656	18.282	14.246	20.385
21	2.053	0.124	0.318	0.652	15.985	13.927	20.405
22	1.979	0.110	0.104	0.553	15.797	11.470	20.480
23	1.953	0.156	0.693	0.634	13.019	13.464	20.480
24	1.981	0.117	0.081	0.554	14.981	11.836	20.480
25	2.046	0.119	0.172	0.578	14.807	12.736	20.440
26	2.018	0.136	0.367	0.699	15.886	14.467	20.355
27	1.961	0.115	0.113	0.583	16.186	12.543	20.480
28	1.952	0.119	0.092	0.593	15.978	12.794	20.480
Media	2.004	0.132	0.263	0.573	13.725	12.029	19.633

Artificiali Simqke							
Earth ID	PGA	PGV	PGD	IA	ID	Sd	Bd
1	1.884	0.150	0.062	1.041	22.999	17.760	23.880
2	1.884	0.156	0.100	1.026	21.870	17.717	24.090
3	1.884	0.175	0.136	1.071	20.319	17.872	24.200
4	1.884	0.126	0.051	1.124	29.536	18.474	24.190
5	1.884	0.167	0.086	1.062	21.016	17.938	24.290
6	1.884	0.141	0.063	0.970	22.824	17.685	24.010
7	1.884	0.190	0.193	1.001	17.421	18.481	24.020
8	1.884	0.132	0.104	1.059	26.677	18.067	24.060
9	1.884	0.136	0.063	1.077	26.153	17.995	24.050
10	1.884	0.134	0.057	1.104	27.404	17.868	24.120
11	1.884	0.134	0.074	1.094	27.115	18.760	24.140
12	1.884	0.138	0.084	1.029	24.747	17.611	23.820
13	1.884	0.147	0.157	1.123	25.301	18.607	24.260
14	1.884	0.122	0.073	1.017	27.543	17.727	23.860
15	1.884	0.202	0.107	1.050	17.241	17.080	24.160
16	1.884	0.132	0.046	1.063	26.755	18.026	23.780
17	1.884	0.150	0.070	1.072	23.653	17.549	24.350
18	1.884	0.160	0.082	1.054	21.798	18.145	24.140
19	1.884	0.146	0.206	1.058	24.012	17.856	24.240
20	1.884	0.176	0.142	1.067	20.132	18.132	24.310
21	1.884	0.131	0.236	1.065	26.938	17.688	23.940
22	1.884	0.183	0.084	1.070	19.365	17.941	24.150
23	1.884	0.162	0.358	1.083	22.104	18.194	24.090
24	1.884	0.137	0.122	1.058	25.541	18.547	24.070
25	1.884	0.144	0.099	1.070	24.561	17.434	23.660
26	1.884	0.192	0.235	1.069	18.453	18.423	24.440
27	1.884	0.157	0.078	1.062	22.433	17.839	23.980
28	1.884	0.164	0.077	1.011	20.375	17.515	24.000
Media	1.884	0.153	0.116	1.059	23.367	17.962	24.082

Tabelle Riassuntive															
Reali Non Scalati								Reali Scalati SF5							
	PGA	PGV	PGD	IA	ID	Sd	Bd		PGA	PGV	PGD	IA	ID	Sd	Bd
set-01	2.086	0.210	0.058	0.465	6.269	5.428	17.311	set-01	0.561	0.049	0.026	0.463	9.651	21.297	40.173
set-02	2.157	0.167	0.139	0.659	10.455	17.989	30.070	set-02	2.197	0.211	0.103	0.370	8.139	14.458	25.111
set-03	2.062	0.164	0.089	0.586	7.854	10.145	26.404	set-03	1.807	0.139	0.040	0.404	7.127	8.421	30.996
set-04	2.237	0.182	0.096	0.738	10.306	21.127	39.990	set-04	2.589	0.236	0.079	0.350	6.928	5.897	15.690
Media tot	2.135	0.181	0.096	0.612	8.721	13.672	28.444	Media tot	1.789	0.159	0.062	0.397	7.961	12.518	27.993
Reali Scalati SF12								RspMatch							
	PGA	PGV	PGD	IA	ID	Sd	Bd		PGA	PGV	PGD	IA	ID	Sd	Bd
set-01	0.267	0.020	0.006	0.404	9.188	9.469	22.216	set-01	1.854	0.173	0.059	0.331	6.493	5.008	18.139
set-02	0.213	0.019	0.010	0.413	7.989	9.987	17.514	set-02	1.904	0.160	0.145	0.548	11.775	18.211	30.256
set-03	0.142	0.011	0.004	0.497	11.071	11.371	25.133	set-03	1.907	0.141	0.097	0.357	8.658	9.808	30.229
set-04	0.567	0.056	0.035	0.413	7.327	10.847	21.211	set-04	1.867	0.156	0.112	0.531	11.282	22.175	41.500
Media tot	0.297	0.026	0.014	0.432	8.894	10.419	21.519	Media tot	1.883	0.157	0.103	0.442	9.552	13.800	30.031
Artificiali Belfagor								Artificiali Simqke							
	PGA	PGV	PGD	IA	ID	Sd	Bd		PGA	PGV	PGD	IA	ID	Sd	Bd
set-01	1.995	0.151	0.357	0.560	11.793	11.410	19.391	set-01	1.884	0.158	0.099	1.042	22.283	17.990	24.097
set-02	2.077	0.128	0.222	0.547	12.890	11.542	18.896	set-02	1.884	0.135	0.088	1.072	26.420	18.091	24.044
set-03	1.960	0.125	0.239	0.585	14.982	12.405	19.791	set-03	1.884	0.157	0.127	1.061	22.933	17.782	24.131
set-04	1.984	0.125	0.232	0.599	15.236	12.759	20.456	set-04	1.884	0.163	0.151	1.060	21.833	17.985	24.056
Media tot	2.004	0.132	0.263	0.573	13.725	12.029	19.633	Media tot	1.884	0.153	0.116	1.059	23.367	17.962	24.082

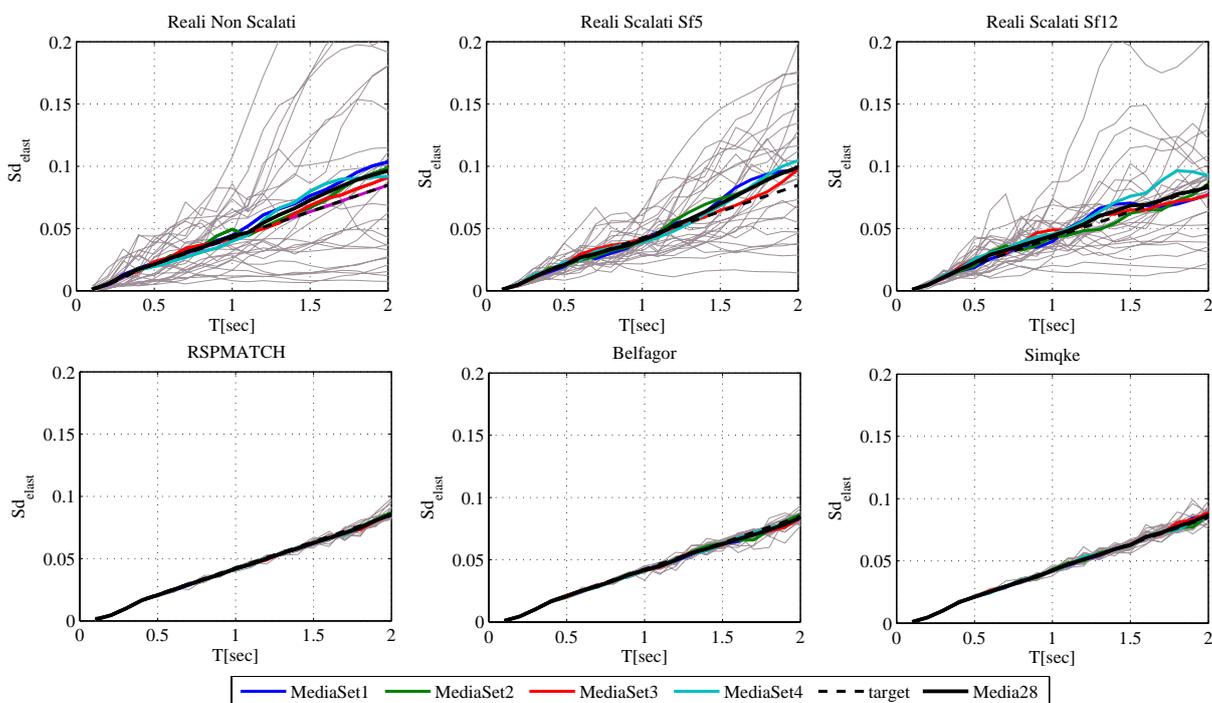
## Allegato 2: Spettri di risposta inelastica in spostamento set to set per le sei categorie investigate.

Di seguito, sono riportati gli spettri di risposta inelastici in termini di spostamento (espresso in metri), relativi ai due modelli isteretici considerati: elasto-plastico bilineare non degradante (figura 4.2a), ed elasto-plastico trilineare degradante (figura 4.2b), nel range di spettrocompatibilità assicurata,  $T \equiv [0.15-2 \text{ sec}]$ .

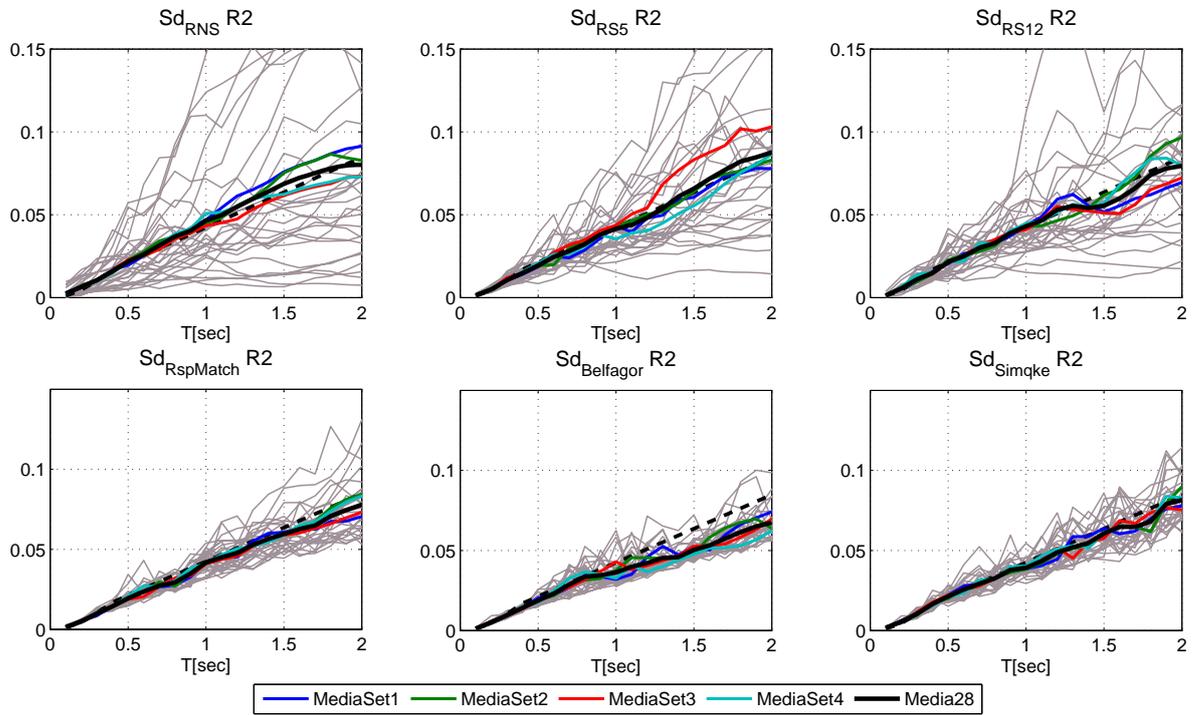
In particolare, è riportato anche lo spettro di riferimento (nero tratteggiato), avendo operato in termini di eguaglianza degli spostamenti. Si evidenziano, inoltre, oltre all'andamento di ogni record anche le medie di ciascun set costituenti l'*i*-esima categoria.

I grafici sono organizzati per livello di duttilità crescenti riportando prima i risultati ottenuti con una modellazione EPH e sotto quelli con una modellazione ESD.

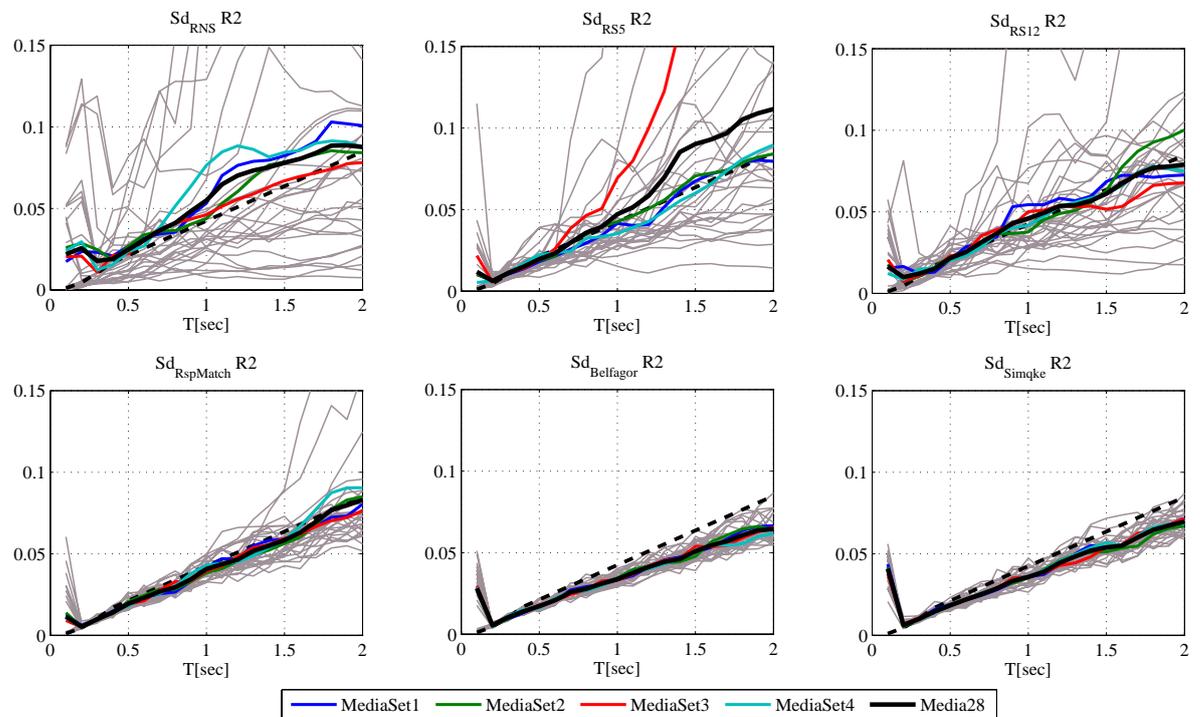
Si riportano, a titolo di completezza gli spettri di spostamento elastico (figura 4.6), indipendenti dal tipo di modello isteretico considerato:



## Spettri di spostamento relativi al livello di duttilità R2

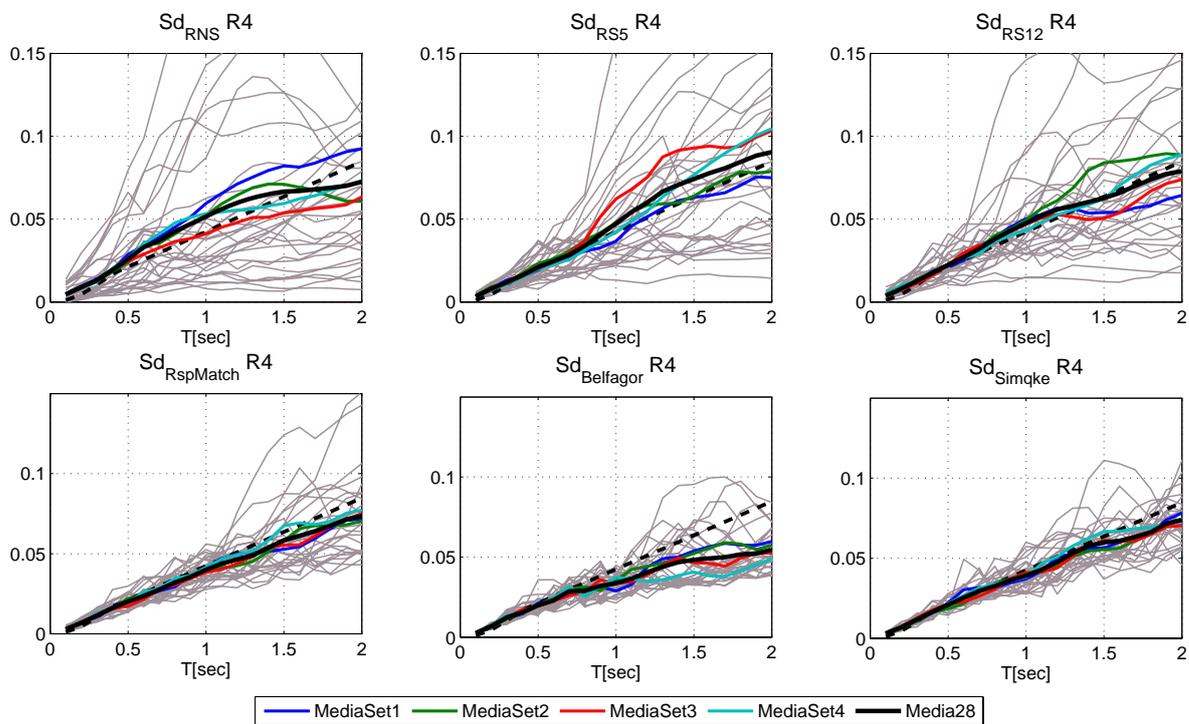


## Legge isteretica EPH

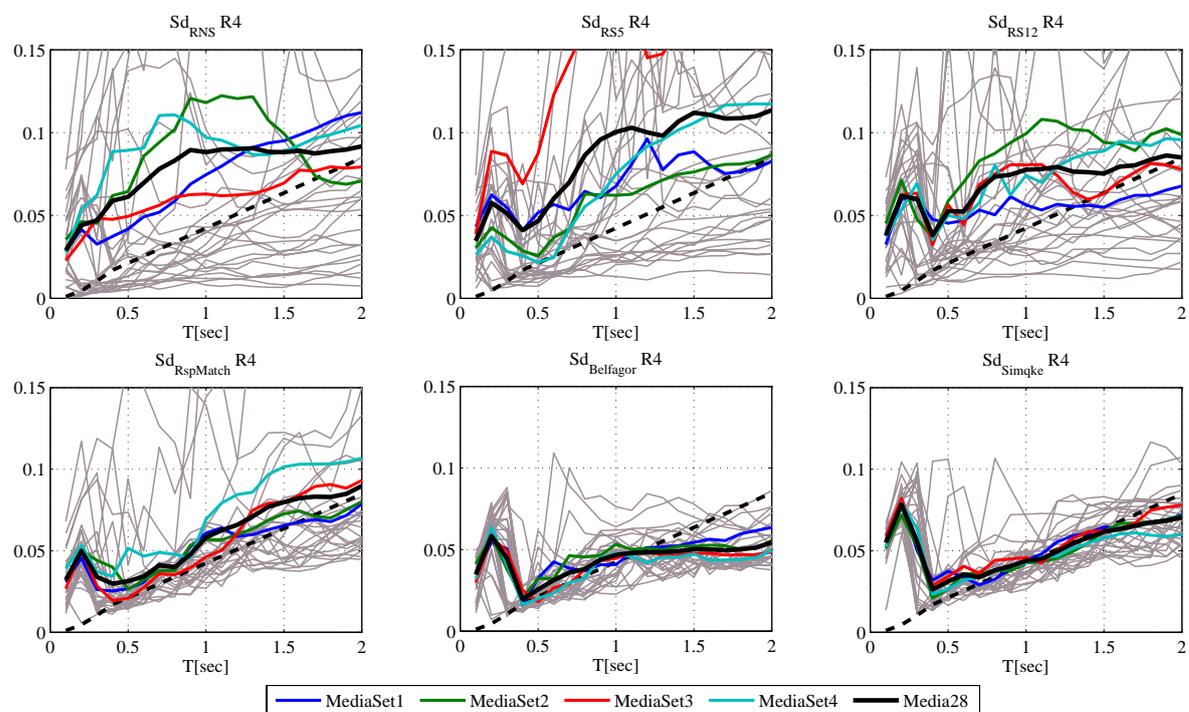


## Legge isteretica ESD

## Spettri di spostamento relativi al livello di duttilità R4

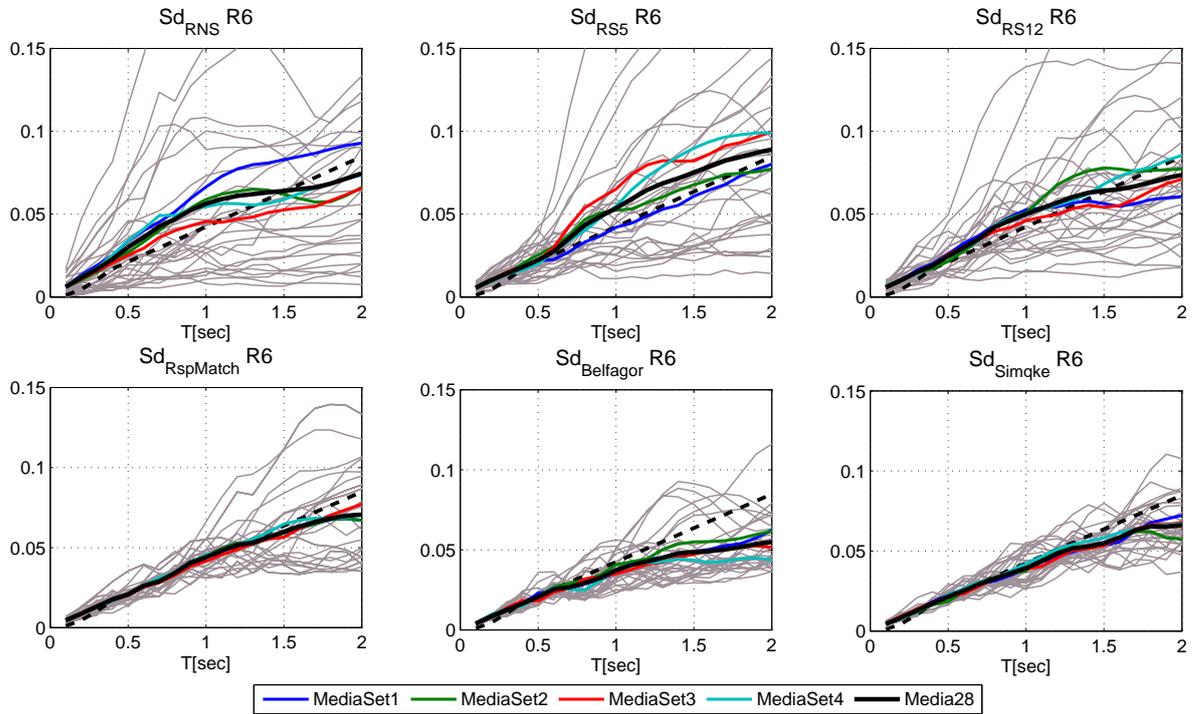


## Legge isteretica EPH

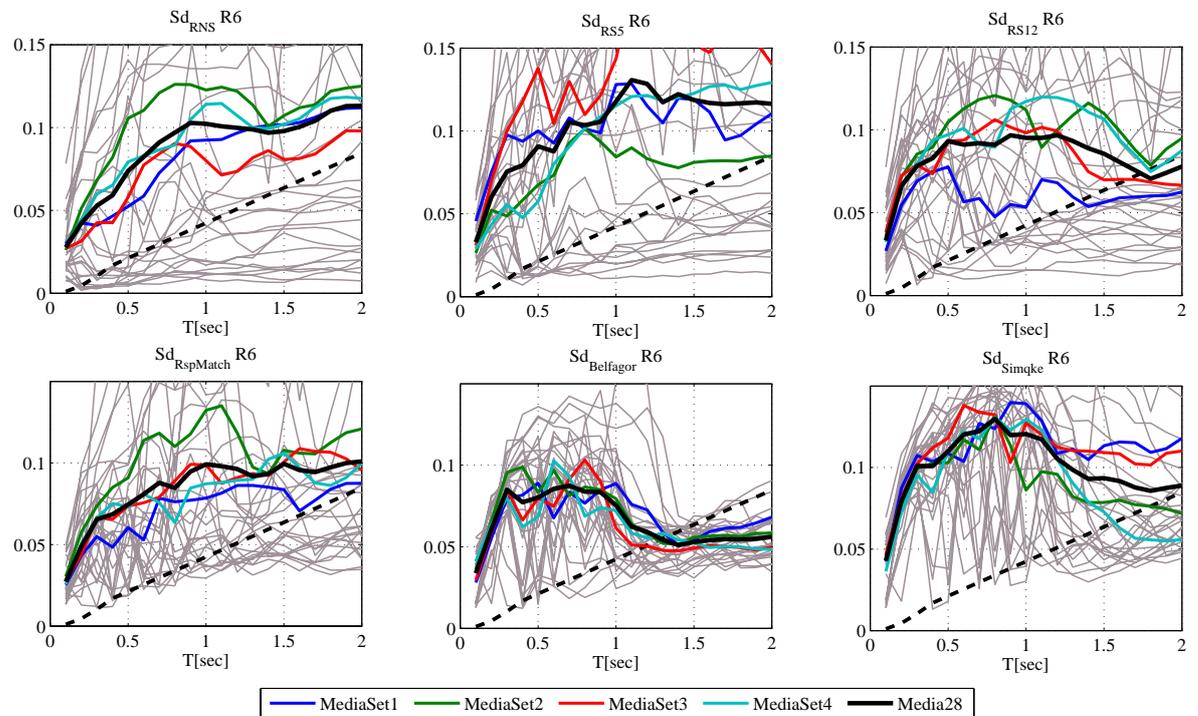


## Legge isteretica ESD

## Spettri di spostamento relativi al livello di duttilità R6

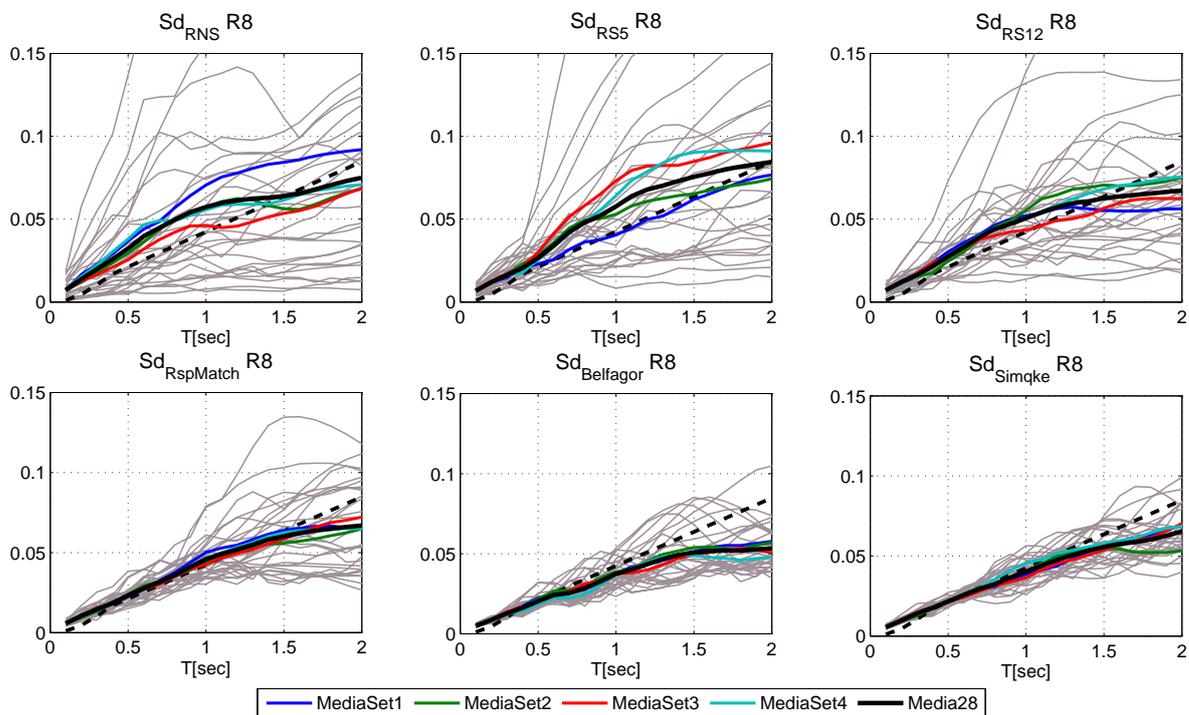


## Legge isteretica EPH

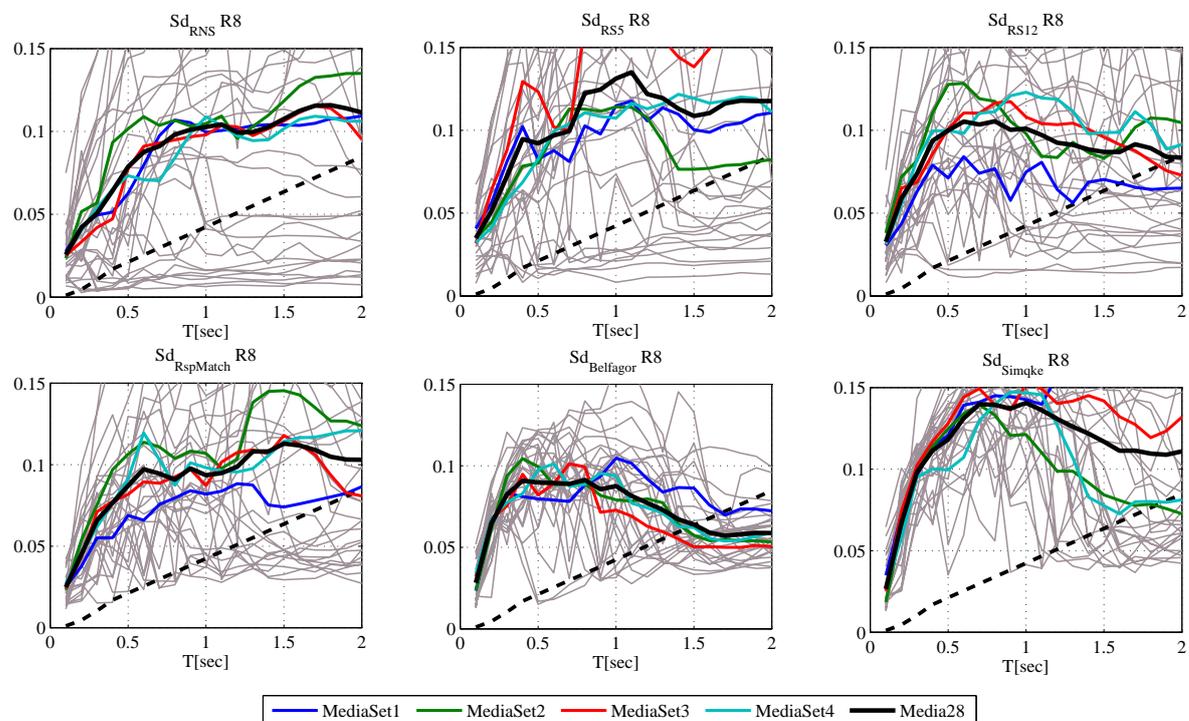


## Legge isteretica ESD

## Spettri di spostamento relativi al livello di duttilità R8

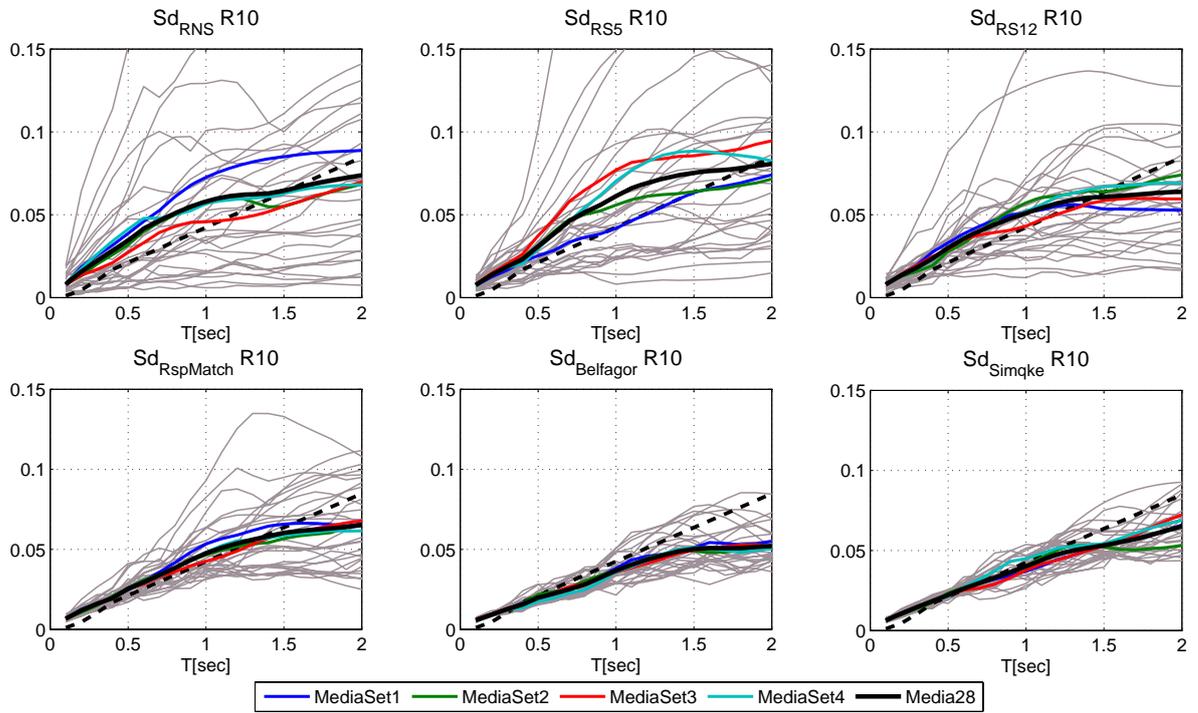


## Legge isteretica EPH

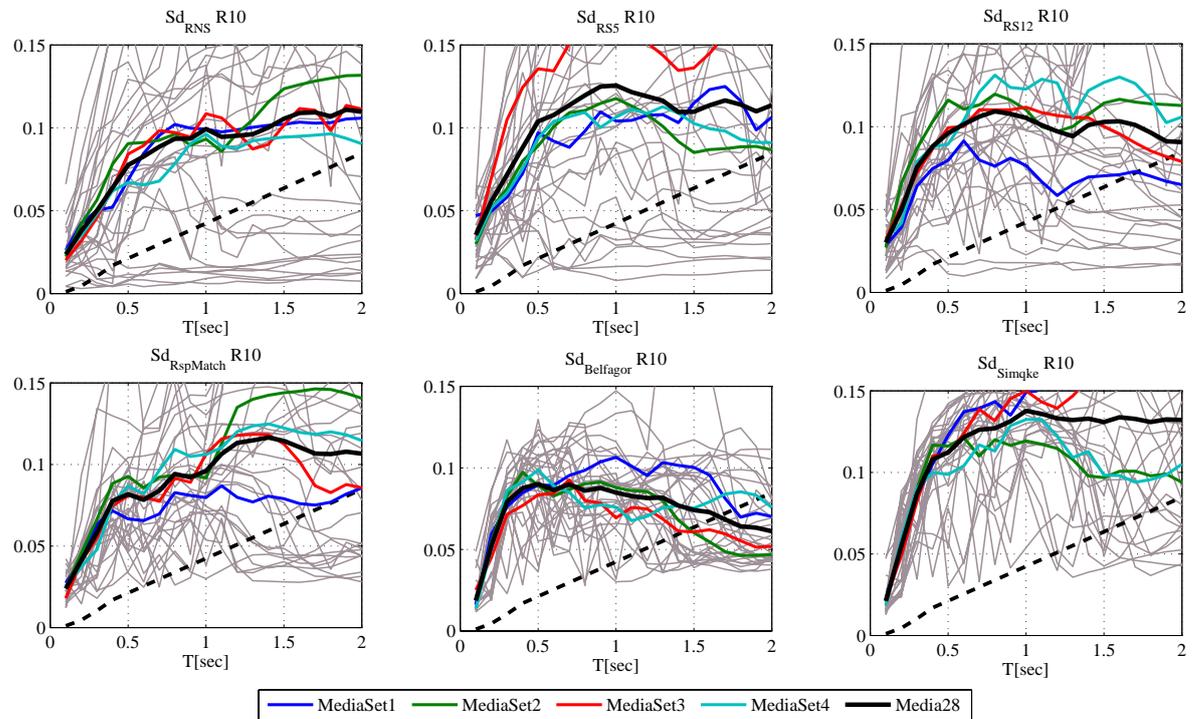


## Legge isteretica ESD

## Spettri di spostamento relativi al livello di duttilità R10



## Legge isteretica EPH



## Legge isteretica ESD

**Allegato 3: Rapporto  $Sd_{i,j}/Sd_{target}$  set to set per le sei categorie investigate ed i due modelli considerati.**

Di seguito, sono riportati i rapporti:

$$\frac{Sd_{elast,J}}{Sd_{target}} ; \frac{Sd_{i,J}}{Sd_{target}}$$

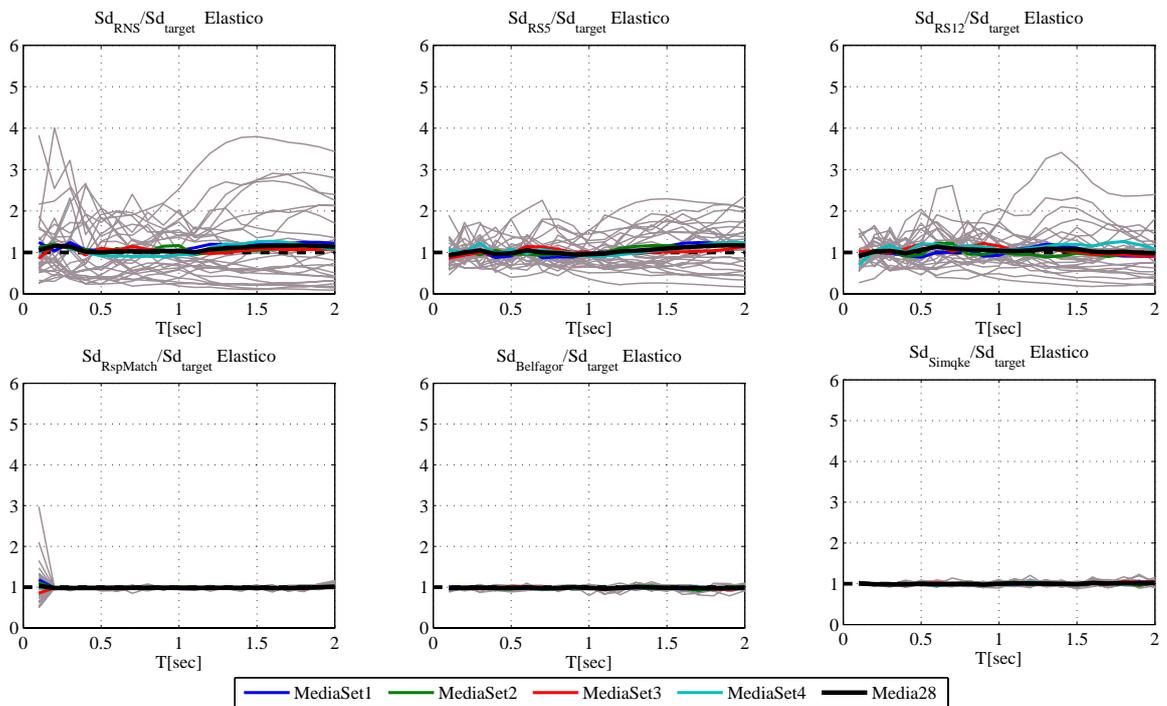
$$i = R2, R4, R6, R8, R10 \quad j = RNS, SF5, SF12, RSPMatch, Simqke, Belfagor$$

relativi ai due modelli considerati: elasto-plastico bilineare non degradante (figura 4.2a), ed elasto-plastico trilineare degradante (figura 4.2b), nel range di spettrocompatibilità assicurata,  $T \equiv [0.15-2 \text{ sec}]$ .

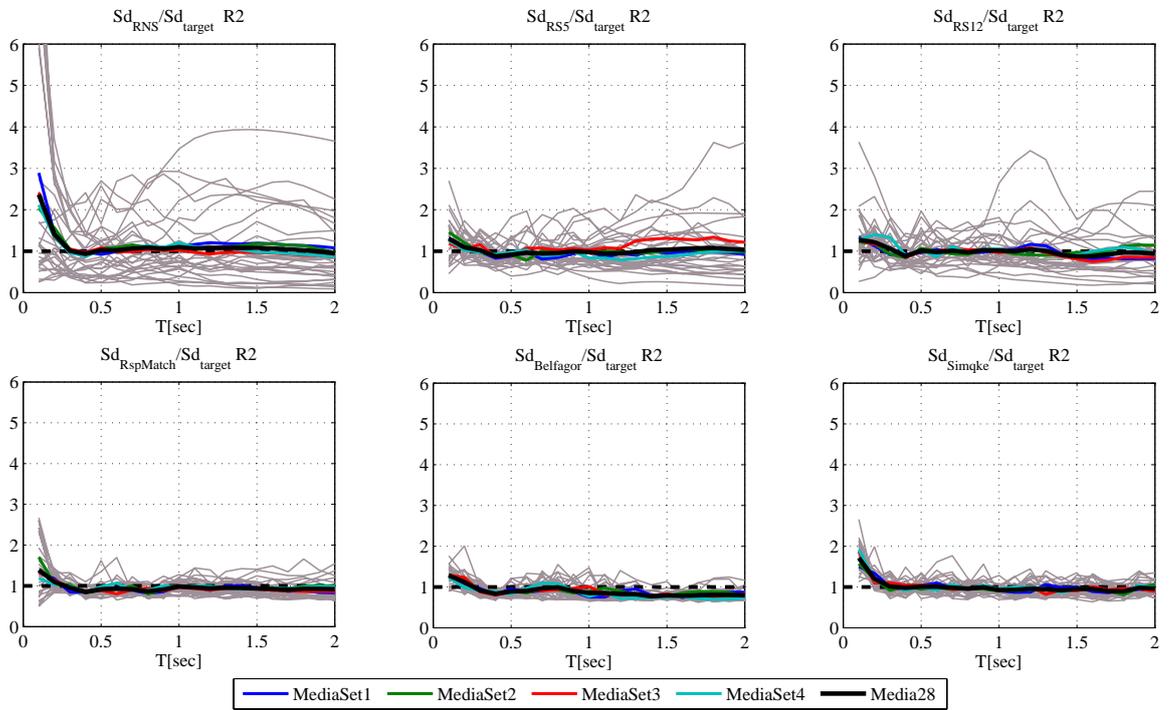
Si evidenziano, inoltre, oltre all'andamento di ogni record (grigio) anche le medie di ciascun set costituenti l'i-esima categoria.

I grafici sono organizzati per livello di duttilità crescenti riportando prima i risultati ottenuti con una modellazione EPH e sotto quelli con una modellazione ESD

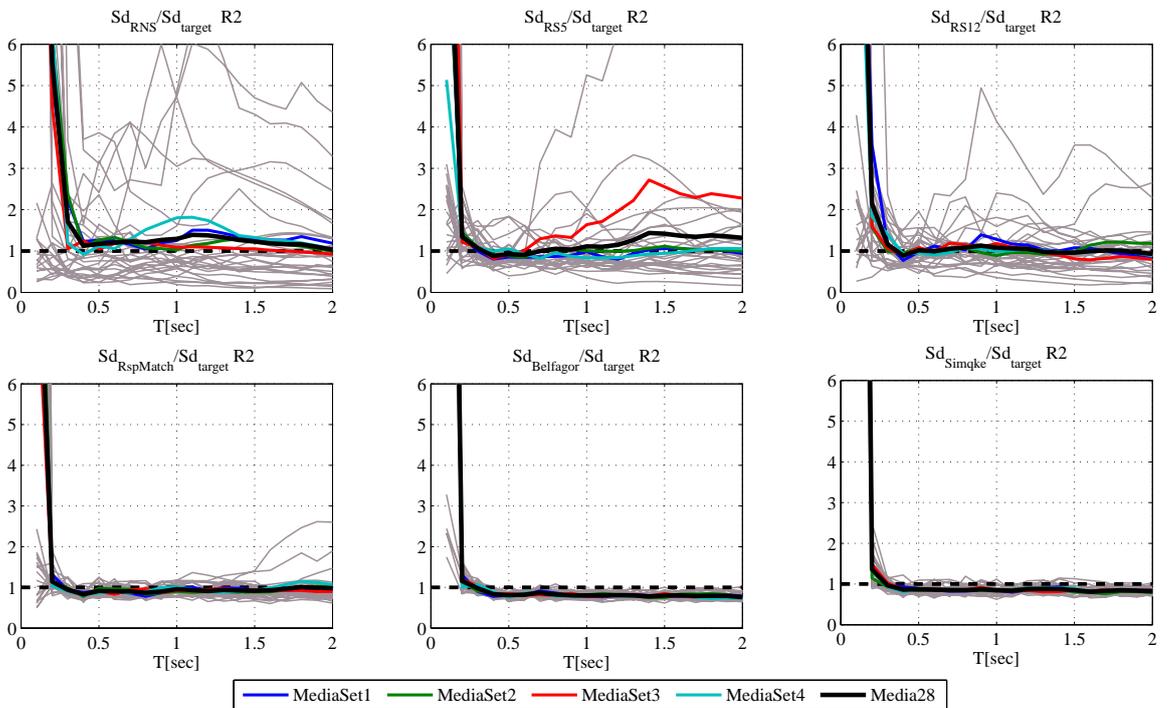
Si riporta il rapporto  $Sd_{elastico,J}/Sd_{target}$ , ovviamente indipendente dal modello di riferimento:



## Rapporto $Sd_I/Sd_{target}$ relativi al livello di duttilità R2

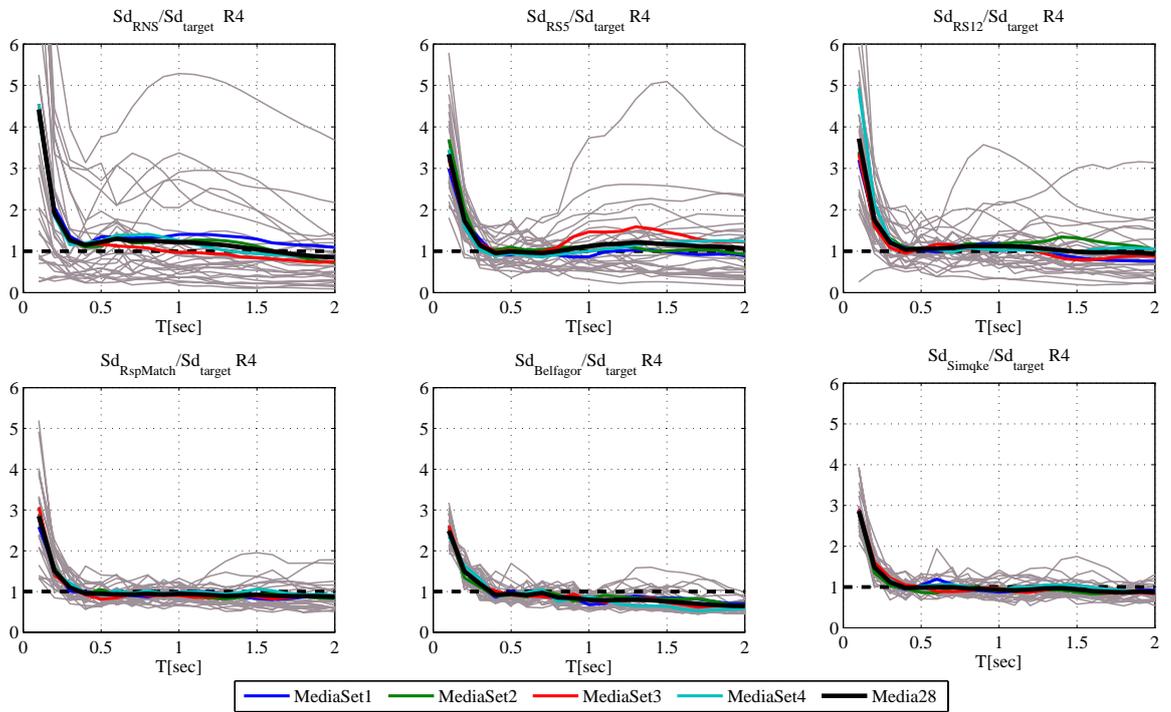


## Legge isteretica EPH

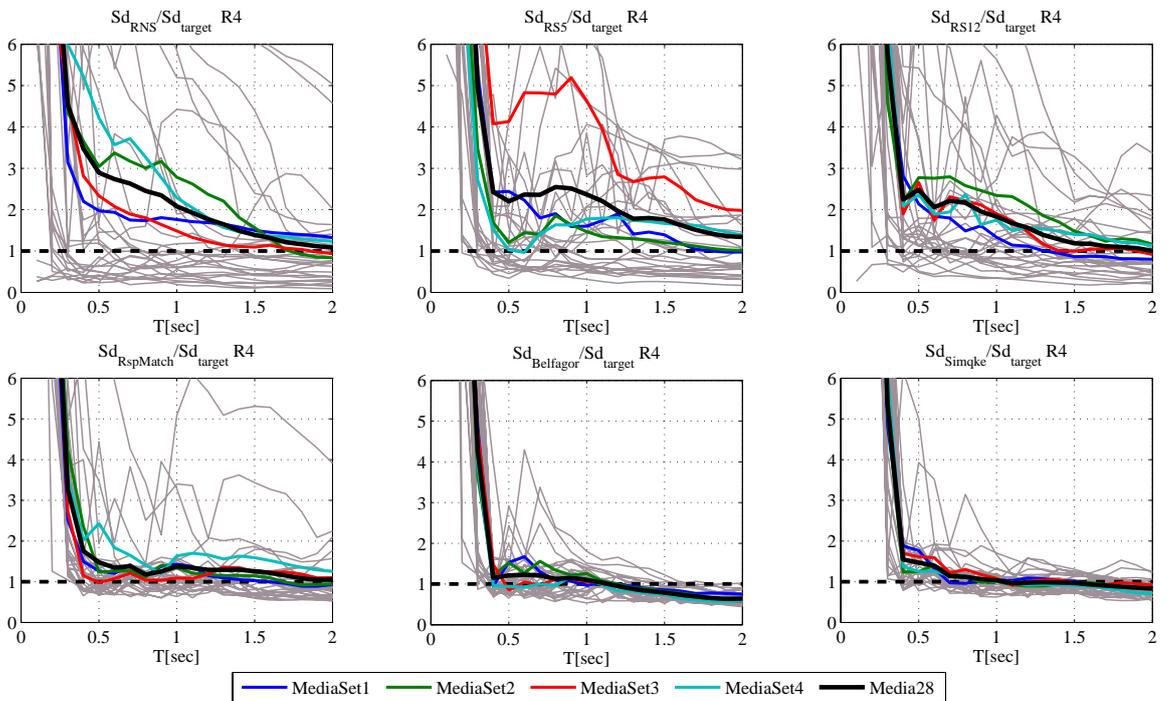


## Legge isteretica ESD

## Rapporto $Sd_I/Sd_{target}$ relativi al livello di duttilità R4

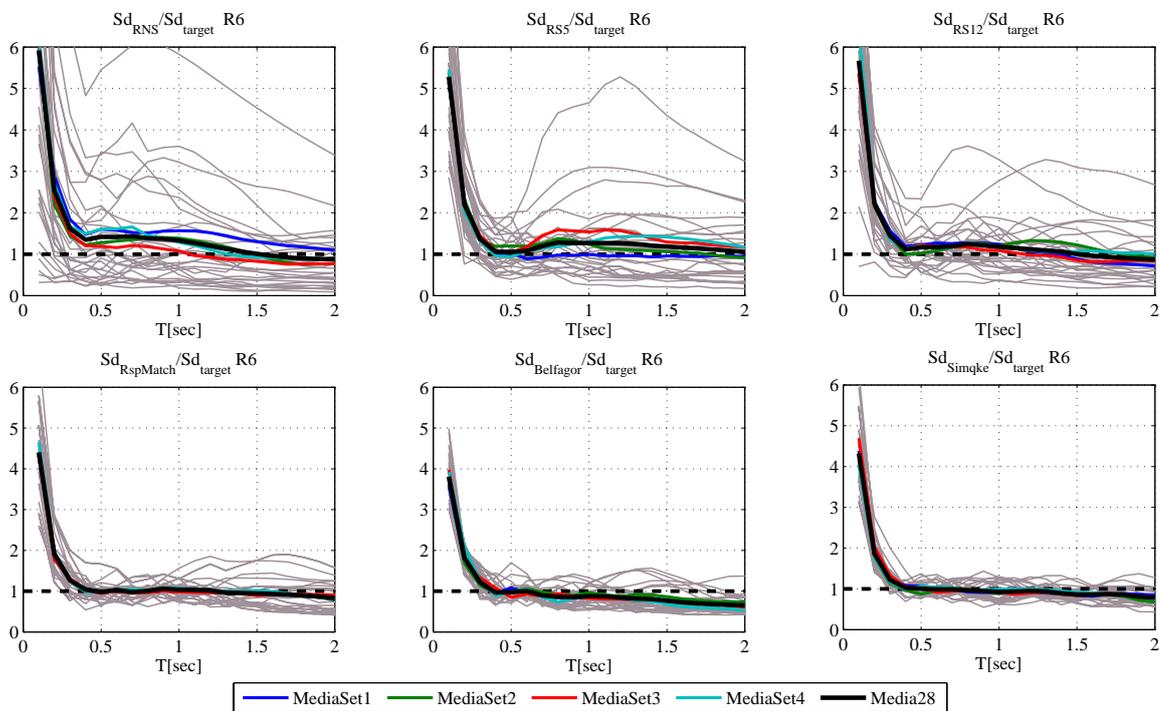


## Legge isteretica EPH

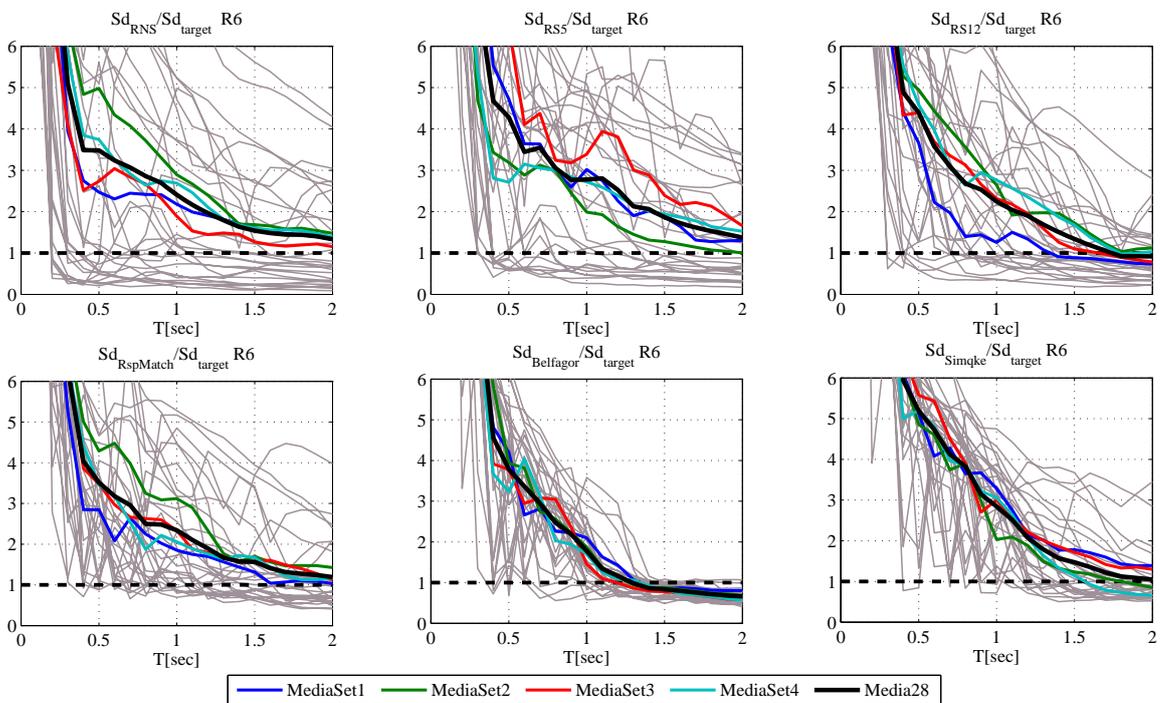


## Legge isteretica ESD

## Rapporto $Sd_I/Sd_{target}$ relativi al livello di duttilità R6

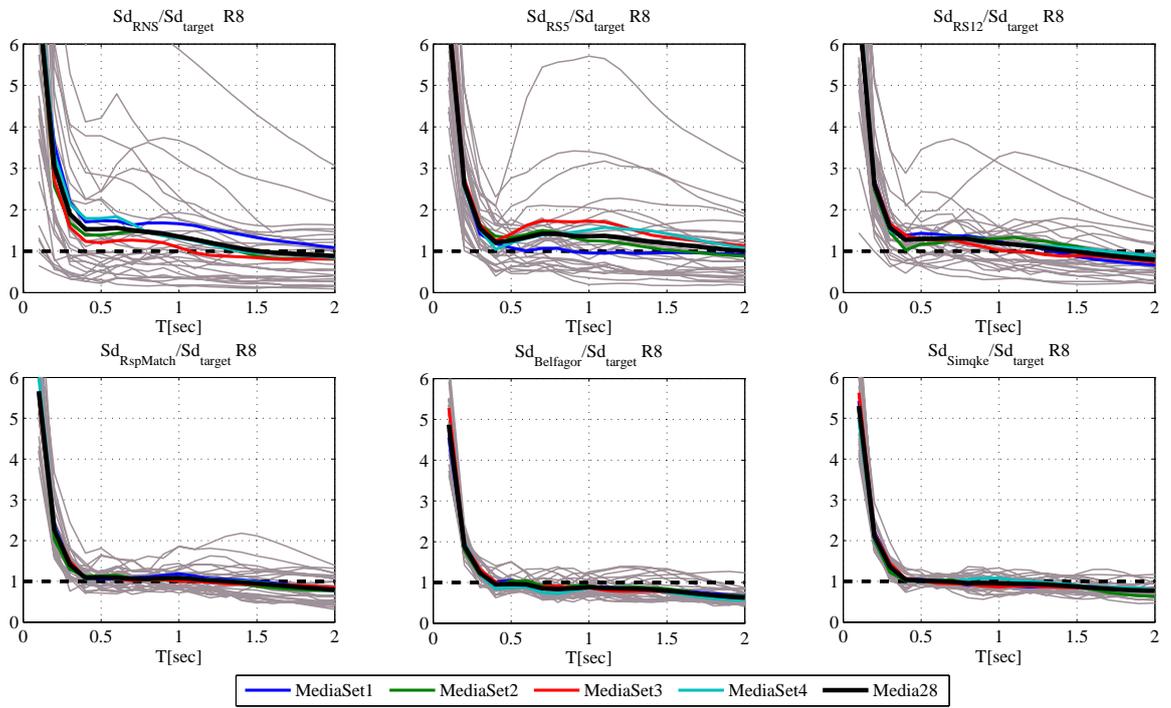


## Legge isteretica EPH

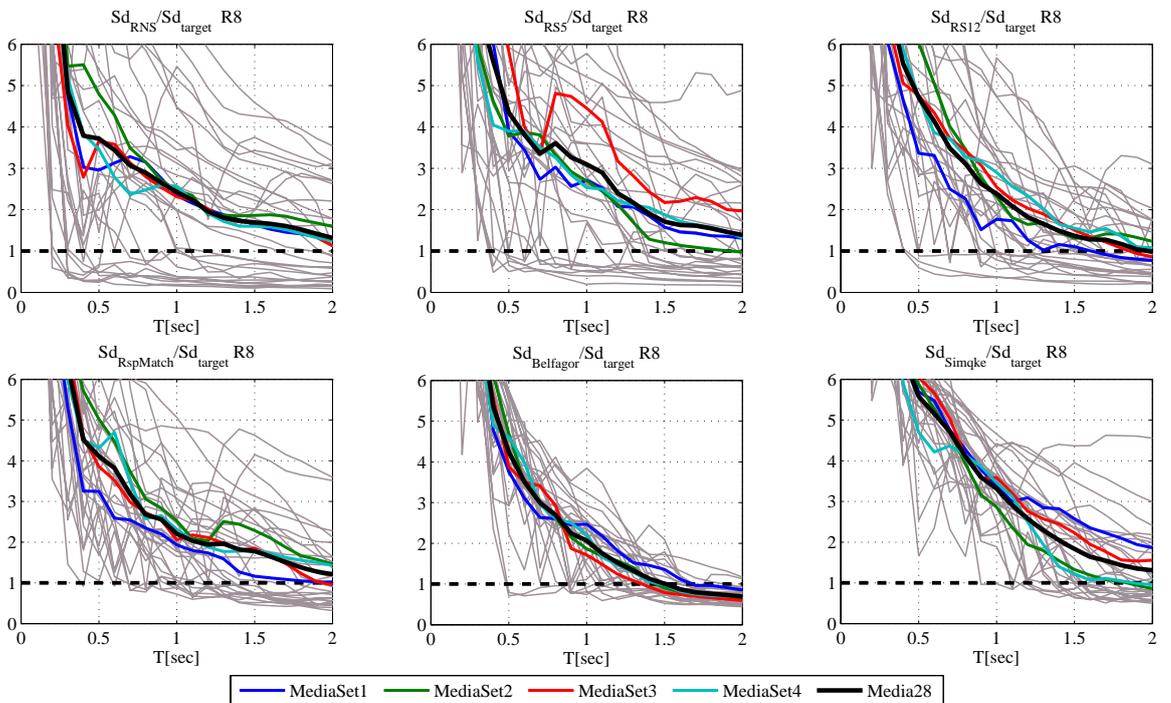


## Legge isteretica ESD

## Rapporto $Sd_j/Sd_{target}$ relativi al livello di duttilità R8

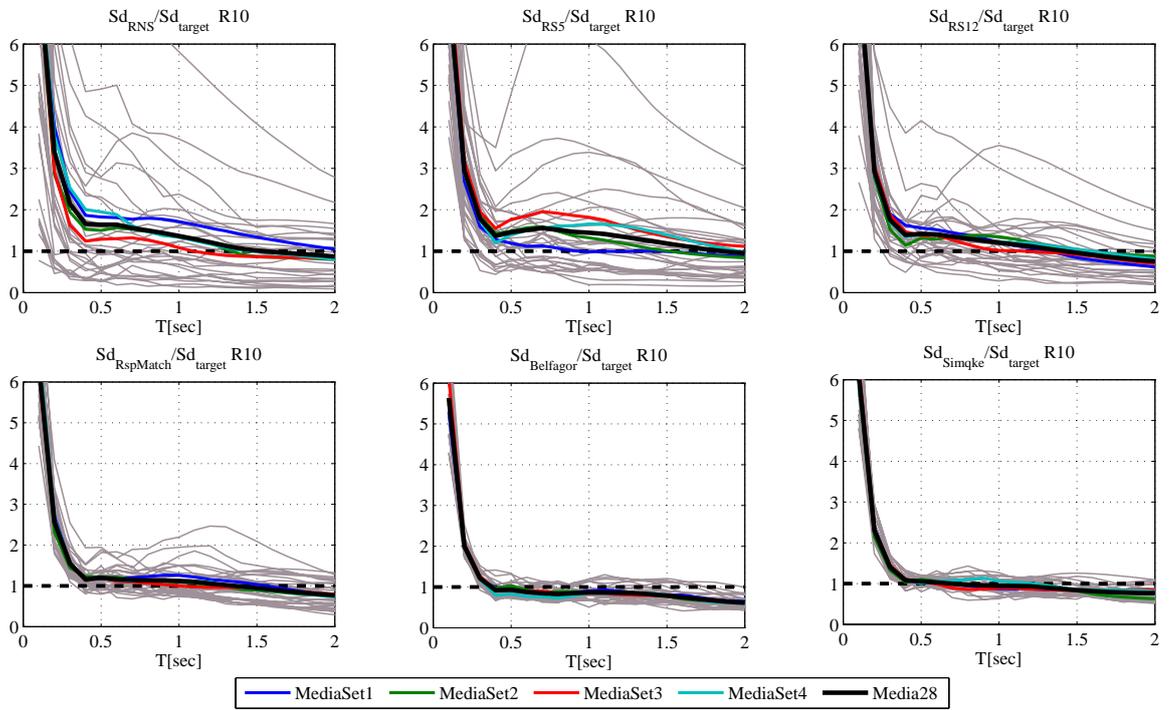


## Legge isteretica EPH

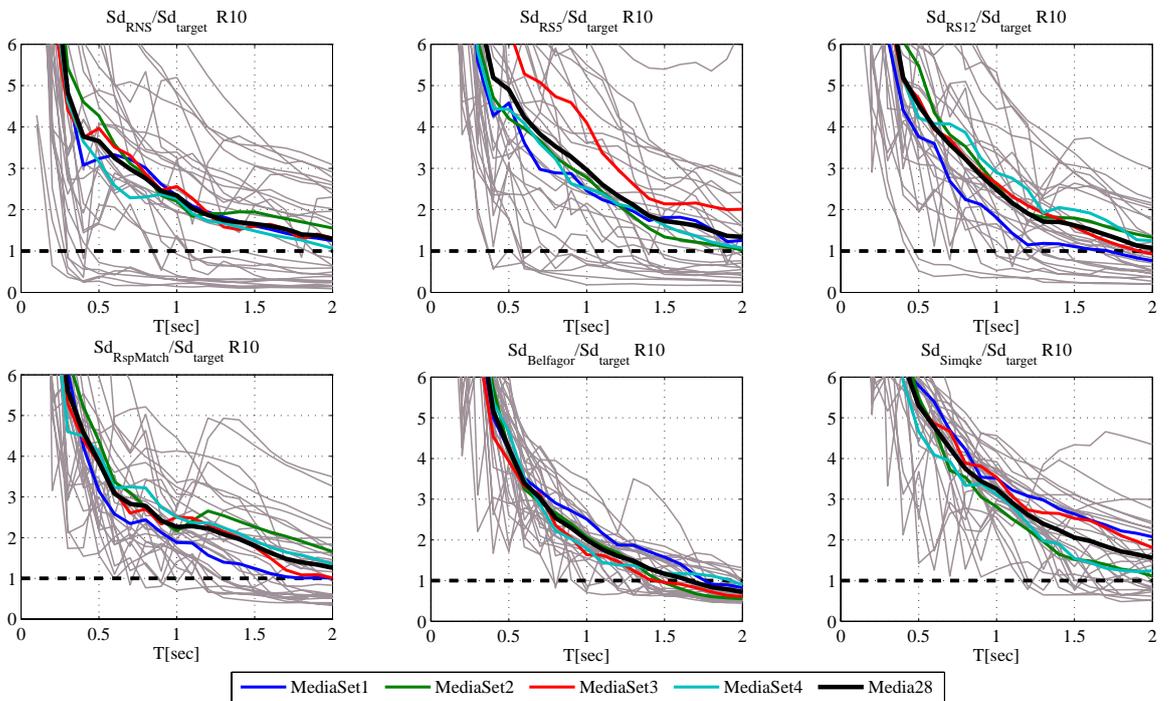


## Legge isteretica ESD

## Rapporto $Sd_j/Sd_{target}$ relativi al livello di duttilità R10



## Legge isteretica EPH



## Legge isteretica ESD

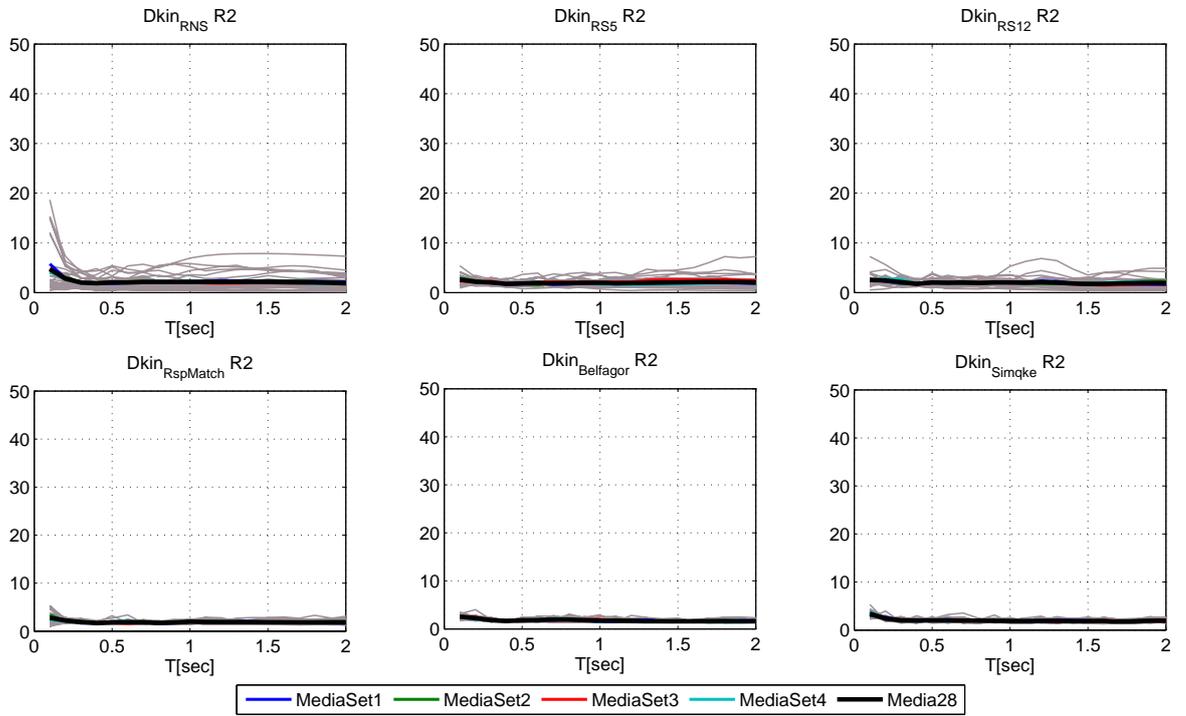
#### **Allegato 4: Spettri di duttilità cinematica ( $D_{kin}$ ) set to set per le sei categorie investigate.**

La duttilità cinematica è definita come il rapporto fra lo spostamento massimo (in valore assoluto) in campo plastico e il corrispondente valore al limite elastico:

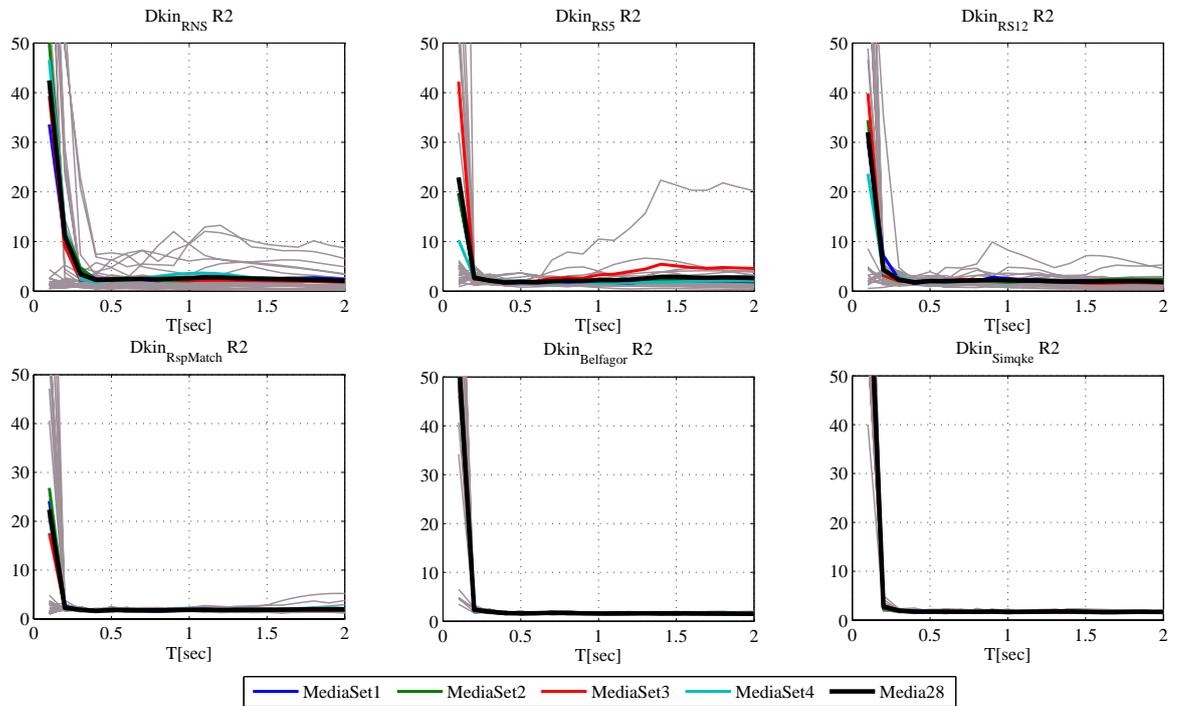
$$D_{kin} = \frac{\delta_{max}}{\delta_y}$$

Di seguito sono riportati cinque grafici (al variare di  $R_i$  con  $i=2,4,6,8,10$ ) contenenti le medie dei 4 set costituenti ciascuna categoria, nonché la media totale (su 28 records) relativi ai due modelli considerati: elasto-plastico bilineare non degradante (figura 4.2a), ed elasto-plastico trilineare degradante (figura 4.2b). Sono inoltre riportati, in grigio, il valore del parametro per ciascuna registrazione, al fine di avere un'idea sulla dispersione. Gli spettri fanno riferimento all'intervallo di spettrocompatibilità assicurato:  $T \equiv [0.15-2 \text{ sec}]$ .

## Spettri di duttilità cinematica relativi al livello di duttilità R2

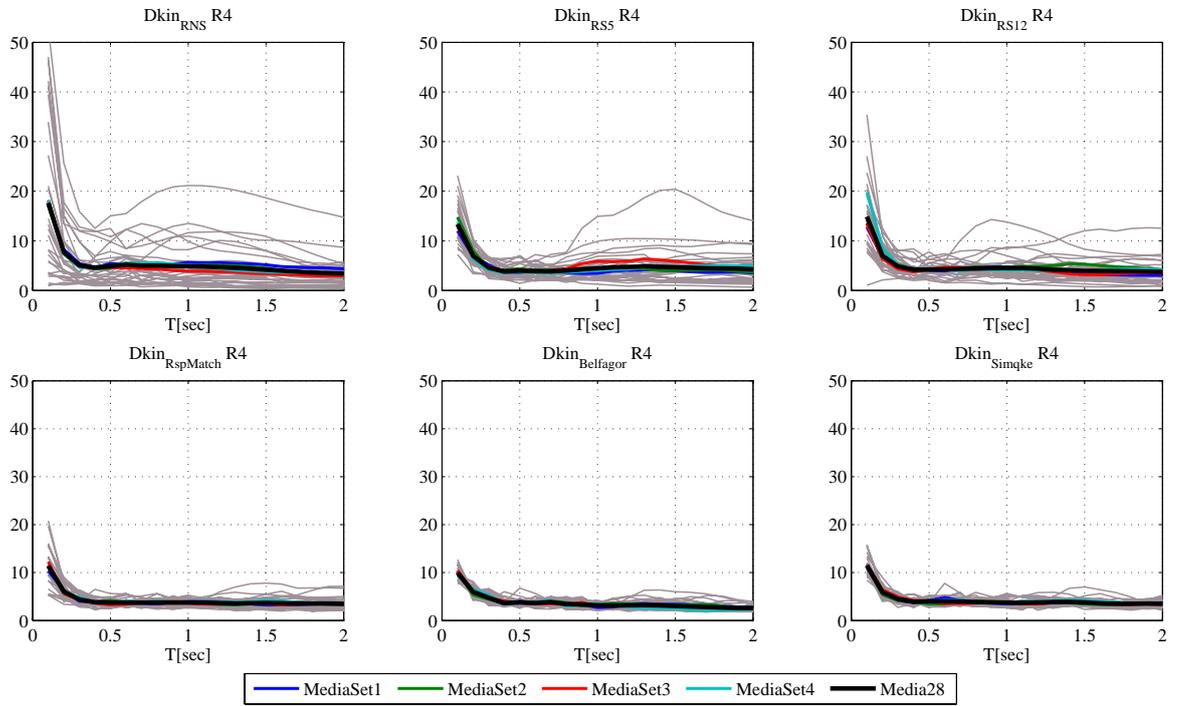


## Legge isteretica EPH

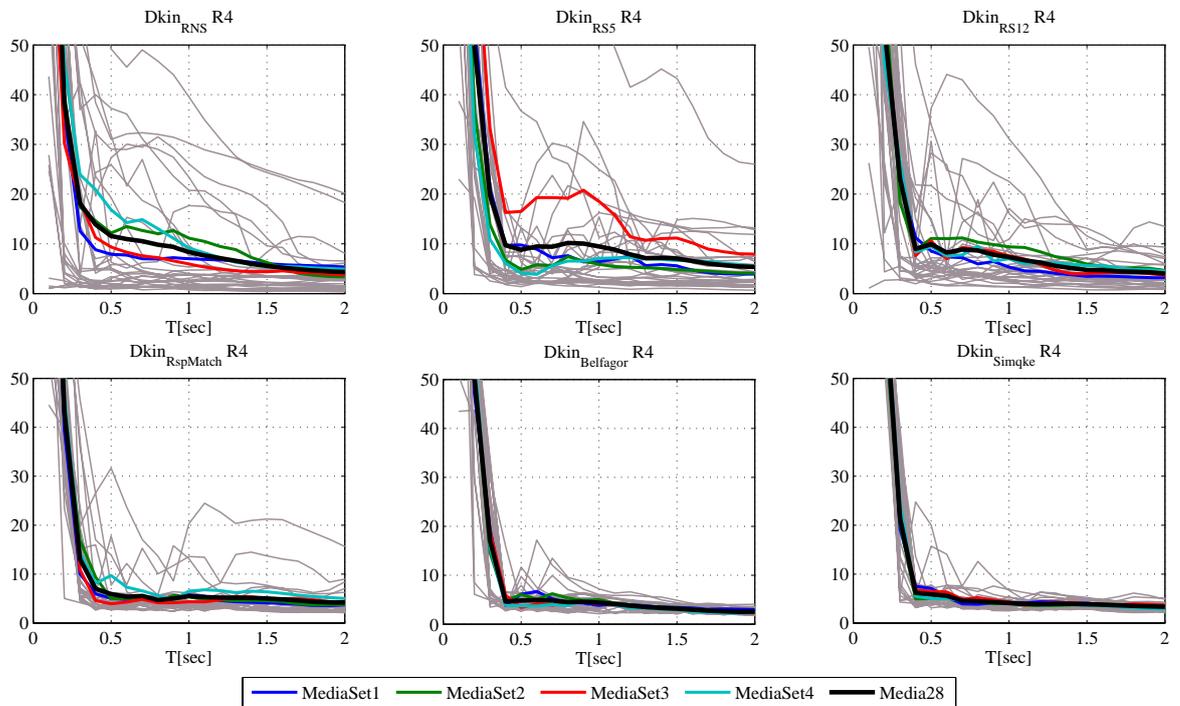


## Legge isteretica ESD

## Spettri di duttilità cinematica relativi al livello di duttilità R4

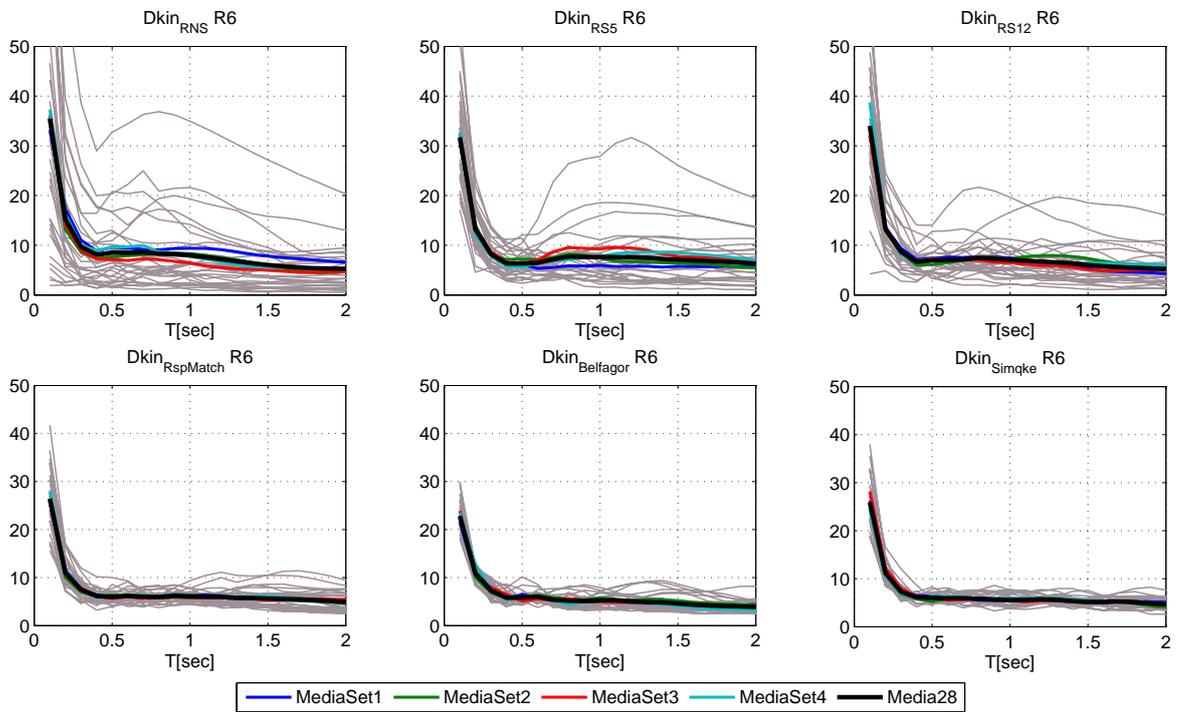


## Legge isteretica EPH

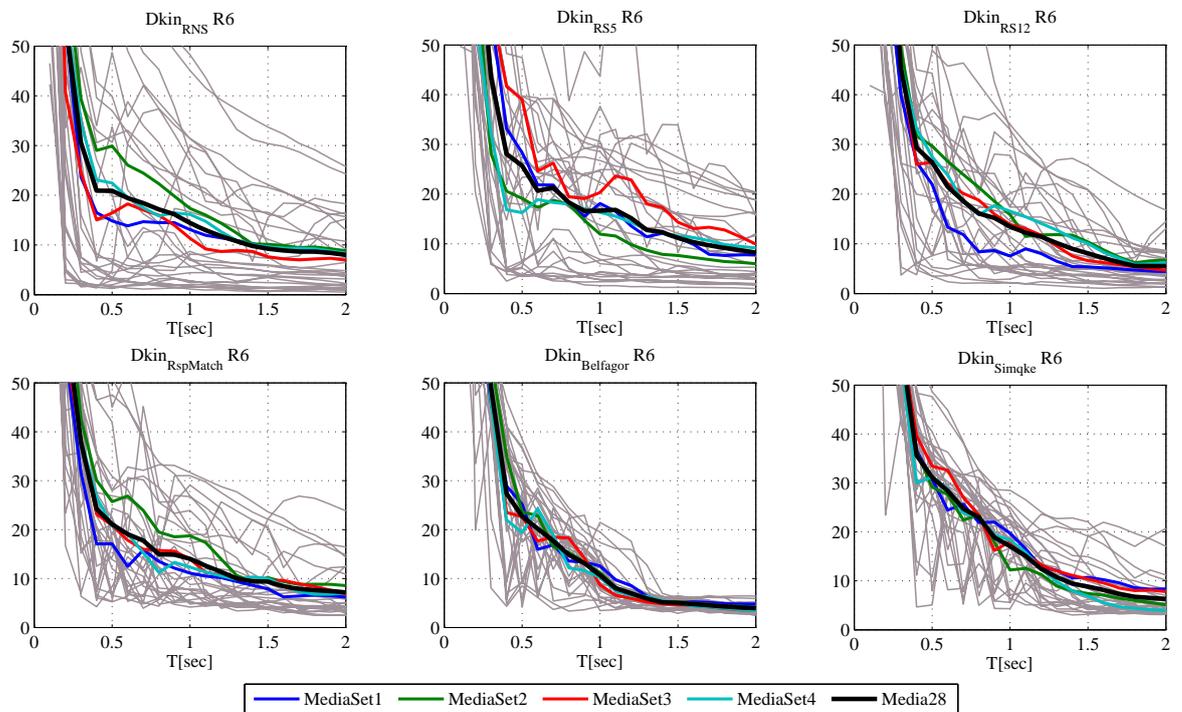


## Legge isteretica ESD

## Spettri di duttilità cinematica relativi al livello di duttilità R6

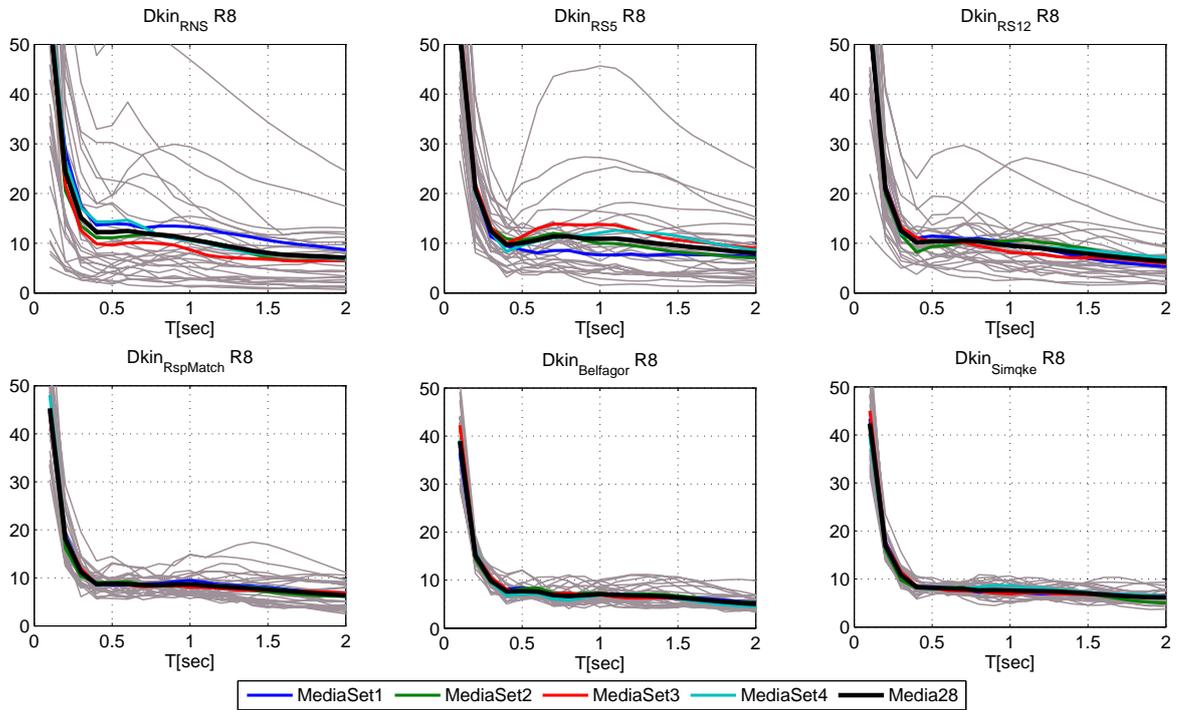


## Legge isteretica EPH

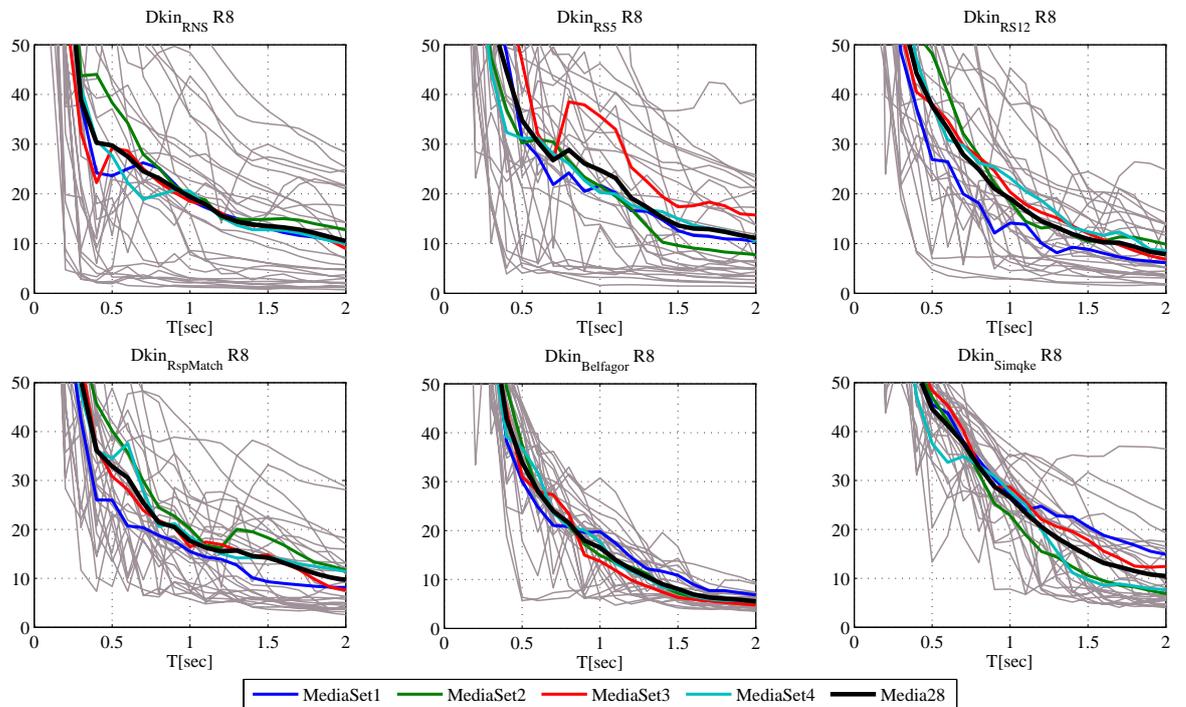


## Legge isteretica ESD

## Spettri di duttilità cinematica relativi al livello di duttilità R8

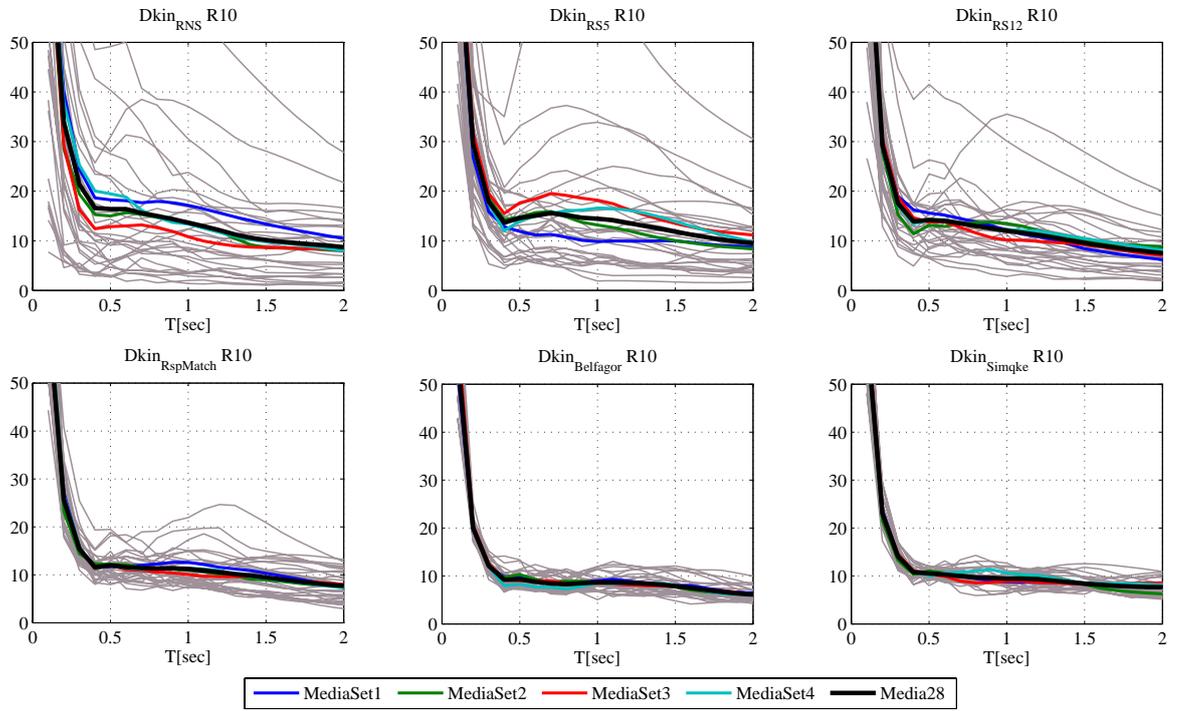


## Legge isteretica EPH

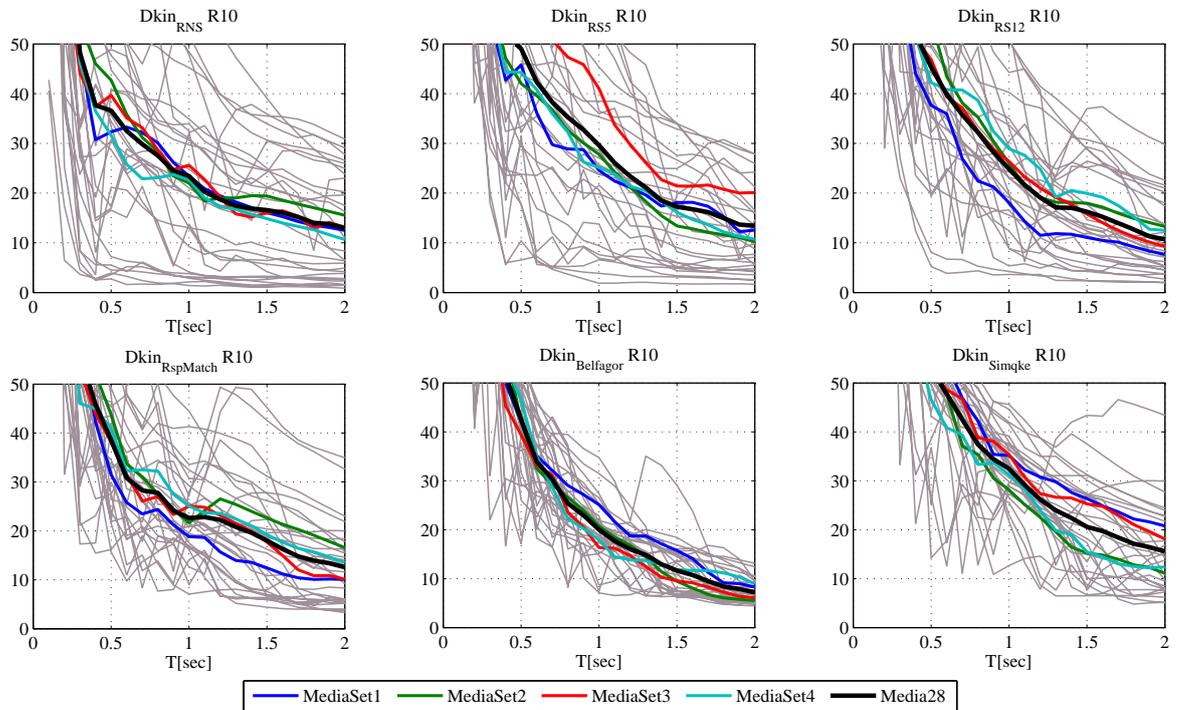


## Legge isteretica ESD

## Spettri di duttilità cinematica relativi al livello di duttilità R10



## Legge isteretica EPH



## Legge isteretica ESD

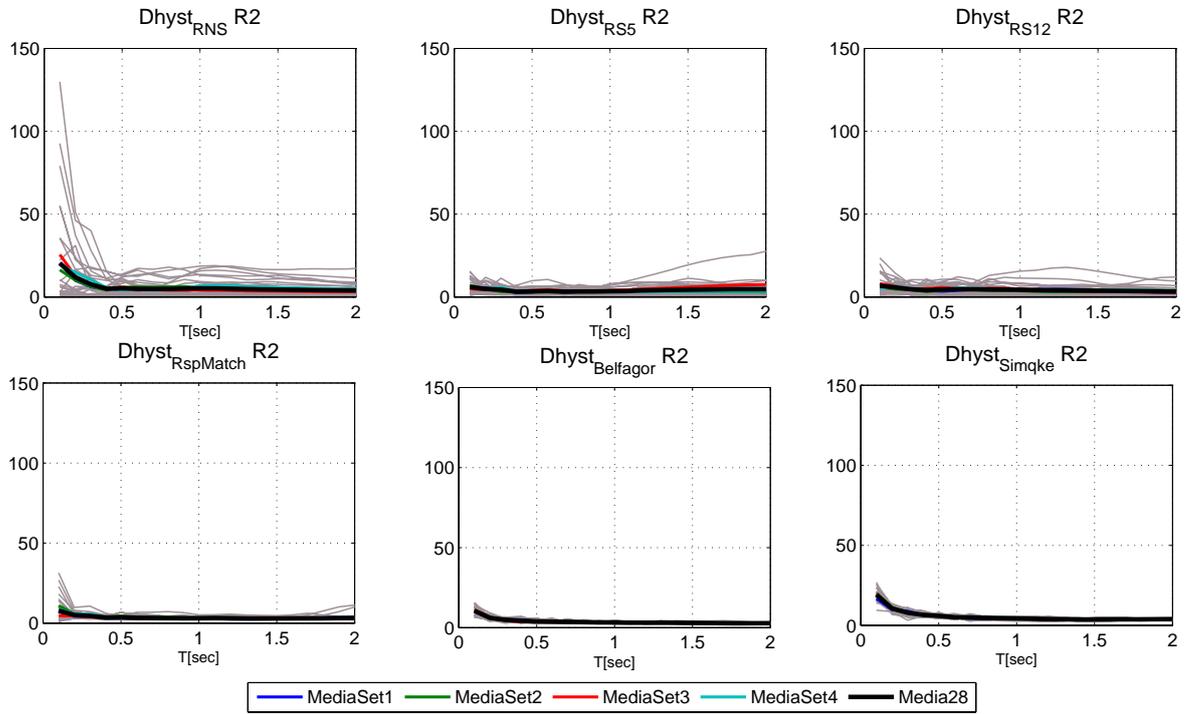
## **Allegato 5: Spettri di duttilità isteretica (D<sub>hyst</sub>) set to set per le sei categorie investigate.**

La duttilità isteretica, tiene conto dell'effetto cumulativo dell'energia dissipata nei cicli inelastici, ed è definita come [\[Mahin e Bertero, 1981\]](#):

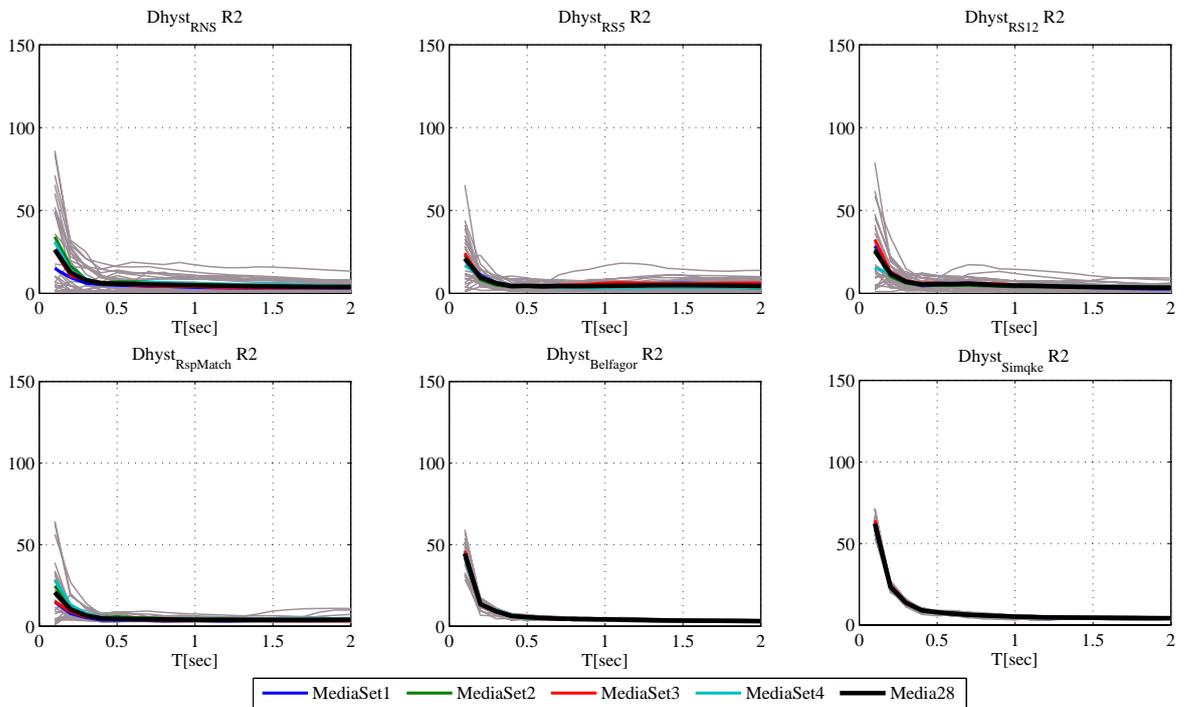
$$D_{\text{hyst}} = \frac{E_H}{F_y \delta_y} + 1$$

Di seguito sono riportati cinque grafici (al variare di  $R_i$  con  $i=2,4,6,8,10$ ) contenenti le medie dei 4 set costituenti ciascuna categoria, nonché la media totale (su 28 records) relativi ai due modelli considerati: elasto-plastico bilineare non degradante (figura 4.2a), ed elasto-plastico trilineare degradante (figura 4.2b). Sono inoltre riportati, in grigio, il valore del parametro per ciascuna registrazione, al fine di avere un'idea sulla dispersione. Gli spettri fanno riferimento all'intervallo di spettrocompatibilità assicurato:  $T \equiv [0.1-2 \text{ sec}]$ .

## Spettri di duttilità isteretica relativi al livello di duttilità R2

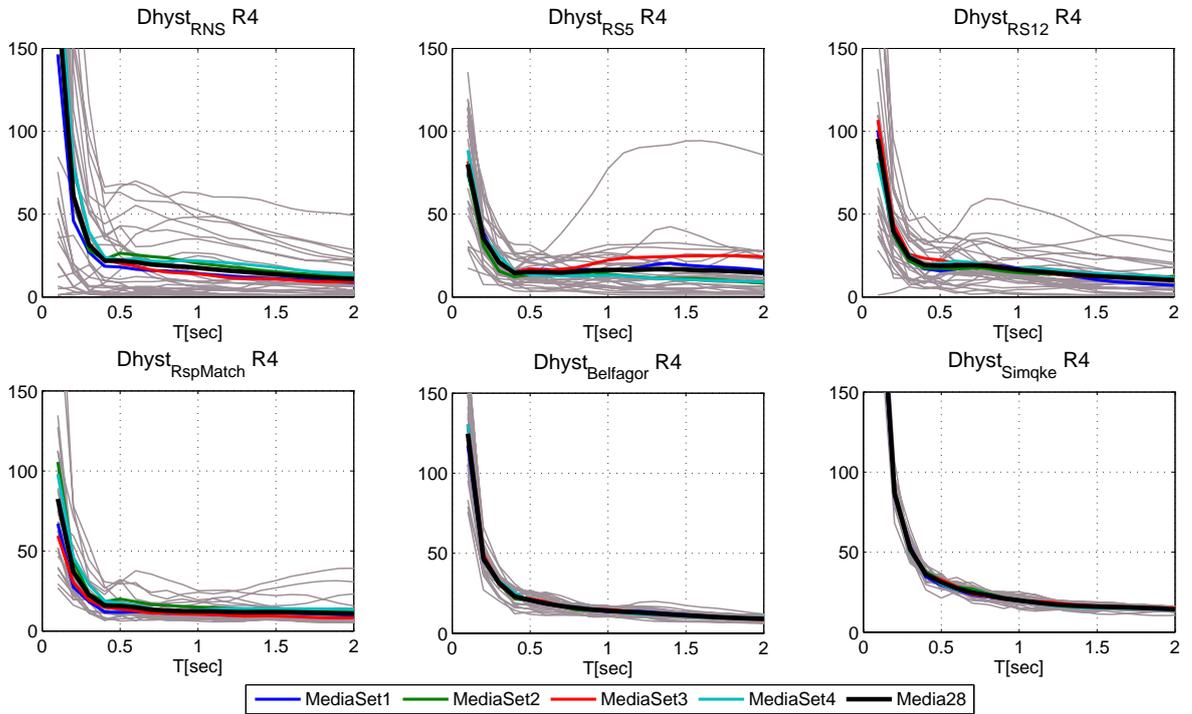


### Legge isteretica EPH

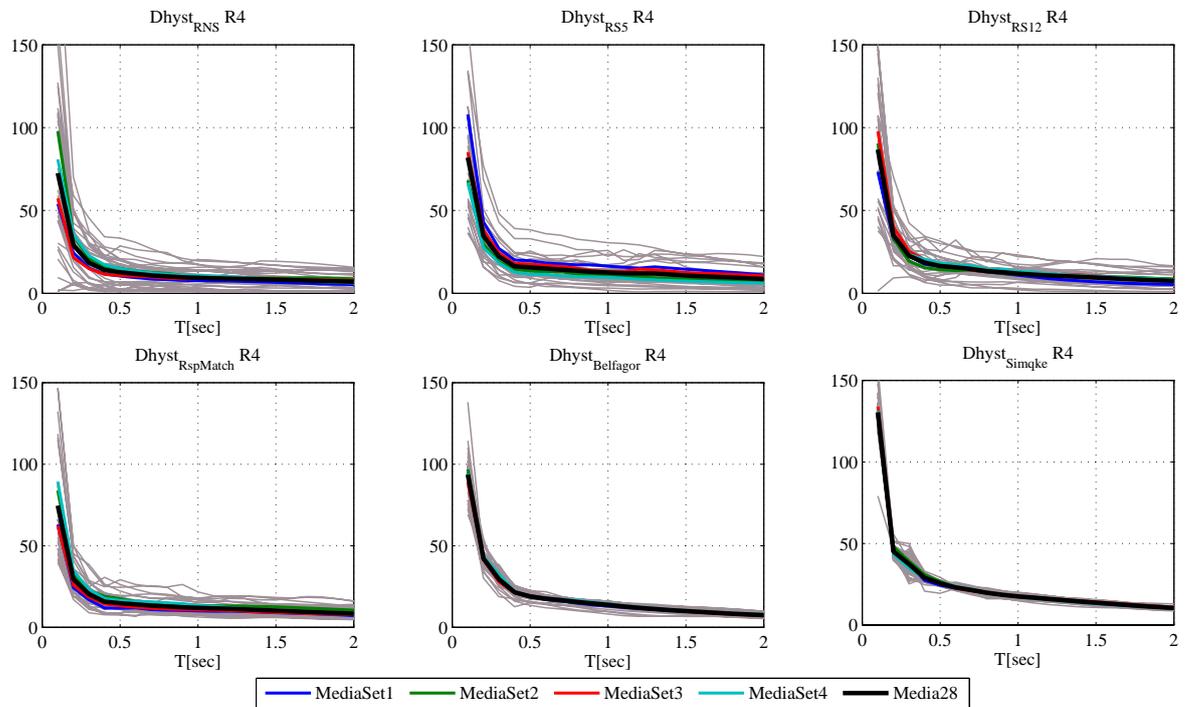


### Legge isteretica ESD

## Spettri di duttilità isteretica relativi al livello di duttilità R4

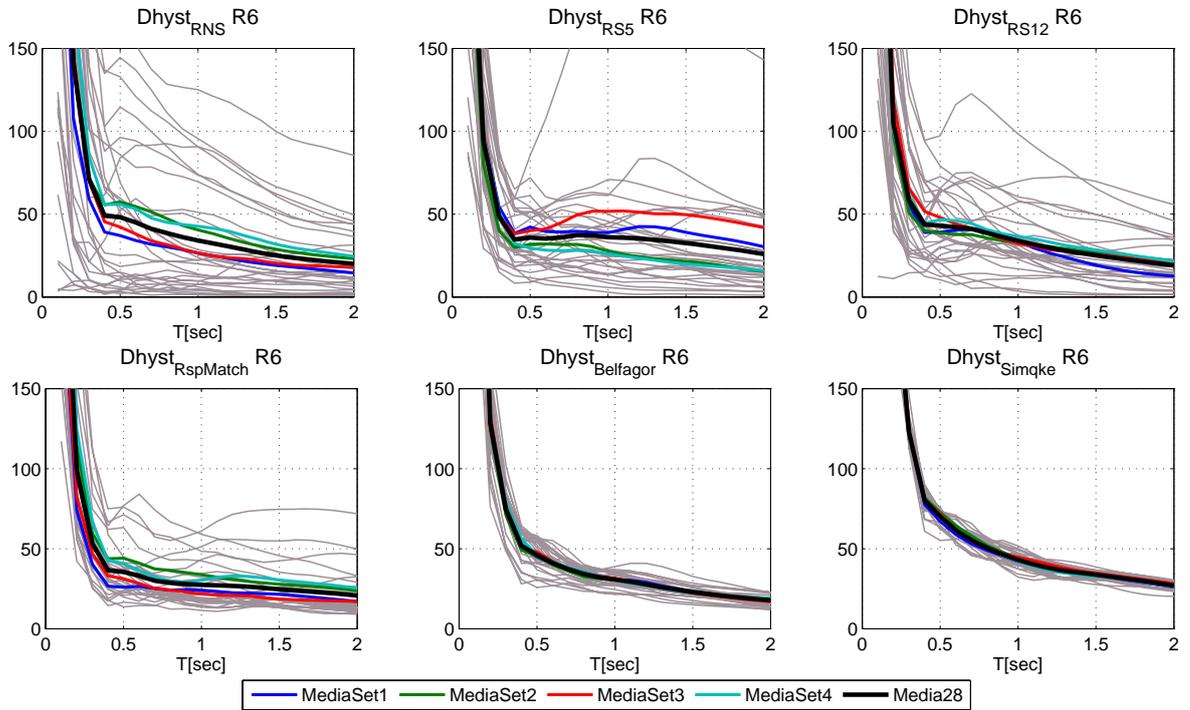


## Legge isteretica EPH

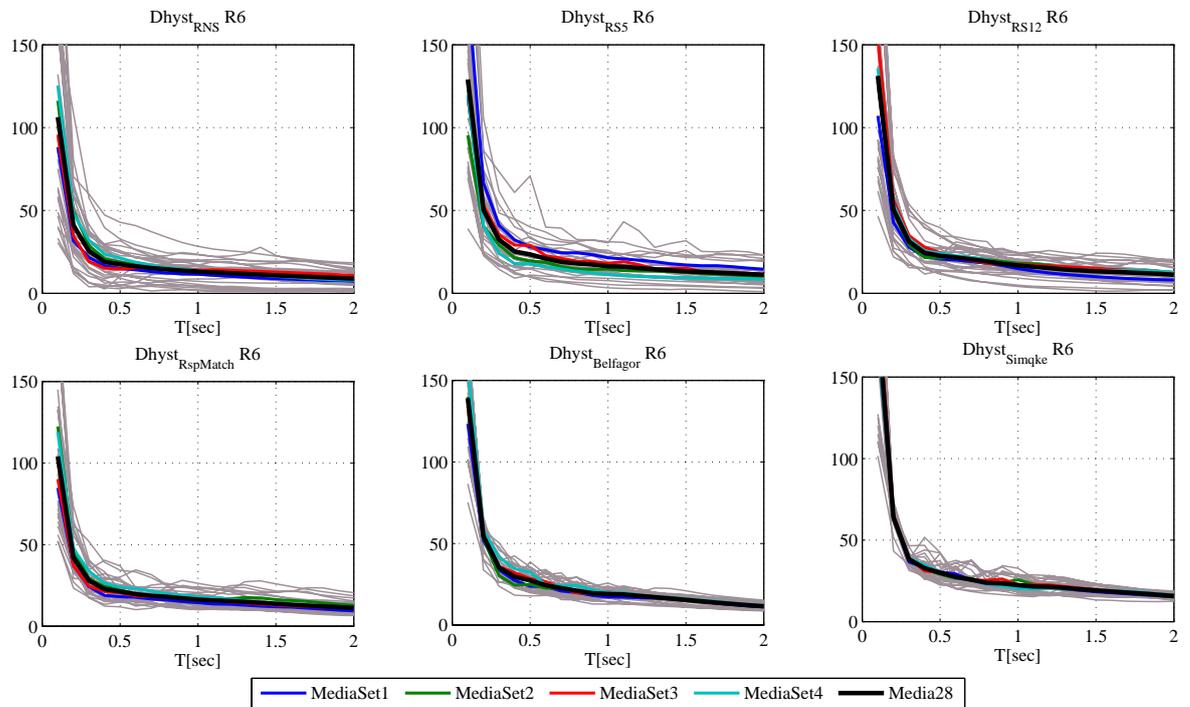


## Legge isteretica ESD

## Spettri di duttilità isteretica relativi al livello di duttilità R6

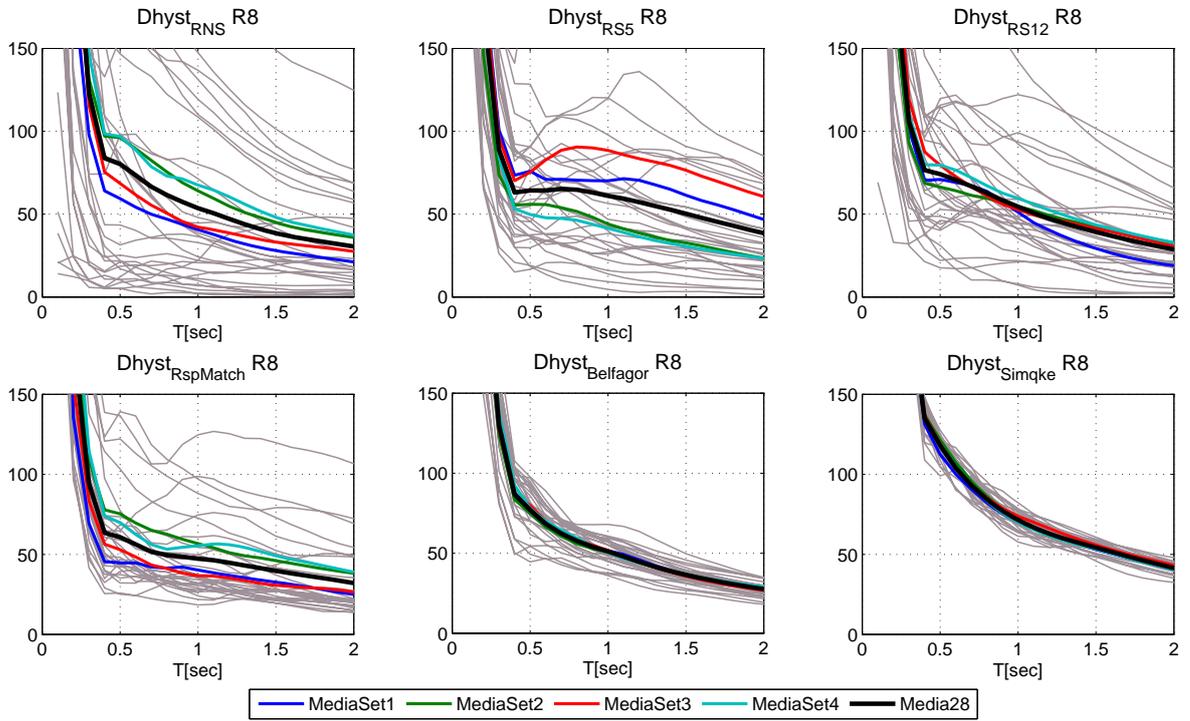


## Legge isteretica EPH

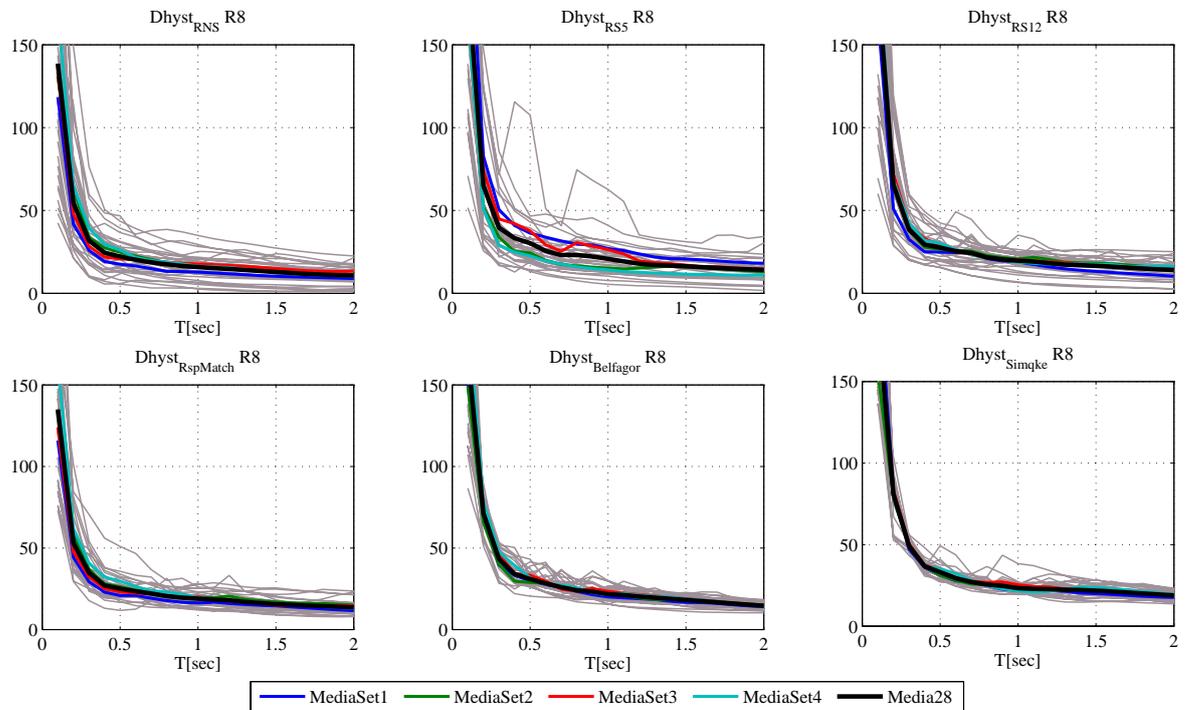


## Legge isteretica ESD

## Spettri di duttilità isteretica relativi al livello di duttilità R8

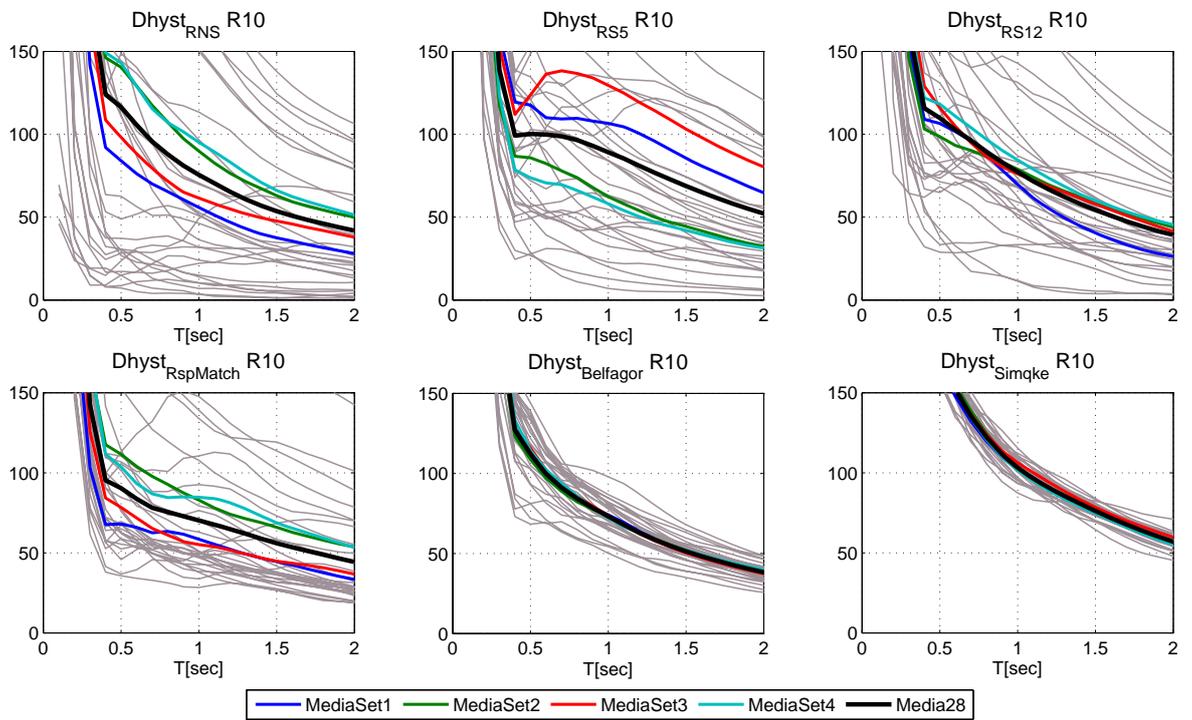


## Legge isteretica EPH

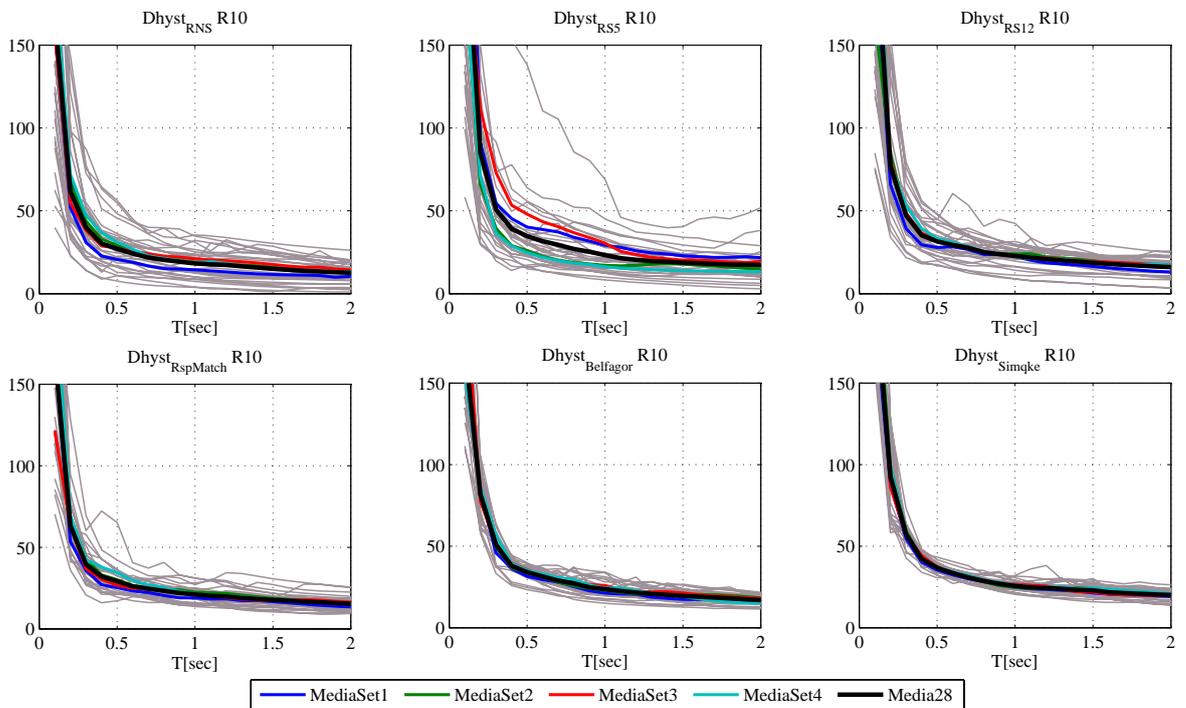


## Legge isteretica ESD

## Spettri di duttilità isteretica relativi al livello di duttilità R10



## Legge isteretica EPH



## Legge isteretica ESD

## **Allegato 6: Spettri di duttilità ciclica ( $D_{cyc}$ ) set to set per le sei categorie investigate.**

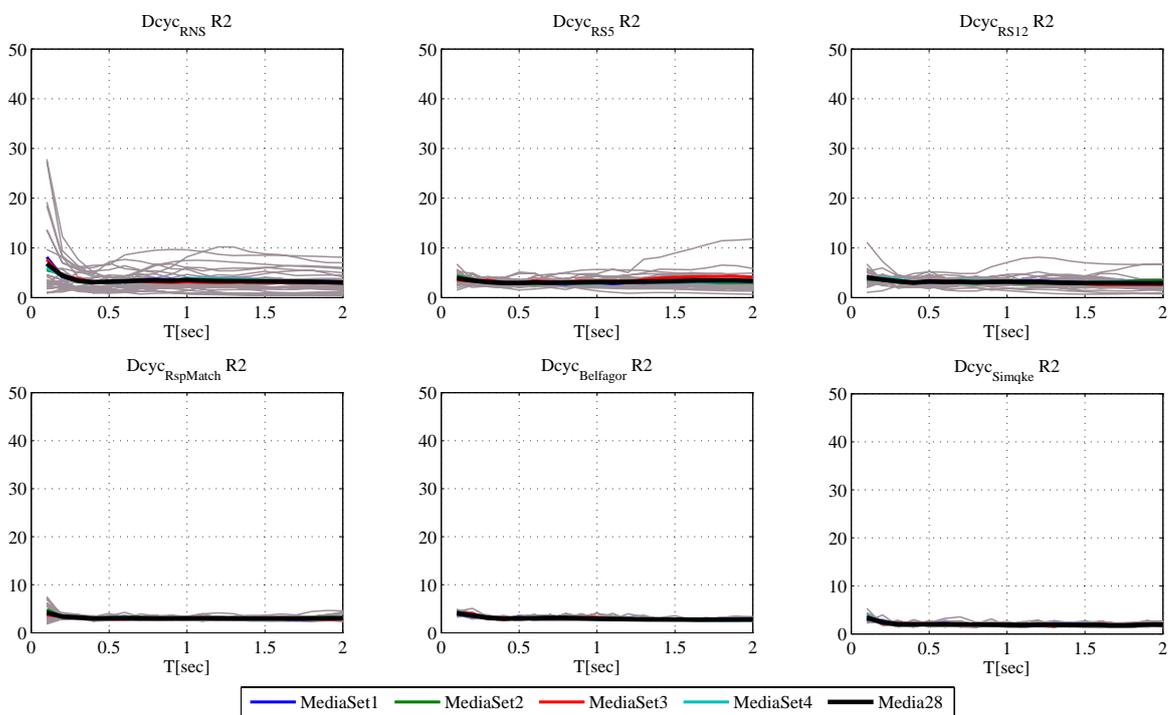
La duttilità ciclica, definita come [\[Mahin e Bertero, 1981\]](#):

$$D_{cyc} = \frac{-\delta_{min} + \delta_{max}}{\delta_y}$$

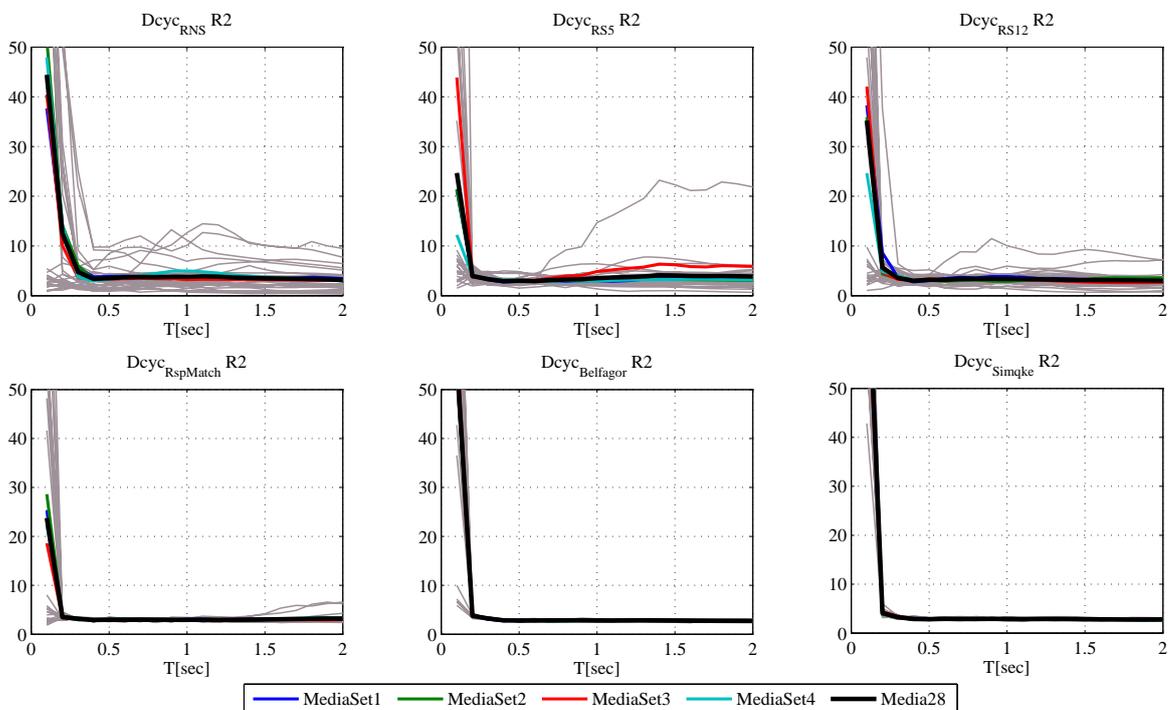
è il rapporto tra la massima escursione subita sul ramo plastico, rapportato allo spostamento di limite elastico.

Di seguito sono riportati cinque grafici (al variare di  $R_i$  con  $i=2,4,6,8,10$ ) contenenti le medie dei 4 set costituenti ciascuna categoria, nonché la media totale (su 28 records) relativi ai due modelli considerati: elasto-plastico bilineare non degradante (figura 4.2a), ed elasto-plastico trilineare degradante (figura 4.2b). Sono inoltre riportati, in grigio, il valore del parametro per ciascuna registrazione, al fine di avere un'idea sulla dispersione. Gli spettri fanno riferimento all'intervallo di spettrocompatibilità assicurato:  $T \equiv [0.1-2 \text{ sec}]$ .

## Spettri di duttilità ciclica relativi al livello di duttilità R2

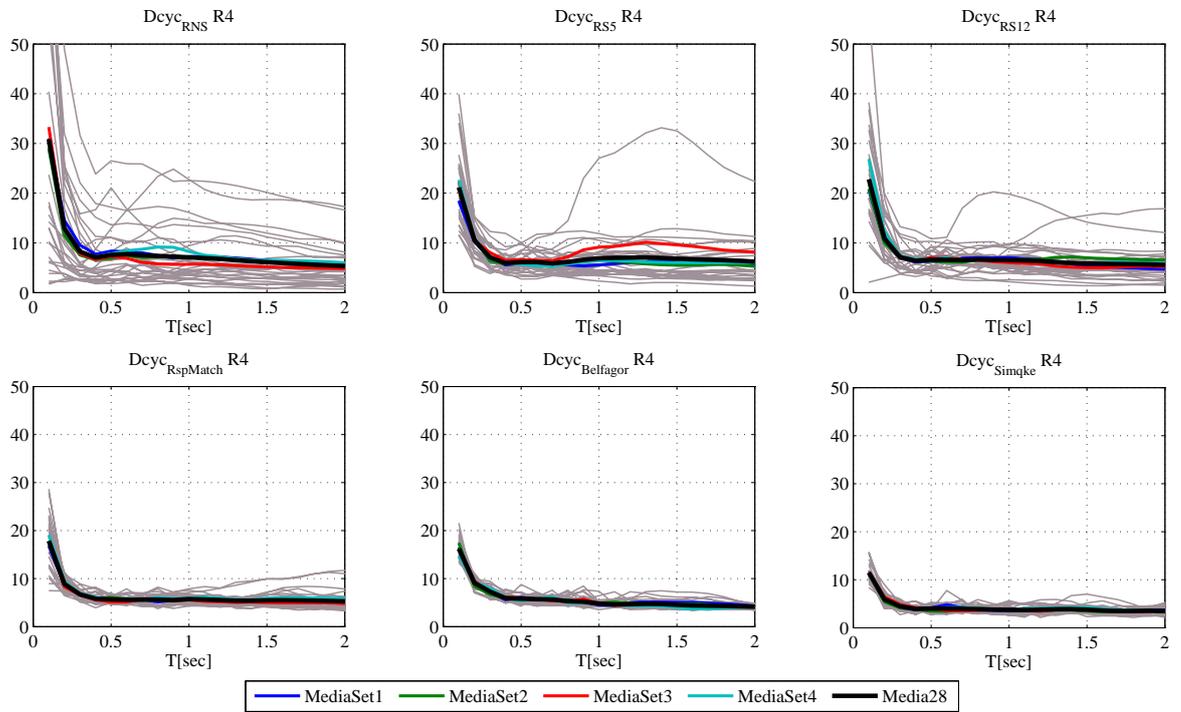


## Legge isteretica EPH

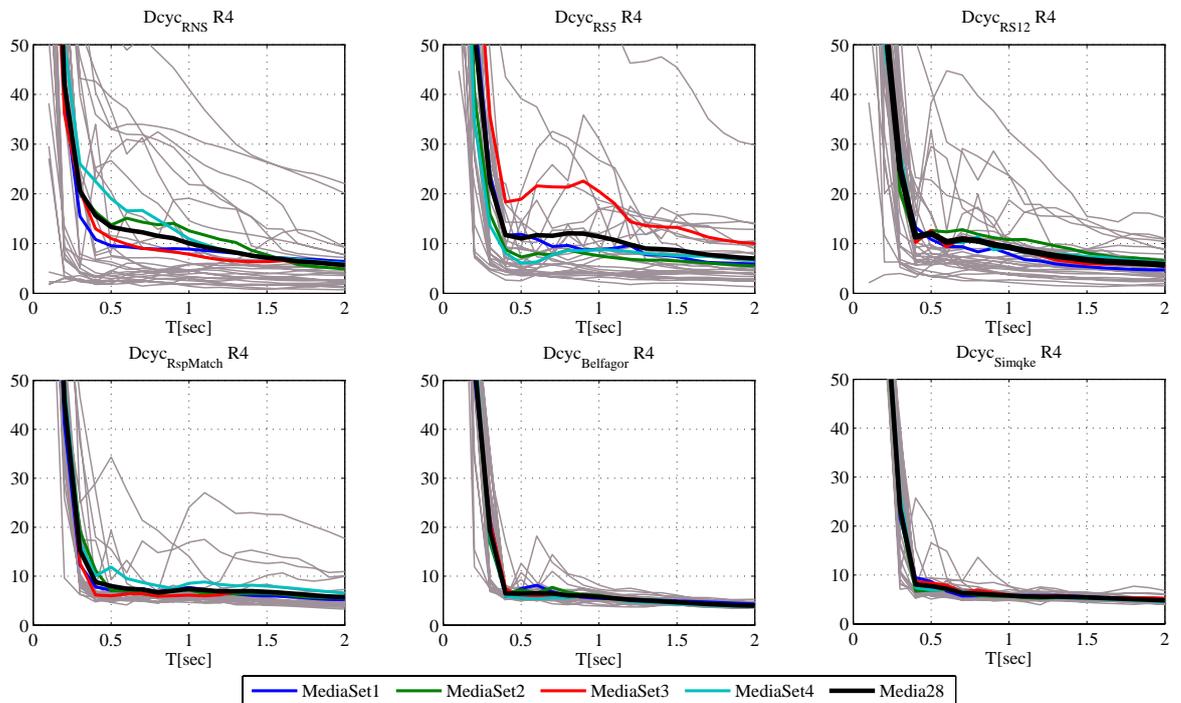


## Legge isteretica ESD

## Spettri di duttilità ciclica relativi al livello di duttilità R4

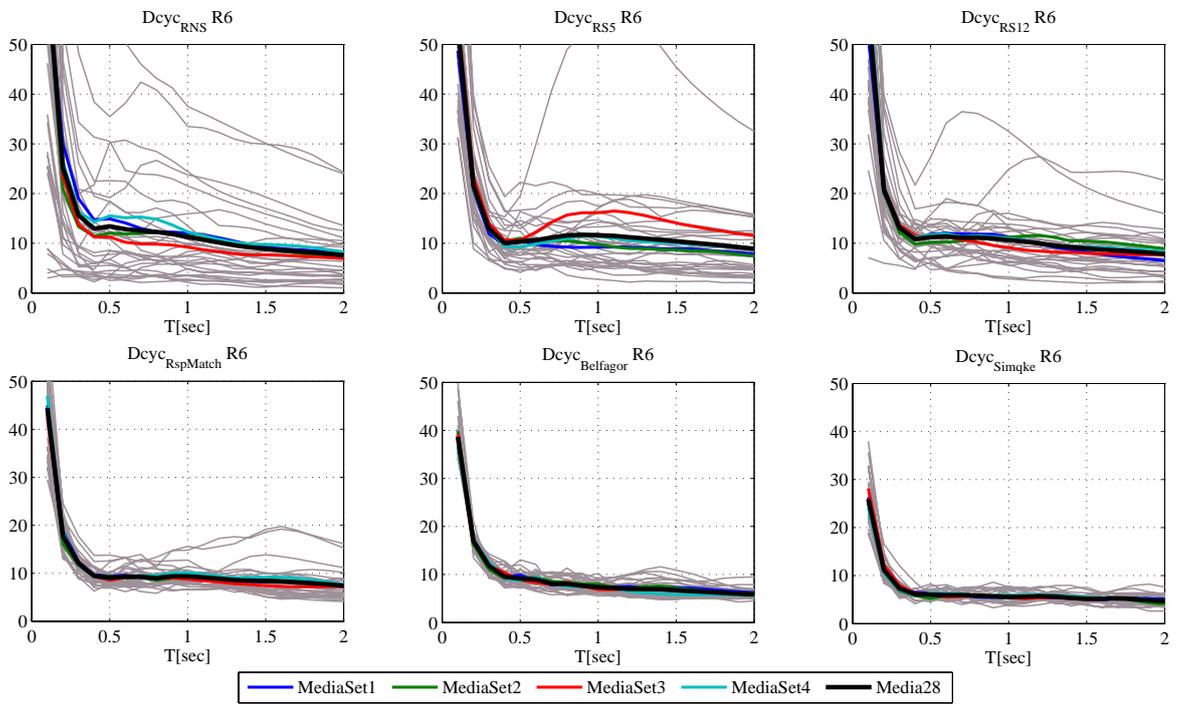


## Legge isteretica EPH

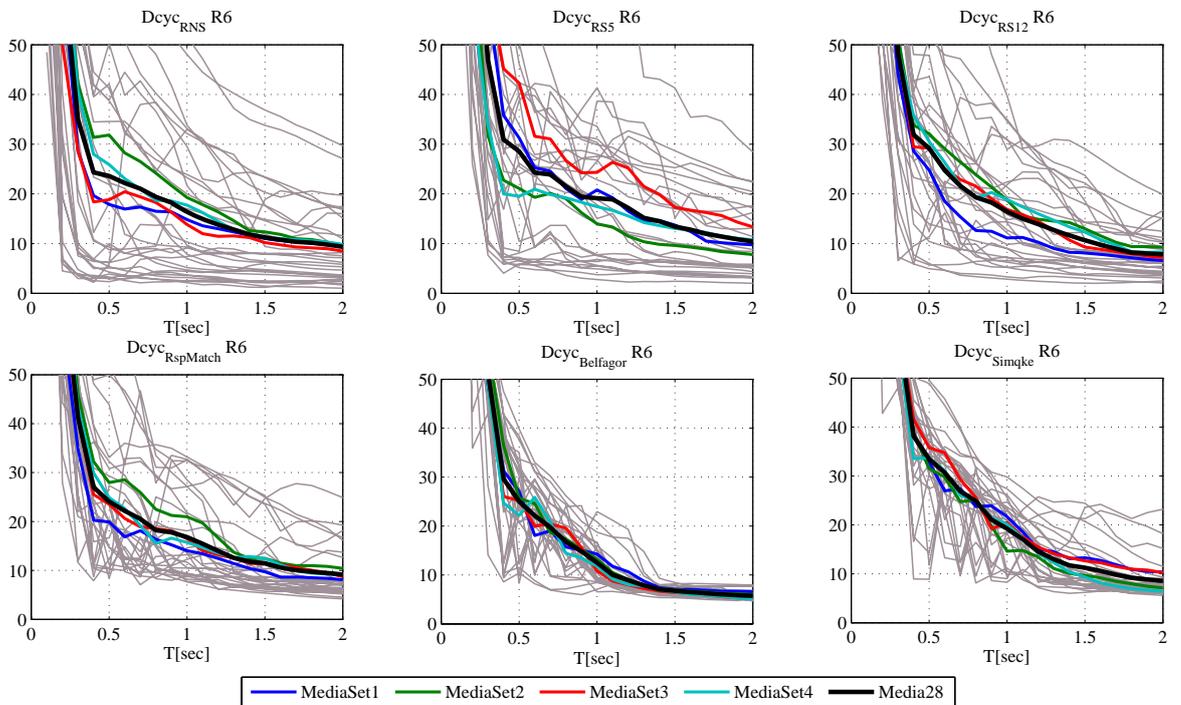


## Legge isteretica ESD

## Spettri di duttilità ciclica relativi al livello di duttilità R6

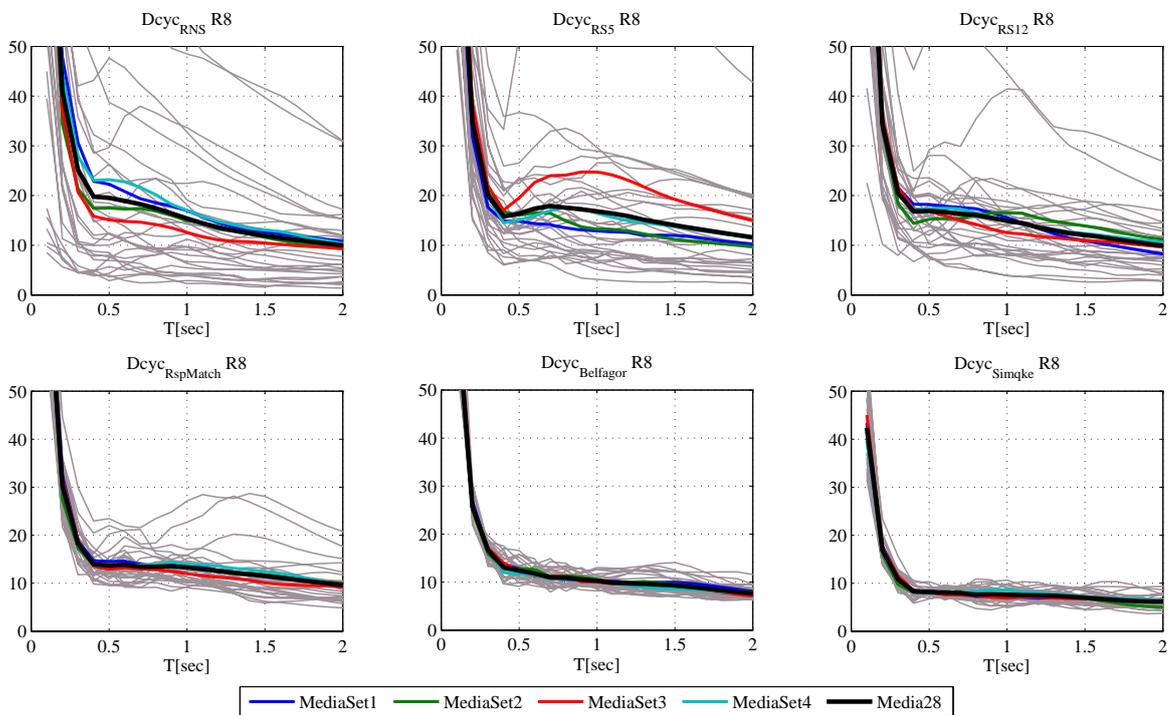


## Legge isteretica EPH

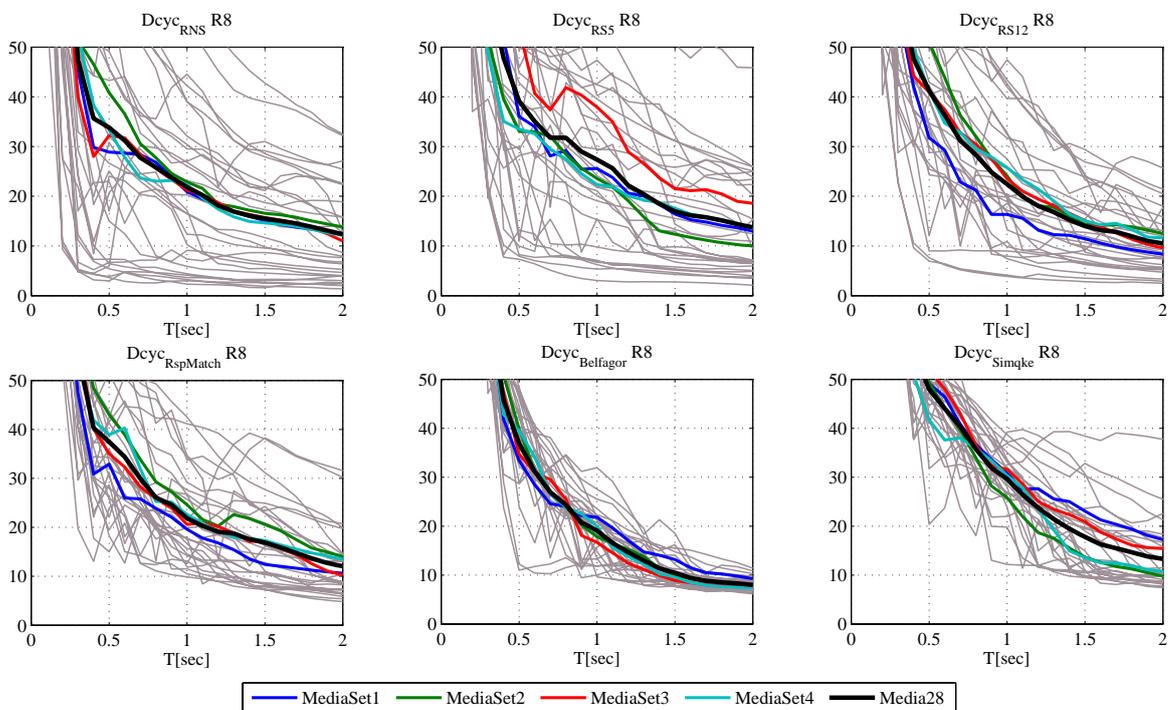


## Legge isteretica ESD

## Spettri di duttilità ciclica relativi al livello di duttilità R8

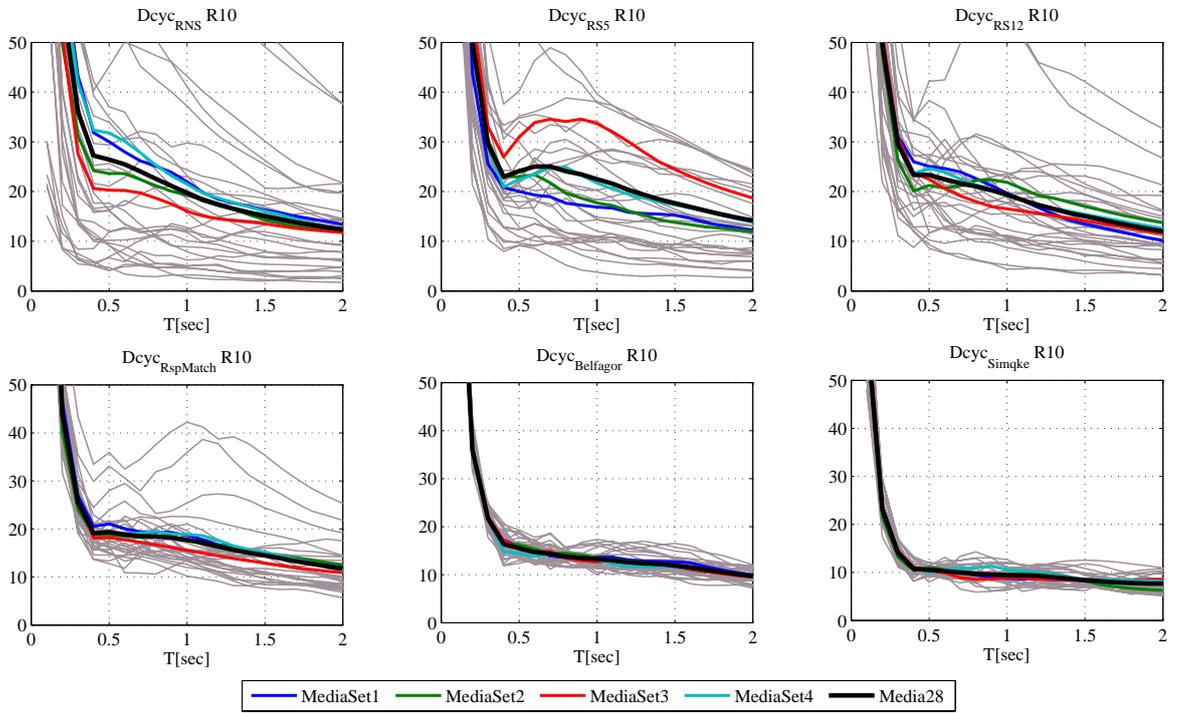


### Legge isteretica EPH

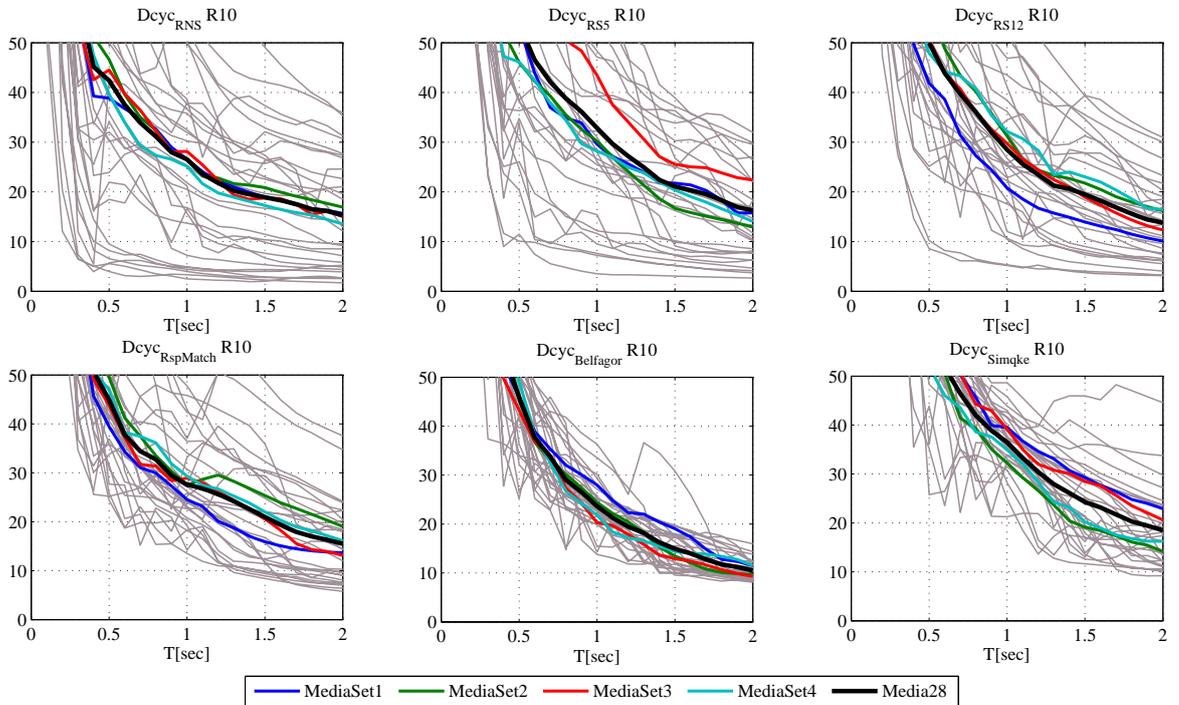


### Legge isteretica ESD

## Spettri di duttilità ciclica relativi al livello di duttilità R10



## Legge isteretica EPH



## Legge isteretica ESD

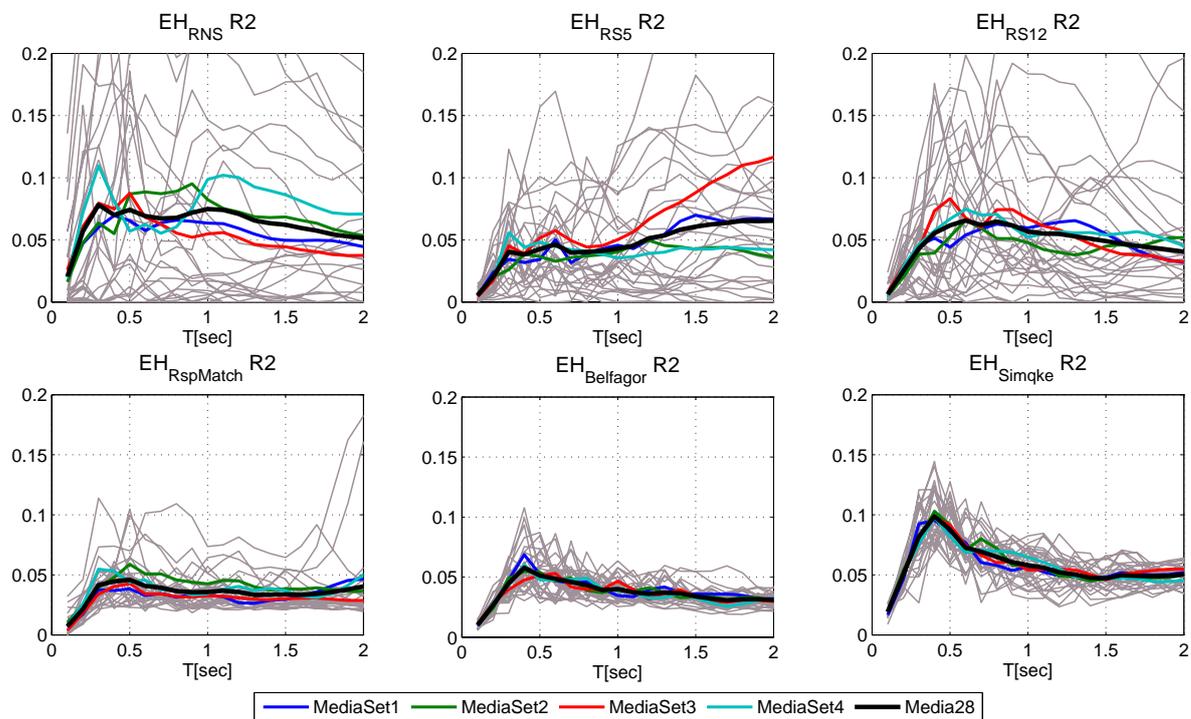
## **Allegato 7: Spettri di Energia ( $E_H$ ) set to set per le sei categorie investigate.**

L'energia isteretica, espressa in J, è valutata come:

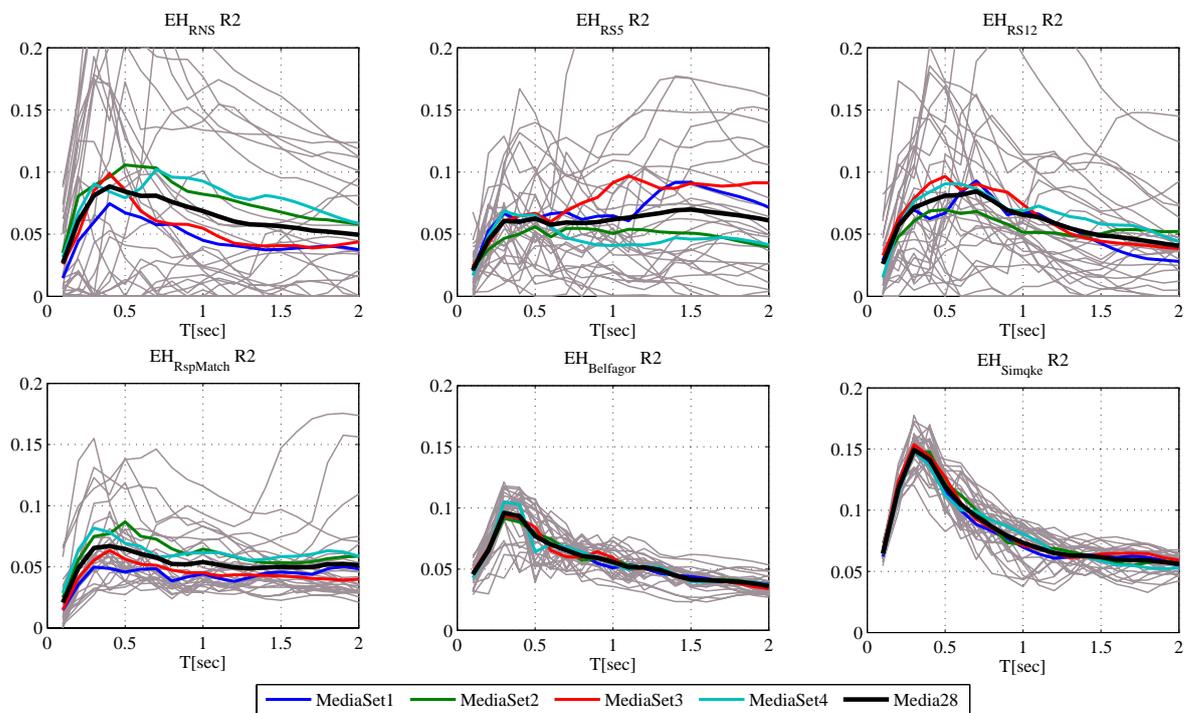
$$E_H(t) = \int_0^t (F_{tot} - b\dot{x}) x dt$$

Di seguito sono riportati cinque grafici (al variare di  $R_i$  con  $i=2,4,6,8,10$ ) contenenti le medie dei 4 set costituenti ciascuna categoria, nonché la media totale (su 28 records) relativi ai due modelli considerati: elasto-plastico bilineare non degradante (figura 4.2a), ed elasto-plastico trilineare degradante (figura 4.2b). Sono inoltre riportati, in grigio, il valore del parametro per ciascuna registrazione, al fine di avere un'idea sulla dispersione. Gli spettri fanno riferimento all'intervallo di spettrocompatibilità assicurato:  $T \equiv [0.1-2 \text{ sec}]$ .

## Spettri di Energia isteretica relativi al livello di duttilità R2

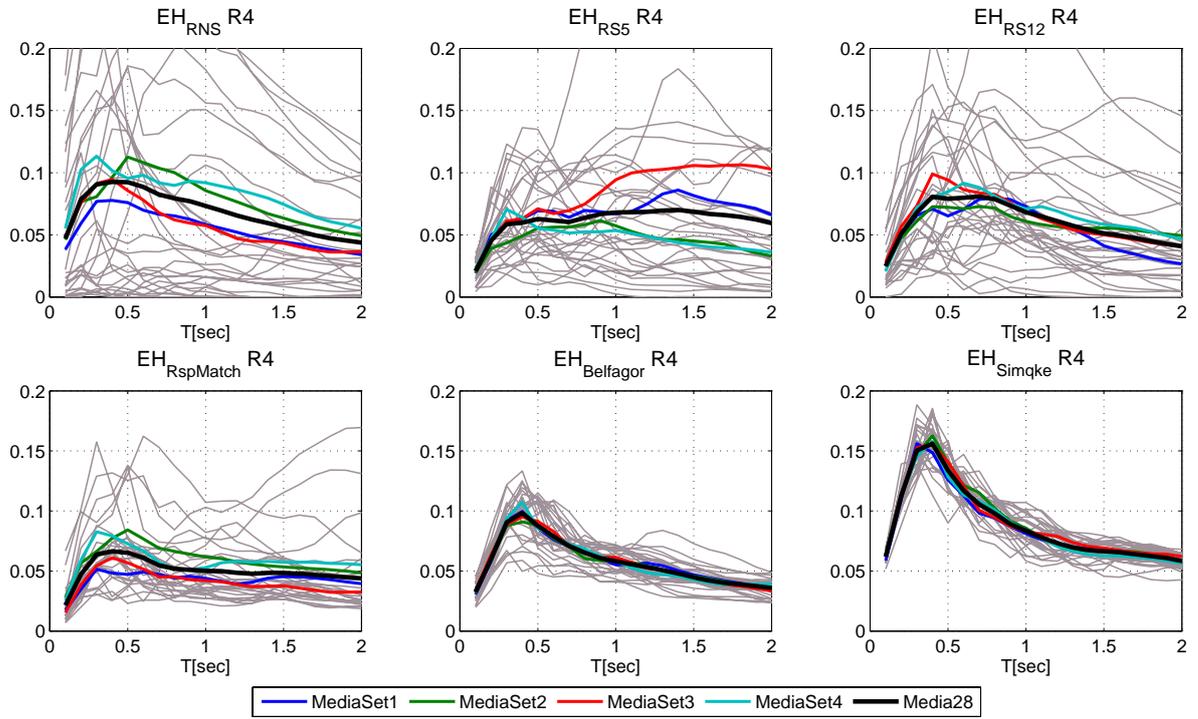


## Legge isteretica EPH

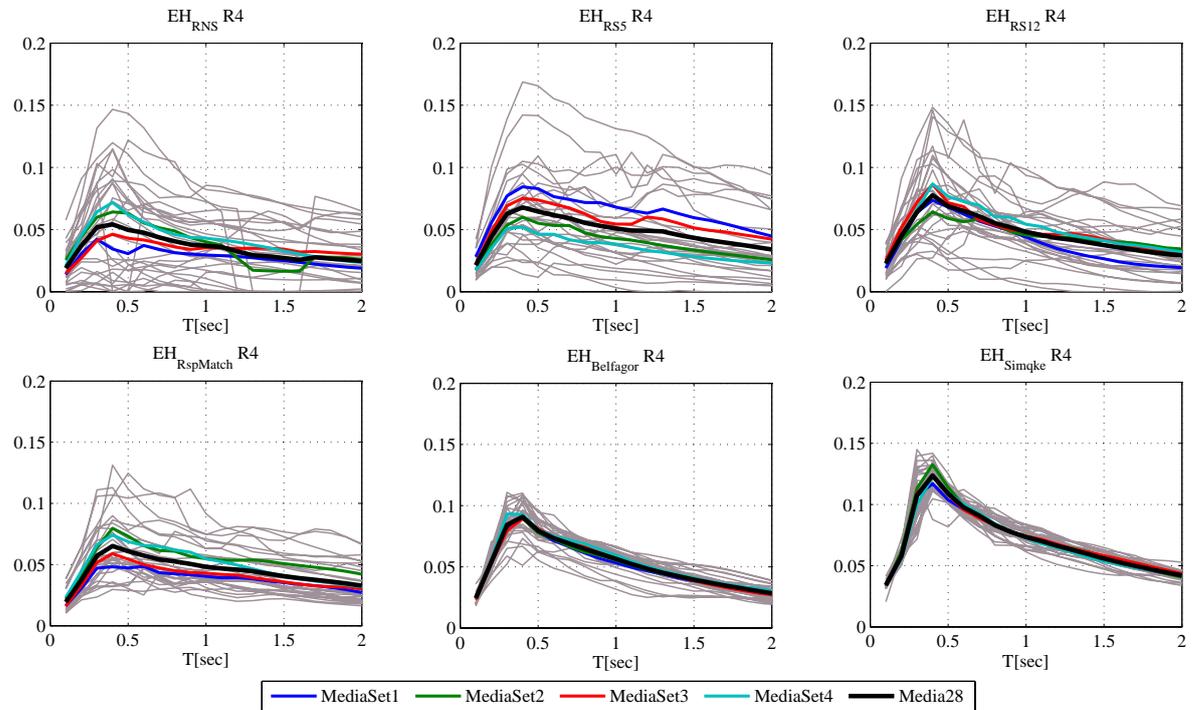


## Legge isteretica ESD

## Spettri di Energia isteretica relativi al livello di duttilità R4

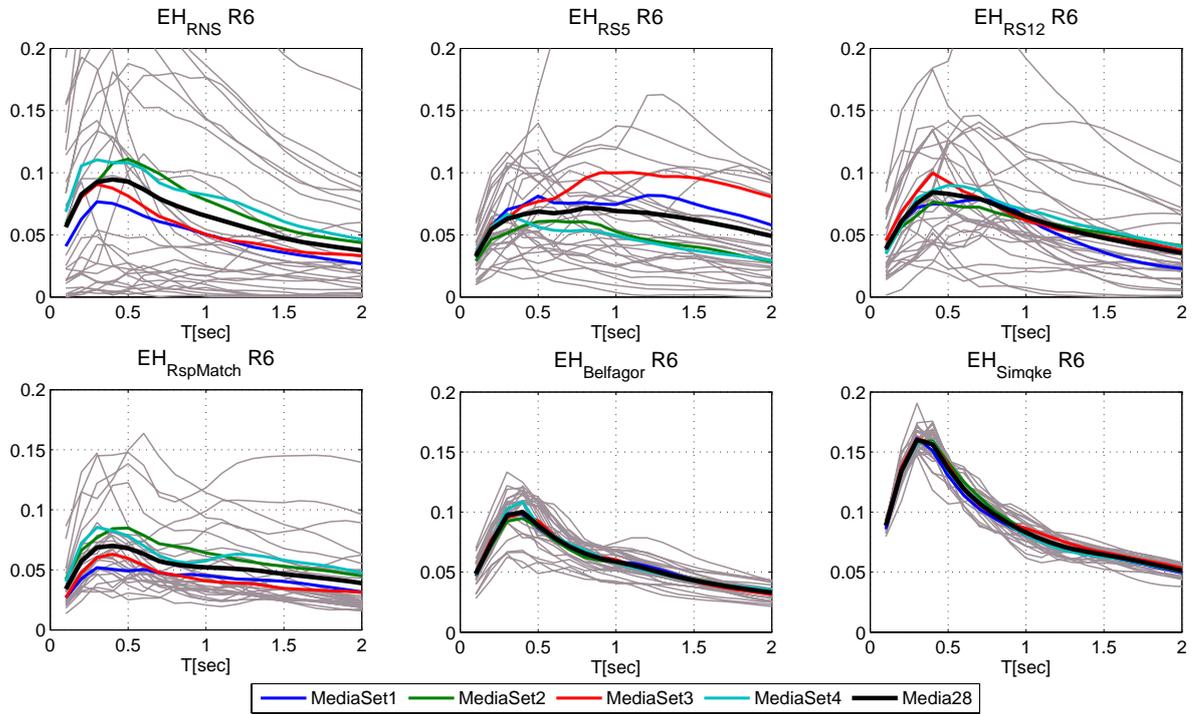


## Legge isteretica EPH

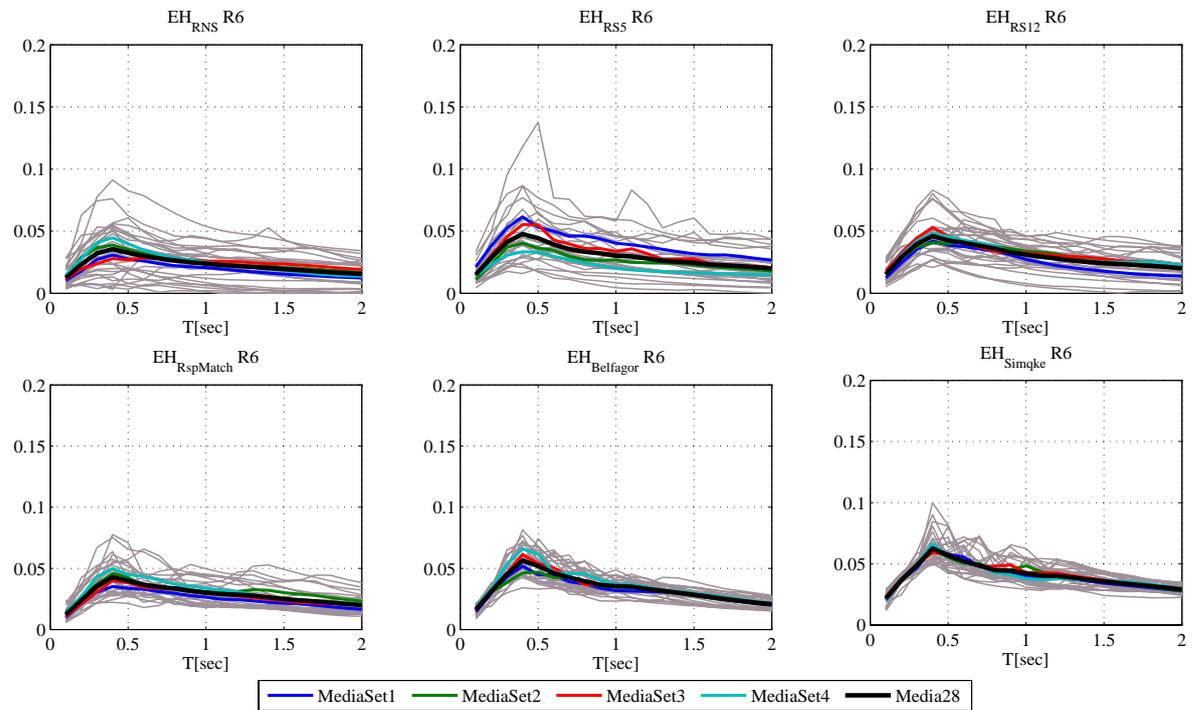


## Legge isteretica ESD

## Spettri di Energia isteretica relativi al livello di duttilità R6

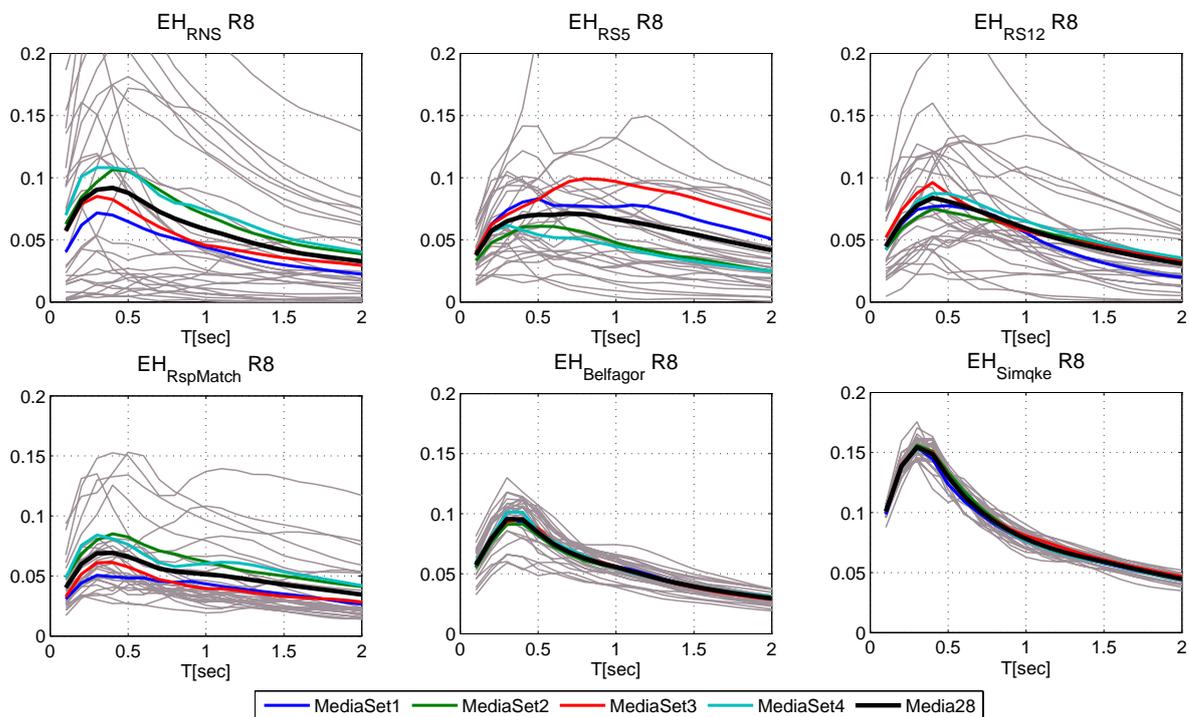


## Legge isteretica EPH

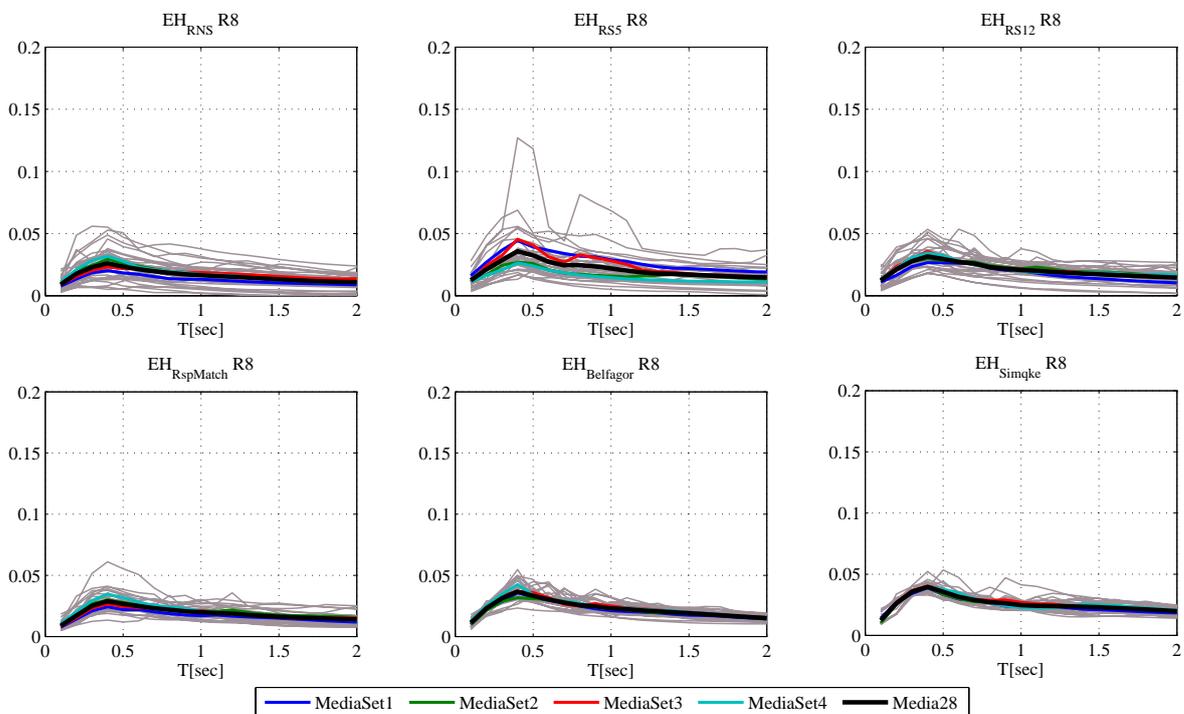


## Legge isteretica ESD

## Spettri di Energia isteretica relativi al livello di duttilità R8

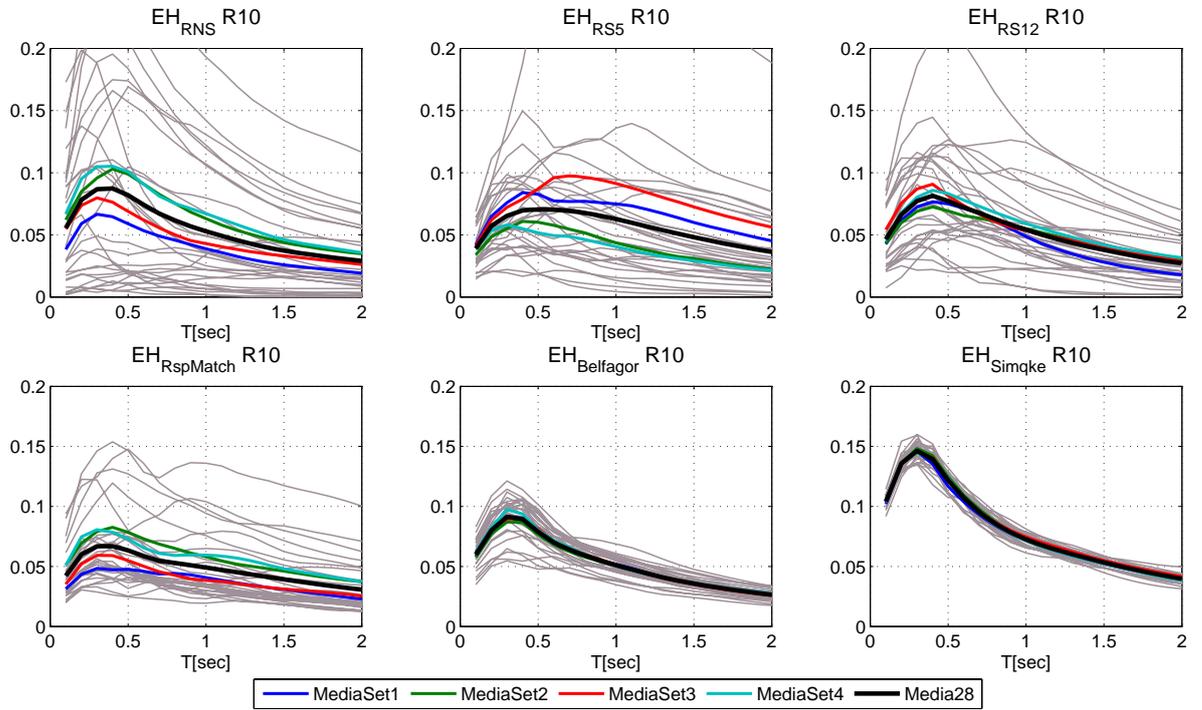


### Legge isteretica EPH

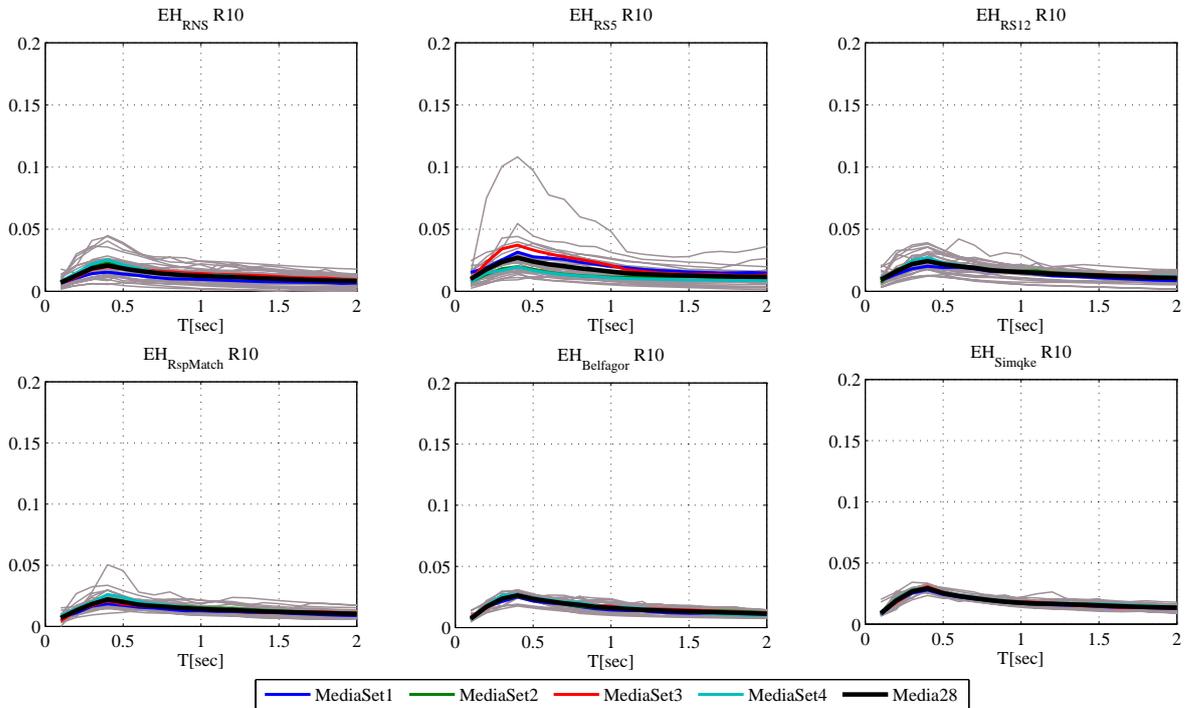


### Legge isteretica ESD

## Spettri di Energia isteretica relativi al livello di duttilità R10



## Legge isteretica EPH



## Legge isteretica ESD

## **Allegato 8: Numero di cicli Equivalenti (Ne) set to set per le sei categorie investigate**

Il numero di cicli equivalenti per ciascuno dei 40 sistemi SDOF considerati (al variare del periodo  $T \equiv [0.1-4 \text{ sec}]$  con passo 0.1), è stato valutato secondo la definizione di [McCabe e Hall \[1988\]](#):

$$N_e = \frac{E_H}{F_y (\delta_{\max} - \delta_y)} \text{ per modello EPH}$$

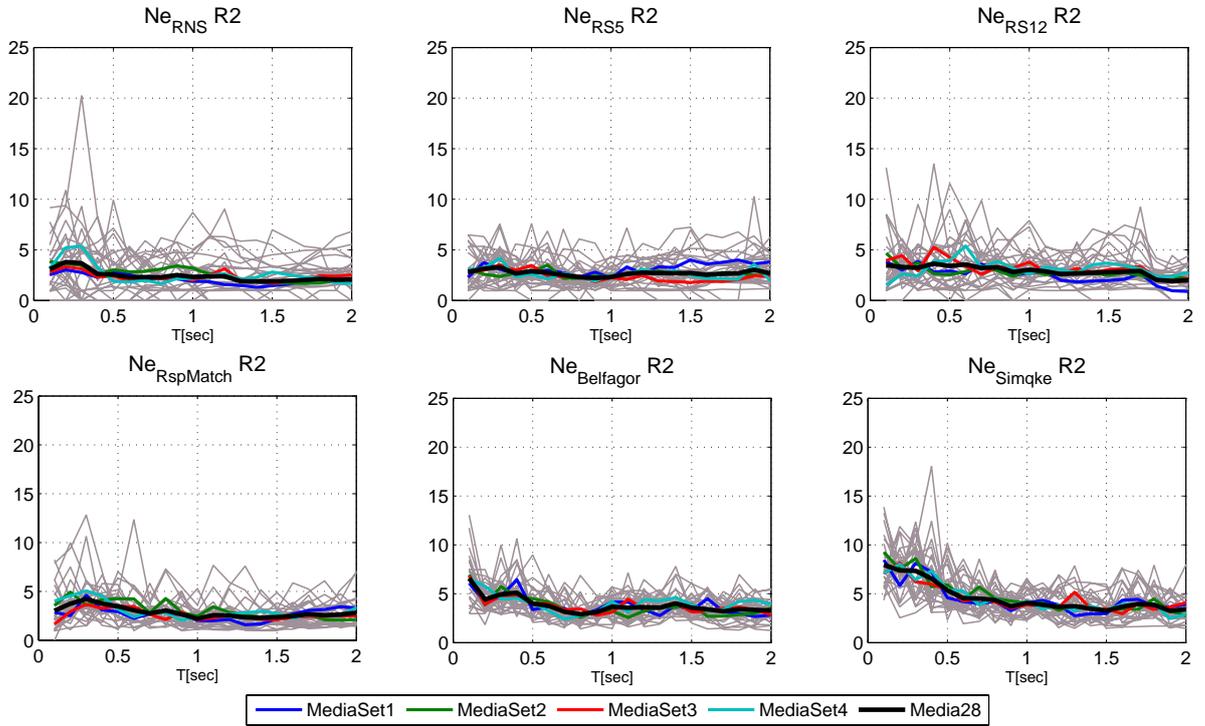
Ed adattato al modello evolutivo degradante:

$$N_e = \frac{E_H}{F_y A_u} \text{ per modello ESD}$$

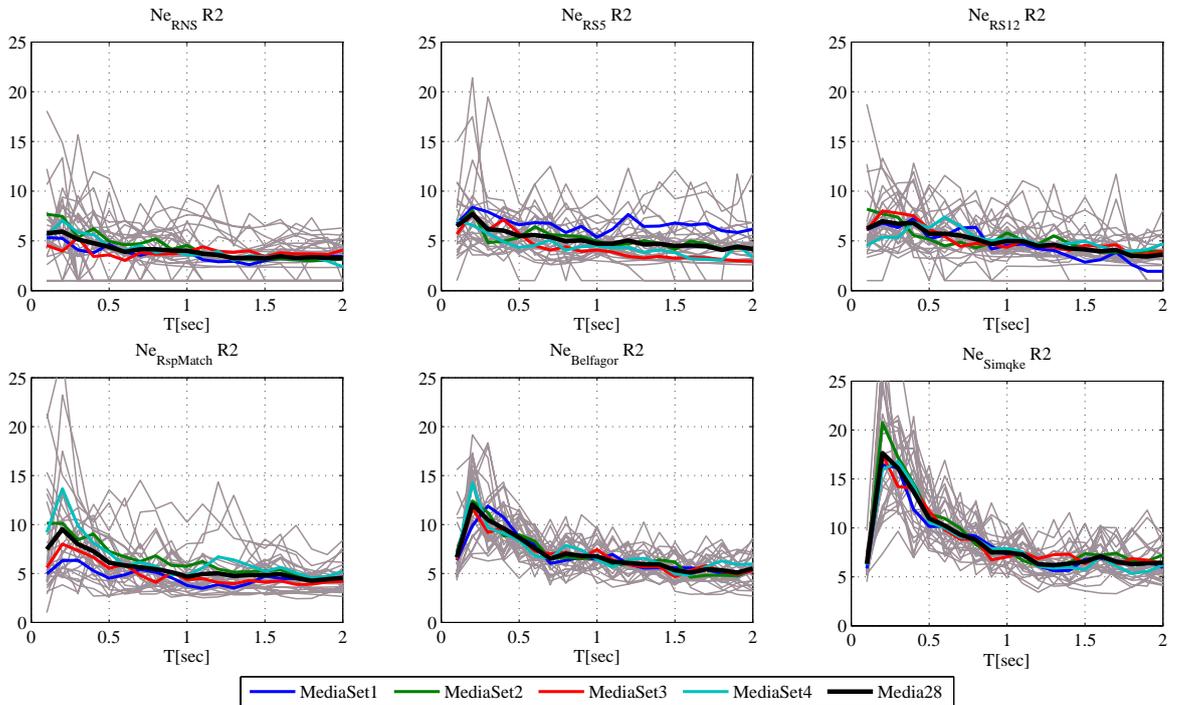
Tale parametro è una misura dell'ampiezza della distribuzione dei cicli ed indica il numero di cicli con la massima escursione plastica verificatasi, che la struttura deve compiere per dissipare la quantità di energia isteretica  $E_H$ , associata alla reale distribuzione di cicli.

Di seguito sono riportati cinque grafici (al variare di  $R_i$  con  $i=2,4,6,8,10$ ) contenenti le medie dei 4 set costituenti ciascuna categoria, nonché la media totale (su 28 records) relativi ai due modelli considerati: elasto-plastico bilineare non degradante (figura 4.2a), ed elasto-plastico trilineare degradante (figura 4.2b). Sono inoltre riportati, in grigio, il valore del parametro per ciascuna registrazione, al fine di avere un'idea sulla dispersione. Gli spettri fanno riferimento all'intervallo di spettrocompatibilità assicurato:  $T \equiv [0.1-2 \text{ sec}]$ .

## Numero di cicli equivalente relativi al livello di duttilità R2

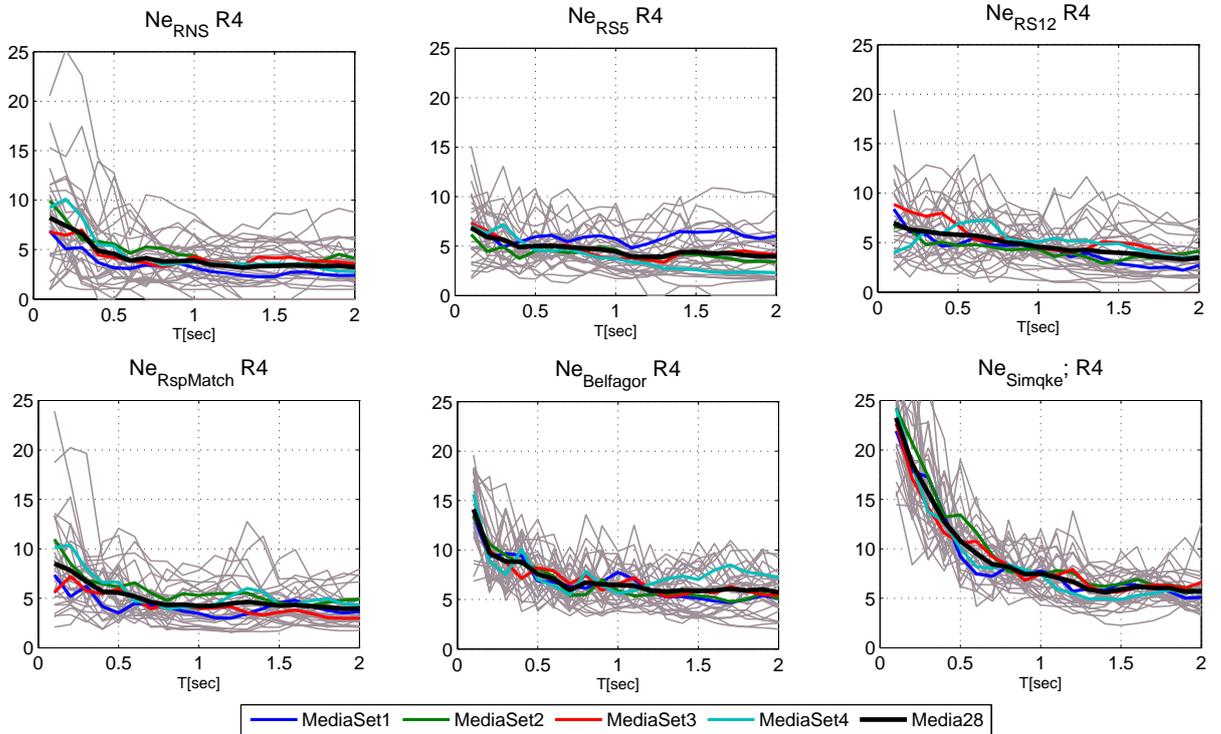


## Legge isteretica EPH

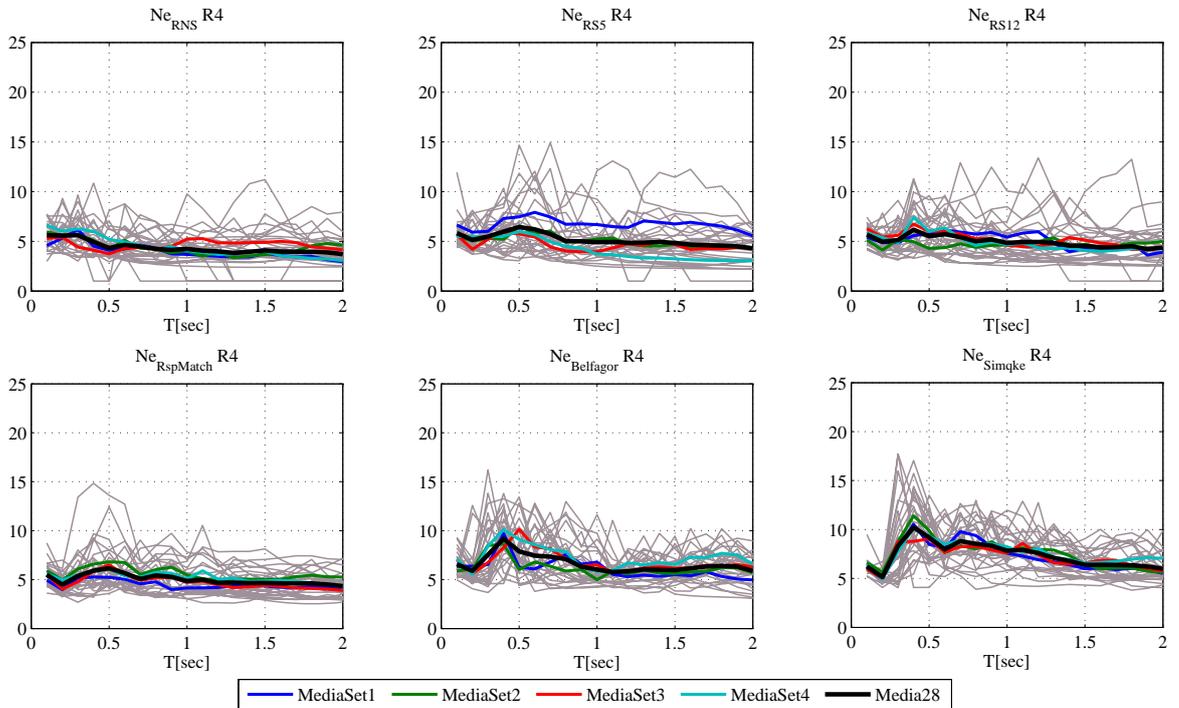


## Legge isteretica ESD

## Numero di cicli equivalente relativi al livello di duttilità R4

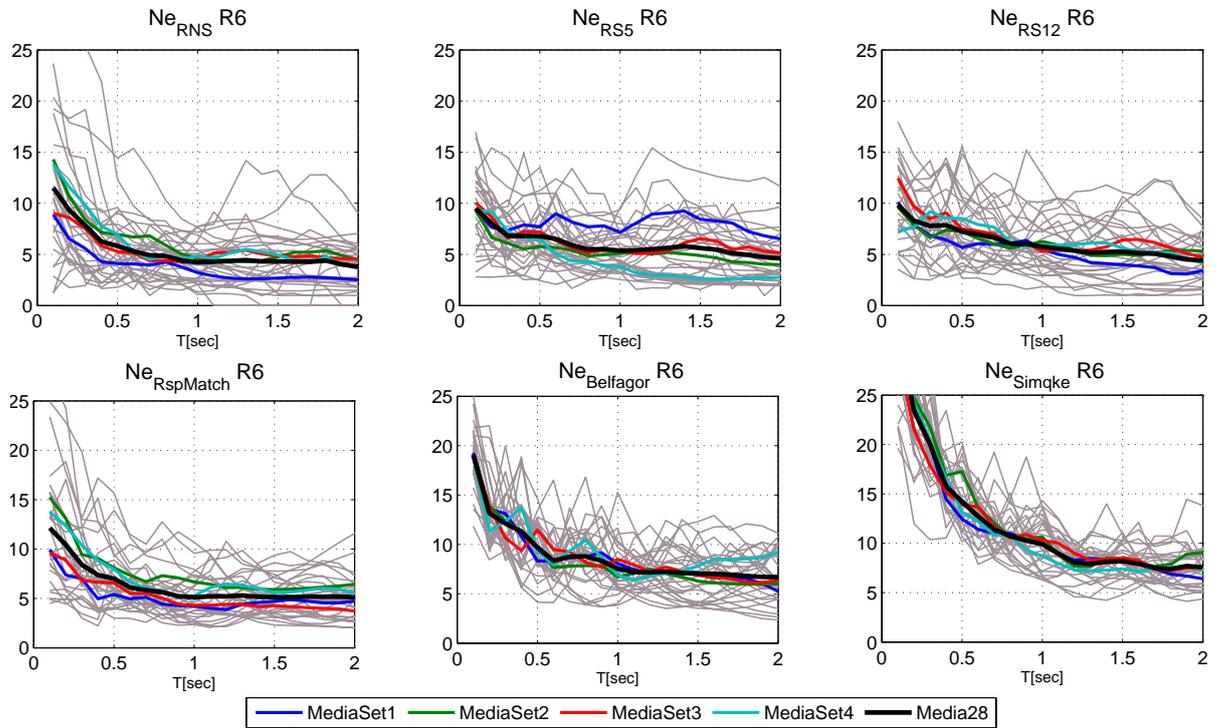


## Legge isteretica EPH

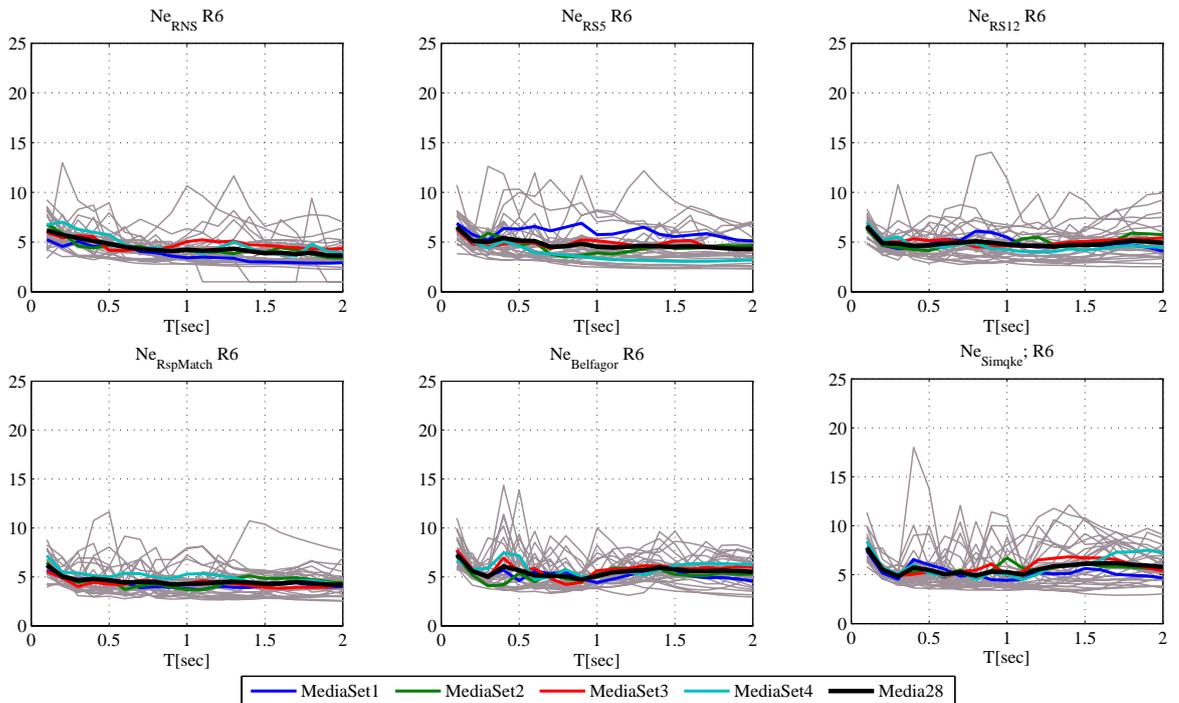


## Legge isteretica ESD

## Numero di cicli equivalente relativi al livello di duttilità R6

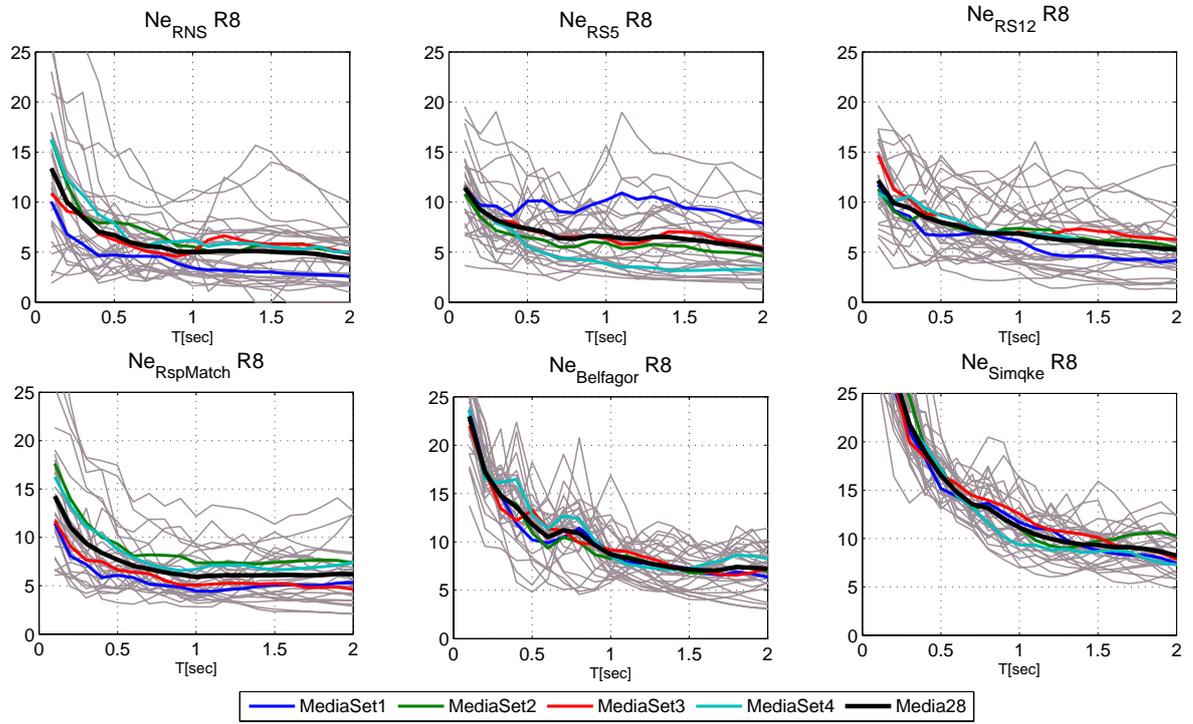


## Legge isteretica EPH

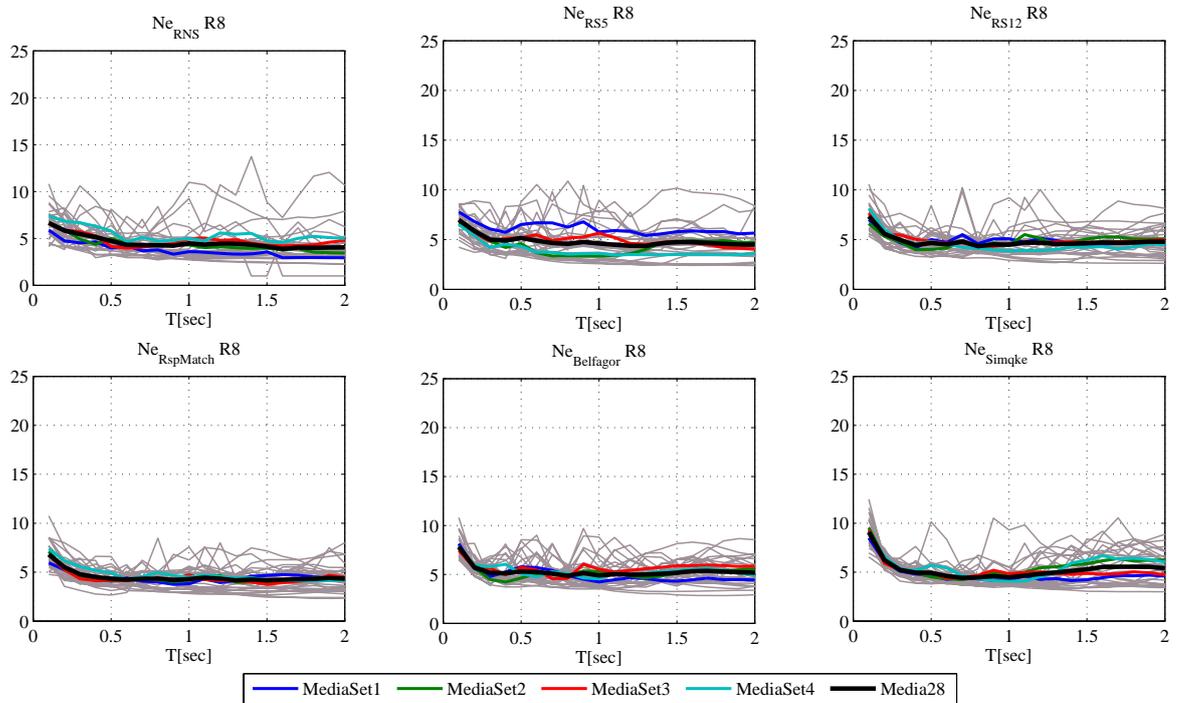


## Legge isteretica ESD

## Numero di cicli equivalente relativi al livello di duttilità R8

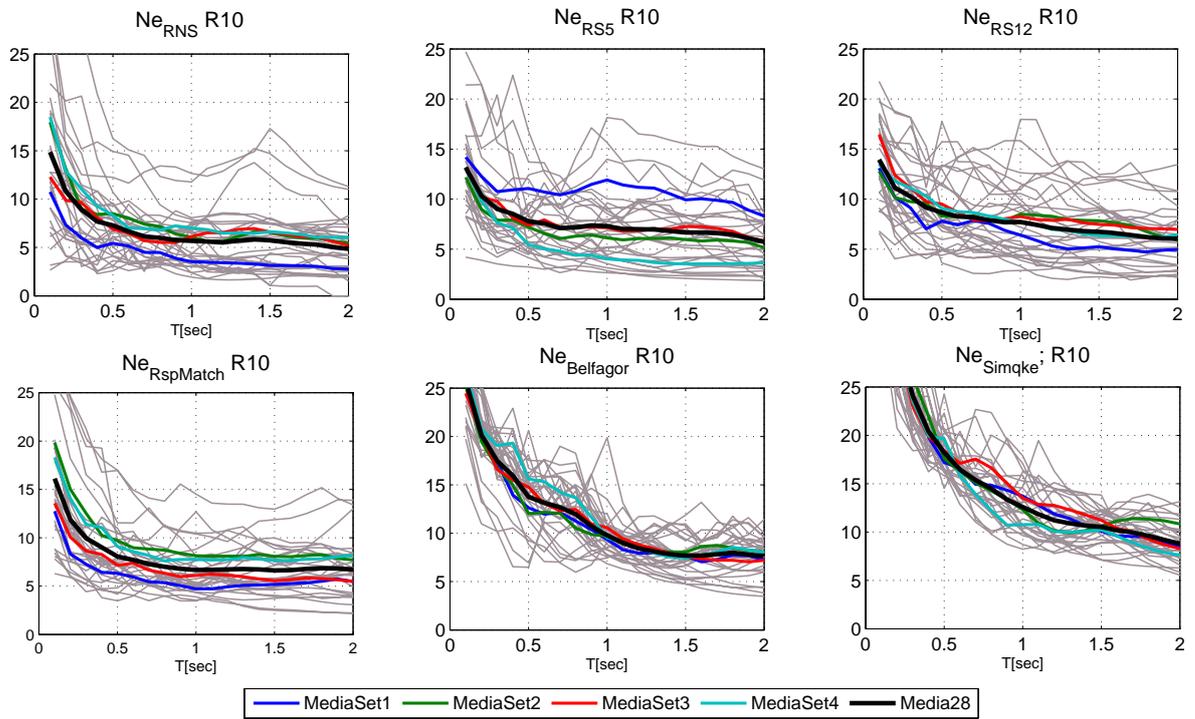


## Legge isteretica EPH

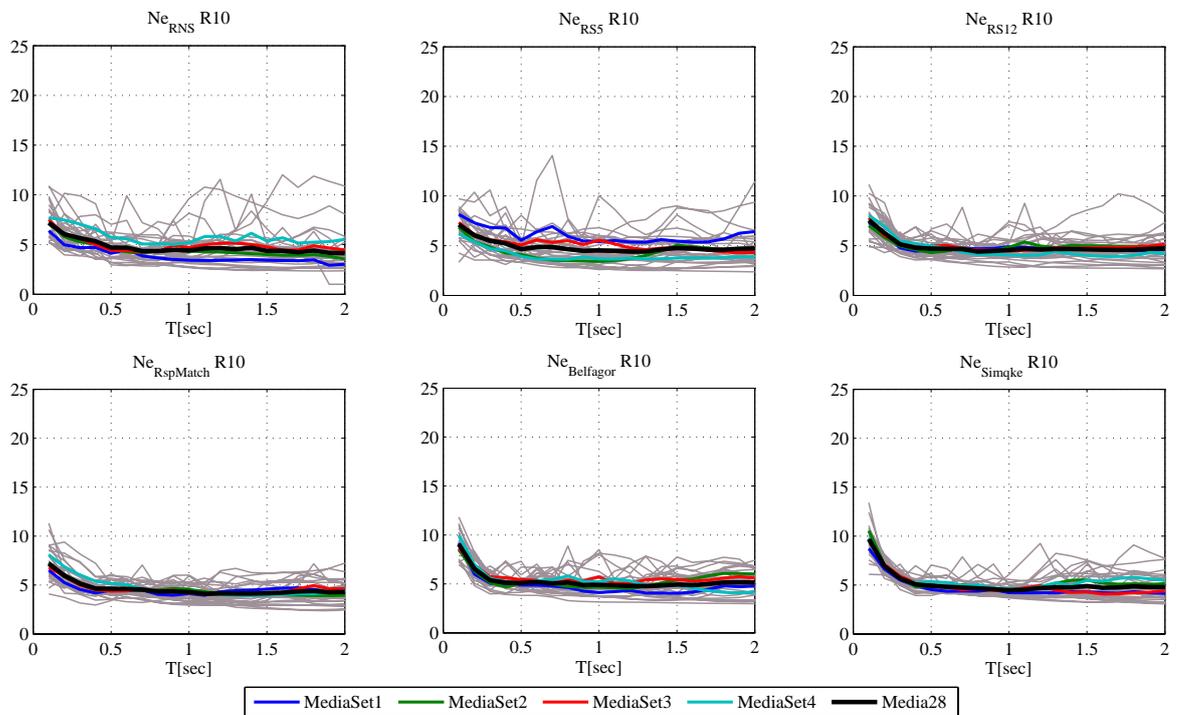


## Legge isteretica ESD

## Numero di cicli equivalente relativi al livello di duttilità R10



## Legge isteretica EPH



## Legge isteretica ESD

## Allegato 9 : Matrici sintetizzanti i risultati dei test statistici eseguiti

Di seguito sono sintetizzati i risultati dei test t di Student con la modifica di Aspin-Welch [Welch, 1937], sui seguenti quattro parametri:

- Spostamenti (elastico, R=2; R=4; R=6; R=8; R=10)
- Duttilità cinematica,  $D_{kin}$  (R=2; R=4; R=6; R=8; R=10)
- Numero di cicli equivalenti,  $N_{e+1}$  (R=2; R=4; R=6; R=8; R=10)
- Duttilità isteretica,  $D_{hyst}$  (R=2; R=4; R=6; R=8; R=10)

Per ciascuno di essi sono state eseguite tre livelli di test:

- ‘Totale a 28’:  $n=m=28$ , per un totale di 15 tests;
- ‘Set to set’:  $n=m=7$ , per un totale di 240 ( $4 \times 4 \times 15$ ) tests;
- ‘Interni’:  $n=m=7$ , per un totale di 36 ( $6 \times 6$ ) tests.

L’ipotesi nulla è:

$$\mathcal{H}_0: \text{la media delle risposte sono uguali ovvero } \mathcal{H}_0: \mu_1 - \mu_2 = 0$$

contro

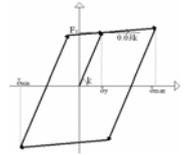
$$\mathcal{H}_1: \text{la media delle risposte non sono uguali ovvero } \mathcal{H}_1: \mu_1 - \mu_2 \neq 0$$

La statistica test è valutata mediante la 5.1 con gradi di libertà come da 5.2.

All’accettazione dell’ipotesi si associa un livello di significatività statistico al quale corrisponde un rischio di rigetto quando essa è corretta del 5%:

$$\alpha = \Pr[\text{rigettare } \mathcal{H}_0 | \mathcal{H}_0 \text{ è corretta}] = 0.05$$

I risultati sono stati sintetizzati in matrici, la cui lettura è illustrata al §5.1, nella quale in ciascuna cella sono riportati il numero di periodi (tra 0 e 20, avendo scelto  $T \equiv [0.1-2 \text{ sec}]$ ) per la quale si verifica il rigetto del test.



**Risultati del test sul parametro Spostamento relativi al modello EPH:**

Param.	Sd	Numero di periodi in cui il test risulta Significativo																							
		RNS				RSSF12				RSSF5				RSPMatch				Belfagor				Simqke			
Fatt.Rid.	elastico	SET_1	SET_2	SET_3	SET_4	SET_1	SET_2	SET_3	SET_4	SET_1	SET_2	SET_3	SET_4	SET_1	SET_2	SET_3	SET_4	SET_1	SET_2	SET_3	SET_4	SET_1	SET_2	SET_3	SET_4
RNS	SET_1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	SET_2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	SET_3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	SET_4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	28					0				0				0				0				0			
RSSF12	SET_1					0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	SET_2					0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
	SET_3					0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	SET_4					0	0	0	0	1	1	0	0	1	1	0	0	2	1	0	1	2	1	1	1
	28	Simm																				1			
RSSF5	SET_1									0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	SET_2									0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	SET_3									0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	SET_4									0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	28	Simm				Simm				Simm												1			
RSPMatch	SET_1													0	0	0	0	0	1	1	0	0	3	3	0
	SET_2													1	1	1	1	0	1	1	2	0	0	1	0
	SET_3													0	0	0	0	0	1	1	1	1	2	2	2
	SET_4													0	0	0	0	0	1	1	0	1	3	2	0
	28	Simm				Simm				Simm												2			
Belfagor	SET_1																	1	1	0	0	4	1	3	1
	SET_2																	1	2	2	2	2	3	1	1
	SET_3																	3	5	3	2	3	5	3	2
	SET_4																	2	3	3	1	2	3	3	1
	28	Simm				Simm				Simm				Simm								7			
Simqke	SET_1																					1	0	0	0
	SET_2																					0	1	0	1
	SET_3																					0	1	0	2
	SET_4																					0	0	0	0
	28	Simm				Simm				Simm				Simm											

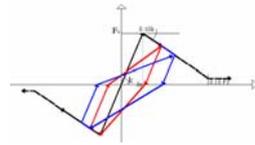
Param.	Sd	Numero di periodi in cui il test risulta Significativo																							
		RNS				RSSF12				RSSF5				RSPMatch				Belfagor				Simqke			
Fatt.Rid.	R=2	SET_1	SET_2	SET_3	SET_4	SET_1	SET_2	SET_3	SET_4	SET_1	SET_2	SET_3	SET_4	SET_1	SET_2	SET_3	SET_4	SET_1	SET_2	SET_3	SET_4	SET_1	SET_2	SET_3	SET_4
RNS	SET_1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	SET_2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	SET_3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	SET_4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	28					0				0				0				0				0			
RSSF12	SET_1					0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1
	SET_2					0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1
	SET_3					0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1
	SET_4					0	0	0	0	1	0	0	0	2	1	1	1	3	1	3	7	0	1	0	0
	28	Simm																				2			
RSSF5	SET_1									1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	1
	SET_2									0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	1	1	0
	SET_3									0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	1	0	0	0	1	1
	SET_4									0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1
	28	Simm				Simm																3			
RSPMatch	SET_1													0	0	0	0	3	2	2	6	2	3	3	3
	SET_2													3	4	9	11	2	3	2	1	2	3	2	1
	SET_3													3	1	2	11	2	3	1	1	2	3	1	1
	SET_4													3	1	1	7	3	1	1	7	1	1	1	2
	28	Simm				Simm				Simm												5			
Belfagor	SET_1																	2	0	4	4	4	5	5	3
	SET_2																	0	5	5	5	4	3	5	5
	SET_3																	5	1	1	1	5	4	7	5
	SET_4																	1	1	1	1	11	13	11	10
	28	Simm				Simm				Simm				Simm								15			
Simqke	SET_1																					0	2	0	0
	SET_2																					0	2	0	0
	SET_3																					0	2	0	0
	SET_4																					0	0	0	0
	28	Simm				Simm				Simm				Simm											

Param.	Sd	Numero di periodi in cui il test risulta Significativo																							
		RNS				RSSF12				RSSF5				RSPMatch				Belfagor				Simqke			
Fatt.Rid.	R=4	SET_1	SET_2	SET_3	SET_4	SET_1	SET_2	SET_3	SET_4	SET_1	SET_2	SET_3	SET_4	SET_1	SET_2	SET_3	SET_4	SET_1	SET_2	SET_3	SET_4	SET_1	SET_2	SET_3	SET_4
RNS	SET_1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	SET_2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	SET_3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	SET_4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	28					0				0				0				0				0			
RSSF12	SET_1					0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0
	SET_2					0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	2	0	2	5	0	0	1	0
	SET_3					0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	1	0	0	0	0
	SET_4					0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	2	2	8	11	0	0	0	0
	28	Simm																				0			
RSSF5	SET_1									0	0	0	0	1	0	0	0	1	1	0	4	0	1	0	0
	SET_2									0	0	0	0	0	0	1	1	2	1	1	3	0	1	0	1
	SET_3									0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
	SET_4									0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	4	0	0	0	0
	28	Simm				Simm																1			
RSPMatch	SET_1													0	0	0	0	2	1	3	8	0	0	0	0
	SET_2													0	0	0	0	2	0	5	9	0	0	0	1
	SET_3													0	0	0	0	1	0	4	9	2	0	1	1
	SET_4													0	0	0	0	2	1	2	8	0	0	0	0
	28	Simm				Simm				Simm												8			
Belfagor	SET_1																	0	0	4	4	2	1	3	

Param.		Numero di periodi in cui il test risulta Significativo																											
Param.	Sd	RNS				RSSF12				RSSF5				RSPMatch				Belfagor				Simqke							
Fatt.Rid.	R=6	SET_1	SET_2	SET_3	SET_4	SET_1	SET_2	SET_3	SET_4	SET_1	SET_2	SET_3	SET_4	SET_1	SET_2	SET_3	SET_4	SET_1	SET_2	SET_3	SET_4	SET_1	SET_2	SET_3	SET_4	SET_1	SET_2	SET_3	SET_4
RNS	SET_1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	SET_2		0	0	0		0	0	0		0	0	0		0	0	0		0	0	0		0	0	0		0	0	0
	SET_3			0	0			0	0			0	0			0	0			0	0			0	0			0	0
	SET_4				0				0				0				0				0				0				0
	28					0				0				0				0				0							
RSSF12	SET_1					0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0
	SET_2						0	0	0		0	0	0		0	0	0		0	0	2		0	0	0		0	0	0
	SET_3							0	0			0	0			0	0			1	1		0	0	0		0	0	1
	SET_4								0				0				0				8		2	1	1		0	0	0
	28	Simm								0				0				4				0							
RSSF5	SET_1									0	0	0	0	0	0	1	0	2	2	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0
	SET_2										0	0	0		0	0	0		0	0	1		0	0	0		0	0	0
	SET_3											0	0			0	0			1	0		0	0	0		0	0	0
	SET_4												0			0	0				0		1	0	0		0	0	0
	28	Simm				Simm				0				1				5				1							
RSPMatch	SET_1													0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0
	SET_2														0	0	0		0	0	1		0	0	0		0	0	0
	SET_3															0	0		0	0	1		0	0	0		0	0	0
	SET_4																0				4		0	0	0		0	0	0
	28	Simm				Simm				Simm				0				14				0							
Belfagor	SET_1																	0	0	1	2	0	0	2	0	0	0	2	0
	SET_2																		0	1			0	0	2		0	0	0
	SET_3																				1		3	0	5		2	0	2
	SET_4																						5	5	8		11		
	28	Simm				Simm				Simm				Simm				12											
Simqke	SET_1																									1	0	0	0
	SET_2																										1	1	1
	SET_3																												0
	SET_4																												0
	28	Simm				Simm				Simm				Simm				Simm											

Param.		Numero di periodi in cui il test risulta Significativo																											
Param.	Sd	RNS				RSSF12				RSSF5				RSPMatch				Belfagor				Simqke							
Fatt.Rid.	R=8	SET_1	SET_2	SET_3	SET_4	SET_1	SET_2	SET_3	SET_4	SET_1	SET_2	SET_3	SET_4	SET_1	SET_2	SET_3	SET_4	SET_1	SET_2	SET_3	SET_4	SET_1	SET_2	SET_3	SET_4	SET_1	SET_2	SET_3	SET_4
RNS	SET_1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	SET_2		0	0	0		0	0	0		0	0	0		0	0	0		0	0	0		0	0	0		0	0	0
	SET_3			0	0			0	0			0	0			0	0			0	0			0	0			0	0
	SET_4				0				0				0				0				0				0				0
	28					0				0				0				0				0							
RSSF12	SET_1					0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	2	0	1	0	0	0	1	0	0	0	1
	SET_2						0	0	0		0	0	0		0	0	0		0	0	2		0	0	0		0	0	0
	SET_3							0	0			0	0			0	0			0	2		0	0	0		0	0	1
	SET_4								0				0				1				13		6	7	6		3		3
	28	Simm								0				0				9				4							
RSSF5	SET_1									0	0	0	0	0	0	0	0	1	2	0	2	0	0	0	1	0	0	0	1
	SET_2										0	0	0		0	0	0		3	1	0		0	0	0		0	0	0
	SET_3											0	0			0	0			1	0		0	0	0		0	0	0
	SET_4												0				0				0		0	0	0		0	0	0
	28	Simm				Simm				0				0				5				1							
RSPMatch	SET_1													0	0	0	0	1	0	1	3	0	0	0	0	0	0	0	0
	SET_2														0	0	0		0	0	5		0	0	1		0	0	1
	SET_3															0	0		1	2	1		0	1	0		0	0	0
	SET_4																0				3		0	0	0		0	0	0
	28	Simm				Simm				Simm				0				12				3							
Belfagor	SET_1																	0	0	0	0	1	0	2	0	1	0	2	0
	SET_2																		0	0	0		1	0	3		1	0	3
	SET_3																				0		2	2	3		2	2	3
	SET_4																						6	5	8		8		8
	28	Simm				Simm				Simm				Simm				9				9							
Simqke	SET_1																									1	0	0	0
	SET_2																										2	2	2
	SET_3																											1	1
	SET_4																												0
	28	Simm				Simm				Simm				Simm				Simm											

Param.		Numero di periodi in cui il test risulta Significativo																											
Param.	Sd	RNS				RSSF12				RSSF5				RSPMatch				Belfagor				Simqke							
Fatt.Rid.	R=10	SET_1	SET_2	SET_3	SET_4	SET_1	SET_2	SET_3	SET_4	SET_1	SET_2	SET_3	SET_4	SET_1	SET_2	SET_3	SET_4	SET_1	SET_2	SET_3	SET_4	SET_1	SET_2	SET_3	SET_4	SET_1	SET_2	SET_3	SET_4
RNS	SET_1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	SET_2		0	0	0		0	0	0		0	0	0		0	0	0		0	0	0		0	0	0		0	0	0
	SET_3			0	0			0	0			0	0			0	0			0	0			0	0			0	0
	SET_4				0				0				0				0				0				0				0
	28					0				0				0				0				0							
RSSF12	SET_1					0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	1	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0
	SET_2						0	0	0		0	0	0		0	0	0		0	0	4		0	0	0		0	0	0
	SET_3							0	0			0	0			0	0			1	3		0	0	0		0	0	0
	SET_4								0				0				0				15		7	11	6		2		2
	28	Simm								0				0				9				7							
RSSF5	SET_1									0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
	SET_2										0	0	0		0	0	0		2	2	1		0	0	1		0	0	1
	SET_3											0	0			0	0			0	1		0	0	0		0	0	0
	SET_4												0				0				0		0	0	0		0	0	0
	28	Simm				Simm				0				0				9				2							
RSPMatch	SET_1																												



**Risultati del test sul parametro spostamento relativo al modello ESD:**

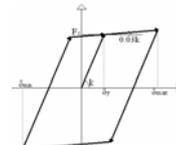
Param.		Numero di periodi in cui il test risulta Significativo																											
Fatt.Rid.	Sd	RNS				RSSF12				RSSF5				RSPMatch				Belfagor				Simqke							
	R=2	SET 1	SET 2	SET 3	SET 4	SET 1	SET 2	SET 3	SET 4	SET 1	SET 2	SET 3	SET 4	SET 1	SET 2	SET 3	SET 4	SET 1	SET 2	SET 3	SET 4	SET 1	SET 2	SET 3	SET 4	SET 1	SET 2	SET 3	SET 4
RNS	SET 1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1
	SET 2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	SET 3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1
	SET 4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	1
	28					0				0				0				1				1							
RSSF12	SET 1	Simm				0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1
	SET 2	Simm				0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1
	SET 3	Simm				0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	2	1	0	0	0	1	0	0	0
	SET 4	Simm				0	0	0	0	0	0	0	0	2	1	0	1	7	7	8	9	6	8	4	6	1	1	1	1
	28									0				-1				5				2							
RSSF5	SET 1	Simm				Simm				0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	SET 2	Simm				Simm				0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1
	SET 3	Simm				Simm				0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1
	SET 4	Simm				Simm				0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	28									0				10				2				1							
RSPMatch	SET 1	Simm				Simm				Simm				0	1	0	4	3	5	6	2	2	4	3	4	6	3	4	
	SET 2	Simm				Simm				Simm				1	0	5	8	8	9	1	4	2	3	3	3	4	3		
	SET 3	Simm				Simm				Simm				0	0	4	5	7	11	1	4	2	3	3	3	4	3		
	SET 4	Simm				Simm				Simm				0	0	5	3	3	4	1	1	1	1	3	3	4	3		
	28													15				9											
Belfagor	SET 1	Simm				Simm				Simm				Simm				0	0	3	1	0	1	0	2	2	2	2	
	SET 2	Simm				Simm				Simm				Simm				0	0	2	2	0	1	0	2	0	1	0	
	SET 3	Simm				Simm				Simm				Simm				0	0	0	8	5	6	8	8	5	6	8	
	SET 4	Simm				Simm				Simm				Simm				0	0	0	8	5	6	8	8	5	6	8	
	28																	10				10							
Simqke	SET 1	Simm				Simm				Simm				Simm				Simm				1	0	0	0	1	0	0	0
	SET 2	Simm				Simm				Simm				Simm				Simm				2	2	2	2	2	2	2	2
	SET 3	Simm				Simm				Simm				Simm				Simm				2	0	1	0	2	0	1	0
	SET 4	Simm				Simm				Simm				Simm				Simm				0	0	0	0	0	0	0	0
	28																					10				10			

Param.		Numero di periodi in cui il test risulta Significativo																												
Fatt.Rid.	Sd	RNS				RSSF12				RSSF5				RSPMatch				Belfagor				Simqke								
	R=4	SET 1	SET 2	SET 3	SET 4	SET 1	SET 2	SET 3	SET 4	SET 1	SET 2	SET 3	SET 4	SET 1	SET 2	SET 3	SET 4	SET 1	SET 2	SET 3	SET 4	SET 1	SET 2	SET 3	SET 4	SET 1	SET 2	SET 3	SET 4	
RNS	SET 1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	1	2	2	
	SET 2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	
	SET 3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	2	2	
	SET 4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	28					2				2				2				2				3								
RSSF12	SET 1	Simm				0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	1	0	0	0	0	
	SET 2	Simm				0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	SET 3	Simm				0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	SET 4	Simm				0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	7	6	2	0	0	0	2	0	0	0	
	28					0				1				5				4												
RSSF5	SET 1	Simm				Simm				0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	SET 2	Simm				Simm				0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	1	2	2	2	0	0	0	
	SET 3	Simm				Simm				0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	2	3	2	2	
	SET 4	Simm				Simm				0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	2	2	3	2	2	2	3	2	2	
	28									0				8				3												
RSPMatch	SET 1	Simm				Simm				Simm				0	0	0	0	1	3	5	2	1	2	3	2	1	2	3		
	SET 2	Simm				Simm				Simm				0	0	0	1	7	8	9	1	2	1	2	1	2	1	2		
	SET 3	Simm				Simm				Simm				0	0	0	0	4	3	4	2	2	2	2	2	2	2	2		
	SET 4	Simm				Simm				Simm				0	0	0	0	0	0	0	2	0	2	1	2	0	2	1		
	28													9				4												
Belfagor	SET 1	Simm				Simm				Simm				Simm				0	2	4	1	0	2	1	1	0	2	1		
	SET 2	Simm				Simm				Simm				Simm				1	1	5	3	3	1	5	3	3	1			
	SET 3	Simm				Simm				Simm				Simm				0	0	9	7	10	7	10	7	10	7			
	SET 4	Simm				Simm				Simm				Simm				0	0	10	7	12	9	10	7	12	9			
	28																	10				10								
Simqke	SET 1	Simm				Simm				Simm				Simm				Simm				0	0	1	0	0	1	0	0	1
	SET 2	Simm				Simm				Simm				Simm				Simm				0	0	0	0	0	0	0	0	0
	SET 3	Simm				Simm				Simm				Simm				Simm				0	0	0	0	0	0	0	0	0
	SET 4	Simm				Simm				Simm				Simm				Simm				0	0	0	0	0	0	0	0	0
	28																					10				10				

Param.		Numero di periodi in cui il test risulta Significativo																											
Fatt.Rid.	Sd	RNS				RSSF12				RSSF5				RSPMatch				Belfagor				Simqke							
	R=6	SET 1	SET 2	SET 3	SET 4	SET 1	SET 2	SET 3	SET 4	SET 1	SET 2	SET 3	SET 4	SET 1	SET 2	SET 3	SET 4	SET 1	SET 2	SET 3	SET 4	SET 1	SET 2	SET 3	SET 4	SET 1	SET 2	SET 3	SET 4
RNS	SET 1	0	0	0	0	0	0	0	3	1	0	0	0	0	1	0	0	0	3	1	2	6	4	5	4	6	4	5	4
	SET 2	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	1	0	0	1	1	0
	SET 3	0	0	0	0	0	1	1	1	3	0	1	0	0	1	0	0	0	3	0	2	5	4	4	5	5	4	4	5
	SET 4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	28					4				2				3				5				11							
RSSF12	SET 1	Simm				0	0	0	0	1	1	0	0	0	2	0	0	0	1	2	1	10	3	5	6	10	3	5	6
	SET 2	Simm				0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	SET 3	Simm				0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	SET 4	Simm				0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	4	3	0	0	0	0	0	0	0	0
	28					0				-1				0				9											
RSSF5	SET 1	Simm				Simm				2	1	2	2	1	2	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	SET 2	Simm				Simm				0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	3	1	5	2	3	1	5	2	
	SET 3	Simm				Simm				0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	SET 4	Simm				Simm				0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	2	1	4	2	2	1	4	2	
	28									10				10				6											
RSPMatch	SET 1	Simm				Simm				Simm				1	0	0	0	3	0	2	7	5	7	5	7	5	7	5	
	SET 2																												

Param.		Numero di periodi in cui il test risulta Significativo																							
Param.	Sd	RNS				RSSF12				RSSF5				RSPMatch				Belfagor				Simqke			
Fatt.Rid.	R=8	SET 1	SET 2	SET 3	SET 4	SET 1	SET 2	SET 3	SET 4	SET 1	SET 2	SET 3	SET 4	SET 1	SET 2	SET 3	SET 4	SET 1	SET 2	SET 3	SET 4	SET 1	SET 2	SET 3	SET 4
RNS	SET_1	0	0	0	0	0	2	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	2	1	0	0	0	0	0
	SET_2	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	SET_3	0	0	0	0	0	2	1	2	1	0	0	0	0	1	0	0	1	3	2	1	3	3	3	3
	SET_4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	2	2	0
28																									
RSSF12	SET_1					0	0	0	2	0	1	0	0	0	2	0	0	0	0	1	2	14	5	14	7
	SET_2					0	0	0	0	0	0	0	0	4	0	0	0	0	0	0	0	4	1	0	2
	SET_3					0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	SET_4					0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	6	9	6	2	1	1	0
28																									
RSSF5	SET_1									0	0	0	0	1	1	1	0	1	1	0	0	1	2	1	0
	SET_2									0	0	0	0	1	0	0	0	0	2	3	0	8	5	7	1
	SET_3									0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	SET_4									0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	2	2	2	1
28																									
RSPMatch	SET_1													1	0	0	0	1	3	2	3	14	8	8	9
	SET_2													0	0	0	0	0	4	5	5	1	0	0	1
	SET_3													0	0	0	0	0	3	6	1	8	6	6	6
	SET_4													0	1	1	1	0	1	1	1	3	1	2	2
28																									
Belfagor	SET_1													3	7	0	0	3	7	0	0	7	1	6	3
	SET_2													1	1	1	1	1	0	3	5	14	4	10	4
	SET_3													1	1	1	1	0	0	0	1	16	8	16	8
	SET_4													4	11	13	10	4	11	13	10	17	8	14	7
28																									
Simqke	SET_1																					3	0	3	0
	SET_2																					1	0	1	0
	SET_3																					2	0	2	0
	SET_4																					2	0	2	0
28																									

Param.		Numero di periodi in cui il test risulta Significativo																							
Param.	Sd	RNS				RSSF12				RSSF5				RSPMatch				Belfagor				Simqke			
Fatt.Rid.	R=10	SET 1	SET 2	SET 3	SET 4	SET 1	SET 2	SET 3	SET 4	SET 1	SET 2	SET 3	SET 4	SET 1	SET 2	SET 3	SET 4	SET 1	SET 2	SET 3	SET 4	SET 1	SET 2	SET 3	SET 4
RNS	SET_1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	1	1	0
	SET_2	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
	SET_3	0	0	0	0	0	1	0	1	2	0	0	0	0	0	0	0	2	1	0	2	6	2	2	2
	SET_4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	0	1	0
28																									
RSSF12	SET_1					0	0	0	0	0	2	0	0	0	1	1	1	1	0	0	0	13	3	14	3
	SET_2					0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	1	2	0	0	0
	SET_3					0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	2	0	3	0
	SET_4					0	0	0	0	0	0	0	0	8	0	2	1	4	11	13	10	2	0	0	0
28																									
RSSF5	SET_1									0	0	0	0	1	1	1	1	1	2	1	2	2	3	1	2
	SET_2									2	0	0	0	2	0	0	0	1	0	3	5	8	2	6	1
	SET_3									0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
	SET_4									0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0
28																									
RSPMatch	SET_1													0	3	2	2	1	0	0	2	16	3	14	5
	SET_2													0	0	0	0	1	5	4	1	3	0	3	2
	SET_3													0	2	2	2	0	6	1	3	6	4	8	2
	SET_4													0	2	0	2	0	2	0	2	3	2	2	1
28																									
Belfagor	SET_1													3	0	3	3	3	0	3	3	11	2	10	2
	SET_2													1	0	1	1	1	0	1	1	15	8	13	7
	SET_3													1	1	1	1	1	1	1	1	16	9	15	6
	SET_4													4	11	13	10	4	11	13	10	16	4	15	7
28																									
Simqke	SET_1																					0	0	1	0
	SET_2																					4	0	4	0
	SET_3																					4	0	4	0
	SET_4																					4	0	4	0
28																									



**Risultati del test sul parametro Duttilità cinematica relativi al modello EPH:**

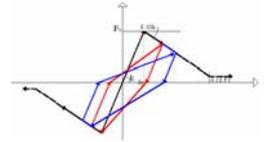
Param.		Dkin	Numero di periodi in cui il test risulta Significativo																							
Fatt.Rid.	R=2		RNS				RSSF12				RSSF5				RSPMatch				Belfagor				Simqke			
			SET_1	SET_2	SET_3	SET_4	SET_1	SET_2	SET_3	SET_4	SET_1	SET_2	SET_3	SET_4	SET_1	SET_2	SET_3	SET_4	SET_1	SET_2	SET_3	SET_4	SET_1	SET_2	SET_3	SET_4
RNS	SET_1		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	SET_2		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	SET_3		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	SET_4		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	28						0				0				0				0							
RSSF12	SET_1						0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1
	SET_2		Sim				0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1
	SET_3		Sim				0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1
	SET_4		Sim				0	0	0	0	1	0	0	0	2	1	1	1	3	1	3	7	0	1	0	0
	28		Sim				Sim				Sim				Sim				Sim							
RSSF5	SET_1										1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	1
	SET_2		Sim								0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	1	1	0
	SET_3		Sim								0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	1	0	0	0	1	1
	SET_4		Sim								0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1
	28		Sim				Sim				Sim				Sim				Sim							
RSPMatch	SET_1														1	0	1	1	3	2	2	6	2	3	3	3
	SET_2		Sim								3	0	0	0	3	4	9	11	2	3	2	1	2	3	2	1
	SET_3		Sim								3	1	2	11	3	1	2	11	2	3	1	1	2	3	1	1
	SET_4		Sim								3	1	1	7	3	1	1	7	1	1	1	2	1	1	1	2
	28		Sim				Sim				Sim				Sim				Sim							
Belfagor	SET_1																		2	0	4	4	4	5	5	3
	SET_2		Sim																0	0	5	5	4	3	5	5
	SET_3		Sim																1	1	1	1	5	4	7	5
	SET_4		Sim																1	1	1	1	11	13	11	10
	28		Sim				Sim				Sim				Sim				Sim							
Simqke	SET_1																						0	2	0	0
	SET_2		Sim																				2	0	0	0
	SET_3		Sim																				2	0	0	0
	SET_4		Sim																				2	0	0	0
	28		Sim				Sim				Sim				Sim				Sim							

Param.		Dkin	Numero di periodi in cui il test risulta Significativo																							
Fatt.Rid.	R=4		RNS				RSSF12				RSSF5				RSPMatch				Belfagor				Simqke			
			SET_1	SET_2	SET_3	SET_4	SET_1	SET_2	SET_3	SET_4	SET_1	SET_2	SET_3	SET_4	SET_1	SET_2	SET_3	SET_4	SET_1	SET_2	SET_3	SET_4	SET_1	SET_2	SET_3	SET_4
RNS	SET_1		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	SET_2		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	SET_3		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	SET_4		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	28						0				0				0				0							
RSSF12	SET_1						0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0
	SET_2		Sim				0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	2	0	2	5	0	0	1	0
	SET_3		Sim				0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	1	1	0	1	0	0	0	0
	SET_4		Sim				0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	2	2	8	11	0	0	0	0
	28		Sim				Sim				Sim				Sim				Sim							
RSSF5	SET_1										0	0	0	0	1	0	0	0	1	1	0	4	0	1	0	0
	SET_2		Sim								0	0	1	1	0	0	1	1	2	1	1	3	0	1	0	1
	SET_3		Sim								0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0
	SET_4		Sim								0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	4	0	0	0	0
	28		Sim				Sim				Sim				Sim				Sim							
RSPMatch	SET_1														0	0	0	0	2	1	3	8	0	0	0	0
	SET_2		Sim												0	0	0	0	2	0	5	9	0	0	0	1
	SET_3		Sim												1	0	4	9	1	0	4	9	2	0	1	1
	SET_4		Sim												2	1	2	8	2	1	2	8	0	0	0	0
	28		Sim				Sim				Sim				Sim				Sim							
Belfagor	SET_1																		0	0	4	4	2	1	3	2
	SET_2		Sim																0	0	2	2	3	2	2	1
	SET_3		Sim																0	0	0	0	5	4	6	9
	SET_4		Sim																11	11	10	12	11	11	10	12
	28		Sim				Sim				Sim				Sim				Sim							
Simqke	SET_1																						2	0	0	0
	SET_2		Sim																				1	1	1	1
	SET_3		Sim																				1	1	1	1
	SET_4		Sim																				1	1	1	1
	28		Sim				Sim				Sim				Sim				Sim							

Param.		Dkin	Numero di periodi in cui il test risulta Significativo																							
Fatt.Rid.	R=6		RNS				RSSF12				RSSF5				RSPMatch				Belfagor				Simqke			
			SET_1	SET_2	SET_3	SET_4	SET_1	SET_2	SET_3	SET_4	SET_1	SET_2	SET_3	SET_4	SET_1	SET_2	SET_3	SET_4	SET_1	SET_2	SET_3	SET_4	SET_1	SET_2	SET_3	SET_4
RNS	SET_1		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	SET_2		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	SET_3		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	SET_4		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	28						0				0				0				0							
RSSF12	SET_1						0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0
	SET_2		Sim				0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0
	SET_3		Sim				0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0	0	1
	SET_4		Sim				0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	0	6	8	2	1	1	0
	28		Sim				Sim				Sim				Sim				Sim							
RSSF5	SET_1										0	0	0	0	0	1	0	0	2	2	1	1	0	0	0	1
	SET_2		Sim								0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0
	SET_3		Sim								0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
	SET_4		Sim								0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
	28		Sim				Sim				Sim				Sim				Sim							
RSPMatch	SET_1														0	0	0	2	0	0	0	2	0	0	0	0
	SET_2		Sim												0	0	1	8	0	0	1	8	0	0	0	0
	SET_3		Sim																							

Param.		Numero di periodi in cui il test risulta Significativo																							
Fatt.Rid.	Dkin	RNS				RSSF12				RSSF5				RSPMatch				Belfagor				Simqke			
		SET_1	SET_2	SET_3	SET_4	SET_1	SET_2	SET_3	SET_4	SET_1	SET_2	SET_3	SET_4	SET_1	SET_2	SET_3	SET_4	SET_1	SET_2	SET_3	SET_4	SET_1	SET_2	SET_3	SET_4
RNS	SET_1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	SET_2		0	0	0		0	0	0		0	0	0		0	0	0		0	0	0		0	0	0
	SET_3			0	0			0	0			0	0			0	0			0	0			0	0
	SET_4				0				0				0				0				0				0
	28																								
RSSF12	SET_1					0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	2	0	1	0	0	0	1
	SET_2						0	0	0		0	0	0		0	0	0		0	0	2		0	0	0
	SET_3							0	0			0	0			0	0		1	2	0		0	0	1
	SET_4								0				0			1	1		5	3	11		6	7	6
	28																								
RSSF5	SET_1									0	0	0	0	0	0	0	0	1	2	0	2	0	0	0	1
	SET_2										0	0	0		0	0	0	3	1	0	2	0	0	0	0
	SET_3											0	0			0	0	2	1	0	0	0	0	0	0
	SET_4												0				0	0	0	0	0	0	0	0	0
	28																								
RSPMatch	SET_1													0	0	0	0	1	0	1	3	0	0	0	0
	SET_2														0	0	0	0	0	0	5	0	0	1	0
	SET_3															1	4	1	2	1	4	0	1	0	0
	SET_4																0	2	2	0	3	0	0	0	0
	28																								
Belfagor	SET_1																	0	0	0	0	1	0	2	0
	SET_2																		0	0	0	1	0	3	
	SET_3																			0	0	2	2	2	
	SET_4																				0	6	5	8	
	28																								
Simqke	SET_1																					1	0	0	0
	SET_2																						2	2	
	SET_3																							1	
	SET_4																								
	28																								

Param.		Numero di periodi in cui il test risulta Significativo																							
Fatt.Rid.	Dkin	RNS				RSSF12				RSSF5				RSPMatch				Belfagor				Simqke			
		SET_1	SET_2	SET_3	SET_4	SET_1	SET_2	SET_3	SET_4	SET_1	SET_2	SET_3	SET_4	SET_1	SET_2	SET_3	SET_4	SET_1	SET_2	SET_3	SET_4	SET_1	SET_2	SET_3	SET_4
RNS	SET_1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	SET_2		0	0	0		0	0	0		0	0	0		0	0	0		0	0	0		0	0	0
	SET_3			0	0			0	0			0	0			0	0			0	0			0	0
	SET_4				0				0				0				0				0				0
	28																								
RSSF12	SET_1					1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	1	0	2	0	0	0	0
	SET_2						0	0	0		0	0	0		0	0	0		0	0	4		0	0	0
	SET_3							0	0			0	0			0	0		2	2	1		0	0	0
	SET_4								0				0				0		7	12	14		7	11	6
	28																								
RSSF5	SET_1									0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	1	0	0	0	0
	SET_2										0	0	0		0	0	0	2	2	1	3	0	0	1	0
	SET_3											1	1			0	0	2	1	0	1	0	0	0	0
	SET_4												0				0		0	0	0	0	0	0	0
	28																								
RSPMatch	SET_1													0	1	2	2	3	3	6	9	0	0	2	0
	SET_2														0	1	1	6	2	5	7	0	1	2	0
	SET_3															1	1	3	2	3	8	0	0	0	1
	SET_4																0	4	3	4	9	0	2	0	0
	28																								
Belfagor	SET_1																	1	1	0	0	1	1	3	7
	SET_2																		2	2	2	1	0	4	8
	SET_3																			1	1	2	2	4	8
	SET_4																				0	8	7	8	13
	28																								
Simqke	SET_1																					0	0	1	1
	SET_2																						2	5	4
	SET_3																							4	
	SET_4																								
	28																								



**Risultati del test sul parametro Duttilità cinematica relativo al modello ESD:**

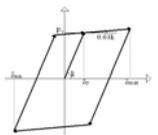
Param.	Dkin	Numero di periodi in cui il test risulta Significativo																											
		RNS				RSSF12				RSSF5				RSPMatch				Belfagor				Simqke							
Fatt.Rid.	R=2	SET 1	SET 2	SET 3	SET 4	SET 1	SET 2	SET 3	SET 4	SET 1	SET 2	SET 3	SET 4	SET 1	SET 2	SET 3	SET 4	SET 1	SET 2	SET 3	SET 4	SET 1	SET 2	SET 3	SET 4	SET 1	SET 2	SET 3	SET 4
RNS	SET_1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	1	1	1	1
	SET_2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	SET_3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1
	SET_4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	1
	28					0				0				0				0				1							
RSSF12	SET_1	Simm				0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1
	SET_2	Simm				0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1
	SET_3	Simm				0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	2	1	0	0	0	1	0	0	0
	SET_4	Simm				0	0	0	0	0	0	0	0	2	1	0	1	7	7	8	9	6	8	4	6				
	28					0				0				2				7				6							
RSSF5	SET_1	Simm				Simm				0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	SET_2	Simm				Simm				0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1
	SET_3	Simm				Simm				0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1
	SET_4	Simm				Simm				0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	28									0				0				1				1							
RSPMatch	SET_1	Simm				Simm				Simm				0	1	0	0	4	3	5	6	2	2	4	3	4	6	3	4
	SET_2	Simm				Simm				Simm				1	0	0	0	5	8	8	9	4	6	3	4	1	4	2	3
	SET_3	Simm				Simm				Simm				0	0	0	0	4	5	7	11	3	3	4	3	3	3	4	3
	SET_4	Simm				Simm				Simm				0	0	0	0	5	3	3	4								
	28													0				15				9							
Belfagor	SET_1	Simm				Simm				Simm				Simm				0	0	3	0	1	0	1	0	2	2	2	2
	SET_2	Simm				Simm				Simm				Simm				0	0	0	0	2	0	1	0	2	0	1	0
	SET_3	Simm				Simm				Simm				Simm				0	0	0	0	2	0	1	0	8	5	6	8
	SET_4	Simm				Simm				Simm				Simm				0	0	0	0								
	28																	3				10							
Simqke	SET_1	Simm				Simm				Simm				Simm				Simm				1	1	0	0	1	0	0	0
	SET_2	Simm				Simm				Simm				Simm				Simm				2	2	0	0	0	0	0	0
	SET_3	Simm				Simm				Simm				Simm				Simm				0	0	0	0	0	0	0	0
	SET_4	Simm				Simm				Simm				Simm				Simm				0	0	0	0	0	0	0	0
	28																					1							

Param.	Dkin	Numero di periodi in cui il test risulta Significativo																											
		RNS				RSSF12				RSSF5				RSPMatch				Belfagor				Simqke							
Fatt.Rid.	R=4	SET 1	SET 2	SET 3	SET 4	SET 1	SET 2	SET 3	SET 4	SET 1	SET 2	SET 3	SET 4	SET 1	SET 2	SET 3	SET 4	SET 1	SET 2	SET 3	SET 4	SET 1	SET 2	SET 3	SET 4	SET 1	SET 2	SET 3	SET 4
RNS	SET_1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	1	2	2
	SET_2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
	SET_3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	2	2
	SET_4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	28					2				2				2				2				3							
RSSF12	SET_1	Simm				0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	1
	SET_2	Simm				0	0	0	0	0	1	0	1	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	SET_3	Simm				0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	SET_4	Simm				0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	7	6	2	0	0	0	2	0	0	0
	28									0				1				5				4							
RSSF5	SET_1	Simm				Simm				0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	SET_2	Simm				Simm				0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	1	2	2	2	1	2	3
	SET_3	Simm				Simm				0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	2	2	2
	SET_4	Simm				Simm				0	0	0	0	0	1	0	2	0	1	0	2	2	3	2	2	2	3	2	2
	28									0				10				8				3							
RSPMatch	SET_1	Simm				Simm				Simm				0	0	0	0	0	1	3	5	2	1	2	3	2	1	2	3
	SET_2	Simm				Simm				Simm				0	0	0	0	1	7	8	9	1	2	1	2	1	2	1	2
	SET_3	Simm				Simm				Simm				0	0	0	0	0	4	3	4	2	2	2	2	2	2	2	2
	SET_4	Simm				Simm				Simm				0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	2	1	2	0	2	1
	28													0				9				4							
Belfagor	SET_1	Simm				Simm				Simm				Simm				0	2	4	0	1	0	2	1	1	0	2	1
	SET_2	Simm				Simm				Simm				Simm				1	1	0	0	5	3	3	1	5	3	3	1
	SET_3	Simm				Simm				Simm				Simm				0	0	0	0	9	7	10	7	9	7	10	7
	SET_4	Simm				Simm				Simm				Simm				0	0	0	0	10	7	12	9	10	7	12	9
	28																	9				10							
Simqke	SET_1	Simm				Simm				Simm				Simm				Simm				0	0	1	0	0	0	0	1
	SET_2	Simm				Simm				Simm				Simm				Simm				0	0	0	0	0	0	0	0
	SET_3	Simm				Simm				Simm				Simm				Simm				0	0	0	0	0	0	0	0
	SET_4	Simm				Simm				Simm				Simm				Simm				0	0	0	0	0	0	0	0
	28																					1							

Param.	Dkin	Numero di periodi in cui il test risulta Significativo																											
		RNS				RSSF12				RSSF5				RSPMatch				Belfagor				Simqke							
Fatt.Rid.	R=6	SET 1	SET 2	SET 3	SET 4	SET 1	SET 2	SET 3	SET 4	SET 1	SET 2	SET 3	SET 4	SET 1	SET 2	SET 3	SET 4	SET 1	SET 2	SET 3	SET 4	SET 1	SET 2	SET 3	SET 4	SET 1	SET 2	SET 3	SET 4
RNS	SET_1	0	0	0	0	0	0	0	3	1	0	0	0	0	1	0	0	0	3	1	2	6	4	5	4	6	4	5	4
	SET_2	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	1	0	0	1	1	0
	SET_3	0	0	0	0	0	1	1	1	3	0	1	0	0	1	0	0	0	3	0	2	5	4	4	5	5	4	4	5
	SET_4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	28					4				2				3				5				11							
RSSF12	SET_1	Simm				0	0	0	0	1	1	0	0	0	2	0	0	0	1	2	1	10	3	5	6	10	3	5	6
	SET_2	Simm				0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	SET_3	Simm				0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	SET_4	Simm				0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	4	3	0	0	0	0	0	0	0	0
	28									0				1				0				9							
RSSF5	SET_1	Simm				Simm				2	1	2	2	2	1	2	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	SET_2	Simm				Simm				0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	3	1	5	2	3	1	5	2
	SET_3	Simm				Simm				0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	SET_4	Simm				Simm				0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	2	1	4	2	2	1	4	2
	28									2				0				10				6							
RSPMatch	SET_1	Simm																											

Param.		Numero di periodi in cui il test risulta Significativo																							
Param.	Dkin	RNS				RSSF12				RSSF5				RSPMatch				Belfagor				Simqke			
Fatt.Rid.	R=6	SET_1	SET_2	SET_3	SET_4	SET_1	SET_2	SET_3	SET_4	SET_1	SET_2	SET_3	SET_4	SET_1	SET_2	SET_3	SET_4	SET_1	SET_2	SET_3	SET_4	SET_1	SET_2	SET_3	SET_4
RNS	SET_1	0	0	0	0	0	2	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	2	1	0	3	3	3	2
	SET_2	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	SET_3	0	0	0	0	0	2	1	2	1	0	0	0	0	1	0	0	1	3	2	1	3	3	3	3
	SET_4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	2	2	0
28								4				3				3				4				13	
RSSF12	SET_1	Simm				0	0	2	0	0	1	0	0	0	2	0	0	0	0	1	2	14	5	14	7
	SET_2	Simm				0	0	0	0	0	0	0	0	4	0	0	0	0	0	0	0	4	1	0	2
	SET_3	Simm				0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	SET_4	Simm				0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	6	9	6	2	1	1	0
28								0				0				0				1				13	
RSSF5	SET_1	Simm				Simm				0	0	0	0	1	1	1	0	1	1	0	0	1	2	1	0
	SET_2	Simm				Simm				0	0	0	0	1	0	0	0	0	2	3	0	8	5	7	1
	SET_3	Simm				Simm				0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	SET_4	Simm				Simm				0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	2	2	2	1
28								0				0				1				5				10	
RSPMatch	SET_1	Simm				Simm				Simm				1	0	0	0	1	3	2	3	14	8	9	9
	SET_2	Simm				Simm				Simm				0	0	0	0	0	4	5	5	1	0	0	1
	SET_3	Simm				Simm				Simm				0	0	0	0	0	3	6	1	8	6	6	6
	SET_4	Simm				Simm				Simm				0	1	1	1	0	1	1	1	3	1	2	2
28								0				0				1				10				11	
Belfagor	SET_1	Simm				Simm				Simm				Simm				3	7	0	0	7	1	6	3
	SET_2	Simm				Simm				Simm				Simm				1	1	1	1	14	4	10	4
	SET_3	Simm				Simm				Simm				Simm				0	0	0	0	16	8	16	8
	SET_4	Simm				Simm				Simm				Simm				0	0	0	0	17	8	14	7
28								0				0				0				10				18	
Simqke	SET_1	Simm				Simm				Simm				Simm				Simm				3	0	3	0
	SET_2	Simm				Simm				Simm				Simm				Simm				0	1	0	0
	SET_3	Simm				Simm				Simm				Simm				Simm				0	0	0	0
	SET_4	Simm				Simm				Simm				Simm				Simm				0	2	0	0
28								0				0				0				0				0	

Param.		Numero di periodi in cui il test risulta Significativo																							
Param.	Dkin	RNS				RSSF12				RSSF5				RSPMatch				Belfagor				Simqke			
Fatt.Rid.	R=10	SET_1	SET_2	SET_3	SET_4	SET_1	SET_2	SET_3	SET_4	SET_1	SET_2	SET_3	SET_4	SET_1	SET_2	SET_3	SET_4	SET_1	SET_2	SET_3	SET_4	SET_1	SET_2	SET_3	SET_4
RNS	SET_1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	1	1	0
	SET_2	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
	SET_3	0	0	0	0	0	1	0	1	2	0	0	0	0	0	0	0	2	1	0	2	6	2	2	2
	SET_4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	0	1	0
28								3				3				3				4				19	
RSSF12	SET_1	Simm				0	0	0	0	0	2	0	0	0	1	1	1	1	0	0	0	13	3	14	3
	SET_2	Simm				0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	1	2	0	0	0
	SET_3	Simm				0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	2	0	3	0
	SET_4	Simm				0	0	0	0	0	0	0	0	8	0	2	1	4	11	13	10	2	0	0	0
28								0				0				1				1				14	
RSSF5	SET_1	Simm				Simm				0	0	0	0	1	1	1	1	1	2	1	2	2	3	1	2
	SET_2	Simm				Simm				0	0	0	0	2	0	0	0	1	0	3	5	8	2	6	1
	SET_3	Simm				Simm				0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
	SET_4	Simm				Simm				0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0
28								0				0				1				1				7	
RSPMatch	SET_1	Simm				Simm				Simm				0	3	2	0	1	0	0	2	16	3	14	5
	SET_2	Simm				Simm				Simm				0	0	0	0	1	5	4	1	3	0	3	2
	SET_3	Simm				Simm				Simm				0	0	0	0	0	6	1	3	6	4	8	2
	SET_4	Simm				Simm				Simm				0	2	0	2	0	2	0	2	3	2	2	1
28								0				0				1				8				10	
Belfagor	SET_1	Simm				Simm				Simm				Simm				3	0	3	0	11	2	10	2
	SET_2	Simm				Simm				Simm				Simm				1	0	0	0	15	8	13	7
	SET_3	Simm				Simm				Simm				Simm				0	0	0	0	16	9	15	6
	SET_4	Simm				Simm				Simm				Simm				0	0	0	0	16	4	15	7
28								0				0				0				0				17	
Simqke	SET_1	Simm				Simm				Simm				Simm				Simm				0	0	0	1
	SET_2	Simm				Simm				Simm				Simm				Simm				0	4	0	0
	SET_3	Simm				Simm				Simm				Simm				Simm				0	0	0	0
	SET_4	Simm				Simm				Simm				Simm				Simm				0	4	0	0
28								0				0				0				0				0	



## Risultati del test sul parametro Numero di cicli equivalente relativi al modello EPH:

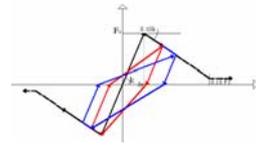
Param.		Numero di periodi in cui il test risulta Significativo																							
Fatt.Rid.	Ne	RNS				RSSF12				RSSF5				RSPMatch				Belfagor				Simqke			
		SET_1	SET_2	SET_3	SET_4	SET_1	SET_2	SET_3	SET_4	SET_1	SET_2	SET_3	SET_4	SET_1	SET_2	SET_3	SET_4	SET_1	SET_2	SET_3	SET_4	SET_1	SET_2	SET_3	SET_4
RNS	SET_1	0	0	0	0	0	1	0	3	6	0	0	1	0	0	0	3	9	8	9	13	13	17	15	14
	SET_2	0	0	0	0	0	0	0	1	4	0	0	0	0	0	1	0	3	2	4	9	6	8	7	6
	SET_3	0	0	0	0	0	0	0	1	3	0	0	0	0	1	0	0	7	5	4	6	9	14	10	10
	SET_4	0	0	0	0	0	0	0	2	2	0	0	0	0	2	0	0	2	4	3	6	8	5	8	6
	28									7								2				11			
RSSF12	SET_1					2	1	3		5	2	0	0	3	2	2	2	6	6	7	10	9	11	9	10
	SET_2					0	0	0		3	0	0	0	1	1	0	1	3	3	4	10	11	8	8	6
	SET_3					0	0	0	1	1	1	1	0	2	0	1	0	0	1	2	6	3	5	5	3
	SET_4					0	0	0	1	2	1	2	2	3	1	1	1	3	3	3	8	6	6	7	5
	28													1				3				12			
RSSF5	SET_1									1	1	0		4	5	2	2	3	4	3	6	6	8	8	8
	SET_2									0	0			1	2	0	3	8	4	4	9	11	11	11	9
	SET_3									0	0			0	1	0	1	7	6	5	8	12	13	13	10
	SET_4									0	2	0	1	0	2	0	1	6	4	2	7	11	12	8	8
	28																	2				19			
RSPMatch	SET_1													4	1	1		8	8	7	9	11	14	11	10
	SET_2													2	0			3	4	5	9	8	7	9	7
	SET_3															1		7	5	7	11	9	10	12	8
	SET_4																	5	2	2	5	7	11	7	7
	28																					13			
Belfagor	SET_1																	2	0	3		1	6	3	2
	SET_2																	0	0	2		3	6	3	4
	SET_3																	0	4	2		0	4	2	2
	SET_4																	0	0	0		4	7	1	6
	28																								
Simqke	SET_1																					0	1	1	
	SET_2																					2	1	1	
	SET_3																					2	1	1	
	SET_4																					2	1	1	
	28																								

Param.		Numero di periodi in cui il test risulta Significativo																							
Fatt.Rid.	Ne	RNS				RSSF12				RSSF5				RSPMatch				Belfagor				Simqke			
		SET_1	SET_2	SET_3	SET_4	SET_1	SET_2	SET_3	SET_4	SET_1	SET_2	SET_3	SET_4	SET_1	SET_2	SET_3	SET_4	SET_1	SET_2	SET_3	SET_4	SET_1	SET_2	SET_3	SET_4
RNS	SET_1	1	0	0	0	0	0	4	6	11	0	1	0	1	8	2	7	15	16	19	16	20	20	20	20
	SET_2	0	0	0	0	0	0	0	2	3	1	0	0	1	0	1	0	2	0	5	10	11	15	14	8
	SET_3	0	0	0	0	0	0	0	2	6	0	0	4	0	1	0	0	10	5	12	14	17	18	18	15
	SET_4	0	0	0	0	0	0	0	2	2	1	0	0	0	0	0	0	7	3	3	10	11	14	13	10
	28									4				4				9				20			
RSSF12	SET_1					0	0	0		7	0	0	0	0	1	0	3	6	7	11	13	16	18	17	14
	SET_2					0	0	0		6	0	0	2	0	2	0	0	7	7	12	15	16	19	20	15
	SET_3					0	0	0	2	0	2	1	0	4	0	1	0	2	2	5	8	8	11	10	8
	SET_4					0	1	1	1	4	1	1	1	4	1	1	2	4	2	6	9	9	14	11	8
	28													0				0				19			
RSSF5	SET_1									5	1	10		9	1	8	0	3	4	3	4	6	7	9	6
	SET_2									1	2			0	2	0	2	9	7	14	16	18	19	17	15
	SET_3									0	0			0	0	0	0	7	7	8	12	10	12	13	11
	SET_4									4	10	2	5	4	10	2	5	16	16	16	16	19	20	20	20
	28																	0				20			
RSPMatch	SET_1													3	1	2		11	10	15	17	16	18	18	15
	SET_2													2	0			1	0	1	8	10	10	10	7
	SET_3															3		10	8	13	13	19	20	20	15
	SET_4																	4	2	4	10	10	12	13	10
	28																					20			
Belfagor	SET_1																	0	0	4		3	8	6	3
	SET_2																	0	0	3		5	8	7	5
	SET_3																	3				4	7	6	4
	SET_4																	0	0	0		8	7	6	9
	28																								
Simqke	SET_1																					2	1	0	
	SET_2																					0	1		
	SET_3																					0	1		
	SET_4																					1	1		
	28																								

Param.		Numero di periodi in cui il test risulta Significativo																							
Fatt.Rid.	Ne	RNS				RSSF12				RSSF5				RSPMatch				Belfagor				Simqke			
		SET_1	SET_2	SET_3	SET_4	SET_1	SET_2	SET_3	SET_4	SET_1	SET_2	SET_3	SET_4	SET_1	SET_2	SET_3	SET_4	SET_1	SET_2	SET_3	SET_4	SET_1	SET_2	SET_3	SET_4
RNS	SET_1	1	5	1		0	6	9	11	17	3	12	0	1	14	3	15	20	20	20	20	20	20	20	20
	SET_2	0	0	0		0	0	0	1	7	0	0	0	0	0	0	0	5	2	6	7	16	16	16	13
	SET_3	0	0	0		0	0	0	1	12	0	0	9	0	0	0	0	8	8	9	15	20	18	20	18
	SET_4	0	0	0		0	0	0	1	4	0	0	0	0	0	0	0	4	2	6	9	12	12	13	12
	28									6				3				3				20			
RSSF12	SET_1					2	0	0		10	0	1	0	0	3	0	2	9	7	13	14	20	19	20	18
	SET_2					5	0	0		5	0	0	7	1	0	1	0	5	4	5	11	15	18	20	14
	SET_3					2	1	0		2	1	0	4	2	0	1	0	3	3	4	6	13	13	13	11
	SET_4					1	0	0	14	1	0	0	14	1	1	0	1	2	2	3	9	12	17	16	12
	28													0				0				20			
RSSF5	SET_1									11	6	15		13	1	15	3	3	3	4	5	7	10	9	7
	SET_2									0	7			0	2	0	1	8	5	16	15	20	19	20	18
	SET_3									0	0			1	0	0	0	7	4	9	8	13	13	13	11
	SET_4									5	13	8	10	5	13	8	10	18	18	17	18	20	20	20	20
	28																	0							

Param.		Numero di periodi in cui il test risulta Significativo																							
Fatt.Rid.	Ne	RNS				RSSF12				RSSF5				RSPMatch				Belfagor				Simqke			
	R=8	SET_1	SET_2	SET_3	SET_4	SET_1	SET_2	SET_3	SET_4	SET_1	SET_2	SET_3	SET_4	SET_1	SET_2	SET_3	SET_4	SET_1	SET_2	SET_3	SET_4	SET_1	SET_2	SET_3	SET_4
RNS	SET_1	0	11	1		0	13	14	18	18	6	14	0	3	16	11	19	20	20	20	20	20	20	20	20
	SET_2	0	0	0		0	0	0	0	6	0	0	0	0	0	0	0	6	3	5	10	14	18	17	13
	SET_3	0	0	0		0	0	1	0	12	0	0	10	0	2	0	0	10	10	11	14	20	19	20	18
	SET_4	0	0	0		0	0	0	0	8	0	0	0	0	0	0	0	4	3	4	8	14	17	18	9
	28									6				2				6				20			
RSSF12	SET_1					0	0	0	0	14	0	0	1	0	5	0	1	11	11	15	16	20	20	20	20
	SET_2						0	0		4	0	0	8	1	0	0	0	4	3	6	11	17	15	19	13
	SET_3							1		2	1	0	10	2	0	1	0	6	3	3	8	12	12	12	9
	SET_4									5	0	0	16	0	0	0	0	3	2	3	13	20	17	20	15
	28													0				0				20			
RSSF5	SET_1									16	8	16		14	0	16	4	3	4	4	8	8	9	9	8
	SET_2										0	5		0	0	0	0	12	9	12	16	20	20	20	20
	SET_3											11		2	0	1	0	9	5	9	11	13	16	16	12
	SET_4													0	14	12	16	20	20	20	20	20	20	20	20
	28													0				0				17			
RSPMatch	SET_1													4	0	5		13	13	14	18	18	20	19	18
	SET_2													2	0			0	0	0	4	12	12	14	8
	SET_3																	13	14	18	19	20	20	20	20
	SET_4																	2	0	2	8	14	15	16	9
	28																					17			
Belfagor	SET_1																	0	0	2		10	13	14	7
	SET_2																	0	0	0		8	14	13	5
	SET_3																			1		5	11	15	6
	SET_4																					10	9	12	5
	28																					19			
Simqke	SET_1																					5	0	0	
	SET_2																						3	3	
	SET_3																							2	
	SET_4																								
	28																								

Param.		Numero di periodi in cui il test risulta Significativo																							
Fatt.Rid.	Ne	RNS				RSSF12				RSSF5				RSPMatch				Belfagor				Simqke			
	R=10	SET_1	SET_2	SET_3	SET_4	SET_1	SET_2	SET_3	SET_4	SET_1	SET_2	SET_3	SET_4	SET_1	SET_2	SET_3	SET_4	SET_1	SET_2	SET_3	SET_4	SET_1	SET_2	SET_3	SET_4
RNS	SET_1	1	12	5		3	15	20	18	19	10	17	0	2	18	16	20	20	20	20	20	20	20	20	20
	SET_2	0	0	0		0	0	0	0	6	0	0	0	0	0	0	0	6	6	10	11	17	19	18	13
	SET_3	0	0	0		0	0	1	0	13	0	0	10	0	1	0	0	10	11	13	13	20	20	20	20
	SET_4	0	0	0		0	0	0	0	8	0	0	2	0	0	0	0	7	4	7	8	15	18	17	12
	28									5				0				5				20			
RSSF12	SET_1					1	1	0		13	0	0	0	0	1	0	1	12	18	15	18	20	20	20	20
	SET_2						0	0		0	0	0	10	2	0	0	0	5	4	6	9	13	15	16	9
	SET_3							0		2	1	0	11	4	0	0	0	5	4	8	9	11	12	14	9
	SET_4									5	0	0	16	1	0	0	0	3	3	6	9	19	19	18	12
	28													0				0				19			
RSSF5	SET_1									3	1	2		17	0	16	7	4	3	4	8	8	8	9	7
	SET_2										2	0		0	0	0	0	10	11	12	12	20	20	20	18
	SET_3											3		3	0	0	0	9	11	11	11	14	20	15	14
	SET_4													0	15	15	16	20	20	20	20	20	20	20	20
	28													0				0				20			
RSPMatch	SET_1													0	1	1		14	17	14	17	20	20	18	18
	SET_2													0	1			0	0	0	6	13	14	13	8
	SET_3															4		12	16	16	19	20	20	20	20
	SET_4																	5	4	4	9	15	16	16	9
	28																					16			
Belfagor	SET_1																	5	0	0		13	18	16	7
	SET_2																			3	3	13	11	14	5
	SET_3																			2		14	11	14	8
	SET_4																					10	14	14	7
	28																					20			
Simqke	SET_1																					4	0	1	
	SET_2																						3	5	
	SET_3																							4	
	SET_4																								
	28																								



**Risultati del test sul parametro Numero di cicli equivalenti relativo al modello ESD:**

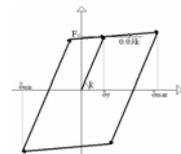
Param.		Numero di periodi in cui il test risulta Significativo																											
Fatt.Rid.	Ne	RNS				RSSF12				RSSF5				RSPMatch				Belfagor				Simqke							
	R=2	SET 1	SET 2	SET 3	SET 4	SET 1	SET 2	SET 3	SET 4	SET 1	SET 2	SET 3	SET 4	SET 1	SET 2	SET 3	SET 4	SET 1	SET 2	SET 3	SET 4	SET 1	SET 2	SET 3	SET 4				
RNS	SET 1	0	0	0	0	2	3	2	8	13	3	1	0	0	9	2	8	15	13	16	18	19	19	19	19				
	SET 2	0	0	0	0	0	0	0	0	9	0	0	0	0	0	0	2	8	7	7	9	17	18	16	19				
	SET 3	0	0	0	0	4	1	2	2	15	1	2	0	0	2	3	4	13	12	12	13	18	19	18	16				
	SET 4	0	0	0	0	0	0	0	2	9	1	0	0	1	1	1	2	8	8	8	10	17	18	17	15				
	28									9				12				19				19							
RSSF12	SET 1	Simm				3	2	3		8	2	2	2	3	5	3	6	9	9	9	10	14	15	15	15				
	SET 2	Simm				0	0	0		7	1	0	0	0	1	0	1	6	7	8	9	13	13	16	14				
	SET 3	Simm				0	0	0	1	3	2	0	2	0	0	0	0	2	2	3	5	10	11	13	9				
	SET 4	Simm				0	0	0	2	5	0	2	0	4	0	0	2	4	5	7	9	13	19	15	14				
	28									0				5				19				19							
RSSF5	SET 1	Simm				Simm				4	12	9		7	2	9	0	1	0	0	1	6	7	5	7				
	SET 2	Simm				Simm				1	0	0		0	1	0	2	4	4	5	9	14	16	16	12				
	SET 3	Simm				Simm				0	0	0	1	0	0	0	3	13	13	15	15	19	19	18	19				
	SET 4	Simm				Simm				0	0	0	2	1	1	0	3	10	10	12	13	16	16	18	15				
	28									0				1				19				19							
RSPMatch	SET 1	Simm				Simm				Simm				4	0	4		11	11	13	16	19	20	20	16				
	SET 2	Simm				Simm				Simm				0	0	0		0	0	0	3	5	11	8	5				
	SET 3	Simm				Simm				Simm				0	0	0		7	10	13	14	18	19	18	18				
	SET 4	Simm				Simm				Simm				0	0	0		2	1	2	3	7	12	9	8				
	28													1				17				19							
Belfagor	SET 1	Simm				Simm				Simm				Simm				0	0	2		3	6	4	5				
	SET 2	Simm				Simm				Simm				Simm				0	1	0		3	8	6	5				
	SET 3	Simm				Simm				Simm				Simm				0	0	0		4	8	5	4				
	SET 4	Simm				Simm				Simm				Simm				0	0	0		5	9	7	5				
	28																					15							
Simqke	SET 1	Simm				Simm				Simm				Simm				Simm				0	0	0		0	0	0	
	SET 2	Simm				Simm				Simm				Simm				Simm				0	0	0		0	0	0	
	SET 3	Simm				Simm				Simm				Simm				Simm				0	0	0		0	0	0	
	SET 4	Simm				Simm				Simm				Simm				Simm				0	0	0		0	0	0	
	28																												

Param.		Numero di periodi in cui il test risulta Significativo																											
Fatt.Rid.	Ne	RNS				RSSF12				RSSF5				RSPMatch				Belfagor				Simqke							
	R=4	SET 1	SET 2	SET 3	SET 4	SET 1	SET 2	SET 3	SET 4	SET 1	SET 2	SET 3	SET 4	SET 1	SET 2	SET 3	SET 4	SET 1	SET 2	SET 3	SET 4	SET 1	SET 2	SET 3	SET 4				
RNS	SET 1	0	1	1	1	1	1	2	4	16	0	1	2	1	5	1	2	12	12	17	18	18	18	18	18				
	SET 2	0	1	0		0	1	0	1	11	0	1	0	1	3	1	0	8	7	13	15	13	13	14	14				
	SET 3	0	0	0	2	0	0	0	2	9	0	0	9	0	2	1	1	7	7	10	17	14	16	15	16				
	SET 4	0	0	0	0	0	2	0	0	9	0	1	1	2	2	1	0	5	5	10	12	15	15	15	15				
	28									5				6				13				19							
RSSF12	SET 1	Simm				1	0	0		3	0	1	0	0	0	0	0	1	2	5	11	8	11	7	9				
	SET 2	Simm				0	0	2	1	8	0	0	6	0	0	1	0	5	3	10	14	11	15	14	17				
	SET 3	Simm				0	0	0	0	0	0	1	5	2	0	1	0	2	0	2	11	6	8	7	13				
	SET 4	Simm				0	0	0	0	7	0	1	2	2	0	1	0	2	5	12	17	15	16	15	16				
	28									0				0				20				19							
RSSF5	SET 1	Simm				Simm				3	5	14		14	0	10	0	1	0	0	1	1	1	0	0				
	SET 2	Simm				Simm				0	0	3		0	0	0	0	1	1	9	13	13	13	10	14				
	SET 3	Simm				Simm				0	0	3		0	3	0	0	7	3	8	17	10	14	10	13				
	SET 4	Simm				Simm				0	0	3		8	12	2	6	14	13	16	18	16	17	17	18				
	28									0				1				19				18							
RSPMatch	SET 1	Simm				Simm				Simm				3	0	0		9	11	19	20	20	20	19	19				
	SET 2	Simm				Simm				Simm				0	0	0		1	0	2	8	5	10	7	6				
	SET 3	Simm				Simm				Simm				0	0	0		4	9	12	17	18	19	18	18				
	SET 4	Simm				Simm				Simm				0	0	0		1	0	6	10	8	12	7	13				
	28													1				20				20							
Belfagor	SET 1	Simm				Simm				Simm				Simm				0	1	6		2	5	3	6				
	SET 2	Simm				Simm				Simm				Simm				0	1	2		4	6	4	5				
	SET 3	Simm				Simm				Simm				Simm				0	0	0		1	3	2	0				
	SET 4	Simm				Simm				Simm				Simm				0	0	0		5	4	1	1				
	28																					9							
Simqke	SET 1	Simm				Simm				Simm				Simm				Simm				0	0	1		0	0	1	
	SET 2	Simm				Simm				Simm				Simm				Simm				0	0	1		0	0	1	
	SET 3	Simm				Simm				Simm				Simm				Simm				0	0	1		0	0	1	
	SET 4	Simm				Simm				Simm				Simm				Simm				0	0	1		0	0	1	
	28																												

Param.		Numero di periodi in cui il test risulta Significativo																											
Fatt.Rid.	Ne	RNS				RSSF12				RSSF5				RSPMatch				Belfagor				Simqke							
	R=6	SET 1	SET 2	SET 3	SET 4	SET 1	SET 2	SET 3	SET 4	SET 1	SET 2	SET 3	SET 4	SET 1	SET 2	SET 3	SET 4	SET 1	SET 2	SET 3	SET 4	SET 1	SET 2	SET 3	SET 4				
RNS	SET 1	2	5	3		2	10	11	5	16	2	10	0	0	2	1	8	12	14	14	18	13	14	14	12				
	SET 2	0	0	2		1	4	0	0	8	0	0	3	0	0	0	0	2	7	9	15	1	10	3	7				
	SET 3	0	1	0	0	0	1	0	0	2	0	0	10	0	0	1	0	0	0	6	7	1	2	0	7				
	SET 4	0	0	0	1	3	4	0	1	3	2	3	2	1	3	4	0	0	2	3	7	1	5	1	5				
	28									7				0				1				15							
RSSF12	SET 1	Simm				0	0	0		1	2	0	4	1	1	0	0	0	0	2	6	0	1	0	7				
	SET 2	Simm				0	0	0		1	0	0	10	2	0	3	0	1	0	3	5	0	2	2	5				
	SET 3	Simm				0	0	0		1	0	0	11	1	2	2	0	0	1	3	0	0	1	0	2				
	SET 4	Simm				0	0	0		4	0	0	7	1	0	1	0	1	5	10	12	0	6	0	6				
	28									0				0				1				11							
RSSF5	SET 1	Simm				Simm				7	2	15		9	7	9	0	0	2	2	0	1	1	0	4				
	SET 2	Simm				Simm				2	6			0	0	0	1	2	4	7	13	1	3	3	8				
	SET 3	Simm				Simm				0	11			3	4	0	1	0	1	6	8	1	3	1	6				
	SET 4	Simm				Simm				0	7			2	5	0	11	12	13	13	16	13	12	12	12				
	28									0				1				9				11							
RSPMatch	SET 1	Simm				Simm				Simm				0	0	1		4	5	11	18	2	9	4	9				
	SET 2	Simm				Simm				Simm				0	0	1		3	4	6	11	3	2	4	7				
	SET 3	Simm				Simm				Simm				0	0	2		2	5	11	11	2	9	5	8				
	SET 4	Simm				Simm				Simm				0	0	0		0	0	6	7	0	1	0	6				
	28													0				17				14							
Belfagor	SET 1	Simm				Simm				Simm				Simm				0	0	2		0	0	0	4				
	SET 2	Simm				Simm				Simm				Simm				0	1	3		1	1	1	6				
	SET 3	Simm				Simm				Simm				Simm				0	0	0		2	0	0	2				
	SET 4	Simm				Simm				Simm				Simm				0	0	0		4	1	0	1				
	28																					0							
Simqke	SET 1	Simm				Simm				Simm				Simm				Simm				0	0	5		0	0	5	
	SET 2	Simm				Simm				Simm				Simm				Simm				0	0	1					

Param.		Numero di periodi in cui il test risulta Significativo																											
Ne	Fatt.Rid.	RNS				RSSF12				RSSF5				RSPMatch				Belfagor				Simqke							
8		SET 1	SET 2	SET 3	SET 4	SET 1	SET 2	SET 3	SET 4	SET 1	SET 2	SET 3	SET 4	SET 1	SET 2	SET 3	SET 4	SET 1	SET 2	SET 3	SET 4	SET 1	SET 2	SET 3	SET 4				
RNS	SET_1	1	0	11		4	12	13	4	18	3	12	0	0	0	2	6	7	14	16	18	6	14	12	15				
	SET_2		0	2		0	5	3	0	16	2	2	0	0	0	1	0	0	7	10	10	1	8	4	8				
	SET_3			3		1	1	0	0	5	1	3	1	0	0	1	0	3	1	4	3	0	1	2	6				
	SET_4				3	2	4	0	2	1	9	1	10	4	4	4	0	1	3	0	0	2	2	1	1				
	28																												
RSSF12	SET_1	Simm					0	1	0	7	1	5	0	4	1	0	0	0	1	0	0	1	1	14	0	1	2	3	
	SET_2							1	3	8	5	3	9	1	0	2	2	1	0	2	2	2	1	3	4	2	2	3	4
	SET_3								0	2	7	1	9	1	0	2	0	1	0	2	0	0	1	0	1	0	1	1	2
	SET_4									12	1	3	1	1	0	0	0	1	0	0	0	0	4	8	10	0	6	0	5
	28																												
RSSF5	SET_1	Simm				Simm				10	3	17	9	13	15	6	2	2	0	1	5	7	4	3	4				
	SET_2									7	0		0	4	3	6	5	7	10	9	6	8	7	8					
	SET_3									7			5	4	3	1	0	3	3	1	3	6	1	9					
	SET_4									7			0	0	1	2	4	15	17	16	2	15	8	14					
	28																												
RSPMatch	SET_1	Simm				Simm				Simm				0	0	1	4	3	5	8	1	5	1	2					
	SET_2													0	1	1	4	6	7	0	8	1	9						
	SET_3													0	2	2	4	10	9	1	8	3	10						
	SET_4													0	2	0	6	5	2	0	6	1	7						
	28																												
Belfagor	SET_1	Simm				Simm				Simm				Simm				0	3	1	0	1	0	5					
	SET_2																	2	2	2	2	2	2	2	4				
	SET_3																	0				3	1	1	3				
	SET_4																	0				3	1	1	3				
	28																												
Simqke	SET_1	Simm				Simm				Simm				Simm				Simm				1	0	3					
	SET_2																					0	2						
	SET_3																					0	2						
	SET_4																					0	2						
	28																												

Param.		Numero di periodi in cui il test risulta Significativo																							
Ne	Fatt.Rid.	RNS				RSSF12				RSSF5				RSPMatch				Belfagor				Simqke			
10		SET 1	SET 2	SET 3	SET 4	SET 1	SET 2	SET 3	SET 4	SET 1	SET 2	SET 3	SET 4	SET 1	SET 2	SET 3	SET 4	SET 1	SET 2	SET 3	SET 4	SET 1	SET 2	SET 3	SET 4
RNS	SET_1	0	1	16		6	9	12	3	19	0	12	0	0	2	3	4	5	16	17	13	5	16	10	18
	SET_2		0	5		0	0	2	0	10	2	3	0	1	0	0	0	1	6	7	4	0	3	1	8
	SET_3			4		0	0	0	0	5	0	3	2	1	0	0	0	0	1	1	4	0	1	1	2
	SET_4				4	4	4	2	2	0	11	0	12	8	4	6	3	3	2	0	2	5	3	1	2
	28																								
RSSF12	SET_1	Simm				4	12	9	4	4	1	2	0	0	0	0	1	4	2	3	8	0	2	2	2
	SET_2							1	0	6	5	2	2	0	0	0	1	1	1	3	4	0	2	3	2
	SET_3								1	4	7	1	5	1	3	1	4	1	3	0	2	0	1	2	1
	SET_4									9	5	3	3	4	0	0	0	0	6	6	6	0	1	1	4
	28																								
RSSF5	SET_1	Simm				Simm				3	0	0	11	14	11	10	8	3	0	3	9	3	8	1	
	SET_2									0	0		0	5	4	7	6	11	12	11	9	12	11	12	
	SET_3									0			3	2	3	3	2	5	3	1	3	1	4	1	
	SET_4									0			1	2	2	4	4	12	17	12	6	9	7	14	
	28																								
RSPMatch	SET_1	Simm				Simm				Simm				0	0	2	1	4	7	8	4	4	4	5	
	SET_2													1	3	0	6	8	4	0	1	1	6		
	SET_3													1	2	1	6	4	6	0	2	3	6		
	SET_4													1	2	0	8	6	7	1	2	1	6		
	28																								
Belfagor	SET_1	Simm				Simm				Simm				Simm				1	0	3	0	1	1	2	
	SET_2																	0	2	6	1	7	0		
	SET_3																	0				4	2	5	0
	SET_4																	0				5	0	3	0
	28																								
Simqke	SET_1	Simm				Simm				Simm				Simm				Simm				1	0	3	
	SET_2																					0	0		
	SET_3																					0	2		
	SET_4																					0	2		
	28																								



## Risultati del test sul parametro Duttilità isteretica relativi al modello EPH:

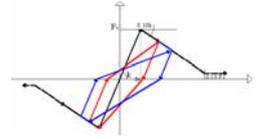
Param.	Dhyst	Numero di periodi in cui il test risulta Significativo																							
		RNS				RSSF12				RSSF5				RSPMatch				Belfagor				Simqke			
Fatt.Rid.	R=2	SET_1	SET_2	SET_3	SET_4	SET_1	SET_2	SET_3	SET_4	SET_1	SET_2	SET_3	SET_4	SET_1	SET_2	SET_3	SET_4	SET_1	SET_2	SET_3	SET_4	SET_1	SET_2	SET_3	SET_4
RNS	SET_1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	SET_2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	SET_3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	SET_4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	28					0				0				0				0				10			
RSSF12	SET_1					0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	4	4	4
	SET_2					0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	4	4	4	4
	SET_3					0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	1	0	0	0	0	0	3	3	4	3
	SET_4					0	0	0	0	1	1	0	0	1	0	1	1	1	1	1	1	2	3	2	3
	28	Simm								0				0				1				10			
RSSF5	SET_1									0	0	0	0	0	0	0	0	1	3	2	2	7	7	7	6
	SET_2									0	0	0	0	0	0	0	1	2	1	0	0	8	9	9	10
	SET_3									0	0	1	0	0	0	0	0	2	1	2	2	4	5	5	4
	SET_4									0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	3	6	4	4
	28	Simm				Simm				0				0				5				11			
RSPMatch	SET_1													1	0	0	0	5	7	5	7	17	16	17	16
	SET_2													0	0	0	0	0	0	0	0	5	8	8	6
	SET_3													0	0	0	0	2	4	4	5	20	20	20	20
	SET_4													0	0	0	1	0	0	0	1	13	12	13	13
	28	Simm				Simm				Simm				0				6				20			
Belfagor	SET_1																	0	0	0	0	12	14	13	14
	SET_2																	1	1	1	1	17	19	17	19
	SET_3																	1	1	1	1	16	16	18	18
	SET_4																	1	1	1	1	16	19	18	19
	28	Simm				Simm				Simm				Simm				0				20			
Simqke	SET_1																					1	0	1	1
	SET_2																					0	0	0	0
	SET_3																					0	0	3	3
	SET_4																					0	0	0	0
	28	Simm				Simm				Simm				Simm				0				20			

Param.	Dhyst	Numero di periodi in cui il test risulta Significativo																							
		RNS				RSSF12				RSSF5				RSPMatch				Belfagor				Simqke			
Fatt.Rid.	R=4	SET_1	SET_2	SET_3	SET_4	SET_1	SET_2	SET_3	SET_4	SET_1	SET_2	SET_3	SET_4	SET_1	SET_2	SET_3	SET_4	SET_1	SET_2	SET_3	SET_4	SET_1	SET_2	SET_3	SET_4
RNS	SET_1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	5	6	4
	SET_2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	SET_3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	4	7	2
	SET_4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	28					0				0				0				4				20			
RSSF12	SET_1					0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10	11	11	9
	SET_2					0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5	5	5	5
	SET_3					0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	1	0	0	0	0	0	3	4	4	4
	SET_4					0	2	0	0	0	2	0	0	3	0	5	0	0	0	0	0	4	5	5	5
	28	Simm				Simm				0				0				4				20			
RSSF5	SET_1									0	0	0	0	0	0	0	0	2	2	2	3	7	7	7	7
	SET_2									0	0	0	0	0	0	0	2	5	5	6	7	14	15	20	13
	SET_3									0	0	0	0	1	0	0	0	3	4	3	4	5	6	6	5
	SET_4									0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	8	9	8	9
	28	Simm				Simm				0				0				7				18			
RSPMatch	SET_1													0	0	3	0	8	8	9	9	16	20	20	14
	SET_2													0	0	0	0	0	0	0	0	4	8	6	5
	SET_3													0	0	0	0	10	13	14	10	20	20	20	20
	SET_4													0	0	0	2	0	0	0	2	10	10	10	10
	28	Simm				Simm				Simm				0				11				20			
Belfagor	SET_1																	0	0	0	0	18	17	20	16
	SET_2																	0	0	1	1	20	20	20	20
	SET_3																	0	0	1	1	20	20	20	20
	SET_4																	1	1	1	1	20	20	20	20
	28	Simm				Simm				Simm				Simm				0				20			
Simqke	SET_1																					1	0	1	1
	SET_2																					0	0	0	0
	SET_3																					0	0	1	1
	SET_4																					0	0	0	0
	28	Simm				Simm				Simm				Simm				0				20			

Param.	Dhyst	Numero di periodi in cui il test risulta Significativo																								
		RNS				RSSF12				RSSF5				RSPMatch				Belfagor				Simqke				
Fatt.Rid.	R=6	SET_1	SET_2	SET_3	SET_4	SET_1	SET_2	SET_3	SET_4	SET_1	SET_2	SET_3	SET_4	SET_1	SET_2	SET_3	SET_4	SET_1	SET_2	SET_3	SET_4	SET_1	SET_2	SET_3	SET_4	
RNS	SET_1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5	6	8	6	
	SET_2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	SET_3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	8	8	10	5	
	SET_4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	28					0				0				0				17				20				
RSSF12	SET_1					0	0	0	0	4	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	10	11	10	10
	SET_2					0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	5	6	5	5	
	SET_3					0	0	0	0	0	1	0	0	2	0	1	0	0	0	0	0	4	4	4	4	
	SET_4					0	0	0	0	0	0	0	0	4	0	5	0	0	0	0	0	5	6	6	6	
	28	Simm				Simm				0				0				4				20				
RSSF5	SET_1									0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	2	6	7	6	6	
	SET_2									0	0	0	0	0	0	0	0	4	5	5	6	20	20	20	20	
	SET_3									0	0	0	0	1	0	0	0	1	2	3	4	5	5	5	5	
	SET_4									0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	9	16	20	9	
	28	Simm				Simm				0				0				6				20				
RSPMatch	SET_1													0	0	2	0	8	7	8	8	20	20	20	20	
	SET_2													0	0	0	0	0	0	0	0	4	7	5	5	
	SET_3													0	0	0	0	12	13	13	14	20	20	20	20	
	SET_4													0	0	0	0	0	0	0	0	9	9	9	9	
	28	Simm				Simm				Simm				0				10				20				

Param.		Numero di periodi in cui il test risulta Significativo																																											
Param.	Dhyst	RNS				RSSF12				RSSF5				RSPMatch				Belfagor				Simqke																							
Fatt.Rid.	R=8	SET_1	SET_2	SET_3	SET_4	SET_1	SET_2	SET_3	SET_4	SET_1	SET_2	SET_3	SET_4	SET_1	SET_2	SET_3	SET_4	SET_1	SET_2	SET_3	SET_4	SET_1	SET_2	SET_3	SET_4																				
RNS	SET_1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	6	6	7	6																
	SET_2		0	0	0		0	0	0		0	0	0		0	0	0		0	0	0		0	0	0	0	0	0	0																
	SET_3			0	0			0	0			0	0			0	0			0	0			0	0	9	11	13	9																
	SET_4				0				0				0				0				0				0	0	0	0	0																
	28									0				0				0				19				20																			
RSSF12	SET_1	Simm				0	0	0	0	4	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10	12	11	11																
	SET_2																									6	7	6	7																
	SET_3																									4	5	4	4																
	SET_4																									5	7	6	6																
	28									0				0				0				4				20																			
RSSF5	SET_1	Simm				Simm				0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	1	1	5	6	6	6																				
	SET_2																													20	20	20	20												
	SET_3																													4	5	5	5												
	SET_4																													20	20	20	20												
	28									0				0				0				5				20																			
RSPMatch	SET_1	Simm				Simm				Simm				0	0	2	0	7	7	8	8	20	20	20	20																				
	SET_2																																	4	5	5	5								
	SET_3																																	20	20	20	20								
	SET_4																																	8	8	8	8								
	28													0				7				9				20																			
Belfagor	SET_1	Simm				Simm				Simm				Simm				0	0	0	0	20	20	20	20																				
	SET_2																																					20	20	20	20				
	SET_3																																					20	20	20	20				
	SET_4																																					20	20	20	20				
	28																	0				0				20																			
Simqke	SET_1	Simm				Simm				Simm				Simm				Simm				2	0	0	0	20	20	20	20																
	SET_2																																									0	0	0	0
	SET_3																																									0	0	0	0
	SET_4																																									0	0	0	0
	28																					2				20																			

Param.		Numero di periodi in cui il test risulta Significativo																																											
Param.	Dhyst	RNS				RSSF12				RSSF5				RSPMatch				Belfagor				Simqke																							
Fatt.Rid.	R=10	SET_1	SET_2	SET_3	SET_4	SET_1	SET_2	SET_3	SET_4	SET_1	SET_2	SET_3	SET_4	SET_1	SET_2	SET_3	SET_4	SET_1	SET_2	SET_3	SET_4	SET_1	SET_2	SET_3	SET_4																				
RNS	SET_1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	7	8	12	7																				
	SET_2		0	0	0		0	0	0		0	0	0		0	0	0		0	0	0	0	0	0	0																				
	SET_3			0	0			0	0			0	0			0	0			0	0	11	13	14	11																				
	SET_4				0				0				0				0				0	0	0	0	0																				
	28									0				0				0				19				20																			
RSSF12	SET_1	Simm				0	0	0	0	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	11	12	12	11																				
	SET_2																									6	7	7	7																
	SET_3																									4	5	4	5																
	SET_4																									6	6	6	6																
	28									0				0				0				3				20																			
RSSF5	SET_1	Simm				Simm				0	0	3	0	3	0	0	0	0	0	1	1	4	5	5	5																				
	SET_2																													20	20	20	20												
	SET_3																													4	4	4	4												
	SET_4																													20	20	20	20												
	28									0				0				0				5				20																			
RSPMatch	SET_1	Simm				Simm				Simm				0	0	0	0	7	7	7	7	20	20	20	20																				
	SET_2																																	4	5	4	5								
	SET_3																																	20	20	20	20								
	SET_4																																	7	8	8	7								
	28													0				7				8				20																			
Belfagor	SET_1	Simm				Simm				Simm				Simm				2	0	0	0	20	20	20	20																				
	SET_2																																					20	20	20	20				
	SET_3																																					20	20	20	20				
	SET_4																																					20	20	20	20				
	28																	2				0				20																			
Simqke	SET_1	Simm				Simm				Simm				Simm				Simm				1	0	0	0	20	20	20	20																
	SET_2																																									0	0	0	0
	SET_3																																									0	0	0	0
	SET_4																																									2	0	0	0
	28																					1				20																			



**Risultati del test sul parametro Duttilità isteretica relativo al modello ESD:**

Param.		Numero di periodi in cui il test risulta Significativo																							
Fatt.Rid.	Dhyst	RNS				RSSF12				RSSF5				RSPMatch				Belfagor				Simqke			
	R=2	SET_1	SET_2	SET_3	SET_4	SET_1	SET_2	SET_3	SET_4	SET_1	SET_2	SET_3	SET_4	SET_1	SET_2	SET_3	SET_4	SET_1	SET_2	SET_3	SET_4	SET_1	SET_2	SET_3	SET_4
RNS	SET_1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	3	5	5	5
	SET_2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1
	SET_3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	2	2	2
	SET_4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0
	28					0				0				0				4				20			
RSSF12	SET_1	Simm				0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	9	8	9	4
	SET_2	Simm				0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	4	5	5	4
	SET_3	Simm				0	0	0	0	0	1	0	0	2	0	1	0	0	0	0	0	3	3	3	3
	SET_4	Simm				0	0	0	0	0	1	0	0	6	0	3	0	1	1	1	1	3	3	4	2
	28									0				10				4				18			
RSSF5	SET_1	Simm				Simm				0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	6	6	6	6
	SET_2	Simm				Simm				0	0	0	0	0	0	0	1	3	4	4	4	9	8	9	10
	SET_3	Simm				Simm				0	0	0	0	0	0	0	0	3	3	3	4	6	6	6	6
	SET_4	Simm				Simm				0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	7	9	9	9
	28									0				10				6				11			
RSPMatch	SET_1	Simm				Simm				Simm				0	0	2	9	10	10	9	17	15	17	14	
	SET_2	Simm				Simm				Simm				0	0	0	1	1	3	1	4	5	4	4	
	SET_3	Simm				Simm				Simm				0	0	0	6	7	6	9	20	20	20	19	
	SET_4	Simm				Simm				Simm				0	0	0	0	0	0	0	6	8	7	8	
	28													10				9				18			
Belfagor	SET_1	Simm				Simm				Simm				Simm				0	0	0	18	19	17	16	
	SET_2	Simm				Simm				Simm				Simm				0	0	0	17	18	17	18	
	SET_3	Simm				Simm				Simm				Simm				0	0	1	16	18	17	20	
	SET_4	Simm				Simm				Simm				Simm				0	0	0	17	18	18	20	
	28																	9				20			
Simqke	SET_1	Simm				Simm				Simm				Simm				Simm				0	0	0	0
	SET_2	Simm				Simm				Simm				Simm				Simm				0	0	0	0
	SET_3	Simm				Simm				Simm				Simm				Simm				0	0	0	0
	SET_4	Simm				Simm				Simm				Simm				Simm				0	0	0	1
	28																					1			

Param.		Numero di periodi in cui il test risulta Significativo																							
Fatt.Rid.	Dhyst	RNS				RSSF12				RSSF5				RSPMatch				Belfagor				Simqke			
	R=4	SET_1	SET_2	SET_3	SET_4	SET_1	SET_2	SET_3	SET_4	SET_1	SET_2	SET_3	SET_4	SET_1	SET_2	SET_3	SET_4	SET_1	SET_2	SET_3	SET_4	SET_1	SET_2	SET_3	SET_4
RNS	SET_1	0	1	2	1	0	1	2	1	13	0	0	0	0	5	0	0	6	9	10	10	20	20	20	20
	SET_2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	4	3	2
	SET_3	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	2	5	7	8	16	16	18	16
	SET_4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	1	2
	28					9				7				17				20				20			
RSSF12	SET_1	Simm				0	0	0	0	8	0	0	0	0	5	0	0	0	0	0	1	16	17	16	16
	SET_2	Simm				0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	4	14	13	14	13
	SET_3	Simm				0	0	0	0	0	1	0	1	3	0	1	0	0	0	0	0	1	3	3	3
	SET_4	Simm				0	0	0	0	0	0	0	2	3	0	2	0	0	0	0	1	7	12	14	6
	28									0				0				10				20			
RSSF5	SET_1	Simm				Simm				2	0	7	4	0	2	0	0	0	0	0	1	3	1	1	
	SET_2	Simm				Simm				0	0	0	1	0	0	0	6	9	10	11	20	20	20	20	
	SET_3	Simm				Simm				0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	3	3	3	
	SET_4	Simm				Simm				0	0	0	0	5	0	0	6	8	8	9	20	20	20	20	
	28									0				0				9				20			
RSPMatch	SET_1	Simm				Simm				Simm				0	0	1	8	11	11	11	20	20	20	20	
	SET_2	Simm				Simm				Simm				0	0	0	0	0	0	1	5	7	8	7	
	SET_3	Simm				Simm				Simm				0	0	0	8	10	11	11	20	20	20	20	
	SET_4	Simm				Simm				Simm				0	0	0	0	0	0	1	8	10	11	6	
	28													10				10				20			
Belfagor	SET_1	Simm				Simm				Simm				Simm				0	0	0	1	19	20	19	18
	SET_2	Simm				Simm				Simm				Simm				0	0	0	19	19	19	18	
	SET_3	Simm				Simm				Simm				Simm				0	0	0	19	20	19	18	
	SET_4	Simm				Simm				Simm				Simm				0	0	0	18	18	18	18	
	28																	9				20			
Simqke	SET_1	Simm				Simm				Simm				Simm				Simm				1	0	0	0
	SET_2	Simm				Simm				Simm				Simm				Simm				0	1	0	0
	SET_3	Simm				Simm				Simm				Simm				Simm				0	0	0	0
	SET_4	Simm				Simm				Simm				Simm				Simm				0	0	0	0
	28																					0			

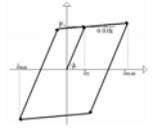
Param.		Numero di periodi in cui il test risulta Significativo																							
Fatt.Rid.	Dhyst	RNS				RSSF12				RSSF5				RSPMatch				Belfagor				Simqke			
	R=6	SET_1	SET_2	SET_3	SET_4	SET_1	SET_2	SET_3	SET_4	SET_1	SET_2	SET_3	SET_4	SET_1	SET_2	SET_3	SET_4	SET_1	SET_2	SET_3	SET_4	SET_1	SET_2	SET_3	SET_4
RNS	SET_1	0	0	0	0	0	1	2	2	16	0	0	0	0	0	0	1	4	5	9	12	20	20	20	20
	SET_2	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	6	8	8	2
	SET_3	0	0	0	0	0	0	0	1	13	0	0	0	0	0	0	1	4	6	11	14	20	20	20	20
	SET_4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	5	5	5
	28					11				6				17				20				20			
RSSF12	SET_1	Simm				0	0	0	0	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	4	14	16	16	14
	SET_2	Simm				0	0	0	0	1	2	0	11	0	0	0	0	0	0	2	3	5	9	10	7
	SET_3	Simm				0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	SET_4	Simm				0	0	0	0	1	0	0	11	5	0	2	0	0	0	1	5	8	9	11	12
	28									0				0				10				13			
RSSF5	SET_1	Simm				Simm				12	1	18	15	3	9	1	1	0	0	0	0	0	0	0	
	SET_2	Simm				Simm				0	0	0	0	0	0	1	4	8	12	19	20	20	20	20	
	SET_3	Simm				Simm				0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	
	SET_4	Simm				Simm				0	0	0	0	10	6	9	14	12	16	18	19	20	20	19	
	28									0				0				13				20			
RSPMatch	SET_1	Simm				Simm				Simm				0	0	0	6	12	13	19	20	20	20	20	
	SET_2	Simm				Simm				Simm				0	0	0	0	0	1	5	5	7	9	6	
	SET_3	Simm				Simm				Simm				0	0	0	3	3	7	17	20	20	20	19	
	SET_4	Simm				Simm				Simm				0	0	0	0	0	0	2	9	12	13	8	
	28													0				16				20			
Belfagor	SET_1	Simm				Simm				Simm				Simm				0	0	0	4	11	12	13	9
	SET_2	Simm				Simm				Simm				Simm				1	3	1	3	10	13	16	10
	SET_3	Simm				Simm				Simm				Simm				1	1	1	1	7	10	11	8
	SET_4	Simm				Simm				Simm				Simm				0	0	0	0	7	9	7	6
	28																	16				19			
Simqke	SET_1	Simm				Simm				Simm				Simm				Simm				0	0	0	0
	SET_2	Simm				Simm				Simm				Simm				Simm				0	0	0	0
	SET_3	Simm				Simm				Simm				Simm				Simm				0	0	0	0
	SET_4	Simm				Simm				Simm				Simm				Simm				0	0	0	0
	28																					0			

Param.		Numero di periodi in cui il test risulta Significativo																							
Fatt.Rid.	Dhyst R=6	RNS				RSSF12				RSSF5				RSPMatch				Belfagor				Simqke			
		SET_1	SET_2	SET_3	SET_4	SET_1	SET_2	SET_3	SET_4	SET_1	SET_2	SET_3	SET_4	SET_1	SET_2	SET_3	SET_4	SET_1	SET_2	SET_3	SET_4	SET_1	SET_2	SET_3	SET_4
RNS	SET_1	0	0	0		0	7	3	4	20	0	0	0	0	0	0	5	8	11	13	14	20	19	19	20
	SET_2		0	0		0	0	0	0	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	6	6	7
	SET_3			0		0	1	0	1	17	0	0	0	0	0	0	0	5	7	10	14	18	19	19	17
	SET_4				0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	3	5
	28																								
RSSF12	SET_1					0	0	0	0	6	0	0	0	0	0	0	0	1	0	4	3	7	10	10	11
	SET_2						0	0	0	4	6	0	11	5	0	0	0	0	0	0	2	2	3	4	10
	SET_3							0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	SET_4								0	5	1	0	7	4	0	0	0	0	0	0	0	0	6	5	5
	28																								
RSSF5	SET_1									11	0	17		18	5	15	4	4	1	0	1	1	0	0	0
	SET_2													1	1	5	5	8	7	12	12	17	19	19	19
	SET_3													0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	SET_4													0	5	3	7	11	15	17	17	19	19	19	19
	28																								
RSPMatch	SET_1													0	0	2		8	9	14	13	19	20	20	19
	SET_2														0	0		0	0	0	2	3	3	3	9
	SET_3															0		3	3	8	13	14	17	18	16
	SET_4																	0	0	0	0	6	11	12	8
	28																								
Belfagor	SET_1																	0	0	1		3	8	6	8
	SET_2																		0	3		4	6	6	9
	SET_3																			1		1	3	2	7
	SET_4																					2	3	3	7
	28																								
Simqke	SET_1																						0	1	3
	SET_2																						0	0	
	SET_3																						0	0	
	SET_4																						0	0	
	28																								

Param.		Numero di periodi in cui il test risulta Significativo																							
Fatt.Rid.	Dhyst R=10	RNS				RSSF12				RSSF5				RSPMatch				Belfagor				Simqke			
		SET_1	SET_2	SET_3	SET_4	SET_1	SET_2	SET_3	SET_4	SET_1	SET_2	SET_3	SET_4	SET_1	SET_2	SET_3	SET_4	SET_1	SET_2	SET_3	SET_4	SET_1	SET_2	SET_3	SET_4
RNS	SET_1	0	0	0		0	13	4	8	20	0	1	0	0	2	1	5	7	16	14	13	16	19	18	19
	SET_2		0	0		0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	3
	SET_3			0		0	1	0	1	9	0	0	0	0	0	0	0	1	6	5	7	9	11	11	16
	SET_4				0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	28																								
RSSF12	SET_1					0	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	2	2	3	3	9
	SET_2						0	0	0	2	7	0	9	4	0	1	0	0	0	0	1	0	0	3	8
	SET_3							0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	SET_4								0	0	3	0	2	3	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	2
	28																								
RSSF5	SET_1									0	0	1		17	4	14	2	2	1	1	1	1	0	1	1
	SET_2										0	0		0	0	3	4	3	11	9	10	14	19	14	19
	SET_3											0		0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	SET_4													0	2	1	3	2	15	15	12	17	18	18	18
	28																								
RSPMatch	SET_1													0	0	4		3	12	10	10	15	19	16	19
	SET_2													1	3			0	0	0	2	2	4	3	10
	SET_3															1		2	5	5	10	14	14	15	17
	SET_4																	0	0	0	1	1	2	3	10
	28																								
Belfagor	SET_1																	0	1	3		1	6	8	11
	SET_2																		0	0		0	2	4	5
	SET_3																			0		0	1	1	1
	SET_4																					5	6	5	8
	28																								
Simqke	SET_1																						0	1	0
	SET_2																						0	0	
	SET_3																						0	0	
	SET_4																						0	0	
	28																								

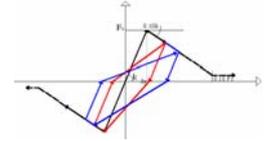
# Allegato 10 : Tabelle dei p-value relative al livello di test ‘totali a 28’

I valori riportati in grassetto, sono quelli che risultano minori di  $\alpha=0.05$ , ovvero in corrispondenza dei quali si ha il rigetto dell’ipotesi nulla (§ 5.1).



## Risultati in termini di Spostamento relativi al modello EPH:

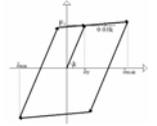
		P value (test A&W)---- SPOSTAMENTO (28)---- Modello EPBnD																			
Combo28	Periodo	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1	1.1	1.2	1.3	1.4	1.5	1.6	1.7	1.8	1.9	2
		<b>Elastico</b>																			
RNS	RSSF12	0.9104	0.8817	0.5391	0.3284	0.2270	0.1785	0.2226	0.3085	0.3595	0.3821	0.3284	0.3791	0.3861	0.4670	0.5197	0.6756	0.6979	0.6474	0.6968	0.6993
	RSSF5	0.9342	0.9871	0.4858	0.3904	0.3787	0.2426	0.5248	0.6818	0.7447	0.6661	0.5639	0.4625	0.4163	0.3606	0.3352	0.3227	0.2938	0.2816	0.2688	0.2812
	RSPMatch	0.6280	0.8945	0.5787	0.1720	0.1917	0.2714	0.2334	0.3120	0.3310	0.2781	0.1889	0.2494	0.2292	0.2288	0.2504	0.2726	0.3070	0.2953	0.2279	0.1943
	Belfagor	0.3588	0.8784	0.5466	0.1832	0.1861	0.2303	0.3371	0.3620	0.2722	0.3076	0.2346	0.2578	0.1917	0.2152	0.2488	0.2812	0.3253	0.3229	0.3001	0.2288
	Simqke	0.2245	0.8259	0.5515	0.1623	0.1416	0.2370	0.2764	0.2838	0.3283	0.2460	0.1253	0.1889	0.1998	0.1915	0.2467	0.1953	0.2364	0.2195	0.2131	0.1723
RSSF12	RSSF5	0.7726	0.8020	0.8848	0.8181	0.5767	0.6899	0.3665	0.3973	0.3711	0.4481	0.5846	0.8436	0.9188	0.8260	0.6280	0.4407	0.3632	0.3930	0.3196	0.3385
	RSPMatch	0.4274	0.9471	0.7961	0.4644	0.8939	0.4471	0.5448	0.7692	0.9058	0.8748	0.7516	0.7773	0.7394	0.5728	0.5257	0.3247	0.3443	0.3882	0.1990	0.1487
	Belfagor	0.0783	0.9795	0.8845	0.5173	0.9218	0.5408	0.4419	0.6517	0.9363	0.9637	0.9165	0.8042	0.6109	0.5337	0.5216	0.3408	0.3777	0.4441	0.3190	0.1984
	Simqke	0.5644	0.7660	0.6388	0.2755	0.4828	0.6941	0.5083	0.3605	0.2038	0.2193	0.2862	0.5884	0.6085	0.7494	0.9134	0.9533	0.7465	0.7345	0.8897	0.9638
	RSSF5	0.1128	0.7330	0.7247	0.3175	0.4615	0.8558	0.6282	0.4563	0.1335	0.2741	0.3911	0.6126	0.4823	0.6978	0.9070	0.9276	0.7006	0.6654	0.6796	0.9158
RSPMatch	Belfagor	0.0325	0.6259	0.7080	0.2441	0.2949	0.8282	0.4620	0.3096	0.2012	0.1690	0.1537	0.4085	0.5094	0.6073	0.8987	0.7653	0.9679	0.9741	0.9447	0.8760
	Simqke	0.0251	0.9149	0.8686	0.4205	0.8680	0.5247	0.5915	0.8468	0.9149	0.7689	0.4854	0.5588	0.6388	0.4650	0.5161	0.1826	0.2252	0.2441	0.1778	0.1199
	Belfagor	0.6309	0.6918	0.5012	0.6471	0.7915	0.2441	0.2616	0.2166	0.0812	0.4617	0.1465	0.8210	0.0543	0.5607	0.9296	0.7987	0.6176	0.4451	<b>0.0227</b>	0.1768
	Simqke	0.3613	<b>0.0290</b>	0.3793	0.5272	<b>0.0054</b>	0.3505	0.6489	0.4669	0.9272	0.2747	<b>0.0046</b>	0.0519	0.1491	<b>0.0495</b>	<b>0.8637</b>	<b>0.0037</b>	<b>0.0140</b>	<b>0.0045</b>	0.5960	0.3601
	Belfagor	0.3588	0.8784	0.5466	0.1832	0.1861	0.2303	0.3371	0.3620	0.2722	0.3076	0.2346	0.2578	0.1917	0.2152	0.2488	0.2812	0.3253	0.3229	0.3001	0.2288
<b>R=2</b>																					
RNS	RSSF12	0.4741	0.9032	0.1830	0.5052	0.3605	0.6328	0.3748	0.8217	0.3777	0.6182	0.6216	0.4302	0.5106	0.7278	0.2408	0.7995	0.6176	0.3917	0.3654	0.3518
	RSSF5	0.6323	0.7772	0.2015	0.5284	0.7192	0.5639	0.7188	0.9324	0.4745	0.8896	0.7867	0.6517	0.5464	0.3598	0.3320	0.2757	0.2620	0.2482	0.2464	0.2198
	RSPMatch	0.6523	0.9145	0.3475	0.5214	0.5476	0.5344	0.6525	0.7374	0.6168	0.3813	0.3680	0.3622	0.2610	0.2499	0.2699	0.2696	0.2820	0.1830	0.1509	0.1191
	Belfagor	0.7974	0.9897	0.5408	0.6030	0.6447	0.6729	0.4805	0.5398	0.7053	0.8400	0.9536	0.9180	0.8341	0.9966	0.8132	0.7933	0.6800	0.5656	0.4779	0.3875
	Simqke	0.2675	0.6233	0.1678	0.0892	0.1756	0.2275	0.4026	0.6384	0.2587	0.6429	0.4801	0.3094	0.3168	0.3202	0.2237	0.2108	0.2744	0.2031	0.0746	0.0657
RSSF12	RSSF5	0.6549	0.5152	0.8490	0.9460	0.3601	0.9292	0.3508	0.8272	0.7790	0.8714	0.7498	0.6219	0.9289	0.3966	0.2620	0.2333	0.3879	0.6743	0.7223	0.6371
	RSPMatch	0.6859	0.6861	0.3563	0.8882	0.4941	0.9223	0.2845	0.2950	0.3967	0.5845	0.5879	0.9809	0.5282	0.1729	0.1175	0.1674	0.4052	0.5719	0.5290	0.4764
	Belfagor	0.2917	0.8079	0.1443	0.6623	0.3379	0.6633	0.6609	0.5277	0.3171	0.2274	0.4402	0.2145	0.3792	0.4818	0.9746	0.9623	0.7933	0.5180	0.5992	0.7303
	Simqke	0.0005	0.5564	0.9045	<b>0.0331</b>	0.5321	0.3773	0.8608	0.6906	0.7976	0.6643	0.8158	0.8386	0.6687	0.2741	0.0791	0.1065	0.3879	0.7909	0.2378	0.1865
	RSSF5	RSPMatch	0.9904	0.6552	0.3847	0.9556	0.6645	0.9935	0.8905	0.4298	0.6100	0.4224	0.3268	0.4833	0.4347	0.8137	0.9529	0.8355	0.7357	0.9242	0.8890
Belfagor	0.5608	0.5172	0.1265	0.7266	0.8761	0.7235	0.5172	0.3680	0.4942	0.2703	0.6935	0.5014	0.4234	0.0717	0.1313	0.1014	0.1719	0.2905	0.3346	0.3867	
Simqke	0.0006	0.0657	0.9107	<b>0.0268</b>	<b>0.0499</b>	0.2905	0.3649	0.4936	0.5265	0.9675	0.5009	0.3807	0.5711	0.9554	0.8001	0.9589	0.7408	0.8157	0.5647	0.4877	
RSPMatch	Belfagor	0.6542	0.7805	0.3440	0.5624	0.6752	0.6177	0.4355	<b>0.0178</b>	0.7748	<b>0.0033</b>	<b>0.0278</b>	<b>0.0116</b>	<b>0.0011</b>	<b>3.0E-06</b>	<b>0.0063</b>	<b>0.0007</b>	<b>0.0111</b>	<b>0.0095</b>	<b>0.0104</b>	<b>0.0153</b>
Simqke	0.0053	0.0675	0.2365	<b>0.0012</b>	<b>0.0303</b>	0.1544	0.2449	<b>0.0158</b>	<b>0.0488</b>	0.2631	0.3554	0.7743	0.6783	0.9393	0.8324	0.6264	0.8832	0.5981	0.2778	0.2369	
Belfagor	0.0012	1.0E-06	0.1457	<b>0.0377</b>	<b>0.0001</b>	<b>0.0048</b>	0.0522	0.7441	0.7024	<b>0.0433</b>	<b>0.0490</b>	0.0669	<b>0.0075</b>	<b>0.0080</b>	<b>5.0E-06</b>	<b>3.9E-05</b>	<b>0.0003</b>	<b>0.0047</b>	<b>0.0143</b>	<b>0.0001</b>	<b>2.4E-05</b>
<b>R=3</b>																					
RNS	RSSF12	0.3276	0.3893	0.2921	0.4982	0.6375	0.9196	0.6611	0.8780	0.4773	0.4214	0.4473	0.3887	0.4190	0.3979	0.4036	0.3548	0.2846	0.2685	0.2322	0.2817
	RSSF5	0.3183	0.2787	0.3507	0.8305	0.9786	0.5120	0.8311	0.9664	0.6784	0.5295	0.4178	0.3622	0.2569	0.2554	0.2334	0.1617	0.1655	0.1339	0.1241	0.1661
	RSPMatch	0.8267	0.8128	0.4423	0.7226	0.9898	0.4949	0.9144	0.9459	0.8335	0.6003	0.5857	0.5995	0.6048	0.3868	0.2682	0.2181	0.1761	0.1403	0.1030	0.1243
	Belfagor	0.9080	0.7608	0.2014	0.8838	0.9954	0.4196	0.8891	0.4660	0.6258	0.8167	0.5597	0.7822	0.9118	0.9795	0.9446	0.9562	0.9322	0.9952	0.9553	0.9913
	Simqke	0.6293	0.8027	0.3256	0.5297	0.7360	0.8259	0.7294	0.9323	0.6882	0.7149	0.7119	0.4959	0.2770	0.1695	0.1678	0.1649	0.1404	0.1126	0.0556	0.0691
RSSF12	RSSF5	0.9009	0.7393	0.7768	0.4129	0.4553	0.8295	0.2910	0.3628	0.6787	0.8289	0.9060	0.6259	0.6517	0.5974	0.5169	0.4643	0.6049	0.6338	0.6490	
	RSPMatch	0.1537	0.2172	0.5218	0.5038	0.3004	0.3180	0.2907	0.2475	0.3512	0.4777	0.6089	0.4863	0.5475	0.9082	0.7754	0.7760	0.8417	0.7870	0.7288	0.6720
	Belfagor	0.0277	0.2229	0.7784	0.2648	0.3055	0.2244	0.5410	<b>0.0270</b>	0.0519	<b>0.0581</b>	<b>0.0326</b>	0.0580	0.1218	0.1702	0.1997	0.1600	0.0759	0.0896	0.0568	0.0996
	Simqke	0.2542	0.1937	0.7674	0.8495	0.7271	0.8472	0.8090	0.3578	0.5107	0.3944	0.4513	0.6502	0.7740	0.4847	0.4808	0.6246	0.7380	0.7086	0.4904	0.4443
	RSSF5	RSPMatch	0.0486	0.0511	0.6869	0.7884	0.9032	0.9695	0.8126	0.9684	0.6818	0.7763	0.5546	0.4528	0.2684	0.5214	0.7024	0.6029	0.7083	0.7014	0.7915
Belfagor	0.0001	<b>0.0382</b>	0.4866	0.8674	0.9478	0.8483	0.4713	0.2310	0.1392	0.0724	<b>0.0357</b>	0.0723	0.0557	0.0907	0.0835	<b>0.0418</b>	<b>0.0356</b>	<b>0.0296</b>	<b>0.0237</b>	<b>0.0465</b>	
Simqke	0.0554	<b>0.0320</b>	0.9758	0.3926	0.5489	0.3801	0.2569	0.8128	0.9113	0.5980	0.4153	0.5935	0.7180	0.9768	0.7047	0.7748	0.7430	0.9594	0.9520		
RSPMatch	Belfagor	0.3105	0.8660	0.2761	0.5774	0.9330	0.7403	0.4718	0.0866	0.0757	<b>0.0017</b>	<b>0.0008</b>	<b>0.0373</b>	0.1334	0.0612	<b>0.0207</b>	<b>0.0127</b>	<b>0.0029</b>	<b>0.0018</b>	<b>0.0003</b>	<b>0.0007</b>
Simqke	0.4565	0.9821	0.5879	0.4837	0.3042	0.2281	0.1768	0.6925	0.6511	0.3519	0.3554	0.7743	0.6783	0.9393	0.8324	0.6264	0.8832	0.5981	0.2778	0.2369	
Belfagor	0.0012	0.8627	0.4055	0.1565	0.2927	0.1260	0.5396	<b>0.0280</b>	<b>0.0165</b>	<b>0.0151</b>	<b>0.0090</b>	<b>0.0133</b>	<b>0.0021</b>	<b>0.0013</b>	<b>0.0015</b>	<b>0.0016</b>	<b>0.0003</b>	<b>0.0001</b>	<b>0.0000</b>	<b>0.0000</b>	
<b>R=4</b>																					
RNS	RSSF12	0.1885	0.3583	0.4242	0.7362	0.6471	0.7675	0.6914	0.4345	0.5821	0.6118	0.5179	0.4594	0.3743	0.3535	0.3809	0.4232	0.4324	0.4259	0.4454	0.5157
	RSSF5	0.1849	0.3964	0.4701	0.9563	0.8408	0.8528	0.7457	0.4694	0.5917	0.6612	0.5162	0.4457	0.3470	0.2880	0.2019	0.1772	0.1396	0.1584	0.1231	0.2285
	RSPMatch	0.5550	0.8607	0.7450	0.9265	0.8360	0.9604	0.8783	0.9687	0.7339	0.7300	0.5377	0.4255	0.3524	0.2439	0.					



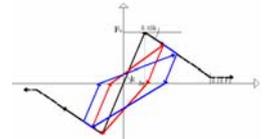
## Risultati in termini di Spostamento relativi al modello ESD:

		P value (test A&W)---- SPOSTAMENTO (28)---- Modello EPTD																			
Combo28	Periodo	R=2																			
		0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0	1.1	1.2	1.3	1.4	1.5	1.6	1.7	1.8	1.9	2.0
RNS	RSSF12	0.5692	0.4909	0.6388	0.9807	0.5599	0.9141	0.6226	0.6538	0.6299	0.7608	0.9073	0.7471	0.8445	0.8642	0.8555	0.7090	0.6051	0.5450	0.5775	0.5518
	RSSF5	0.7644	0.1633	0.7722	0.9760	0.9692	0.6919	0.9770	0.9087	0.8993	0.7949	0.9354	0.8385	0.5367	0.3258	0.2836	0.2922	0.3264	0.2776	0.2528	0.2278
	RSPMatch	0.7782	0.0723	0.8105	0.8488	0.8215	0.8736	0.9045	0.6724	0.9386	0.7249	0.9126	0.8682	0.6332	0.5714	0.5056	0.4258	0.3110	0.2102	0.1996	0.1556
	Belfagor	0.0008	0.0799	0.9833	0.8817	0.5704	0.4337	0.7454	0.4159	0.4759	0.4380	0.4741	0.6484	0.7666	0.7716	0.9923	0.8786	0.9298	0.8452	0.7446	0.7382
	Simqke	0.0000	0.2081	0.9257	0.9552	0.9434	0.6288	0.6367	0.5594	0.8711	0.6701	0.6179	0.9750	0.8704	0.7437	0.7533	0.8527	0.7079	0.5859	0.5284	0.4319
RSSF12	RSSF5	0.3030	0.2028	0.6949	0.9161	0.3290	0.4011	0.4593	0.6542	0.6087	0.9569	0.9632	0.8849	0.5309	0.2517	0.2217	0.3591	0.5248	0.4996	0.4181	0.3990
	RSPMatch	0.3299	<b>0.0317</b>	0.1200	0.6075	0.4050	0.6009	0.1966	0.1345	0.3145	0.9923	0.9709	0.7236	0.6174	0.4885	0.4266	0.5531	0.5099	0.3678	0.3037	0.2449
	Belfagor	<b>0.0010</b>	<b>0.0400</b>	0.2659	0.6782	<b>0.0157</b>	0.0835	0.0864	<b>0.0358</b>	<b>0.0453</b>	0.0629	0.1427	0.1336	0.3157	0.3646	0.7292	0.6478	0.4178	0.4148	0.6029	0.5689
	Simqke	0.0000	0.2995	0.2033	0.9431	0.1394	0.2554	<b>0.0463</b>	0.0810	0.1979	0.1989	0.2715	0.4635	0.9156	0.7977	0.8498	0.6897	0.7168	0.8114	0.9802	0.8763
	RSPMatch	0.9929	0.1766	0.1097	0.7040	0.6783	0.5720	0.7744	0.3893	0.7009	0.9361	0.9792	0.9120	0.7119	0.3962	0.3867	0.5275	0.8257	0.9499	0.9048	0.9654
RSSF5	RSSF5	0.0000	0.2380	0.3356	0.7793	0.1688	0.4164	0.4943	0.1443	0.1324	0.0934	0.1989	0.2937	0.1314	<b>0.0451</b>	0.0772	0.1262	0.1426	0.1364	0.1606	0.1450
	RSPMatch	0.0000	0.6000	0.2301	0.8366	0.7939	0.8927	0.3350	0.2681	0.4870	0.2560	0.3440	0.6788	0.3980	0.2323	0.1714	0.1391	0.2685	0.2998	0.3042	0.3563
	Simqke	0.0000	0.6000	0.2301	0.8366	0.7939	0.8927	0.3350	0.2681	0.4870	0.2560	0.3440	0.6788	0.3980	0.2323	0.1714	0.1391	0.2685	0.2998	0.3042	0.3563
	Belfagor	0.0000	0.7875	0.2944	0.8529	<b>0.0021</b>	<b>0.0125</b>	0.3881	0.1201	<b>0.0430</b>	<b>0.0000</b>	<b>0.0004</b>	<b>0.0021</b>	<b>0.0004</b>	<b>0.0002</b>	<b>0.0032</b>	<b>0.0118</b>	<b>0.0016</b>	<b>0.0006</b>	<b>0.0025</b>	<b>0.0022</b>
	Simqke	0.0000	<b>0.0125</b>	0.4567	0.3153	0.1993	0.2452	0.1385	0.5318	<b>0.0533</b>	<b>0.0010</b>	<b>0.0061</b>	<b>0.2974</b>	<b>0.1433</b>	<b>0.2893</b>	<b>0.1001</b>	<b>0.0208</b>	<b>0.0204</b>	<b>0.0151</b>	<b>0.0290</b>	<b>0.0477</b>
Belfagor	Simqke	0.0026	<b>0.0232</b>	0.7108	0.4020	<b>0.0215</b>	0.1998	0.4753	<b>0.4223</b>	0.0741	0.1721	<b>0.0031</b>	<b>0.0036</b>	<b>0.0004</b>	<b>0.0032</b>	0.8387	0.0091	<b>0.0330</b>	<b>0.0492</b>	<b>0.0126</b>	
		R=4																			
RNS	RSSF12	0.0673	<b>0.0135</b>	<b>0.0374</b>	0.7956	0.5880	0.8826	0.5415	0.4596	0.6380	0.4568	0.5470	0.4752	0.4874	0.4544	0.4318	0.4197	0.4463	0.4961	0.4920	0.5998
	RSSF5	0.0394	<b>0.0457</b>	0.2508	0.8813	0.6852	0.8347	0.7903	0.4831	0.5246	0.3653	0.3351	0.3060	0.3046	0.2100	0.1661	0.1769	0.1933	0.2086	0.2256	0.2421
	RSPMatch	0.0384	<b>0.0100</b>	0.4555	0.7866	0.4354	0.4667	0.8850	0.5526	0.7520	0.7248	0.7088	0.4623	0.3479	0.2329	0.2089	0.2142	0.2037	0.2260	0.2100	0.1999
	Belfagor	0.0193	<b>0.0027</b>	0.1437	0.2123	0.3307	0.3635	0.4823	0.4427	0.6283	0.8448	0.8017	0.7429	0.7069	0.7863	0.8076	0.7143	0.5370	0.4815	0.4542	0.5126
	Simqke	0.0003	<b>0.0001</b>	<b>0.0157</b>	0.7293	0.7348	0.8184	0.4778	0.4597	0.4168	0.6601	0.5913	0.8505	0.8244	0.5848	0.4010	0.4290	0.4193	0.4259	0.4415	0.4687
RSSF12	RSSF5	0.9466	0.5333	0.2632	0.5796	0.2509	0.6643	0.6927	0.9982	0.8143	0.7928	0.6274	0.6657	0.6330	0.4737	0.3947	0.4590	0.4757	0.4756	0.5108	0.4220
	RSPMatch	0.9888	0.8574	<b>0.0494</b>	0.4089	0.0729	0.2040	0.2471	0.0546	0.2626	0.5208	0.6824	0.9144	0.7995	0.5772	0.5418	0.6105	0.5600	0.5702	0.5393	0.3660
	Belfagor	0.6480	0.5389	0.3584	<b>0.0125</b>	<b>0.0301</b>	0.1185	0.0578	<b>0.0327</b>	0.1626	0.1428	0.1870	0.1075	0.0835	0.0893	0.1039	0.0617	<b>0.0400</b>	0.0503	<b>0.0436</b>	0.0890
	Simqke	0.0074	<b>0.0081</b>	0.7804	0.3114	0.1915	0.5514	<b>0.0472</b>	<b>0.0329</b>	0.0665	0.0703	0.0876	0.1535	0.3778	0.6224	0.9151	0.8170	0.8958	0.9773	0.9378	0.8965
	RSPMatch	0.9301	0.5588	0.5115	0.8801	0.6765	0.5568	0.5631	0.0897	0.2111	0.3993	0.3742	0.5469	0.7414	0.7410	0.6715	0.7055	0.7723	0.7556	0.8349	0.9088
RSSF5	RSSF5	0.5471	0.1890	0.7624	0.1133	0.5119	0.4172	0.2042	0.0589	0.1422	0.1289	0.0971	0.0634	<b>0.0461</b>	<b>0.0307</b>	<b>0.0267</b>	<b>0.0166</b>	<b>0.0118</b>	<b>0.0109</b>	<b>0.0118</b>	<b>0.0191</b>
	Belfagor	0.0000	<b>0.0016</b>	0.1345	0.7975	0.8598	0.9734	0.1889	0.0605	0.0664	0.0726	<b>0.0492</b>	0.0876	0.1904	0.2107	0.2658	0.2677	0.3222	0.3545	0.3696	0.3725
	Simqke	0.4080	0.2905	0.2705	0.0575	0.7806	0.7269	0.2354	0.6863	0.7265	0.2447	0.1815	<b>0.0124</b>	<b>0.0043</b>	<b>0.0026</b>	<b>0.0042</b>	<b>0.0019</b>	<b>0.0005</b>	<b>0.0004</b>	<b>0.0002</b>	<b>0.0004</b>
	RSPMatch	0.0000	<b>0.0000</b>	<b>0.0102</b>	0.9030	0.3892	0.2491	0.1733	0.7330	0.2715	0.0865	0.0514	<b>0.0270</b>	0.0872	0.1278	0.2836	0.2743	0.2825	0.3406	0.2835	0.2107
	Belfagor	Simqke	0.0000	<b>0.0014</b>	0.1820	<b>0.0298</b>	0.1492	0.0884	0.9711	0.9248	0.3909	0.4666	0.3199	0.6488	0.0558	<b>0.0060</b>	<b>0.0003</b>	<b>0.0001</b>	<b>0.0000</b>	<b>0.0000</b>	<b>0.0000</b>
		R=6																			
RNS	RSSF12	0.1820	<b>0.0010</b>	<b>0.0049</b>	<b>0.0110</b>	<b>0.0426</b>	0.1124	0.3103	0.4743	0.6504	0.5203	0.4519	0.4438	0.4840	0.5900	0.7063	0.9088	0.8108	0.5288	0.5863	0.6609
	RSSF5	0.1122	<b>0.0043</b>	<b>0.0175</b>	0.1028	0.1779	0.2825	0.1622	0.2751	0.4669	0.3114	0.2088	0.2237	0.2717	0.2034	0.2363	0.2738	0.3787	0.4884	0.4951	0.5101
	RSPMatch	0.5606	<b>0.0270</b>	<b>0.0117</b>	<b>0.0357</b>	0.0752	0.1399	0.2402	0.3193	0.2802	0.2068	0.2152	0.2595	0.3002	0.2309	0.1760	0.2690	0.4427	0.4896	0.4681	0.4687
	Belfagor	0.0958	<b>0.0014</b>	<b>0.0002</b>	<b>0.0113</b>	<b>0.0244</b>	<b>0.0299</b>	0.0717	0.2101	0.2637	0.5563	0.9274	0.7502	0.6227	0.5022	0.5615	0.5351	0.4055	0.2706	0.2501	0.2702
	Simqke	0.0014	<b>0.0001</b>	<b>0.0000</b>	<b>0.0001</b>	<b>0.0006</b>	<b>0.0004</b>	<b>0.0031</b>	<b>0.0023</b>	<b>0.0216</b>	<b>0.0166</b>	<b>0.0098</b>	0.0553	0.1138	0.1683	0.2337	0.3144	0.4718	0.6154	0.6381	0.5978
RSSF12	RSSF5	0.8460	0.3468	0.5645	0.3382	0.4725	0.5778	0.6151	0.6277	0.8561	0.6238	0.5002	0.5459	0.5893	0.3551	0.3150	0.2314	0.1795	0.1132	0.1363	0.1844
	RSPMatch	0.3170	<b>0.0145</b>	0.5020	0.4544	0.5851	0.7872	0.8881	0.7757	0.5941	0.4639	0.5731	0.6942	0.7067	0.4211	0.2146	0.1961	0.1795	0.0651	0.0756	0.1117
	Belfagor	0.7562	0.7339	0.1510	0.9399	0.9274	0.5290	0.3665	0.5475	0.5840	0.8531	0.2044	0.1136	0.0721	0.0725	0.1488	0.2729	0.4027	0.5187	0.3837	0.3445
	Simqke	0.0460	<b>0.0298</b>	<b>0.0050</b>	0.0528	0.0529	<b>0.0052</b>	<b>0.0120</b>	<b>0.0023</b>	<b>0.0372</b>	<b>0.0259</b>	<b>0.0172</b>	0.1602	0.2745	0.2983	0.3026	0.2425	0.1849	0.0861	0.1255	0.1523
	RSPMatch	0.1895	0.1561	0.9986	0.7217	0.7561	0.7213	0.6857	0.7827	0.7705	0.9112	0.8076	0.7548	0.7963	0.7512	0.9111	0.8677	0.7957	0.9152	0.9620	0.9896
RSSF5	RSSF5	0.8971	0.4739	<b>0.0481</b>	0.3585	0.3740	0.2285	0.7972	0.9941	0.7812	0.4645	0.0691	<b>0.0449</b>	<b>0.0329</b>	<b>0.0111</b>	<b>0.0111</b>	<b>0.0217</b>	<b>0.0266</b>	<b>0.0225</b>	<b>0.0179</b>	<b>0.0231</b>
	Belfagor	0.0530	<b>0.0036</b>	<b>0.0016</b>	<b>0.0094</b>	<b>0.0143</b>	<b>0.0022</b>	0.0669	<b>0.0211</b>	0.0846	0.1592	0.2194	0.6058	0.7274	0.8883	0.8456	0.7682	0.7228	0.7086	0.6928	0.7667
	Simqke	0.1598	<b>0.0182</b>	<b>0.0122</b>	0.4852	0.4354	0.2871	0.4017	0.7142	0.9539	0.2405	<b>0.0261</b>	<b>0.0168</b>	<b>0.0069</b>	<b>0.0009</b>	<b>0.0007</b>	<b>0.0021</b>	<b>0.0070</b>	<b>0.0025</b>	<b>0.0014</b>	<b>0.0023</b>
	RSPMatch	0.0010	<b>0.0000</b>	<b>0.0001</b>	<b>0.0036</b>	<b>0.0029</b>	<b>0.0003</b>	<b>0.0082</b>	<b>0.0007</b>	<b>0.0587</b>	<b>0.0797</b>	<b>0.0340</b>	0.4110	0.7999	0.7895	0.8668	0.9135	0.7015	0.6529	0.7156	
	Belfagor	Simqke	0.0781	<b>0.0048</b>	<b>0.0124</b>	<b>0.0341</b>	<b>0.0179</b>	<b>0.0016</b>	<b>0.0227</b>	<b>0.0008</b>	<b>0.0199</b>	<b>0.0012</b>	<b>0.0000</b>	<b>0.0001</b>	<b>0.0001</b>	<b>0.0001</b>	<b>0.0001</b>	<b>0.0001</b>	<b>0.0000</b>	<b>0.0000</b>	<b>0.0000</b>
		R=8																			
RNS	RSSF12	0.0751	<b>0.0097</b>	<b>0.0034</b>	<b>0.0024</b>	<b>0.0480</b>	0.1160	0.2312	0.1828	0.3941	0.3746	0.5572									

## Risultati in termini di Dkin relativi al modello EPH:

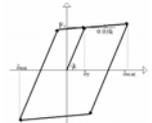


		P value (test A&W)----Duttilità cinematica (28)--- Modello EPBnD																			
Combo28	Periodo	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1	1.1	1.2	1.3	1.4	1.5	1.6	1.7	1.8	1.9	2
		<b>R=2</b>																			
RNS	RSSF12	0.47412	0.90323	0.18298	0.50518	0.36048	0.53281	0.3748	0.82169	0.37168	0.618	0.622	0.43	0.511	0.72777	0.8204	0.8	0.618	0.39167	0.365	0.3518
	RSSF5	0.63228	0.77718	0.2015	0.52842	0.71915	0.5639	0.71881	0.93243	0.47452	0.69	0.787	0.652	0.546	0.35978	0.332	0.276	0.262	0.24824	0.246	0.21981
	RSPMatch	0.8523	0.91445	0.34753	0.52136	0.54758	0.53437	0.65252	0.73743	0.61677	0.381	0.369	0.362	0.261	0.24987	0.2659	0.27	0.282	0.18298	0.151	0.11915
	Belfagor	0.79742	0.98972	0.54085	0.60304	0.64471	0.67287	0.4805	0.53982	0.70534	0.841	0.954	0.918	0.834	0.99657	0.8132	0.793	0.68	0.56556	0.478	0.38868
	Simqke	0.26748	0.62327	0.16785	0.08922	0.17558	0.22747	0.40262	0.63838	0.25867	0.643	0.48	0.309	0.317	0.32019	0.2237	0.211	0.274	0.2301	0.075	0.0575
RSSF12	RSSF5	0.65485	0.51518	0.84895	0.94604	0.36009	0.92917	0.35077	0.82725	0.77905	0.871	0.75	0.622	0.929	0.39663	0.262	0.233	0.388	0.67435	0.722	0.6761
	RSPMatch	0.68586	0.68606	0.35633	0.88822	0.49409	0.92234	0.28452	0.29495	0.39674	0.595	0.588	0.981	0.528	0.17288	0.1175	0.167	0.405	0.57194	0.529	0.43744
	Belfagor	0.29174	0.8079	0.14434	0.66232	0.33792	0.66328	0.66088	0.52771	0.31706	0.227	0.44	0.215	0.379	0.48178	0.9746	0.962	0.793	0.51801	0.599	0.73031
	Simqke	0.00047	0.55642	0.90448	<b>0.03309</b>	0.53209	0.37728	0.86084	0.69056	0.79763	0.864	0.816	0.839	0.669	0.27413	0.0791	0.107	0.388	0.73093	0.238	0.18653
RSSF5	RSPMatch	0.99044	0.65524	0.38469	0.95557	0.6645	0.99352	0.89053	0.42984	0.61002	0.422	0.327	0.483	0.435	0.81365	0.9529	0.835	0.736	0.99243	0.889	0.84409
	Belfagor	0.56085	0.51723	0.12648	0.72659	0.87614	0.72352	0.5172	0.36803	0.49418	0.27	0.694	0.501	0.423	0.0717	0.1313	0.101	0.172	0.25054	0.335	0.38571
	Simqke	0.00059	0.06572	0.91071	<b>0.02681</b>	<b>0.04993</b>	0.2905	0.36486	0.49365	0.52685	0.968	0.501	0.381	0.571	0.95535	0.8061	0.959	0.746	0.81572	0.505	0.4877
RSPMatch	Belfagor	0.65417	0.78045	0.34396	0.62236	0.67639	0.61775	0.43549	<b>0.01778</b>	0.75189	<b>0.003</b>	<b>0.028</b>	<b>0.012</b>	<b>0.001</b>	<b>3E-06</b>	<b>0.0003</b>	<b>7E-04</b>	<b>0.011</b>	<b>0.00954</b>	<b>0.01</b>	<b>0.01526</b>
	Simqke	0.00527	0.06754	0.20551	<b>0.00122</b>	<b>0.0303</b>	0.15435	0.24486	<b>0.0158</b>	<b>0.04876</b>	0.125	0.555	0.717	0.683	0.49577	0.682	0.606	0.965	0.5861	0.228	0.26685
Belfagor	Simqke	1E-06	0.1457	<b>0.03768</b>	<b>0.00013</b>	<b>0.00484</b>	0.05225	0.74413	0.70243	<b>0.04327</b>	<b>0.049</b>	<b>0.067</b>	<b>0.008</b>	<b>0.008</b>	<b>5E-06</b>	<b>4E-05</b>	<b>3E-04</b>	<b>0.005</b>	<b>0.02452</b>	<b>1E-04</b>	<b>2.4E-05</b>
<b>R=4</b>																					
RNS	RSSF12	0.32755	0.38931	0.29205	0.49819	0.63785	0.91963	0.68109	0.57796	0.47732	0.421	0.447	0.389	0.419	0.3979	0.4056	0.355	0.285	0.26825	0.232	0.29172
	RSSF5	0.31826	0.27869	0.35069	0.83048	0.97859	0.51199	0.83108	0.96643	0.67837	0.53	0.418	0.362	0.257	0.25544	0.2334	0.162	0.165	0.1339	0.124	0.16615
	RSPMatch	0.82669	0.81275	0.44229	0.72256	0.96977	0.49488	0.91444	0.94588	0.83352	0.59	0.586	0.599	0.605	0.3668	0.2682	0.218	0.176	0.14026	0.103	0.1243
	Belfagor	0.90805	0.76076	0.20142	0.88379	0.9954	0.41957	0.88909	0.46604	0.62585	0.617	0.56	0.782	0.912	0.97953	0.9446	0.956	0.932	0.95157	0.955	0.90988
	Simqke	0.62933	0.80271	0.32563	0.52974	0.73598	0.82585	0.72938	0.93234	0.6882	0.715	0.712	0.496	0.277	0.1695	0.1678	0.165	0.14	0.11259	0.056	0.06914
RSSF12	RSSF5	0.9009	0.73933	0.7768	0.41291	0.45534	0.39252	0.29104	0.36279	0.67614	0.829	0.928	0.906	0.626	0.65168	0.5974	0.517	0.647	0.6049	0.634	0.64898
	RSPMatch	0.15369	0.2172	0.52182	0.50384	0.30036	0.31805	0.29069	0.24753	0.35122	0.548	0.609	0.486	0.547	0.90822	0.7754	0.776	0.842	0.78697	0.729	0.67199
	Belfagor	0.02772	0.22288	0.77838	0.26482	0.30554	0.22437	0.54096	<b>0.02704</b>	0.05189	<b>0.028</b>	<b>0.033</b>	0.058	0.122	0.17016	0.1997	0.16	0.076	0.0896	0.057	0.09588
	Simqke	0.25416	0.19368	0.76739	0.84953	0.72712	0.84718	0.80901	0.35782	0.01069	0.394	0.451	0.65	0.774	0.48471	0.4808	0.625	0.738	0.70856	0.49	0.44428
RSSF5	RSPMatch	0.04857	0.05109	0.68694	0.78837	0.90317	0.96955	0.81259	0.96837	0.68179	0.776	0.555	0.453	0.268	0.52406	0.7024	0.603	0.708	0.7014	0.792	0.86469
	Belfagor	0.00012	<b>0.03821</b>	0.4866	0.86742	0.9478	0.84834	0.4713	0.231	0.13917	0.072	<b>0.036</b>	0.072	0.056	0.0907	0.0835	<b>0.042</b>	<b>0.036</b>	<b>0.02964</b>	<b>0.024</b>	<b>0.04646</b>
	Simqke	0.05541	<b>0.032</b>	0.97582	0.39262	0.54886	0.38009	0.25694	0.81275	0.91126	0.598	0.415	0.59	0.718	0.97664	0.9624	0.705	0.775	0.74298	0.999	0.92299
RSPMatch	Belfagor	0.31048	0.86595	0.21608	0.57739	0.93299	0.74028	0.47193	0.08659	0.07568	<b>0.002</b>	<b>8E-04</b>	<b>0.037</b>	0.133	0.06116	<b>0.0207</b>	<b>0.013</b>	<b>0.003</b>	<b>0.00177</b>	<b>3E-04</b>	<b>0.00072</b>
	Simqke	0.45553	0.98207	0.58795	0.48368	0.30424	0.22812	0.17681	0.66246	0.56109	0.619	0.6	0.672	0.117	0.15906	0.5015	0.762	0.834	0.88115	0.574	0.59094
Belfagor	Simqke	0.00117	0.86269	0.40546	0.15648	0.29272	0.12598	0.5396	<b>0.02798</b>	<b>0.01654</b>	<b>0.015</b>	<b>0.009</b>	<b>0.013</b>	<b>0.002</b>	<b>0.00134</b>	<b>0.0015</b>	<b>0.002</b>	<b>3E-04</b>	<b>8.5E-05</b>	<b>#####</b>	<b>1E-06</b>
<b>R=6</b>																					
RNS	RSSF12	0.1885	0.3583	0.42424	0.7362	0.6471	0.76751	0.69145	0.43452	0.58209	0.612	0.518	0.459	0.374	0.35354	0.3809	0.423	0.432	0.42591	0.445	0.51573
	RSSF5	0.18492	0.36637	0.47008	0.95627	0.84079	0.85276	0.74566	0.46936	0.5917	0.661	0.516	0.446	0.347	0.28803	0.2019	0.177	0.14	0.15841	0.183	0.22849
	RSPMatch	0.55498	0.89067	0.74497	0.92654	0.83602	0.96037	0.87832	0.96865	0.73389	0.73	0.538	0.426	0.352	0.24388	0.1912	0.179	0.169	0.1901	0.252	0.31938
	Belfagor	0.99049	0.83019	0.81241	0.79292	0.75936	0.86651	0.43542	0.37764	0.35899	0.559	0.806	0.83	0.933	0.90802	0.8775	0.945	0.974	0.99812	0.961	0.8488
	Simqke	0.5801	0.74505	0.78993	0.84615	0.93537	0.79719	0.89547	0.90854	0.82541	0.787	0.815	0.487	0.336	0.32264	0.283	0.206	0.13	0.13659	0.241	0.31782
RSSF12	RSSF5	0.89289	0.97242	0.85017	0.52622	0.2644	0.46795	0.91544	0.95663	0.99344	0.965	0.955	0.913	0.88	0.81018	0.867	0.474	0.383	0.42722	0.458	0.47606
	RSPMatch	0.10856	0.08852	0.34821	0.61097	0.15264	0.5093	0.30538	0.15676	0.65375	0.714	0.856	0.957	0.915	0.86713	0.6584	0.55	0.518	0.57546	0.688	0.71755
	Belfagor	0.00557	0.08977	0.26317	0.22593	0.09243	0.37248	<b>0.03456</b>	<b>0.0059</b>	<b>0.02441</b>	0.081	0.142	0.121	0.127	0.20157	0.2509	0.256	0.25	0.22089	0.209	0.20645
	Simqke	0.08275	0.14896	0.26492	0.72123	0.21003	0.28884	0.30175	0.09213	0.19587	0.2	0.428	0.799	0.915	0.88291	0.9531	0.652	0.425	0.44364	0.693	0.74645
RSSF5	RSPMatch	0.03315	0.09054	0.37552	0.7878	0.98633	0.7888	0.3828	0.21993	0.68064	0.806	0.826	0.864	0.789	0.88499	0.7953	0.754	0.662	0.67396	0.621	0.61617
	Belfagor	5.7E-05	0.09139	0.26593	0.7139	0.86449	0.94685	0.05191	<b>0.01285</b>	<b>0.04056</b>	0.163	0.194	0.172	0.151	0.16898	0.0955	0.066	<b>0.041</b>	<b>0.01791</b>	0.051	0.05428
	Simqke	0.01619	0.15304	0.26253	0.63016	0.78599	0.92766	0.38312	0.14135	0.24168	0.313	0.469	0.741	0.785	0.67031	0.5179	0.603	0.685	0.73777	0.563	0.54319
RSPMatch	Belfagor	0.0254	0.81117	0.81399	0.35298	0.76406	0.71422	0.06858	<b>0.01387</b>	<b>0.01033</b>	<b>0.012</b>	<b>0.026</b>	<b>0.017</b>	<b>0.032</b>	<b>0.03274</b>	<b>0.018</b>	<b>0.013</b>	<b>0.011</b>	<b>0.01309</b>	<b>0.023</b>	<b>0.02382</b>
	Simqke	0.88224	0.55998	0.85449	0.76385	0.67231	0.50769	0.93925	0.59981	0.0944	0.09	0.241	0.704	0.988	0.55066	0.4581	0.737	0.903	0.83882	0.943	0.91219
Belfagor	Simqke	0.0143	0.64999	0.93706	0.14323	0.41097	0.75003	<b>0.02771</b>	<b>0.03303</b>	0.06848	0.425	0.191	<b>0.013</b>	<b>0.013</b>	<b>0.04425</b>	<b>0.0283</b>	<b>0.005</b>	<b>5E-04</b>	<b>0.00049</b>	<b>0.004</b>	<b>0.00466</b>
<b>R=8</b>																					
RNS	RSSF12	0.1909	0.50561	0.59824	0.60085	0.54981	0.62144	0.4773	0.4559	0.65356	0.639	0.565	0.506	0.483	0.43722	0.428	0.48	0.52	0.57654	0.639	0.7292
	RSSF5	0.20219	0.5486	0.60877	0.92863	0.81912	0.77014	0.43479	0.46276	0.71034	0.635	0.469	0.39	0.391	0.28487	0.2419	0.2				



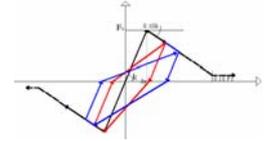
## Risultati in termini di Dkin relativi al modello ESD:

		P value (test A&W)---- Duttilità cinematica (28)--- Modello EPTD																			
Combo28	Periodo	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0	1.1	1.2	1.3	1.4	1.5	1.6	1.7	1.8	1.9	2.0
		R=2																			
RNS	RSSF12	0.5692	0.4909	0.6388	0.9807	0.5599	0.9141	0.6226	0.6538	0.6299	0.7608	0.9073	0.7471	0.8445	0.8642	0.8555	0.7090	0.6051	0.5450	0.5775	0.5518
	RSSF5	0.7644	0.1633	0.7722	0.9760	0.9692	0.6919	0.9770	0.9087	0.8993	0.7949	0.9354	0.8385	0.5367	0.3258	0.2836	0.2922	0.3264	0.2776	0.2528	0.2278
	RSPMatch	0.7782	0.0723	0.8105	0.8488	0.8215	0.8736	0.9045	0.6724	0.9386	0.7249	0.9126	0.8682	0.6332	0.5714	0.5056	0.4258	0.3110	0.2102	0.1996	0.1556
	Befagor	<b>0.0008</b>	0.0799	0.9833	0.8817	0.5704	0.4337	0.7454	0.4159	0.4759	0.4380	0.4741	0.6484	0.7666	0.7716	0.9923	0.8786	0.9298	0.8452	0.7446	0.7382
	Simqke	<b>0.0000</b>	0.2081	0.9257	0.9552	0.9434	0.6288	0.6367	0.5594	0.8011	0.6701	0.6179	0.9750	0.8704	0.7437	0.7533	0.8527	0.7079	0.5789	0.5284	0.4319
RSSF12	RSSF5	0.3030	0.2028	0.6949	0.9161	0.3290	0.4011	0.4593	0.6542	0.6087	0.9569	0.9632	0.8849	0.5309	0.2517	0.2217	0.3591	0.5248	0.4996	0.4181	0.3990
	RSPMatch	0.3299	<b>0.0317</b>	0.1200	0.6075	0.4050	0.6009	0.1966	0.1345	0.3145	0.9923	0.9709	0.7236	0.6174	0.4885	0.4266	0.5531	0.5099	0.3678	0.3037	0.2449
	Befagor	<b>0.0010</b>	<b>0.0400</b>	0.2659	0.6782	<b>0.0157</b>	0.0835	0.0864	<b>0.0358</b>	<b>0.0453</b>	0.0629	0.1427	0.1336	0.3157	0.3646	0.7292	0.6478	0.4178	0.4148	0.6029	0.5689
	Simqke	<b>0.0000</b>	0.2995	0.2033	0.9431	0.1394	0.2554	<b>0.0463</b>	0.0810	0.1979	0.1989	0.2715	0.4635	0.9156	0.7977	0.8498	0.6897	0.7168	0.8114	0.9802	0.8763
RSSF5	RSPMatch	0.9929	0.1766	0.1097	0.7040	0.6783	0.5720	0.7744	0.3893	0.7009	0.9361	0.9792	0.9120	0.7119	0.3962	0.3867	0.5275	0.8257	0.9499	0.9048	0.9654
	Befagor	<b>0.0000</b>	0.2380	0.3356	0.7793	0.1688	0.4164	0.4943	0.1443	0.1324	0.0934	0.1989	0.2937	0.1314	<b>0.0451</b>	0.0772	0.1262	0.1426	0.1364	0.1606	0.1450
	Simqke	<b>0.0000</b>	0.6000	0.2301	0.8366	0.7939	0.8927	0.3350	0.2681	0.4870	0.2560	0.3440	0.6788	0.3980	0.2323	0.1714	0.1391	0.2685	0.2988	0.3042	0.3563
RSPMatch	Befagor	<b>0.0000</b>	0.7875	0.2944	0.8529	<b>0.0021</b>	<b>0.0125</b>	0.3881	0.1201	<b>0.0043</b>	<b>0.0000</b>	<b>0.0004</b>	<b>0.0021</b>	<b>0.0004</b>	<b>0.0002</b>	<b>0.0032</b>	<b>0.0118</b>	<b>0.0016</b>	<b>0.0006</b>	<b>0.0025</b>	<b>0.0022</b>
	Simqke	<b>0.0000</b>	<b>0.0125</b>	0.4567	0.3153	0.1993	0.2452	0.1385	0.5318	<b>0.0033</b>	<b>0.0010</b>	<b>0.0061</b>	<b>0.0294</b>	0.1433	0.2893	0.1001	<b>0.0208</b>	<b>0.0204</b>	<b>0.0151</b>	<b>0.0290</b>	<b>0.0477</b>
Befagor	Simqke	<b>0.0026</b>	<b>0.0232</b>	0.7108	0.4020	<b>0.0215</b>	0.1998	0.4753	0.3559	<b>0.0523</b>	<b>0.0741</b>	<b>0.1721</b>	<b>0.0031</b>	<b>0.0036</b>	<b>0.0004</b>	<b>0.0032</b>	<b>0.8387</b>	<b>0.0091</b>	<b>0.0030</b>	<b>0.0492</b>	<b>0.0126</b>
R=4																					
RNS	RSSF12	0.0673	<b>0.0135</b>	<b>0.0374</b>	0.7956	0.5880	0.8826	0.5415	0.4596	0.6380	0.4568	0.5470	0.4752	0.4874	0.4544	0.4318	0.4197	0.4463	0.4961	0.4920	0.5998
	RSSF5	<b>0.0394</b>	<b>0.0457</b>	0.2508	0.8813	0.6852	0.8347	0.7903	0.4831	0.5246	0.3653	0.3351	0.3060	0.3046	0.2100	0.1661	0.1769	0.1933	0.2086	0.2256	0.2421
	RSPMatch	<b>0.0384</b>	<b>0.0100</b>	0.4555	0.7866	0.4354	0.4667	0.8850	0.5526	0.7520	0.7248	0.7088	0.4623	0.3479	0.2329	0.2089	0.2142	0.2037	0.2260	0.2100	0.1999
	Befagor	<b>0.0193</b>	<b>0.0027</b>	0.1437	0.2123	0.3307	0.3635	0.4823	0.4427	0.6283	0.8448	0.8017	0.7429	0.7069	0.7863	0.8076	0.7143	0.5370	0.4815	0.4542	0.5126
	Simqke	<b>0.0003</b>	<b>0.0001</b>	<b>0.0157</b>	0.7293	0.7348	0.8184	0.4778	0.4597	0.4168	0.6601	0.5913	0.8505	0.8244	0.5848	0.4010	0.4290	0.4193	0.4259	0.4415	0.4687
RSSF12	RSSF5	0.9466	0.5333	0.2632	0.5796	0.2509	0.6643	0.6927	0.9982	0.8143	0.7928	0.6274	0.6657	0.6330	0.4737	0.3947	0.4590	0.4757	0.4746	0.5108	0.4220
	RSPMatch	0.9888	0.8574	<b>0.0494</b>	0.4089	0.0729	0.2040	0.2471	0.0546	0.2562	0.5208	0.6924	0.9144	0.7995	0.5772	0.5418	0.6105	0.5600	0.5702	0.5393	0.3660
	Befagor	0.6480	0.5389	0.3584	<b>0.0125</b>	<b>0.0301</b>	0.1185	0.0578	<b>0.0327</b>	0.1626	0.1428	0.1870	0.1075	0.0835	0.0893	0.1039	0.0617	<b>0.0400</b>	0.0513	<b>0.0436</b>	0.0890
	Simqke	<b>0.0074</b>	<b>0.0081</b>	0.7804	0.3114	0.1915	0.5514	<b>0.0472</b>	<b>0.0329</b>	0.0665	0.0703	0.0876	0.1535	0.3778	0.6224	0.9151	0.8170	0.8958	0.9773	<b>0.9378</b>	0.8965
RSSF5	RSPMatch	0.9301	0.5588	0.5115	0.8801	0.6765	0.5568	0.5631	0.0897	0.1211	0.3993	0.3742	0.5469	0.7414	0.7410	0.6715	0.7055	0.7723	0.7556	0.8349	0.9088
	Befagor	0.5471	0.1890	0.7624	0.1133	0.5119	0.4172	0.2042	0.0589	0.2122	0.1289	0.0971	0.0634	<b>0.0461</b>	<b>0.0307</b>	<b>0.0267</b>	<b>0.0166</b>	<b>0.0118</b>	<b>0.0109</b>	<b>0.0118</b>	<b>0.0191</b>
	Simqke	<b>0.0000</b>	<b>0.0016</b>	0.1345	0.7975	0.8598	0.9734	0.1889	0.0605	0.0664	<b>0.0726</b>	<b>0.0492</b>	0.0876	0.1904	0.2107	0.2658	0.2677	0.3222	0.3545	0.3696	0.3725
RSPMatch	Befagor	0.4080	0.2605	0.2705	0.0575	0.7806	0.7269	0.2354	0.6863	0.7225	0.2447	0.1815	<b>0.0124</b>	<b>0.0043</b>	<b>0.0026</b>	<b>0.0042</b>	<b>0.0019</b>	<b>0.0005</b>	<b>0.0004</b>	<b>0.0002</b>	<b>0.0004</b>
	Simqke	<b>0.0000</b>	<b>0.0000</b>	<b>0.0102</b>	0.9030	0.3892	0.2491	0.1733	0.7330	0.2715	0.0865	0.0514	<b>0.0270</b>	0.0872	0.1278	0.2836	0.2743	0.2825	0.3406	0.2635	0.2107
Befagor	Simqke	<b>0.0000</b>	<b>0.0014</b>	0.1820	<b>0.0298</b>	0.1492	0.0884	0.9711	0.9248	0.3909	0.4666	0.3199	0.6488	0.0558	<b>0.0060</b>	<b>0.0003</b>	<b>0.0001</b>	<b>0.0000</b>	<b>0.0000</b>	<b>0.0000</b>	<b>0.0000</b>
R=6																					
RNS	RSSF12	0.1820	<b>0.0010</b>	<b>0.0049</b>	<b>0.0110</b>	<b>0.0426</b>	0.1124	0.3103	0.4743	0.5504	0.5203	0.4519	0.4438	0.4840	0.5900	0.7063	0.9088	0.8108	0.5288	0.5863	0.6609
	RSSF5	0.1122	<b>0.0043</b>	<b>0.0175</b>	0.1028	0.1779	0.2825	0.1622	0.2751	0.4669	0.3114	0.2088	0.2237	0.2717	0.2034	0.2363	0.2738	0.3787	0.4884	0.4951	0.5101
	RSPMatch	0.5606	<b>0.0270</b>	<b>0.0117</b>	<b>0.0357</b>	0.0752	0.1399	0.2402	0.3193	0.2062	0.2068	0.2152	0.2595	0.3002	0.2309	0.1760	0.2690	0.4427	0.4896	0.4681	0.4687
	Befagor	0.0958	<b>0.0014</b>	<b>0.0002</b>	<b>0.0113</b>	<b>0.0244</b>	<b>0.0299</b>	0.0717	0.2101	0.2637	0.5563	0.9274	0.7502	0.6227	0.5022	0.5615	0.5351	0.4055	0.2706	0.2501	0.2702
	Simqke	<b>0.0014</b>	<b>0.0001</b>	<b>0.0000</b>	<b>0.0001</b>	<b>0.0006</b>	<b>0.0004</b>	<b>0.0031</b>	<b>0.0023</b>	<b>0.0216</b>	<b>0.0166</b>	<b>0.0098</b>	0.0553	0.1138	0.1683	0.2330	0.3144	0.4718	0.6154	0.6381	0.5978
RSSF12	RSSF5	0.8460	0.3468	0.5645	0.3382	0.4725	0.5778	0.6151	0.6277	0.8561	0.6238	0.5002	0.5459	0.5893	0.3551	0.3150	0.2314	0.1795	0.1132	0.1363	0.1404
	RSPMatch	0.3170	<b>0.0145</b>	0.5020	0.4544	0.5851	0.7872	0.8881	0.7757	0.5941	0.4639	0.5731	0.6942	0.7067	0.4211	0.2146	0.1961	0.1795	0.0681	0.0756	0.1117
	Befagor	0.7562	0.7339	0.1510	0.9399	0.9274	0.5290	0.3665	0.5475	0.5840	0.8531	0.2044	0.1136	0.0721	<b>0.0725</b>	0.0872	0.2729	0.4027	0.5187	0.3837	0.3445
	Simqke	<b>0.0460</b>	<b>0.0298</b>	<b>0.0050</b>	0.0528	0.0529	<b>0.0052</b>	<b>0.0120</b>	<b>0.0023</b>	<b>0.0372</b>	<b>0.0259</b>	<b>0.0172</b>	0.1602	0.2745	0.2983	0.3026	0.2425	0.1849	0.0861	0.1255	0.1523
RSSF5	RSPMatch	0.1895	0.1561	0.9986	0.7217	0.7561	0.7213	0.6857	0.7827	0.7705	0.9112	0.8076	0.7548	0.7963	0.7512	0.9111	0.8677	0.7957	0.9152	0.9620	0.9896
	Befagor	0.8971	0.4739	<b>0.0481</b>	0.3585	0.3740	0.2285	0.7972	0.9941	0.7812	0.4645	0.0691	<b>0.0449</b>	<b>0.0329</b>	<b>0.0111</b>	<b>0.0971</b>	<b>0.0217</b>	<b>0.0266</b>	<b>0.0225</b>	<b>0.0179</b>	<b>0.0231</b>
	Simqke	0.0530	<b>0.0036</b>	<b>0.0016</b>	<b>0.0094</b>	<b>0.0143</b>	<b>0.0022</b>	0.0669	<b>0.0211</b>	0.0846	0.1592	0.2194	0.6058	0.7274	0.8883	0.8456	0.7682	0.7228	0.7086	0.6928	0.7667
RSPMatch	Befagor	0.1598	<b>0.0182</b>	<b>0.0122</b>	0.4852	0.4354	0.2871	0.4017	0.7142	0.9927	0.2405	<b>0.0261</b>	<b>0.0168</b>	<b>0.0069</b>	<b>0.0009</b>	<b>0.0007</b>	<b>0.0021</b>	<b>0.0070</b>	<b>0.0025</b>	<b>0.0014</b>	<b>0.0023</b>
	Simqke	<b>0.0010</b>	<b>0.0000</b>	<b>0.0001</b>	<b>0.0036</b>	<b>0.0029</b>	<b>0.0003</b>	<b>0.0082</b>	<b>0.0007</b>	0.0587	0.0797	<b>0.0340</b>	0.2493	0.4110	0.7999	0.7895	0.8688	0.9135	0.7315	0.6529	0.7156
Befagor	Simqke	0.0781	<b>0.0048</b>	<b>0.0124</b>	<b>0.0341</b>	<b>0.0179</b>	<b>0.0016</b>	<b>0.0227</b>	<b>0.0008</b>	<b>0.0199</b>	<b>0.0012</b>	<b>0.0000</b>	<b>0.0001</b>	<b>0.0001</b>	<b>0.0001</b>	<b>0.0001</b>	<b>0.0013</b>	<b>0.0028</b>	<b>0.0035</b>	<b>0.0011</b>	<b>0.0010</b>
R=8																					
RNS	RSSF12	0.0751	<b>0.0097</b>	<b>0.0034</b>	<b>0.0024</b>	<b>0.0480</b>	0.1160	0.2312	0.182												



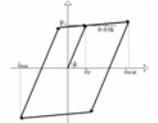
## Risultati in termini di Ne relativi al modello EPH:

		P value (test A&W) ---- Numero di Cicli Equivalenti (28) ---- Modello EPnD																			
Periodo	Combo28	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1	1.1	1.2	1.3	1.4	1.5	1.6	1.7	1.8	1.9	2
		R=2																			
RNS	RSSF12	0.6691	0.8118	0.3071	<b>0.0277</b>	0.0678	<b>0.0372</b>	<b>0.0495</b>	<b>0.0124</b>	0.3593	0.1009	0.1033	0.2245	<b>0.0492</b>	<b>0.0435</b>	0.0679	<b>0.0457</b>	0.0797	0.5870	0.7789	0.6583
	RSSF5	0.9270	0.9925	0.3382	0.1656	0.1169	0.1141	0.2396	0.4390	0.6641	0.3646	0.1771	0.1284	<b>0.0333</b>	<b>0.0432</b>	0.0914	0.1699	0.1877	0.2433	0.0778	0.1420
	RSPMatch	0.8900	0.4273	<b>0.0377</b>	<b>0.0029</b>	<b>0.0106</b>	<b>0.0329</b>	0.0505	<b>0.0177</b>	0.2019	0.3895	0.1573	0.1605	0.0652	<b>0.0358</b>	<b>0.0277</b>	<b>0.0258</b>	<b>0.0168</b>	0.0514	<b>0.0244</b>	<b>0.0149</b>
	Belfagor	2.0E-06	<b>0.0398</b>	<b>0.0033</b>	<b>2.9E-05</b>	<b>0.0008</b>	<b>0.0006</b>	<b>0.0094</b>	<b>0.0241</b>	<b>0.0202</b>	<b>0.0006</b>	<b>0.0025</b>	<b>0.0015</b>	<b>2.1E-05</b>	<b>2.0E-06</b>	<b>4.1E-05</b>	<b>0.0001</b>	<b>0.0008</b>	<b>0.0011</b>	<b>0.0007</b>	<b>0.0008</b>
	Simqke	0.0E+00	<b>1.6E-05</b>	<b>2.3E-05</b>	<b>1.0E-06</b>	<b>1.1E-05</b>	<b>2.1E-05</b>	<b>2.3E-05</b>	<b>1.8E-05</b>	<b>0.0018</b>	<b>0.0001</b>	<b>0.0002</b>	<b>0.0019</b>	<b>3.7E-05</b>	<b>4.9E-05</b>	<b>0.0003</b>	<b>0.0001</b>	<b>4.3E-05</b>	<b>0.0001</b>	<b>0.0010</b>	<b>0.0005</b>
RSSF12	RSSF5	0.5700	0.7132	0.9472	0.1268	0.6163	0.3839	0.2134	<b>0.0188</b>	0.4716	0.2686	0.6423	0.6968	0.8677	0.9613	0.8776	0.5144	0.6650	0.3983	0.0860	0.2223
	RSPMatch	0.7456	0.4243	0.0505	0.3274	0.4465	0.7601	0.6993	0.6919	0.7901	0.1937	0.6139	0.8922	0.6590	0.7110	0.9581	0.8567	0.7184	<b>0.0494</b>	<b>0.0157</b>	<b>0.0141</b>
	Belfagor	1.0E-05	<b>0.0050</b>	<b>0.0001</b>	<b>0.0020</b>	0.0556	0.2142	0.6064	0.5054	0.1236	<b>0.0457</b>	<b>0.0661</b>	<b>0.0056</b>	<b>0.0062</b>	<b>0.0012</b>	<b>0.0169</b>	0.0561	0.1185	<b>0.0001</b>	<b>0.0001</b>	<b>0.0003</b>
	Simqke	0.0E+00	<b>0.0E+00</b>	<b>0.0E+00</b>	<b>2.1E-05</b>	<b>0.0004</b>	<b>0.0183</b>	<b>0.0031</b>	<b>0.0070</b>	<b>0.0100</b>	<b>0.0070</b>	<b>0.0033</b>	<b>0.0081</b>	<b>0.0105</b>	<b>0.0257</b>	<b>0.0754</b>	<b>0.0391</b>	<b>0.0099</b>	<b>2.0E-06</b>	<b>0.0002</b>	<b>0.0001</b>
RSSF5	RSPMatch	0.7958	0.2274	0.0611	0.0010	0.1337	0.4590	0.2240	<b>0.0250</b>	0.1865	0.8787	0.9995	0.7548	0.5194	0.7449	0.8836	0.5257	0.3802	0.5658	0.9164	0.3708
	Belfagor	0.0E+00	<b>0.0008</b>	<b>0.0004</b>	<b>0.0E+00</b>	<b>0.0037</b>	<b>0.0057</b>	<b>0.0220</b>	<b>0.0356</b>	<b>0.0015</b>	<b>0.0001</b>	<b>0.0111</b>	<b>0.0143</b>	<b>0.0091</b>	<b>0.0006</b>	<b>0.0101</b>	<b>0.0097</b>	<b>0.0445</b>	<b>0.0318</b>	0.1356	<b>0.0400</b>
	Simqke	0.0E+00	<b>0.0E+00</b>	<b>0.0000</b>	<b>0.0E+00</b>	<b>0.0000</b>	<b>4.9E-05</b>	<b>0.0000</b>	<b>0.0000</b>	<b>0.0000</b>	<b>2.0E-06</b>	<b>0.0001</b>	<b>0.0200</b>	<b>0.0153</b>	<b>0.0171</b>	<b>0.0492</b>	<b>0.0069</b>	<b>0.0033</b>	<b>0.0035</b>	0.1728	<b>0.0252</b>
RSPMatch	Belfagor	0.0E+00	<b>0.0429</b>	<b>0.0693</b>	<b>0.0026</b>	<b>0.1250</b>	<b>0.0325</b>	<b>0.1936</b>	<b>0.7883</b>	<b>0.0622</b>	<b>2.0E-06</b>	<b>0.0042</b>	<b>0.0013</b>	<b>3.8E-05</b>	<b>0.0E+00</b>	<b>3.5E-05</b>	<b>0.0012</b>	<b>0.0531</b>	<b>0.0075</b>	<b>0.0233</b>	<b>0.0777</b>
	Simqke	0.0E+00	<b>0.0E+00</b>	<b>0.0E+00</b>	<b>5.0E-06</b>	<b>1.0E-05</b>	<b>0.0002</b>	<b>0.0003</b>	<b>5.0E-06</b>	<b>0.0004</b>	<b>0.0000</b>	<b>0.0E+00</b>	<b>0.0E+00</b>	<b>8.0E-06</b>	<b>0.0001</b>	<b>0.0025</b>	<b>0.0015</b>	<b>0.0008</b>	<b>4.4E-05</b>	<b>0.0033</b>	<b>0.0398</b>
Belfagor	Simqke	0.0234	<b>1.0E-06</b>	<b>0.0002</b>	<b>0.0408</b>	<b>0.0046</b>	<b>0.0569</b>	<b>0.0005</b>	<b>4.9E-05</b>	<b>0.0416</b>	<b>0.2365</b>	<b>0.1724</b>	<b>0.9528</b>	<b>0.9634</b>	<b>0.0772</b>	<b>0.2923</b>	<b>0.6811</b>	<b>0.0629</b>	<b>0.1626</b>	<b>0.8071</b>	<b>0.7209</b>
R=4																					
RNS	RSSF12	0.6533	0.5975	0.7961	0.0714	0.0555	<b>0.0098</b>	<b>0.0433</b>	<b>0.0212</b>	<b>0.0330</b>	0.1164	0.0579	0.0744	0.0515	0.1770	0.2296	0.3066	0.4468	0.5825	0.7451	0.4021
	RSSF5	0.6168	0.3389	0.8439	0.3029	0.1508	<b>0.0236</b>	0.0834	<b>0.0363</b>	0.0541	0.1668	0.1507	0.1989	0.1013	<b>0.0448</b>	<b>0.0400</b>	0.1307	0.1269	0.1573	0.2129	0.1465
	RSPMatch	0.5473	0.5262	0.4044	0.0782	0.0581	<b>0.0099</b>	0.1524	0.1733	0.1542	0.2977	0.0946	<b>0.0426</b>	<b>0.0114</b>	<b>0.0204</b>	<b>0.0215</b>	<b>0.0279</b>	<b>0.0370</b>	<b>0.0445</b>	0.0829	<b>0.0471</b>
	Belfagor	3.3E-05	<b>0.0043</b>	<b>0.0042</b>	<b>1.6E-05</b>	<b>0.0001</b>	<b>1.0E-06</b>	<b>0.0010</b>	<b>1.2E-05</b>	<b>0.0001</b>	<b>0.0001</b>	<b>9.0E-06</b>	<b>3.2E-05</b>	<b>4.9E-05</b>	<b>0.0002</b>	<b>0.0002</b>	<b>0.0003</b>	<b>0.0001</b>	<b>0.0001</b>	<b>0.0001</b>	<b>0.0001</b>
	Simqke	0.0E+00	<b>0.0E+00</b>	<b>3.0E-06</b>	<b>1.0E-06</b>	<b>6.0E-06</b>	<b>3.6E-05</b>	<b>0.0002</b>	<b>0.0001</b>	<b>0.0001</b>	<b>3.4E-05</b>	<b>2.2E-05</b>	<b>0.0001</b>	<b>0.0001</b>							
RSSF12	RSSF5	0.9464	0.6042	0.5417	0.2143	0.4089	0.5243	0.5805	0.7080	0.7266	0.7913	0.4541	0.5642	0.6856	0.4612	0.3342	0.5539	0.3447	0.3225	0.2829	0.4499
	RSPMatch	0.2018	0.1842	0.4473	0.8958	0.9033	0.7109	0.3227	0.2046	0.3248	0.4470	0.7522	0.7059	0.4556	0.2739	0.2215	0.1599	0.1034	0.0956	0.0912	0.1684
	Belfagor	0.0E+00	<b>2.6E-05</b>	<b>0.0004</b>	<b>0.0001</b>	<b>0.0056</b>	<b>0.0121</b>	<b>0.1821</b>	<b>0.0044</b>	<b>0.0061</b>	<b>0.0003</b>	<b>0.0003</b>	<b>0.0018</b>	<b>0.0020</b>	<b>0.0019</b>	<b>0.0009</b>	<b>0.0001</b>	<b>0.0001</b>	<b>2.2E-05</b>	<b>0.0001</b>	<b>0.0001</b>
	Simqke	0.0E+00	<b>0.0E+00</b>	<b>0.0E+00</b>	<b>0.0E+00</b>	<b>0.0E+00</b>	<b>5.0E-06</b>	<b>2.6E-05</b>	<b>1.0E-06</b>	<b>3.0E-06</b>	<b>1.0E-06</b>	<b>8.0E-06</b>	<b>4.4E-05</b>	<b>0.0012</b>	<b>0.0019</b>	<b>0.0006</b>	<b>0.0001</b>	<b>9.0E-06</b>	<b>1.0E-05</b>	<b>1.4E-05</b>	<b>0.0000</b>
RSSF5	RSPMatch	0.1836	0.3688	0.1821	0.2372	0.4481	0.7421	0.6257	0.3384	0.6013	0.6221	0.6780	0.3615	0.2451	0.7249	0.9653	0.4722	0.6555	0.5652	0.6557	0.6244
	Belfagor	0.0E+00	<b>1.0E-06</b>	<b>2.2E-05</b>	<b>0.0E+00</b>	<b>0.0001</b>	<b>0.0002</b>	<b>0.0236</b>	<b>0.0008</b>	<b>0.0015</b>	<b>0.0001</b>	<b>2.0E-06</b>	<b>0.0001</b>	<b>0.0004</b>	<b>0.0073</b>	<b>0.0126</b>	<b>0.0059</b>	<b>0.0046</b>	<b>0.0024</b>	<b>0.0009</b>	<b>0.0025</b>
	Simqke	0.0E+00	<b>0.0E+00</b>	<b>1.0E+00</b>	<b>0.0E+00</b>	<b>1.7E-05</b>	<b>0.0003</b>	<b>0.0068</b>	<b>0.0038</b>	<b>0.0006</b>	<b>0.0007</b>	<b>0.0003</b>	<b>0.0007</b>	<b>0.0009</b>							
RSPMatch	Belfagor	5.0E-06	<b>0.0131</b>	<b>0.0036</b>	<b>2.2E-05</b>	<b>0.0016</b>	<b>0.0004</b>	<b>0.0035</b>	<b>4.0E-05</b>	<b>0.0002</b>	<b>1.3E-05</b>	<b>0.0001</b>	<b>0.0022</b>	<b>0.0111</b>	<b>0.0083</b>	<b>0.0047</b>	<b>0.0051</b>	<b>0.0009</b>	<b>0.0008</b>	<b>0.0002</b>	<b>0.0010</b>
	Simqke	0.0E+00	<b>0.0E+00</b>	<b>0.0000</b>	<b>0.0E+00</b>	<b>1.0E-06</b>	<b>0.0003</b>	<b>0.0073</b>	<b>0.0067</b>	<b>0.0006</b>	<b>0.0001</b>	<b>7.0E-06</b>	<b>1.1E-05</b>	<b>3.2E-05</b>	<b>0.0001</b>						
Belfagor	Simqke	0.0E+00	<b>0.0E+00</b>	<b>0.0E+00</b>	<b>4.0E-06</b>	<b>3.1E-05</b>	<b>0.0003</b>	<b>1.4E-05</b>	<b>0.0081</b>	<b>0.0392</b>	<b>0.0535</b>	<b>0.1677</b>	<b>0.2635</b>	<b>0.8353</b>	<b>0.7852</b>	<b>0.7554</b>	<b>0.4287</b>	<b>0.6133</b>	<b>0.5282</b>	<b>0.7839</b>	<b>0.8242</b>
R=6																					
RNS	RSSF12	0.8363	0.7815	0.4996	<b>0.0333</b>	0.0672	<b>0.0189</b>	<b>0.0097</b>	<b>0.0443</b>	<b>0.0113</b>	<b>0.0187</b>	<b>0.0559</b>	0.1385	0.1844	0.1581	0.1623	0.1931	0.2065	0.4586	0.2616	0.1951
	RSSF5	0.6502	0.6409	0.8853	0.2124	0.1129	0.0597	0.1123	<b>0.2073</b>	<b>0.0335</b>	<b>0.0228</b>	0.0755	0.0908	0.0793	<b>0.0448</b>	<b>0.0675</b>	0.0691	0.1422	0.2502	0.1994	0.1286
	RSPMatch	0.3865	0.2941	0.2346	0.1332	0.0740	0.0920	0.0696	0.1562	0.1488	0.0852	0.0948	0.0874	0.0513	<b>0.0458</b>	<b>0.0502</b>	<b>0.0557</b>	<b>0.0532</b>	<b>0.1051</b>	<b>0.0328</b>	<b>0.0203</b>
	Belfagor	2.4E-05	<b>0.0003</b>	<b>3.5E-05</b>	<b>2.0E-06</b>	<b>4.0E-06</b>	<b>1.4E-05</b>	<b>1.0E-06</b>	<b>1.0E-06</b>	<b>0.0E+00</b>	<b>1.0E-06</b>	<b>1.9E-05</b>	<b>3.3E-05</b>	<b>0.0001</b>	<b>0.0003</b>	<b>0.0003</b>	<b>0.0003</b>	<b>0.0003</b>	<b>0.0005</b>	<b>0.0002</b>	<b>0.0001</b>
	Simqke	0.0E+00	<b>0.0E+00</b>	<b>1.0E-06</b>	<b>6.0E-06</b>	<b>5.0E-06</b>	<b>4.0E-06</b>	<b>6.0E-06</b>	<b>1.9E-05</b>	<b>2.1E-05</b>	<b>4.0E-06</b>	<b>0.0000</b>									
RSSF12	RSSF5	0.7290	0.8220	0.2890	0.2485	0.7041	0.5814	0.2527	0.3895	0.5364	0.7396	0.8356	0.8398	0.5994	0.4762	0.6318	0.5763	0.8544	0.6841	0.8303	0.7157
	RSPMatch	0.1528	0.1238	0.5244	0.4993	0.8842	0.3258	0.2653	0.4981	0.2318	0.4060	0.7009	0.9204	0.5357	0.5990	0.6505	0.5714	0.5145	0.3601	0.2128	0.1788
	Belfagor	0.0E+00	<b>1.0E-06</b>	<b>3.0E-06</b>	<b>0.0004</b>	<b>0.0013</b>	<b>0.0270</b>	<b>0.0020</b>	<b>0.0003</b>	<b>0.0014</b>	<b>0.0044</b>	<b>0.0038</b>	<b>0.0020</b>	<b>0.0013</b>	<b>0.0051</b>	<b>0.0075</b>	<b>0.0047</b>	<b>0.0044</b>	<b>0.0020</b>	<b>0.0009</b>	<b>0.0007</b>
	Simqke	0.0E+00	<b>0.0E+00</b>	<b>4.0E-06</b>	<b>4.8E-05</b>	<b>3.3E-05</b>	<b>3.1E-05</b>	<b>3.9E-05</b>	<b>0.0001</b>	<b>0.0001</b>	<b>4.9E-05</b>	<b>2.0E-06</b>	<b>0.0000</b>								
RSSF5	RSPMatch	0.0885	0.0745	0.0825	0.6895	0.8038	0.6967	0.8905	0.8556	0.5118	0.5626	0.8800	0.9004	0.9952	0.7409	0.9042	0.9476	0.6281	0.5893	0.3196	0.3111
	Belfagor	0.0E+00	<b>0.0E+00</b>	<b>0.0E+00</b>	<b>3.0E-06</b>																



## Risultati in termini di Ne relativi al modello ESD:

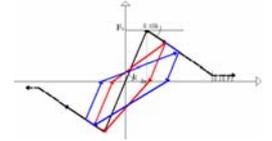
		P value (test A&W)--- Numero di Cicli Equivalenti (28)--- Modello EPTD																			
Combo28	Periodo	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0	1.1	1.2	1.3	1.4	1.5	1.6	1.7	1.8	1.9	2.0
		R=2																			
RNS	RSSF12	0.3782	0.1156	<b>0.0062</b>	<b>0.0023</b>	<b>0.0165</b>	<b>0.0094</b>	<b>0.0186</b>	<b>0.0342</b>	0.1977	0.0764	<b>0.0247</b>	<b>0.0461</b>	<b>0.0133</b>	0.0511	0.0590	0.1889	0.1109	0.3465	0.5313	0.3367
	RSSF5	0.2198	<b>0.0221</b>	<b>0.0264</b>	<b>0.0134</b>	<b>0.0189</b>	<b>0.0069</b>	<b>0.0148</b>	0.1052	<b>0.0330</b>	0.0584	<b>0.0163</b>	<b>0.0072</b>	<b>0.0137</b>	<b>0.0145</b>	<b>0.0352</b>	0.1247	0.1117	0.2192	0.0860	0.1054
	RSPMatch	0.1742	<b>0.0023</b>	<b>0.0011</b>	<b>0.0008</b>	<b>0.0077</b>	<b>0.0014</b>	<b>0.0089</b>	<b>0.0145</b>	<b>0.0210</b>	<b>0.0471</b>	<b>0.0093</b>	<b>0.0038</b>	<b>0.0017</b>	<b>0.0009</b>	<b>0.0004</b>	<b>0.0019</b>	<b>0.0023</b>	<b>0.0061</b>	<b>0.0025</b>	<b>0.0016</b>
	Beffagor	0.0798	<b>0.0000</b>	<b>0.0000</b>	<b>0.0000</b>	<b>0.0000</b>	<b>0.0000</b>	<b>0.0001</b>	<b>0.0000</b>	<b>0.0001</b>	<b>0.0000</b>										
	Simqke	0.0568	<b>0.0000</b>																		
RSSF12	RSSF5	0.6839	0.3766	0.2506	0.2117	0.8752	0.9752	0.9587	0.5563	0.3720	0.9493	0.9749	0.3867	0.9856	0.5512	0.7348	0.6867	0.8660	0.6243	0.2125	0.4514
	RSPMatch	0.5206	<b>0.0452</b>	0.1951	0.5022	0.6679	0.6341	0.8087	0.6830	0.2855	0.9532	0.8341	0.2966	0.6123	0.1371	0.0723	<b>0.0323</b>	0.1182	<b>0.0130</b>	<b>0.0059</b>	<b>0.0134</b>
	Beffagor	0.3293	<b>0.0000</b>	<b>0.0000</b>	<b>0.0000</b>	<b>0.0000</b>	<b>0.0019</b>	<b>0.0280</b>	<b>0.0007</b>	<b>0.0002</b>	<b>0.0011</b>	<b>0.0080</b>	<b>0.0007</b>	<b>0.0026</b>	<b>0.0004</b>	<b>0.0053</b>	<b>0.0028</b>	<b>0.0021</b>	<b>0.0000</b>	<b>0.0002</b>	<b>0.0002</b>
	Simqke	0.2562	<b>0.0000</b>	<b>0.0001</b>	<b>0.0003</b>	<b>0.0011</b>	<b>0.0002</b>	<b>0.0000</b>	<b>0.0000</b>	<b>0.0000</b>	<b>0.0000</b>	<b>0.0000</b>	<b>0.0000</b>								
RSSF5	RSPMatch	0.7724	0.1787	<b>0.0270</b>	0.0596	0.5423	0.5711	0.7411	0.3201	0.8819	0.9908	0.7768	0.9189	0.6326	0.4362	0.1992	0.1718	0.2658	0.1805	0.3027	0.1282
	Beffagor	0.6095	<b>0.0000</b>	<b>0.0000</b>	<b>0.0000</b>	<b>0.0000</b>	<b>0.0004</b>	<b>0.0081</b>	<b>0.0002</b>	<b>0.0005</b>	<b>0.0000</b>	<b>0.0010</b>	<b>0.0118</b>	<b>0.0034</b>	<b>0.0039</b>	<b>0.0269</b>	<b>0.0444</b>	<b>0.0164</b>	<b>0.0060</b>	<b>0.0379</b>	<b>0.0051</b>
	Simqke	0.5406	<b>0.0000</b>	<b>0.0001</b>	<b>0.0000</b>	<b>0.0002</b>	<b>0.0005</b>	<b>0.0001</b>													
RSPMatch	Beffagor	0.9166	<b>0.0050</b>	<b>0.0023</b>	<b>0.0006</b>	<b>0.0001</b>	<b>0.0003</b>	<b>0.0260</b>	<b>0.0012</b>	<b>0.0002</b>	<b>0.0000</b>	<b>0.0020</b>	<b>0.0048</b>	<b>0.0011</b>	<b>0.0017</b>	0.1445	0.3291	<b>0.0145</b>	<b>0.0037</b>	<b>0.0362</b>	<b>0.0221</b>
	Simqke	0.8904	<b>0.0000</b>	<b>0.0016</b>	<b>0.0003</b>	<b>0.0006</b>	<b>0.0001</b>	<b>0.0000</b>	<b>0.0000</b>	<b>0.0000</b>	<b>0.0000</b>	<b>0.0000</b>	<b>0.0000</b>								
Beffagor	Simqke	0.9681	<b>0.0002</b>	<b>0.0000</b>	<b>0.0001</b>	<b>0.0002</b>	<b>0.0000</b>	<b>0.0000</b>	<b>0.0008</b>	<b>0.0980</b>	<b>0.0405</b>	<b>0.0168</b>	0.5606	0.5116	0.4200	<b>0.0031</b>	<b>0.0000</b>	<b>0.0068</b>	<b>0.0190</b>	<b>0.0020</b>	<b>0.0253</b>
R=4																					
RNS	RSSF12	0.6323	0.0940	0.2740	<b>0.0277</b>	<b>0.0105</b>	<b>0.0352</b>	0.0722	0.0842	<b>0.0388</b>	0.1310	0.0603	0.0632	<b>0.0314</b>	0.1349	0.2034	0.2267	0.2571	0.3495	0.3931	0.1080
	RSSF5	0.4836	0.2631	0.8686	<b>0.0363</b>	<b>0.0006</b>	<b>0.0069</b>	<b>0.0325</b>	0.0842	0.0611	0.1409	0.0548	0.1237	<b>0.0475</b>	<b>0.0325</b>	0.0682	0.1544	0.1828	0.1946	0.1736	0.1404
	RSPMatch	0.8111	<b>0.0019</b>	0.4902	0.1079	<b>0.0009</b>	<b>0.0180</b>	<b>0.0191</b>	<b>0.0068</b>	<b>0.0113</b>	0.0764	<b>0.0358</b>	0.0562	<b>0.0203</b>	<b>0.0373</b>	0.0537	<b>0.0429</b>	<b>0.0490</b>	<b>0.0477</b>	<b>0.0495</b>	<b>0.0414</b>
	Beffagor	0.0042	0.4645	<b>0.0099</b>	<b>0.0000</b>	<b>0.0000</b>	<b>0.0000</b>	<b>0.0000</b>	<b>0.0000</b>	<b>0.0000</b>	<b>0.0003</b>	<b>0.0001</b>	<b>0.0001</b>	<b>0.0001</b>	<b>0.0001</b>	<b>0.0004</b>	<b>0.0001</b>	<b>0.0000</b>	<b>0.0000</b>	<b>0.0000</b>	<b>0.0000</b>
	Simqke	0.0172	0.3118	<b>0.0021</b>	<b>0.0000</b>	<b>0.0001</b>	<b>0.0000</b>	<b>0.0000</b>	<b>0.0000</b>	<b>0.0000</b>	<b>0.0000</b>										
RSSF12	RSSF5	0.7450	0.5572	0.3099	0.8357	0.1597	0.5032	0.6818	0.9799	0.7769	0.9939	0.9771	0.8021	0.9430	0.4294	0.4996	0.7422	0.7831	0.7425	0.5837	0.8819
	RSPMatch	0.3974	0.1186	0.7513	0.5610	0.2407	0.9725	0.6574	0.2777	0.7080	0.8000	0.8345	0.8702	0.9303	0.5349	0.4518	0.3087	0.3617	0.3430	0.2512	0.7470
	Beffagor	0.0021	<b>0.0159</b>	<b>0.0006</b>	<b>0.0000</b>	<b>0.0001</b>	<b>0.0042</b>	<b>0.0009</b>	<b>0.0002</b>	<b>0.0129</b>	<b>0.0037</b>	<b>0.0133</b>	<b>0.0070</b>	<b>0.0020</b>	<b>0.0008</b>	<b>0.0012</b>	<b>0.0002</b>	<b>0.0001</b>	<b>0.0004</b>	<b>0.0001</b>	<b>0.0009</b>
	Simqke	0.0086	0.2492	<b>0.0001</b>	<b>0.0000</b>	<b>0.0001</b>	<b>0.0000</b>	<b>0.0001</b>	<b>0.0004</b>	<b>0.0001</b>	<b>0.0001</b>										
RSSF5	RSPMatch	0.2956	<b>0.0328</b>	0.5598	0.6851	0.7504	0.4910	0.3734	0.2974	0.4897	0.8171	0.8555	0.8926	0.8771	0.7707	0.9953	0.5764	0.5878	0.5280	0.6017	0.6210
	Beffagor	0.0154	0.0621	<b>0.0047</b>	<b>0.0000</b>	<b>0.0163</b>	<b>0.0348</b>	<b>0.0041</b>	<b>0.0002</b>	<b>0.0038</b>	<b>0.0062</b>	<b>0.0126</b>	<b>0.0079</b>	<b>0.0061</b>	<b>0.0051</b>	<b>0.0042</b>	<b>0.0017</b>	<b>0.0004</b>	<b>0.0004</b>	<b>0.0004</b>	<b>0.0006</b>
	Simqke	0.0658	0.6853	<b>0.0010</b>	<b>0.0000</b>	<b>0.0001</b>	<b>0.0008</b>	<b>0.0000</b>	<b>0.0000</b>	<b>0.0000</b>	<b>0.0000</b>	<b>0.0000</b>	<b>0.0000</b>	<b>0.0001</b>	<b>0.0001</b>	<b>0.0002</b>	<b>0.0003</b>	<b>0.0004</b>	<b>0.0004</b>	<b>0.0003</b>	<b>0.0001</b>
RSPMatch	Beffagor	0.0005	<b>0.0001</b>	<b>0.0026</b>	<b>0.0000</b>	<b>0.0037</b>	<b>0.0020</b>	<b>0.0000</b>	<b>0.0032</b>	<b>0.0228</b>	<b>0.0032</b>	<b>0.0173</b>	<b>0.0003</b>	<b>0.0003</b>	<b>0.0002</b>	<b>0.0004</b>	<b>0.0001</b>	<b>0.0000</b>	<b>0.0001</b>	<b>0.0000</b>	<b>0.0001</b>
	Simqke	0.0019	<b>0.0018</b>	<b>0.0006</b>	<b>0.0000</b>																
Beffagor	Simqke	0.2533	0.0533	0.5011	0.2561	<b>0.0476</b>	0.1947	<b>0.0111</b>	<b>0.0172</b>	<b>0.0003</b>	<b>0.0002</b>	<b>0.0000</b>	<b>0.0001</b>	<b>0.0127</b>	<b>0.0442</b>	0.1621	0.4647	0.9262	0.9674	0.9056	0.6611
R=6																					
RNS	RSSF12	0.1368	<b>0.0200</b>	0.0801	0.1667	0.5587	0.4076	0.0848	0.0646	0.0635	0.1681	0.1163	0.2178	0.3161	0.0954	<b>0.0330</b>	<b>0.0279</b>	<b>0.0045</b>	<b>0.0034</b>	<b>0.0014</b>	<b>0.0027</b>
	RSSF5	0.3131	0.1053	0.1980	0.7695	0.6208	0.3454	0.7663	0.4225	0.1340	0.4177	0.3306	0.3888	0.4351	0.2085	0.1160	0.1267	0.0798	0.1507	0.0735	0.0525
	RSPMatch	0.7712	0.0665	<b>0.0213</b>	0.2670	0.4206	0.5916	0.7184	0.4165	0.6192	0.9049	0.4348	0.3815	0.3743	0.2354	0.2017	0.1831	0.0585	0.1822	0.0785	0.0653
	Beffagor	<b>0.0059</b>	0.9886	0.2491	0.1809	0.0903	0.0627	<b>0.0125</b>	<b>0.0089</b>	<b>0.0068</b>	<b>0.0004</b>	<b>0.0004</b>	<b>0.0006</b>	<b>0.0001</b>	<b>0.0000</b>	<b>0.0000</b>	<b>0.0001</b>	<b>0.0000</b>	<b>0.0000</b>	<b>0.0000</b>	<b>0.0000</b>
	Simqke	<b>0.0001</b>	0.8289	0.0901	0.3675	0.2043	0.1031	<b>0.0335</b>	<b>0.0360</b>	<b>0.0038</b>	<b>0.0154</b>	<b>0.0126</b>	<b>0.0044</b>	<b>0.0038</b>	<b>0.0007</b>	<b>0.0001</b>	<b>0.0001</b>	<b>0.0000</b>	<b>0.0000</b>	<b>0.0000</b>	<b>0.0000</b>
RSSF12	RSSF5	0.6279	0.3804	0.6675	0.1498	0.3250	0.8374	0.2185	0.3220	0.8010	0.5866	0.5147	0.7043	0.8663	0.6521	0.5546	0.4890	0.1936	0.0829	0.0688	0.1619
	RSPMatch	0.1404	0.5016	0.5791	0.9840	0.7741	0.2292	0.2150	0.2443	0.1558	0.2165	0.3544	0.6524	0.8862	0.4865	0.2440	0.2365	0.2084	0.0519	<b>0.0409</b>	0.0935
	Beffagor	0.0509	<b>0.0011</b>	0.4787	<b>0.0166</b>	<b>0.0315</b>	0.3939	0.5873	0.7381	0.9201	0.2536	<b>0.0110</b>	<b>0.0049</b>	<b>0.0006</b>	<b>0.0012</b>	<b>0.0000</b>	<b>0.0101</b>	0.0647	0.0431	0.1289	0.1023
	Simqke	<b>0.0002</b>	<b>0.0015</b>	0.5945	<b>0.0379</b>	0.0798	0.5425	0.6394	0.9198	0.3200	0.2821	0.2697	0.0504	<b>0.0125</b>	<b>0.0185</b>	<b>0.0090</b>	<b>0.0080</b>	<b>0.0156</b>	<b>0.0495</b>	<b>0.0424</b>	<b>0.0337</b>
RSSF5	RSPMatch	0.3874	0.8159	0.3307	0.2168	0.2501	0.2023	0.9680	0.9270	0.2775	0.4967	0.8074	0.9682	0.9653	0.8525	0.6315	0.7143	0.9169	0.8743	0.8992	0.8291
	Beffagor	<b>0.0340</b>	<b>0.0268</b>	0.8119	0.3346	0.2812	0.5879	0.0668	0.1379	0.6850	0.0841	<b>0.0023</b>	<b>0.0024</b>	<b>0.0024</b>	<b>0.0006</b>	<b>0.0013</b>	<b>0.0035</b>	<b>0.0025</b>	<b>0.0018</b>	<b>0.0008</b>	<b>0.0019</b>
	Simqke	<b>0.0003</b>	<b>0.0416</b>	0.9805	0.5917																



## Risultati in termini di Dhyst relativi al modello EPH:

		P value (test A&W)---Duttilità isteretica (28)--- Modello EPBnD																			
Combo28	Periodo	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0	1.1	1.2	1.3	1.4	1.5	1.6	1.7	1.8	1.9	2.0
		<b>R=2</b>																			
RNS	RSSF12	0.4540	0.7448	0.8059	0.7204	0.6679	0.4132	0.3217	0.4288	0.5812	0.7016	0.7509	0.7017	0.7686	0.8686	0.9637	0.9094	0.9026	0.8996	0.9436	0.9901
	RSSF5	0.3902	0.4002	0.8818	0.7193	0.7271	0.9789	0.6864	0.6005	0.6912	0.7775	0.8366	0.8583	0.7176	0.5665	0.5492	0.4579	0.3821	0.3329	0.3188	0.3447
	RSPMatch	0.4773	0.7500	0.5311	0.5251	0.7625	0.9074	0.9392	0.7650	0.7223	0.7785	0.9713	0.9819	0.9316	0.8862	0.9037	0.8855	0.8133	0.6695	0.5620	0.4968
	Belfagor	0.0908	0.6221	0.3201	0.1129	0.4236	0.3816	0.4668	0.6390	0.8933	0.8686	0.9336	0.8709	0.6209	0.6253	0.8312	0.9427	0.9511	0.8554	0.7574	0.7552
	Simqke	0.0009	<b>0.0129</b>	<b>0.0054</b>	<b>0.0005</b>	<b>0.0058</b>	<b>0.0152</b>	<b>0.0240</b>	<b>0.0437</b>	0.0916	0.1365	0.1503	0.1631	0.1159	0.1583	0.1733	0.1008	0.0865	0.0638	<b>0.0481</b>	<b>0.0325</b>
RSSF12	RSSF5	0.8899	0.3794	0.8677	0.3299	0.2849	0.2951	0.0553	0.0953	0.2152	0.3604	0.4939	0.8016	0.9347	0.6338	0.5254	0.4645	0.3802	0.3319	0.2878	0.2868
	RSPMatch	0.9914	0.9524	0.5084	0.7588	0.7825	0.2655	0.1149	0.1023	0.1738	0.2712	0.5436	0.5403	0.7178	0.9379	0.9344	0.9948	0.9078	0.7249	0.5290	0.4029
	Belfagor	0.0001	0.0893	0.1701	0.0968	0.6707	0.8817	0.5236	0.5040	0.4591	0.6633	0.6578	0.6667	0.8563	0.7116	0.8414	0.9284	0.7797	0.9728	0.7713	0.6940
	Simqke	0.0000	<b>0.0000</b>	<b>0.0000</b>	<b>0.0000</b>	<b>0.0013</b>	<b>0.0453</b>	0.0737	0.1310	0.1457	0.1038	0.1064	0.1664	0.1034	0.1170	0.0976	0.0511	<b>0.0397</b>	<b>0.0281</b>	<b>0.0147</b>	<b>0.0061</b>
RSSF5	RSPMatch	0.8907	0.2280	0.3451	0.0694	0.2245	0.8890	0.3758	0.6483	0.8880	0.9524	0.7581	0.7930	0.6408	0.4745	0.4446	0.3489	0.3154	0.3702	0.4584	0.5948
	Belfagor	0.0000	<b>0.0029</b>	0.0814	<b>0.0007</b>	<b>0.0313</b>	0.1670	<b>0.0471</b>	0.0902	0.3186	0.4085	0.6162	0.9408	0.9469	0.7719	0.5038	0.3016	0.1741	0.2281	0.2648	0.3038
	Simqke	0.0000	<b>0.0000</b>	<b>0.0000</b>	<b>0.0000</b>	<b>0.0000</b>	<b>0.0002</b>	<b>0.0000</b>	<b>0.0001</b>	<b>0.0007</b>	<b>0.0035</b>	<b>0.0136</b>	0.0989	0.1334	0.3671	0.4526	0.3987	0.4785	0.4985	0.4379	0.3159
RSPMatch	Belfagor	0.0005	<b>0.0049</b>	0.2195	<b>0.0054</b>	0.1582	<b>0.0411</b>	<b>0.0472</b>	<b>0.0171</b>	0.1045	0.1012	0.6264	0.6046	0.1125	0.1661	0.7138	0.7781	0.3148	0.4429	0.4339	0.3521
	Simqke	0.0000	<b>0.0000</b>	<b>0.0007</b>	<b>0.0025</b>																
Belfagor	Simqke	0.0000	<b>0.0000</b>																		
<b>R=4</b>																					
RNS	RSSF12	0.6355	0.5960	0.3068	0.1809	0.1967	0.2225	0.1649	0.1364	0.1556	0.2003	0.2116	0.2021	0.2527	0.3311	0.4033	0.3958	0.3967	0.4186	0.4437	0.4738
	RSSF5	0.6046	0.6183	0.4658	0.5599	0.5313	0.5364	0.4913	0.3693	0.2829	0.3088	0.3255	0.2431	0.1881	0.1616	0.1593	0.1547	0.1417	0.1431	0.1581	0.1786
	RSPMatch	0.6091	0.4959	0.2345	0.2524	0.3380	0.3866	0.4798	0.5273	0.4034	0.3688	0.2743	0.2113	0.1770	0.1336	0.1087	0.0938	0.0862	0.0851	0.0873	0.0867
	Belfagor	0.0578	0.0838	<b>0.0101</b>	<b>0.0099</b>	<b>0.0273</b>	<b>0.0455</b>	0.0557	0.0724	0.0839	0.0847	0.0743	0.0634	0.0643	0.0778	0.0954	0.1022	0.0989	0.0862	0.0892	0.0934
	Simqke	0.0008	<b>0.0004</b>	<b>0.0001</b>	<b>0.0001</b>	<b>0.0004</b>	<b>0.0010</b>	<b>0.0012</b>	<b>0.0015</b>	<b>0.0029</b>	<b>0.0035</b>	<b>0.0037</b>	<b>0.0035</b>	<b>0.0036</b>	<b>0.0036</b>	<b>0.0029</b>	<b>0.0019</b>	<b>0.0013</b>	<b>0.0009</b>	<b>0.0008</b>	<b>0.0008</b>
RSSF12	RSSF5	0.9931	0.9132	0.5491	0.1455	0.2241	0.3119	0.2542	0.3500	0.6376	0.7401	0.7719	0.9419	0.7749	0.5559	0.4597	0.4661	0.4372	0.4172	0.4238	0.4391
	RSPMatch	0.9979	0.8295	0.8174	0.5983	0.4415	0.4368	0.1843	0.1088	0.2299	0.4050	0.6447	0.7970	0.9107	0.5522	0.3570	0.3329	0.3208	0.2989	0.2789	0.2500
	Belfagor	0.0099	<b>0.0217</b>	<b>0.0013</b>	<b>0.0097</b>	0.0639	0.2387	0.5530	0.8344	0.8086	0.6361	0.5515	0.4892	0.3750	0.3242	0.3145	0.3715	0.3799	0.3134	0.2941	0.2773
	Simqke	0.0000	<b>0.0000</b>	<b>0.0000</b>	<b>0.0000</b>	<b>0.0000</b>	<b>0.0004</b>	<b>0.0029</b>	<b>0.0054</b>	<b>0.0089</b>	<b>0.0087</b>	<b>0.0112</b>	<b>0.0104</b>	<b>0.0073</b>	<b>0.0049</b>	<b>0.0030</b>	<b>0.0023</b>	<b>0.0018</b>	<b>0.0012</b>	<b>0.0008</b>	<b>0.0008</b>
RSSF5	RSPMatch	0.9866	0.6698	0.3096	0.2221	0.5260	0.6705	0.9673	0.5644	0.5109	0.7053	0.9497	0.8885	0.8051	0.8557	0.9549	0.9928	0.9815	0.9821	0.9736	0.8934
	Belfagor	0.0000	<b>0.0010</b>	<b>0.0000</b>	<b>0.0000</b>	<b>0.0007</b>	<b>0.0053</b>	<b>0.0159</b>	0.1156	0.3616	0.3797	0.3703	0.4885	0.6760	0.8964	0.9688	0.8932	0.8256	0.8620	0.9135	0.9695
	Simqke	0.0000	<b>0.0000</b>	<b>0.0011</b>	<b>0.0047</b>	<b>0.0100</b>	<b>0.0202</b>	<b>0.0393</b>	0.0578	0.0515	<b>0.0406</b>	<b>0.0420</b>	<b>0.0384</b>	<b>0.0320</b>	<b>0.0283</b>						
RSPMatch	Belfagor	0.0000	<b>0.0011</b>	<b>0.0000</b>	<b>0.0000</b>	<b>0.0004</b>	<b>0.0014</b>	<b>0.0003</b>	<b>0.0010</b>	<b>0.0062</b>	<b>0.0130</b>	<b>0.0477</b>	0.0856	0.1612	0.4898	0.9634	0.7595	0.6894	0.7967	0.7799	0.7289
	Simqke	0.0000	<b>0.0000</b>	<b>0.0001</b>	<b>0.0001</b>	<b>0.0001</b>	<b>0.0003</b>														
Belfagor	Simqke	0.0000	<b>0.0000</b>																		
<b>R=6</b>																					
RNS	RSSF12	0.3825	0.4840	0.2877	0.1423	0.1607	0.1634	0.1119	0.1086	0.1122	0.1260	0.1512	0.1850	0.1910	0.2035	0.2285	0.2571	0.2878	0.3257	0.3530	0.3943
	RSSF5	0.4444	0.5258	0.5420	0.4699	0.4601	0.4104	0.2732	0.2174	0.1854	0.1986	0.1933	0.1755	0.1322	0.1075	0.0931	0.0860	0.1003	0.1249	0.1532	0.1857
	RSPMatch	0.3615	0.4053	0.2909	0.2937	0.3540	0.3689	0.3669	0.3761	0.2817	0.2295	0.1712	0.1238	0.0861	0.0702	0.0593	0.0530	0.0532	0.0584	0.0633	0.0712
	Belfagor	0.0382	<b>0.0415</b>	<b>0.0111</b>	<b>0.0119</b>	<b>0.0278</b>	<b>0.0398</b>	<b>0.0411</b>	0.0520	<b>0.0467</b>	<b>0.0384</b>	<b>0.0341</b>	<b>0.0347</b>	<b>0.0366</b>	<b>0.0384</b>	<b>0.0385</b>	<b>0.0395</b>	<b>0.0425</b>	<b>0.0464</b>	0.0506	0.0551
	Simqke	0.0004	<b>0.0001</b>	<b>0.0001</b>	<b>0.0001</b>	<b>0.0003</b>	<b>0.0006</b>	<b>0.0007</b>	<b>0.0009</b>	<b>0.0010</b>	<b>0.0013</b>	<b>0.0015</b>	<b>0.0016</b>	<b>0.0015</b>	<b>0.0014</b>	<b>0.0009</b>	<b>0.0007</b>	<b>0.0007</b>	<b>0.0008</b>	<b>0.0008</b>	<b>0.0008</b>
RSSF12	RSSF5	0.7566	0.8572	0.3721	0.1377	0.2394	0.3378	0.4227	0.5994	0.7462	0.7931	0.9234	0.9063	0.7410	0.6187	0.5195	0.4533	0.4571	0.4770	0.5105	0.5363
	RSPMatch	0.9748	0.8807	0.9110	0.3326	0.3061	0.3035	0.1625	0.1549	0.2907	0.4685	0.7703	0.8973	0.6583	0.5312	0.4264	0.3532	0.3068	0.2806	0.2601	0.2516
	Belfagor	0.0120	<b>0.0608</b>	<b>0.0022</b>	<b>0.0153</b>	0.1089	0.1089	0.5573	0.7338	0.6615	0.4852	0.3694	0.3074	0.2997	0.3052	0.2909	0.2768	0.2549	0.2292	0.2095	0.1938
	Simqke	0.0000	<b>0.0000</b>	<b>0.0000</b>	<b>0.0000</b>	<b>0.0000</b>	<b>0.0001</b>	<b>0.0008</b>	<b>0.0015</b>	<b>0.0025</b>	<b>0.0031</b>	<b>0.0045</b>	<b>0.0045</b>	<b>0.0033</b>	<b>0.0027</b>	<b>0.0021</b>	<b>0.0017</b>	<b>0.0014</b>	<b>0.0011</b>	<b>0.0008</b>	<b>0.0007</b>
RSSF5	RSPMatch	0.6840	0.6529	0.3366	0.4986	0.7559	0.9460	0.6367	0.4596	0.5530	0.7317	0.8833	0.9806	0.9963	0.9822	0.9737	0.9853	0.9373	0.8714	0.7970	0.7524
	Belfagor	0.0000	<b>0.0002</b>	<b>0.0000</b>	<b>0.0000</b>	<b>0.0028</b>	<b>0.0163</b>	0.0902	0.3149	0.4191	0.3532	0.3749	0.4642	0.6205	0.7730	0.8872	0.9610	0.9244	0.8589	0.7843	0.7250
	Simqke	0.0000	<b>0.0000</b>	<b>0.0000</b>	<b>0.0000</b>	<b>0.0000</b>	<b>0.0000</b>	<b>0.0000</b>	<b>0.0005</b>	<b>0.0021</b>	<b>0.0045</b>	<b>0.0104</b>	<b>0.0185</b>	<b>0.0234</b>	<b>0.0263</b>	<b>0.0262</b>	<b>0.0242</b>	<b>0.0230</b>	<b>0.0221</b>	<b>0.0194</b>	<b>0.0184</b>
RSPMatch	Belfagor	0.0000	<b>0.0004</b>	<b>0.0000</b>	<b>0.0001</b>	<b>0.0008</b>	<b>0.0019</b>	<b>0.0013</b>	<b>0.0043</b>	<b>0.0152</b>	<b>0.0267</b>	<b>0.0633</b>	0.1454	0.3370	0.5366	0.7248	0.8944	0.9879	0.9891	0.9833	0.9974
	Simqke	0.0000	<b>0.0000</b>	<b>0.0001</b>	<b>0.0001</b>	<b>0.0001</b>	<b>0.0002</b>	<b>0.0002</b>													

# Risultati in termini di Dhyst relativi al modello ESD:



		P value (test A&W) —Dutilità isteretica (28)— Modello EPTD																			
Combo28	Periodo	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0	1.1	1.2	1.3	1.4	1.5	1.6	1.7	1.8	1.9	2.0
				R=2																	
RNS	RSSF12	0.2486	0.2186	0.1671	0.5141	0.2850	0.3144	0.2026	0.2930	0.3716	0.3778	0.3529	0.3887	0.5378	0.6891	0.8167	0.8550	0.7782	0.8345	0.8954	0.9196
	RSSF5	0.3872	0.4022	0.2308	0.9226	0.6221	0.8840	0.8092	0.8414	0.6112	0.5955	0.5328	0.3752	0.2759	0.1958	0.2171	0.2555	0.2338	0.2554	0.2691	0.3049
	RSPMatch	0.7394	0.2422	0.1047	0.3626	0.3535	0.4683	0.5183	0.7332	0.5500	0.3753	0.3111	0.2453	0.2036	0.1887	0.1879	0.1961	0.1590	0.1286	0.1236	0.1358
	Belfagor	0.0001	0.0116	0.0026	0.0220	0.0813	0.1362	0.1745	0.2242	0.1650	0.2208	0.2447	0.1410	0.1383	0.2708	0.4298	0.4561	0.3670	0.3289	0.4229	0.4997
	Simqke	0.0000	0.0000	0.0000	0.0002	0.0007	0.0025	0.0063	0.0094	0.0139	0.0223	0.0202	0.0172	0.0143	0.0144	0.0165	0.0208	0.0155	0.0143	0.0138	0.0140
RSSF12	RSSF5	0.6798	0.4674	0.6731	0.4110	0.3731	0.2269	0.1482	0.2665	0.5942	0.6675	0.7391	0.9375	0.5645	0.2940	0.2454	0.2748	0.2884	0.2784	0.2571	0.2795
	RSPMatch	0.3349	0.8056	0.7917	0.7749	0.6827	0.5367	0.2360	0.2344	0.5523	0.8622	0.9269	0.8301	0.4842	0.2825	0.1869	0.1800	0.1706	0.1046	0.0785	0.0796
	Belfagor	0.0001	0.0354	0.0026	0.0123	0.3989	0.6713	0.8385	0.9612	0.6275	0.7743	0.9334	0.5266	0.3301	0.4256	0.5143	0.5082	0.4673	0.4140	0.3921	0.4541
	Simqke	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0004	0.0065	0.0388	0.0380	0.0349	0.0545	0.0706	0.0492	0.0222	0.0104	0.0066	0.0084	0.0071	0.0040	0.0026	0.0020
RSSF5	RSPMatch	0.5378	0.5340	0.3792	0.1588	0.4699	0.3277	0.5307	0.8638	0.9592	0.7080	0.7388	0.9257	0.9295	0.7408	0.7965	0.8710	0.9209	0.8990	0.8307	0.7798
	Belfagor	0.0000	0.0003	0.0000	0.0001	0.0236	0.0175	0.0610	0.1296	0.1918	0.3983	0.6094	0.6479	0.8916	0.5105	0.3485	0.4005	0.4530	0.4789	0.4603	0.4466
	Simqke	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0001	0.0005	0.0029	0.0188	0.0408	0.0989	0.1581	0.2591	0.3016	0.3214	0.2937	0.2473	0.2215	0.1829
RSPMatch	Belfagor	0.0000	0.0008	0.0000	0.0002	0.0313	0.0280	0.0316	0.0214	0.0306	0.3562	0.7065	0.3691	0.5470	0.4315	0.1042	0.1016	0.1251	0.0771	0.0611	0.0510
	Simqke	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0002	0.0002	0.0003	0.0002	0.0004	0.0019	0.0057	0.0084	0.0356	0.0544	0.0563
Belfagor	Simqke	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0001	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
		R=4																			
RNS	RSSF12	0.1086	0.0385	0.0206	0.0119	0.0165	0.0126	0.0115	0.0151	0.0171	0.0388	0.0597	0.0696	0.0970	0.1407	0.1648	0.1891	0.2522	0.3028	0.3319	0.3340
	RSSF5	0.0471	0.0426	0.0372	0.0526	0.0515	0.0302	0.0242	0.0297	0.0316	0.0598	0.0681	0.0579	0.0591	0.0693	0.0825	0.0860	0.1082	0.1247	0.1454	0.1677
	RSPMatch	0.0952	0.1781	0.0688	0.0425	0.0356	0.0267	0.0197	0.0140	0.0088	0.0127	0.0124	0.0109	0.0116	0.0137	0.0150	0.0187	0.0205	0.0226	0.0276	0.0276
	Belfagor	0.0073	0.0008	0.0002	0.0004	0.0006	0.0003	0.0002	0.0002	0.0002	0.0006	0.0014	0.0026	0.0049	0.0076	0.0103	0.0112	0.0170	0.0241	0.0319	0.0419
	Simqke	0.0003	0.0003	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0002	0.0002	0.0002	0.0003
RSSF12	RSSF5	0.7549	0.9057	0.7073	0.2911	0.4845	0.6144	0.7150	0.7919	0.8417	0.9307	0.9526	0.7982	0.6922	0.6241	0.6350	0.5878	0.5600	0.5411	0.5572	0.6137
	RSPMatch	0.8343	0.1246	0.2964	0.2517	0.4542	0.4791	0.5530	0.8788	0.8750	0.6340	0.4488	0.3327	0.2721	0.2131	0.2045	0.1661	0.1487	0.1360	0.1289	0.1558
	Belfagor	0.1374	0.0047	0.0003	0.0172	0.0209	0.0354	0.0353	0.0208	0.0205	0.0263	0.0466	0.0723	0.1136	0.1164	0.1359	0.1245	0.1377	0.1640	0.1869	0.2433
	Simqke	0.0014	0.0004	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0001	0.0002	0.0002	0.0003	0.0003	0.0004	0.0005	0.0005	0.0007
RSSF5	RSPMatch	0.3783	0.1409	0.5545	0.9608	0.9313	0.9064	0.8837	0.8775	0.7104	0.6168	0.5609	0.5958	0.6095	0.5630	0.5253	0.5056	0.4862	0.4689	0.4366	0.4406
	Belfagor	0.0218	0.0018	0.0003	0.0006	0.0048	0.0092	0.0160	0.0185	0.0315	0.0540	0.1079	0.2335	0.3674	0.3965	0.4173	0.4478	0.5005	0.5793	0.6125	0.6495
	Simqke	0.0000	0.0001	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0001	0.0003	0.0005	0.0017	0.0033	0.0027	0.0030	0.0040	0.0047	0.0052	0.0057	0.0061
RSPMatch	Belfagor	0.0008	0.0000	0.0000	0.0000	0.0002	0.0003	0.0003	0.0017	0.0042	0.0095	0.0581	0.2331	0.4823	0.6421	0.7878	0.9315	0.8751	0.6612	0.5280	0.4790
	Simqke	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0001	0.0002	0.0004	0.0005
Belfagor	Simqke	0.0000	0.0205	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
		R=6																			
RNS	RSSF12	0.0678	0.0277	0.0207	0.0106	0.0080	0.0072	0.0089	0.0084	0.0166	0.0258	0.0341	0.0475	0.0589	0.0752	0.0861	0.0984	0.0802	0.0651	0.0671	0.0859
	RSSF5	0.0790	0.0500	0.0240	0.0157	0.0143	0.0219	0.0491	0.0528	0.0585	0.0713	0.0700	0.0801	0.0842	0.0848	0.0751	0.0836	0.0874	0.0893	0.0983	0.1240
	RSPMatch	0.6156	0.2401	0.0864	0.0286	0.0184	0.0221	0.0188	0.0090	0.0130	0.0150	0.0138	0.0121	0.0111	0.0132	0.0140	0.0143	0.0142	0.0132	0.0142	0.0164
	Belfagor	0.0019	0.0008	0.0008	0.0001	0.0001	0.0001	0.0003	0.0003	0.0005	0.0005	0.0004	0.0007	0.0008	0.0011	0.0013	0.0018	0.0025	0.0027	0.0035	0.0044
	Simqke	0.0000	0.0000	0.0001	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
RSSF12	RSSF5	0.9198	0.8258	0.9536	0.9562	0.9193	0.6237	0.3676	0.3974	0.5966	0.6286	0.7532	0.8027	0.8371	0.9432	0.9572	0.9895	0.9312	0.8524	0.8494	0.8721
	RSPMatch	0.0898	0.0840	0.2198	0.4441	0.5045	0.3598	0.4428	0.7113	0.9062	0.9439	0.7444	0.5235	0.3971	0.3758	0.3868	0.3960	0.4518	0.5428	0.5456	0.5123
	Belfagor	0.1717	0.0997	0.0301	0.0034	0.0052	0.0449	0.0835	0.1230	0.0853	0.0480	0.0183	0.0203	0.0178	0.0205	0.0319	0.0557	0.0959	0.1583	0.1830	0.1933
	Simqke	0.0002	0.0003	0.0005	0.0000	0.0001	0.0006	0.0017	0.0027	0.0004	0.0005	0.0004	0.0002	0.0001	0.0002	0.0002	0.0004	0.0003	0.0004	0.0004	0.0004
RSSF5	RSPMatch	0.1070	0.1795	0.2591	0.5503	0.6533	0.7725	0.7335	0.5147	0.6170	0.5330	0.5135	0.3802	0.2875	0.3352	0.4035	0.3500	0.3729	0.4024	0.4179	0.4199
	Belfagor	0.1303	0.0834	0.0782	0.0143	0.0180	0.0200	0.0105	0.0202	0.0384	0.0226	0.0165	0.0171	0.0118	0.0176	0.0290	0.0312	0.0640	0.1003	0.1323	0.1602
	Simqke	0.0001	0.0006	0.0046	0.0006	0.0009	0.0004	0.0002	0.0004	0.0004	0.0004	0.0007	0.0002	0.0001	0.0002	0.0002	0.0001	0.0001	0.0002	0.0003	0.0005
RSPMatch	Belfagor	0.0003	0.0000	0.0002	0.0002	0.0002	0.0005	0.0010	0.0084	0.0116	0.0058	0.0020	0.0092	0.0179	0.0161	0.0201	0.0456	0.1176	0.1677	0.2188	0.2813
	Simqke	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
Belfagor	Simqke	0.0002	0.0000	0.0266	0.0497	0.0815	0.0206	0.0170	0.0103	0.0006	0.0015	0.0041	0.0004	0.0001	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
		R=8																			
RNS	RSSF12	0.0185	0.0518	0.0238	0.0256	0.0135	0.0143	0.0105	0.0152	0.0175	0.0263	0.0296	0.0373	0.0427	0.0359	0.0301	0.0236	0.0260	0.0266	0.0318	0.0467
	RSSF5	0.0144	0.1391	0.0632	0.0233	0.0187	0.0340	0.0684	0.0431	0.0403	0.0572	0.0729	0.0847	0.0809	0.0599	0.0489	0.0412	0.0408	0.0446	0.0582	0.0721
	RSPMatch	0.5923	0.5495	0.1598	0.1099	0.0888	0.0431	0.0263	0.0220	0.0220	0.0217	0.0208	0.0208	0.0249	0.0228	0.0221	0.0164	0.0138	0.0118	0.0130	0.0161
	Belfagor	0.0189	0.0005	0.0003	0.0004	0.0002	0.0002	0.0004	0.0004	0.0003	0.0010										

## Bibliografia

- Abrahamson N.A., 1993. Non-Stationary Spectral Matching Program RSPMATCH. User Manual, July 16.
- Abrahamson N.A.,1992. Non-stationary spectral matching. Seismological Research Letters 63:1, 30-30.
- Akiyama H., 1985 Earthquake Resistant Limit-State Design for Buildings. University of Tokyo Press.
- Arias A., 1970. A measure of earthquake intensity. Seismic design for nuclear power plants, Hansen R., MIT Press, Cambridge, Massachusetts, pp.438-483.
- Aspin A. A., 1948. An examination and further development of a formula arising in the problem of comparing two mean values. Biometrika, 35, 88-96.
- Aspin, A. A., 1949. Tables for use in comparisons whose accuracy involves two variances, separately estimated. Biometrika, 36, 290-296
- Atkinson, G. M., and Boore, D. M., 1997. Stochastic point-source modelling of ground motion in the Cascadia region. Seismological Research Letters, Vol. 68, 74-85.
- Augusti, G., Baratta, A., and Casciati, F., 1984. Probabilistic methods in structural engineering. Chapman and Hall, London.
- Baker J.W., 2007. Measuring bias in structural response caused by ground motion scaling. 8<sup>th</sup> Pacific Conference on Earthquake Engineering. December 5-7 2007
- Bazzurro P., Luco N.,2005. Do scaled and spectrum-matched near-source records produce biased nonlinear structural responses. Review for 8th National Conference on earthquake Engineering.
- Bazzurro P., Luco N.,2007.Does amplitude scaling of ground motion records result in biased nonlinear structural drift responses?. Earthquake Engineering and Structural Dynamics. 22 June 2007; 36:813–1835.
- Behrens W. V., 1929. Ein Beitrag zur Fehlerberechnung bei wenigen Beobachtungen. Landwirtschaftliche Jahrbücher, 68, 807-837.
- Beresnev, I. A., and Atkinson, G. M., 1998. FINSIM - A FORTRAN program for simulating stochastic acceleration time histories from finite faults. Seismological Research Letters, Vol. 69, No. 1, 27-32.

- Bojòrquez E, Iervolino I., Manfredi G., Cosenza E., 2006. Influence of ground motion duration on degraded SDOF systems. First Conference on Earthquake Engineering and Seismology, Geneva Switzerland 3-4 September 2006. Paper Number:425.
- Bommer J. J. and Martinez-Pereira A. [2000], “Strong-motion parameters: Definition, usefulness and predictability”, Proceedings of the Twelfth World Conference on Earthquake Engineering, Auckland, Paper N° 206.
- Bommer J.J., Acevedo A.B. and Douglas J., 2003. The selection and scaling of real earthquake accelerograms for use in seismic design and assessment. Proceedings of ACI International Conference on Seismic Bridge Design and Retrofit, American Concrete Institute.
- Bommer J.J., Hancock J, Alarco’n J.E., 2006. Correlations between duration and number of effective cycles of earthquake ground motion. Soil Dynamics and Earthquake Engineering 26 (2006) 1–13.
- Bommer, J. J., and Acevedo, A. B., 2004. The use of real earthquake accelerograms as input to dynamic analysis. Journal of Earthquake Engineering, Vol. 8, (special issue No. 1), 43-91.
- Bommer, J. J., and Ambraseys, N. N., 1992. An earthquake strong-motion databank and database. Proceedings of the 10th World Conference on Earthquake Engineering, Madrid, Spain, 207-210.
- Boomer J.J., Scott S.G., Sarma S.K., 2000. Hazard-consistent earthquake scenarios. Soil Dynamics and Earthquake Engineering, v. 19,p.219-231.
- Boore D.M. e Joyner, W.B., 1993. Methods for regression analysis of strong-motion data, Bull. Seism. Soc. Am., 83, 469-487.
- Boore D.M.,2003. Simulation of Ground Motion Using the Stochastic Method. Birkhäuser Verlag, Basel, 2003.
- Brammerini F., e Di Pasquale G., 2002. Contributo per la proposta di definizione dei criteri generali per l'individuazione delle zone sismiche. Ingegneria sismica, XIX, 3, 6-20.
- Brown M. B., e Forsythe A. B., 1974.The small sample behavior of some statistics which test the equality of several means. Technometrics, 16, 129-132.
- Bycroft, G. N., 1960. White noise representation of earthquakes. Journal of the Engineering Mechanics, ASCE, Vol. 86, No. EM2, 1-16.

- Campbell K. W., 1993. An empirical prediction of near-source ground motion from large earthquakes. @ in V.K. Gaur, ed., Proceedings, Intern'l Workshop on Earthquake Hazard and Large Dams in the Himalaya. INTACH, New Delhi, p. 93-103.
- Carballo J.E., Cornell C.A., 2000. Probabilistic seismic demand analysis: spectrum matching and design, Report No. RMS-41, Reliability of Marine Structures Program, Department of Civil and Environmental Engineering, Stanford University.
- Compagnoni M., Pergalani F., 2008. Analisi comparativa sull'utilizzo di accelerogrammi generati e registrati nella modellazione numerica dei fenomeni di amplificazione sismica. GNGTS 2008, sessione 2.2.
- Cosenza E. and Manfredi G. [2000]. "Damage Indices and Damage Measures". Prog. Struct. Engng. Mater, 2, pp. 50–59.
- Cosenza E. e Manfredi G., 2000. Indici e misure di danno nella progettazione sismica. CNR-GNDT, Roma, 125pp. (ISBN 88-88151-01-X).
- Cosenza E., Maddaloni G., Magliulo G., Pecce M., Ramasco R., 2005. Progetto antisismico di edifici in cemento armato (II edizione aggiornata), IUSS Press, Pavia.
- Cosenza E., Manfredi G., 1997. Un approccio unificato alla progettazione sismica in presenza di danneggiamento ciclico, 8° Convegno Nazionale ANIDIS, Taormina, 21-24 settembre 1997.
- Crandall, S. H., and Mark, W. D., 1963. Random vibration in mechanical systems. Academic Press, New York, USA.
- D'Ambrisi, A. and Mezzi, M. (2005), A probabilistic approach for estimating the seismic response of elastoplastic SDOF systems, Earthquake Engineering & Structural Dynamics, 34, n°14, 1737-1753.
- De Marco R., Martini M.G., Di Pasquale G., Fralleone A., Pizza A.G., 2002. La classificazione e la normativa sismica dal 1909 al 1984.
- Dong-Ho Choi, Sang-Hoon Lee, 2003.. Multi-damping earthquake design spectra-compatible motion histories. Nuclear Engineering and Design 226 221–230
- Elenas, A., (2000). "Correlation between seismic acceleration parameters and overall structural damage indices of buildings", Soil Dynamics and Earthquake Engineering, 20 (2000), 93-100.
- Erto P., 1999. Probabilità e statistica per le scienze e l'ingegneria. McGraw-Hill, Milano.

- EUROCODE 8 [2003], Design for structures for earthquakes resistance – Part 1 – General rules, seismic actions and rules for buildings, Final Draft – prEN 1998-1, December.
- Fisher R. A., 1939. The comparison of samples with possibly unequal variances. *Annals of Eugenics*, 9, 174-180.
- Gasparini, D. A., e Vanmarcke, E. H., 1976. Simulated earthquake motions compatible with prescribed response spectra. *Evaluation of Seismic Safety of Buildings Report No. 2*, Department of Civil Engineering, Massachusetts Institute of Technology, USA.
- Haddon, R. A. W., 1996. Use of empirical Green's function, spectral ratios, and kinematic source models for simulating strong ground motion. *Bulletin of Seismological Society of America*, Vol. 86, No. 3, 597-615.
- Hadidi T., Krawlinker H., Lee H., 1989. Statistical study on seismic response parameters for damage evaluation, in IX WCEE Proceeding Tokyo-Kyoto, Japan, Pag 105-110.
- Hadjian, A. H., 1972. Scaling of earthquake accelegrams - A simplified approach. *Journal of the Structural Engineering, ASCE*, Vol. 98, No. ST2, 547-551.
- Halldorsson B, Dong G, and Papageorgiou AS (2002): Earthquake motion input and its dissemination via the internet, *Journal of Earthquake Engineering and Engineering Vibration*, 1 (1), 20-26.
- Hancock J., Watson-Lamprey J., Abrahamson N.A., Bommer J. J., Markatis A., McCOYH E., Mendis R., 2006. 'An improved method of matching response spectra of recorded earthquake ground motion using wavelets. *Journal of Earthquake Engineering*, 10:1,67 — 89.
- Housner, G. W., 1955. Properties of strong ground motion earthquakes. *Bulletin of Seismological Society of America*, Vol. 45, 187-218.
- Idriss I.M., 1991. "Earthquake ground motions at soft soil sites." *Proceedings: 2nd Int'l Confer. on Recent Advances in Geotechnical Earthquake Engineering and Soil Dynamics*, Saint Louis, Missouri, Invited Paper LP01, 2265-2272.
- Iervolino I., e Cornell C.A., 2005. Record selection for nonlinear seismic analysis of structures. *Earthquake Spectra*, Vol.21, No.3, pp 685-713.
- Iervolino I., Galasso C., Cosenza E., 2008. Spettri, accelerogrammi e le nuove norme tecniche per le costruzioni.

- Iervolino I., Maddaloni G., Cosenza E., 2007. Accelerogrammi naturali compatibili con le specifiche dell'OPCM 3431 per l'analisi sismica delle strutture. XII Convegno Nazionale ANIDIS "L'Ingegneria Sismica in Italia", Pisa, 11-15 Giugno 2007.
- Iervolino I., Maddaloni G., Cosenza E., 2008. Eurocode 8 compliant real record sets for seismic analysis of structures. *Journal of Earthquake Engineering*, 12 (1): 54-90.
- Iervolino I., Manfredi G., Cosenza E., Bojórquez E., 2006. Influence of Ground Motion Duration on Degrading SDOF Systems. 1st European Conference on Earthquake Engineering and Seismology, Geneva (Switzerland), 3-8 September 2006, paper # 425.
- Iyengar N. R., e Rao P. N., 1979. Generation of spectrum compatible accelerograms. *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, Vol. 7, 253-263.
- Jenkins, J. M., 1961. General considerations in the analysis of spectra. *Technometrics*, Vol. 3, 133-166.
- Jennings, P. C., Housner, G. W., and Tsai, N. C., 1968. Simulated earthquake motions. Earthquake Engineering Research Laboratory, California Institute of Technology, Pasadena, California.
- Kanai, K., 1961. An empirical formula for the spectrum of strong earthquake motions. *Bulletin of the Earthquake Research Institute, University of Tokyo, Japan*, Vol. 39, 85-95.
- Kaul, M. K., 1978. Spectrum-consistent time-history generation. *Journal of Engineering Mechanics, ASCE*, Vol. 104, No. EM4, 781-788.
- Kaul, M.K. (1978). Spectrum consistent time-history generation, *ASCE J. Eng Mech.* EM4, 781-788.
- Kruskal W. H., e Wallis W. A., 1952. Use of ranks in one criterion variance analysis. *Journal of the American Statistical Association*, 47, 583-621.
- Lam, N.T.K., Wilson, J.L., and Hutchinson, G.L., (2000) Generation of synthetic earthquake accelerograms using seismological modeling: a review, *Journal of Earthquake Engineering*, Vol 4, No 3, pp 321-354
- Lee S. C. and Han, S. W., 2002. Neural-network-based models for generating artificial earthquakes and response spectra. *Computers and Structures*, Vol. 80, No. 20-21, 1627-1638
- Lestuzzi, P., Schwab, P., Koller, M., and Lacave, C., (2004). How to choose earthquake recordings for non-linear seismic analysis of structures. *Proceedings of the 13th World Conference on Earthquake Engineering*, Vancouver, B.C., Canada, paper No. 1241.

- Levy, S., and Wilkinson, J. P. D., 1976. Generation of artificial time histories, rich in all frequencies, from given response spectra. *Nuclear Engineering Design*, Vol. 38, 241-251.
- Lilhanand, K., Tseng, W.S., 1987. Generation of synthetic time histories compatible with multiple damping design response spectra, SMiRT-9. Lausanne, Switzerland, K2/10, pp. 105–110.
- Lilhanand, K., Tseng, W.S., 1988. Development and application of realistic earthquake time histories compatible with multiple damping design spectra. In: *Proceedings of the 9th WCEE*, vol.II. Tokyo-Kyoto, Japan, pp. 819–824.
- Lin C.-C. J., e Ghaboussi J., 2001. Generating multiple spectrum compatible accelerograms using stochastic neural networks. *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, 30, 1021-1042
- Liu, S. C., 1969. On intensity definitions of earthquakes. *Journal of the Structural Engineering*, ASCE, Vol. 95, No. ST5, 1037-1042.
- Liu, S. C., e Jhaveri, D. P., 1969. Spectral and correlation analysis of ground motion accelerograms. *Bulletin of the Seismological Society of America*, Vol. 59, 1517-1534.
- Mahin S.A., e Bertero V.V., 1981 An evaluation of inelastic seismic design spectra *Journal of the Structural Division*, ASCE. 1981: 107(9):1777-1795.
- Manfredi G.,2001. Evaluation of Seismic Energy Demand. *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, 2001
- Masi A., 2003. Seismic vulnerability assessment of gravity load designed R/C frames, *Bulletin of Earthquake Engineering*, Vol. 1, N. 3, pp. 371-395, 2003.
- Masi A., Vona M., 2004. Vulnerabilità sismica di edifici in c.a. realizzati negli anni'70. XI Congresso Nazionale “L’ingegneria sismica in Italia”, Genova 25-29 gen 2004.
- McCabe S.L., Hall W.J., 1989. Assessment of seismic structural damage. *Journal of Structural Engineering*, 1989, 115(9) 2166-2183.
- Mucciarelli, M., Pacor, F., Vanini, M., Bettinali, F., (1997). “Definition of seismic input for base isolation applications: methodologies assessment, statistical analysis and tools developed”, *Proc. of Post-SMIRT conference on Seismic Isolation*, Taormina.
- Naumoski, N., 2001. Program SYNTH – Generation of artificial accelerograms compatible with a target spectrum. Dept. of Civil Engineering, University of Ottawa, Ontario, 18 pp.

- Newmark N. M., Rosenblueth E., 1971. Fundamentals of earthquake engineering. Prentice-Hall, New York.
- Neyman e Pearson, 1928. On the Problem of the Most Efficient Tests of Statistical Hypotheses
- Nikolaou A.S.,1998. A GIS Platform for Earthquake Risk Analysis, Ph.D.Thesis, State University of New York at Buffalo.
- Norme Tecniche per le Costruzioni” (NTC), D.M. del 14/01/2008, pubblicate sulla Gazzetta Ufficiale n. 29 del 4 febbraio 2008 con Supplemento Ordinario n. 30;
- OPCM n. 3274, 2003. Norme tecniche per il progetto, la valutazione e l'adeguamento sismico degli edifici. Gazzetta Ufficiale della Repubblica Italiana,105.
- Papageorgiou, A., Halldorsson, B. and Dong, G. 2002. TARSC TH (Target Acceleration Spectra Compatible Time Histories), Engineering Seismology Laboratory (ESL) at the State University of New York at Buffalo.
- Pinto, A. V., and Pegon, P., 1991. Numerical representation of seismic input motion. Experimental and numerical methods in earthquake engineering, Donea & Jones (eds.), ECSC, EEC, EAEC, Brussels and Luxembourg.
- Priestley, M. B., 1967. Power spectral analysis of non-stationary random process. Journal of Sound and Vibration, Vol. 6, No. 1, 86-97.
- Reiter L., 1990. Earthquake Hazard Analysis: Issues and Insights, Columbia University Press, 254 pp.
- Rizzo, P. C., Shaw, D. E., and Jarecki, S. J., 1973. Develeopment of real/synthetic time histories to match smooth design spectra. Proceedings of the 2nd International Conference on Structural Mechanics in Reactor Technology, America Nuclear Society, Berlin, Germany.
- Romeo R.,Pugliese A., 1997. Analisi probabilistica della scuotibilità del territorio italiano. Ingegneria sismica, n.2/97, Mag-Ago 1997, 68-77
- Rosenblueth, E., 1964. Probabilistic design to resist earthquakes. Journal of Engineering Mechanics, ASCE, Vol. 90, No. EM5, 189-219.
- Rosenblueth, E., and Bustamante, J. E., 1962. Distribution of structural response to earthquakes. Journal of Engineering Mechanics, ASCE, Vol. 88, 75-106.
- Ruiz, P.,Penzien J., 1969. Probabilistic study of the behavior of structures durig eartquake. Eartquake Engineering Research center, Report n. UCB/EERC-69/3, University of California, Berkeley, March 1969.

- Sabetta, F., e Pugliese, A., 1996. Estimation of response spectra and simulation of nonstationary earthquake ground motions. *Bulletin of Seismological Society of America*, Vol. 86, No. 2, 337-352.
- Saragoni, G. R., and Hart, G. C., 1974. Simulation of artificial earthquakes. *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, Vol. 2, 249-267.
- Satterthwaite F. E., 1946. An approximate distribution of estimates of variance components. *Biometrics Bulletin*, 2, 110-114.
- Sawilowsky S.S., 2002. Fermat, Schubert, Einstein, and Behrens-Fisher: The Probable Difference Between Two Means When  $s_1^2 \neq s_2^2$ . *Journal of Modern Applied Statistical Methods* Fall 2002, Vol.1, No 2, 461-472.
- Scanlan, R. H., and Sachs, K., 1974. Earthquake time histories and response spectra. *Journal of Engineering Mechanics, ASCE*, Vol. 100, No. EM4, 635-655.
- Scheffé, H. (1943). On solutions of the Behrens-Fisher problem, based on the  $t$ -distribution. *Annals of Mathematical Statistics*, 14, 35-44.
- Schwab P., Lestuzzi P., 2004. Assessment of the Seismic Non-Linear Behavior of Ductile Structures Due to Synthetic Earthquakes. *Bulletin Earthquake Engineering*, Volume 5, N°1/February, 2007.
- Silva W.J. E Lee K., 1987. Wes RASCAL Code for Synthesizing Earthquake Ground Motion. Miscellaneous Paper S-73-1 No.24 in the series 'State-of-the-art for assessing earthquake hazards in the United states', US Army Engineer Waterways Experiment Station, Vicksburg, Mississippi.
- SIMQKE User Manual, 1976. NISEE Software Library, University of California, Berkeley, USA.
- Stafford P.J., Bommer J.J., 2009. Empirical equations for the prediction of the equivalent number of cycles of earthquake ground motion, *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*.
- Suarez, L. E. and Montejó, L. A., 2003. "Generación de registros artificiales compatibles con un espectro de respuesta mediante la transformada wavelet," *Proceedings of II Congreso Nacional de Ingeniería Sísmica*, Medellín.
- Suarez, L. E. and Montejó, L. A., 2005. "Generation of artificial earthquakes via the wavelet transform," *International Journal of Solids and Structures*, 42(21-22), 5905-5919.

- Tajimi, H., 1960. A statistical method of determining the maximum response of a building structure during an earthquake. Proceedings of the second World Conference on Earthquake Engineering. Tokyo and Kyoto, Japan.
- Tento A., Franceschina L. e Marcellino A., 1992. Expected ground motion evaluation for Italian sites. Proc.10th World Conference on Earthquake Engeniering, Madrid (Spain), A.A. Balkema, 1, 489-494.
- Tiku, M. L., & Singh, M. (1981). Robust test for means when population variances are unequal. Communications in Statistics, 10, 2057-2071
- Tsai, N. -C., 1972. Spectrum-compatible motions for design purposes. Journal of Engineering Mechanics, ASCE, Vol. 98, No. EM2, 345-356.
- Uang C.M. e Bertero V.V., 1990 Evaluation of seismic energy in structures. Earthquake Engineering and Structural Dynamics. 1990: 19: 77-90.
- Vanmarcke, E. H., 1976. Structural response to earthquakes. Chapter 8 of Seismic Risk and Engineering Decisions. Ed. Lomnitz, C., and Rosenblueth, E., Elsevier, New York.
- Welch B. L., 1938. The significance of the difference between two means when the population variances are unequal. Biometrika, 29, 350-62.
- Welch B. L.,1947. The generalization of Student's problem when several different population variances are involved. Biometrika, 34, 28-35.
- Yuen, K. K. (1974). The two-sample trimmed t for unequal population variances. Biometrika, 61, 165-170.
- Zahrah T., Hall J., 1984. Earthquake energy absorption in SDOF structures. Journal of Structural Engineering. 1984: 110(8): 1757-1772.
- Zeng Y., Anderson J. G.,Yu, G., 1994. A composite source model for computing realistic synthetic strong ground motions. Geophysical Research Letters, Vol. 21, No. 8, 725-728.