

PONTE SULLO STRETTO DI MESSINA



PROGETTO DEFINITIVO

EUROLINK S.C.p.A.

IMPREGILO S.p.A. (MANDATARIA)

SOCIETÀ ITALIANA PER CONDOTTE D'ACQUA S.p.A. (MANDANTE)

a. COOPERATIVA MURATORI E CEMENTISTI - C.M.C. DI RAVENNA SOC. COOP. A.R.L. (MANDANTE)

b. SACYR S.A.U. (MANDANTE)

ISHIKAWAJIMA - HARIMA HEAVY INDUSTRIES CO. LTD (MANDANTE)

A.C.I. S.C.P.A. - CONSORZIO STABILE (MANDANTE)

<p>IL PROGETTISTA Prof. Ing. F. Braga Ordine Ingegneri Roma N° 7072</p> <p>Dott. Ing. E. Pagani Ordine Ingegneri Milano n° 15408</p> 	<p>IL CONTRAENTE GENERALE</p> <p>Project Manager (Ing. P.P. Marcheselli)</p>	<p>STRETTO DI MESSINA Direttore Generale e RUP Validazione (Ing. G. Fiammenghi)</p>	<p>STRETTO DI MESSINA Amministratore Delegato (Dott. P. Ciucci)</p>
--	--	---	---

<p>Unità Funzionale: OPERA DI ATTRAVERSAMENTO</p> <p>Tipo di sistema: STUDI DI BASE</p> <p>Raggruppamento di opere/attività: ANALISI GLOBALI</p> <p>Opera - tratto d'opera - parte d'opera: Generale</p> <p>Dati di input sismico per le verifiche di scenario</p> <p>Titolo del documento</p>	<p>PB0027_F0</p>
--	------------------

CODICE	C	G	3	6	0	0	P	R	X	D	P	S	B	A	2	G	0	0	0	0	0	0	0	1	F0
--------	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	----

REV	DATA	DESCRIZIONE	REDATTO	VERIFICATO	APPROVATO
F0	20-06-2011	EMISSIONE FINALE	GL	FB	FB

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
Dati di input sismico per le verifiche di scenario		<i>Codice documento</i> <i>PB0027_F0_ITA.docx</i>	<i>Rev</i> <i>F0</i>	<i>Data</i> <i>20-06-2011</i>

INDICE

INDICE		3
1	Introduzione	5
2	Azione sismica	5
2.1	Sismicità della zona	8
2.2	Rappresentazione di base dell'azione sismica	9
2.3	Accelerogrammi registrati e simulati	12
3	Effetti di amplificazione locale	13
4	Modello spaziale dell'azione sismica	13
5	Bibliografia	14

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
Dati di input sismico per le verifiche di scenario		<i>Codice documento</i> <i>PB0027_F0_ITA.docx</i>	<i>Rev</i> <i>F0</i>	<i>Data</i> <i>20-06-2011</i>

1 Introduzione

Il presente documento ha lo scopo di sintetizzare i risultati dello studio "Definizione Delle Azioni Sismiche per il Ponte Sullo Stretto di Messina" del Giugno 12, 2010 (/1/) e di riassumerne le indicazioni pratiche ai fini della progettazione. Le indicazioni progettuali riguardano la definizione dell'entità delle azioni sismiche su suolo di riferimento da utilizzare ai fini delle analisi dell'Opera di attraversamento dello Stretto di Messina ed i criteri per tener conto degli effetti di amplificazione locale e della tri-dimensionalità del moto del terreno. Le indicazioni fornite sono in accordo ed a completamento delle indicazioni fornite dalla Normativa Italiana (/1/ Norme Tecniche per le Costruzioni, Decreto Ministeriale del 14/1/2008), dalla Normativa Europea (/2/ Eurocode 8, 1998-1, Design of structures for earthquake resistance design Part 2: General rules, seismic actions and rules for buildings, /3/ Eurocode 8, 1998-2, Design of structures for earthquake resistance design Part 2: Bridges) e dalle Norme AASHTO (/4/ AASHTO Guide Specifications for LRFD Seismic Bridge Design).

2 Azione sismica

L'azione sismica di progetto per l'Opera di Attraversamento è cautelativamente non inferiore a quella prevista dalla Pericolosità Sismica Nazionale di riferimento, così come recepita nella Normativa Italiana (/1/), ed è desunta dallo studio dei documenti GCG.F.04.01 del 1992 e DT.ISP.S.E.R1.001 del 2004 e di 27 set di registrazioni accelerometriche opportunamente selezionate, così come spiegato in dettaglio nel documento "Definizione Delle Azioni Sismiche per il Ponte Sullo Stretto di Messina" del Giugno 12, 2010 (/5/). La scelta di registrazioni utilizzabili per la definizione dell'azione sismica di progetto ha comportato le seguenti attività:

1. Valutazione delle sorgenti sismiche possibili per il sito e delle possibili caratteristiche sismo-genetiche, sia generali ricavabili dai dati di letteratura (p.e. magnitudo, distanza dall'epicentro, profondità dell'ipocentro, direzionalità, tipologia del meccanismo generatore), sia di più diretto interesse per la progettazione (p.e. accelerazioni e contenuto in frequenza).
2. Individuazione, nelle basi dati disponibili in campo nazionale ed internazionale, di un insieme di accelerogrammi registrati su roccia di base, per eventi sismici con caratteristiche analoghe a quelle determinate al punto 1.

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
Dati di input sismico per le verifiche di scenario		<i>Codice documento</i> <i>PB0027_F0_ITA.docx</i>	<i>Rev</i> <i>F0</i>	<i>Data</i> <i>20-06-2011</i>

3. Analisi della affidabilità delle registrazioni individuate al punto 2 per verificare la correttezza del contenuto in frequenza, in associazione con l'accuratezza dei relativi sistemi di misura, con riferimento particolare alle zone di lungo periodo di specifico interesse per l'Opera.

A seguito delle suddette attività, sono stati identificati 27 eventi sismici, di ognuno dei quali sono state considerate tre registrazioni accelerometriche, due per le componenti orizzontali ed una per la componente verticale del moto del terreno (Tabelle 2.1 e 2.2).

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
Dati di input sismico per le verifiche di scenario		<i>Codice documento</i> <i>PB0027_F0_ITA.docx</i>	<i>Rev</i> <i>F0</i>	<i>Data</i> <i>20-06-2011</i>

Tabella 2.1 Sintesi degli eventi sismici ricavati dalla base dati PEER

Record Sequence Number	Earthquake Name	Station Name	YEAR	Earthquake Magnitude (Mw)	Campbell R Dist. (km)	Preferred NEHRP based on Vs30	Preferred Vs30 (m/s)	PGA (g)
1	Parkfield	Temblor pre-1969	1966	6.19	16.24	C	527.9	0.29
2	San Fernando	Pacoima Dam (upper left abut)	1971	6.61	3.03	A	2016.1	1.16
3	Morgan Hill	Coyote Lake Dam (SW Abut)	1984	6.19	3.01	C	597.1	0.97
4	Morgan Hill	Gilroy Array #6	1984	6.19	10.30	C	663.3	0.28
5	Loma Prieta	Gilroy - Gavilan Coll.	1989	6.93	9.96	C	729.7	0.33
6	Loma Prieta	Gilroy Array #1	1989	6.93	9.64	B	1428.0	0.44
7	Loma Prieta	LGPC	1989	6.93	3.88	C	477.7	0.78
8	Landers	Lucerne	1992	7.28	3.71	C	684.9	0.72
9	Northridge-01	LA Dam	1994	6.69	5.92	C	629.0	0.45
10	Northridge-01	Pacoima Dam (downstr)	1994	6.69	7.01	A	2016.1	0.41
11	Northridge-01	Pacoima Dam (upper left)	1994	6.69	7.01	A	2016.1	1.43
12	Kobe, Japan	KJMA	1995	6.90	3.23	D	312.0	0.71
13	Kobe, Japan	Nishi-Akashi	1995	6.90	8.12	C	609.0	0.49
14	Kocaeli, Turkey	Arcelik	1999	7.51	13.52	C	523.0	0.17
15	Kocaeli, Turkey	Gebze	1999	7.51	10.98	B	792.0	0.18
16	Cape Mendocino	Petrolia	1992	7.01	8.18	C	712.8	0.62
17	Northridge-01	Burbank - Howard Rd.	1994	6.69	16.88	B	821.7	0.14
18	Northridge-01	LA - Chalon Rd	1994	6.69	20.45	C	740.1	0.21
19	Northridge-01	LA - Griffith Park Observatory	1994	6.69	23.77	B	1015.9	0.25
20	Northridge-01	LA - Wonderland Ave	1994	6.69	20.30	B	1222.5	0.13
21	Northridge-01	LA 00	1994	6.69	19.07	C	706.2	0.32
22	Northridge-01	Santa Susana Ground	1994	6.69	16.74	C	715.1	0.25

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
Dati di input sismico per le verifiche di scenario		<i>Codice documento</i> <i>PB0027_F0_ITA.docx</i>	<i>Rev</i> <i>F0</i>	<i>Data</i> <i>20-06-2011</i>

Tabella 2.2 Sintesi degli eventi sismici ricavati dalla base dati Itaca (<http://itaca.mi.ingv.it>)

Record Sequence Number	Earthquake Name	Station Name	YEAR	Earthquake Magnitude (Mw)	R epi. [km]	Site Class EC8	PGA (g)
23	L'Aquila Mainshock	AQV	2009	6.3	4.87	B	0.65
24	L'Aquila Mainshock	AQK	2009	6.3	5.65	B	0.36
25	L'Aquila Mainshock	AQG	2009	6.3	4.39	B	0.49
26	L'Aquila Mainshock	AQA	2009	6.3	4.63	B	0.44
27	L'Aquila Mainshock	AQU	2009	6.3	6.02	B	0.31

Dette registrazioni accelerometriche, opportunamente omogeneizzate mediante l'uso di leggi di attenuazione, sono state utilizzate per la definizione dei parametri di moto del terreno, ovvero dei valori massimi di accelerazione, velocità e spostamento, rispettivamente identificati come **Peak Ground Acceleration (PGA)**, **Peak Ground Velocity (PGV)** e **Peak Ground Displacement (PGD)** e degli spettri di risposta attesi al sito per rapporti di smorzamento pari a $\xi=5\%$ ed a $\xi=2\%$. I parametri di moto del terreno e gli spettri di risposta così definiti sono da considerarsi riferiti al sottosuolo di riferimento, ovvero ad una stratigrafia di Tipo A, così come definita nella Normativa Italiana (Norme Tecniche per le Costruzioni, Decreto Ministeriale del 14/1/2008, Suppl. ord. n. 30 alla G.U. n. 29 del 4/2/2008.) e nella Normativa Europea (/2/), e ad una superficie topografica orizzontale.

2.1 Sismicità della zona

Ai fini della progettazione dell'Opera di Attraversamento dello Stretto di Messina, la pericolosità sismica del sito è descritta in termini di 3 parametri di moto del terreno, ovvero i massimi valori di accelerazione, velocità e spostamento rispettivamente indicate come PGA, PGV e PGD.

I valori dei parametri di moto del terreno forniti corrispondono al massimo evento sismico atteso al sito, per il quale deve essere garantito il requisito prestazionale di prevenzione del collasso. Detti valori risultano:

1. non inferiori ai valori della pericolosità sismica nazionale di riferimento, così come considerati nella Normativa Italiana (Norme Tecniche per le Costruzioni, Decreto Ministeriale del 14/1/2008, Suppl. ord. n. 30 alla G.U. n. 29 del 4/2/2008.);

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
Dati di input sismico per le verifiche di scenario		<i>Codice documento</i> PB0027_F0_ITA.docx	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20-06-2011

2. non inferiori ai valori medi desunti dalle registrazioni;
3. in rapporti mutui tra le componenti pari ai rapporti medi riscontrati nelle registrazioni.

I parametri del moto così definiti presentano caratteristiche compatibili con quanto riscontrato su eventi sismici reali e sono cautelativi nei confronti della Normativa Italiana attualmente in vigore. I valori sono riportati in Tabella 2.3 per le componenti di moto orizzontali principale (H_{max}), secondaria (H_{min}) e verticale (V).

Tabella 2.3 Parametri di moto del terreno per le componenti orizzontali H_{max} , H_{min} e verticale V

Parametro	H_{max}	H_{min}	V
PGA (g)	0.50	0.34	0.45
PGV (cm/s)	60.00	20.67	14.77
PGD (cm)	25.00	8.03	5.17

2.2 Rappresentazione di base dell'azione sismica

Nell'ambito del presente documento, l'evento sismico in un dato punto della superficie è rappresentato da uno spettro di risposta elastico in accelerazioni. Nelle sigle, accelerazioni, velocità e spostamenti spettrali sono identificati rispettivamente come **Spectral Acceleration (SA)**, **Spectral Velocity (SV)** e **Spectral Displacement (SD)** ed i rispettivi valori massimi come **Peak Spectral Acceleration (PSA)**, **Peak Spectral Velocity (PSV)** e **Peak Spectral Displacement (PSD)**. La forma dello spettro di risposta elastico è definita dalle seguenti sette espressioni relative ai sette tratti nei quali lo spettro si articola:

$T = 0s \div T_A$	SA= PGA	SA=cost.=PGA
$T = T_A \div T_B$	SA= $PGA \times [1 + (F_a - 1) \times (T - T_A) / (T_B - T_A)]$	SA=PGA → PSA
$T = T_B \div T_C$	SA= $PGA \times F_a$	SA=cost.=PSA
$T = T_C \div T_D$	SA= $PGV \times F_v \times 2\pi / T$	SV=cost.=PSV
$T = T_D \div T_E$	SA= $PGD \times F_d \times (2\pi / T)^2$	SD=cost.=PSD
$T = T_E \div T_F$	SA= $PGD \times [F_d - (F_d - 1) \times (T - T_E) / (T_F - T_E)] \times (2\pi / T)^2$	SD=PSD → PGD
$T > T_F$	SA= $PGD \times (2\pi / T)^2$	SD=cost.=PGD

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
Dati di input sismico per le verifiche di scenario		<i>Codice documento</i> PB0027_F0_ITA.docx	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20-06-2011

Nelle espressioni, F_a , F_v ed F_d sono i fattori di amplificazione dinamica relativi, rispettivamente, ad accelerazioni, velocità e spostamenti e T_A , T_B , T_C , T_D , T_E , T_F sono i sei periodi di oscillazione caratteristici (di separazione tra l'uno e l'altro dei sette tratti) dello spettro di risposta. I valori dei fattori di amplificazione e dei periodi di oscillazione caratteristici, insieme ai parametri di moto del terreno forniti nel § 2.1, concorrono alla definizione degli spettri di risposta per il massimo evento sismico atteso al sito, su sottosuolo di riferimento, per il quale deve essere garantito il requisito prestazionale di prevenzione del collasso. Le ordinate degli spettri di risposta per le tre componenti del moto risultano:

1. non inferiori ai valori desunti dalla pericolosità sismica nazionale di riferimento, così come considerati nella Normativa Italiana (/1/);
2. non inferiori ai valori medi desunti dalle registrazioni;
3. in rapporti mutui tra le componenti pari ai rapporti medi riscontrati nelle registrazioni.

Gli spettri di risposta così definiti presentano caratteristiche compatibili con quanto riscontrato in eventi sismici reali e sono cautelativi nei confronti della Normativa Italiana attualmente in vigore (/1/). I valori dei fattori di amplificazione dinamica e dei periodi di oscillazione caratteristici relativi ad un rapporto di smorzamento $\xi=5\%$ sono riportati in Tabella 2.4 per le componenti di moto orizzontale principale (H_{max}), orizzontale secondaria (H_{min}) e verticale (V).

Tabella 2.4 Parametri di moto del terreno per le componenti orizzontali H_{max} , H_{min} e verticale V (rapporto di smorzamento $\xi=5\%$)

Parametro	H_{max}	H_{min}	V	
F_a	3.00	3.52	2.67	
F_v	2.25	2.90	2.37	
F_d	2.00	2.49	2.32	
T_A (s)	0.03	0.03	0.03	
T_B (s)	0.14	0.08	0.05	= $T_C / 4$
T_C (s)	0.58	0.32	0.19	= $2\pi PSV / PSA$
T_D (s)	2.33	2.09	2.15	= $2\pi PSD / PSV$
T_E (s)	9.31	8.38	8.62	= $T_D \times 4$
T_F (s)	37.23	33.51	34.47	= $T_F \times 4$

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO					
Dati di input sismico per le verifiche di scenario		<i>Codice documento</i> PB0027_F0_ITA.docx	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 50%;"><i>Rev</i></td> <td style="width: 50%;"><i>Data</i></td> </tr> <tr> <td>F0</td> <td>20-06-2011</td> </tr> </table>	<i>Rev</i>	<i>Data</i>	F0	20-06-2011
<i>Rev</i>	<i>Data</i>						
F0	20-06-2011						

Nella Figura 2.1 si rappresentano gli spettri di risposta in accelerazioni per le tre componenti del moto sismico su sottosuolo di riferimento. Per tener conto degli effetti di amplificazione locale, si rimanda alle indicazioni fornite nel § 3. Per la rappresentazione spaziale del moto sismico si rimanda alle indicazioni del § 4.

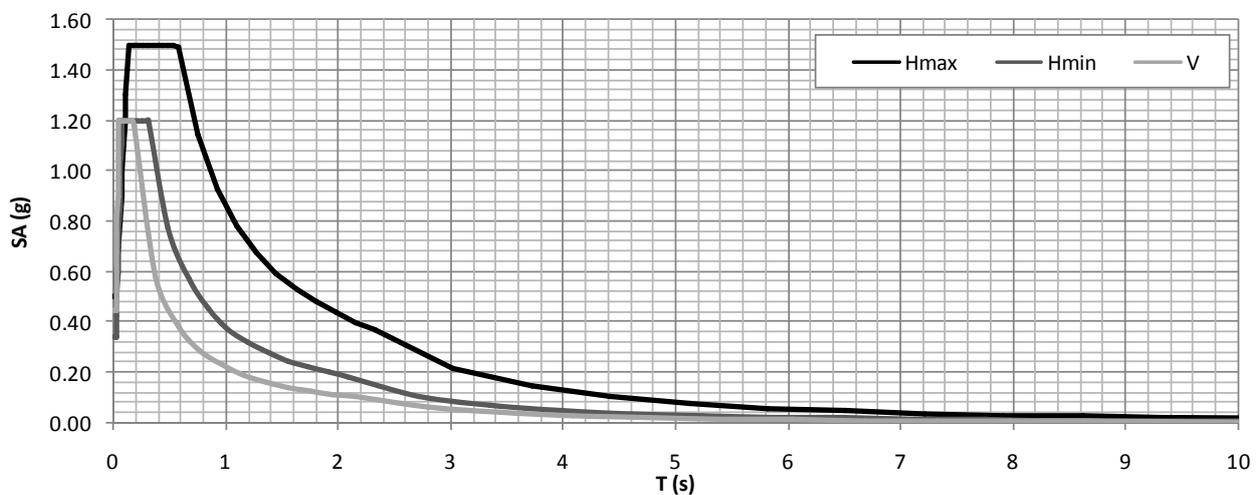


Figura 2.1 Spettri di risposta in accelerazioni per le componenti H_{max} , H_{min} e V

Per completezza di presentazione ed al fine di consentire ulteriori e più approfondite analisi strutturali, si forniscono anche gli spettri di risposta associati ad un valore del rapporto di smorzamento $\xi=2\%$. I valori dei fattori di amplificazione dinamica e dei periodi di oscillazione caratteristici per le componenti di moto orizzontale principale (H_{max}), orizzontale secondaria (H_{min}) e verticale (V) sono riportati in Tabella 2.5.

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
Dati di input sismico per le verifiche di scenario		<i>Codice documento</i> PB0027_F0_ITA.docx	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20-06-2011

Tabella 2.5 Parametri di moto del terreno per le componenti orizzontali H_{max} , H_{min} e verticale V (rapporto di smorzamento $\xi=2\%$)

Parametro	H_{max}	H_{min}	V	
F_a	4.19	4.91	3.72	
F_v	3.05	3.93	3.21	
F_d	2.47	3.07	2.86	
T_A (s)	0.03	0.03	0.03	
T_B (s)	0.14	0.08	0.05	= $T_C / 4$
T_C (s)	0.56	0.31	0.18	= 2π PSV / PSA
T_D (s)	2.12	1.91	1.96	= 2π PSD / PSV
T_E (s)	8.47	7.63	7.84	= $T_D \times 4$
T_F (s)	33.90	30.51	31.38	= $T_F \times 4$

2.3 Accelerogrammi registrati e simulati

Lo scuotimento del terreno può essere rappresentato in termini di storie temporali in accelerazione e relative quantità che rappresentano il movimento del terreno (velocità e spostamento). Il movimento sismico è descritto da tre accelerogrammi che rappresentano le tre componenti spaziali del moto (due componenti orizzontali ed una componente verticale). A tal fine possono essere usati accelerogrammi artificiali, registrati o simulati, che rispettino i criteri di spettro-compatibilità della Normativa Italiana (/1/) e della Normativa Europea (/2/).

Ai fini della progettazione definitiva dell'Opera di Attraversamento ed a seguito degli studi effettuati nel documento /5/, si forniscono quattro set di accelerogrammi, di cui due artificiali, generati con i suddetti criteri di spettro-compatibilità, e due naturali, rappresentativi di alcune peculiari caratteristiche di scuotimento riscontrabili in movimenti del terreno in zone prossime alla superficie di rottura della faglia. Ciascun set di accelerogrammi è composto da due componenti orizzontali (la principale H_{max} e la secondaria H_{min}) e da una componente verticale (V).

Nella sostanza, i set di accelerogrammi forniti sono i seguenti:

1. Set di tre accelerogrammi artificiali identificati come gruppo **A1**;

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
Dati di input sismico per le verifiche di scenario		<i>Codice documento</i> <i>PB0027_F0_ITA.docx</i>	<i>Rev</i> <i>F0</i>	<i>Data</i> <i>20-06-2011</i>

2. Set di tre accelerogrammi artificiali identificati come gruppo **A2**;
3. Set di tre accelerogrammi naturali, scelto tra le registrazioni selezionate in precedenza, particolarmente rappresentativo degli effetti di prossimità di faglia: a tal fine si utilizza il set di accelerogrammi registrati nella stazione di Arcelik durante l'evento sismico di Kocaeli del 17.08.1997 (Magnitudo $M_W=7.51$) identificati come gruppo **14**;
4. Set di tre accelerogrammi naturali, con contenuto in frequenza simile a quello dello spettro di progetto e caratterizzato da una Magnitudo ed una distanza minima dalla faglia paragonabili a quelle previste al sito: a tal fine sono stati scelti gli accelerogrammi registrati nella stazione Darfield High School durante l'evento sismico New Zealand Earthquake del 03.09.2010 (Magnitudo $M_W=7.00$) identificati come gruppo **NZ**;

In aggiunta si forniscono gli accelerogrammi corrispondenti ad un evento sismico sicuramente eccedente l'evento sismico atteso, registrati nella stazione Concepcion San Pedro durante il terremoto del Chile del 27.02.2010 (Magnitudo $M_W=8.80$) identificati come gruppo **CH**. Quest'ultimo set di accelerogrammi può essere considerato corrispondente ad un evento limite, superiore all'evento massimo atteso, da utilizzarsi ai fini della valutazione del comportamento della struttura per un evento sismico eccedente il terremoto di progetto.

I set di accelerogrammi forniti rappresentano il moto sismico atteso su sottosuolo di riferimento. Per tener conto degli effetti di amplificazione locale, si rimanda alle indicazioni fornite nel § 3. Per la rappresentazione spaziale del moto sismico si rimanda alle indicazioni del § 4.

3 Effetti di amplificazione locale

Ai fini della valutazione degli effetti di amplificazione locale, nelle analisi dinamiche gli accelerogrammi dovranno essere utilizzati come input sismico da riportare al substrato rigido con opportune tecniche di deconvoluzione. Nella valutazione della risposta strutturale, dovranno essere considerati gli effetti di interazione terreno-struttura.

4 Modello spaziale dell'azione sismica

La rappresentazione spaziale dell'azione sismica in un punto del suolo è ottenuta mediante l'utilizzo di componenti che descrivono il moto sismico in tre direzioni mutuamente ortogonali: una componente principale nel piano orizzontale (H_{max}), una componente principale nel piano orizzontale (H_{min}) ed una componente nel piano verticale (V). Nella valutazione della risposta

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
Dati di input sismico per le verifiche di scenario	<i>Codice documento</i> <i>PB0027_F0_ITA.docx</i>	<i>Rev</i> <i>F0</i>	<i>Data</i> <i>20-06-2011</i>	

strutturale, la componente principale orizzontale dovrà essere applicata in diverse direzioni, spazzando un angolo di 360° a passo non superiore a 15°, e la terna di componenti dovrà ruotare coerentemente attorno all'asse verticale.

5 Bibliografia

- /1/ Norme Tecniche per le Costruzioni, Decreto Ministeriale del 14/1/2008, Suppl. ord. n. 30 alla G.U. n. 29 del 4/2/2008.
- /2/ Eurocode 8, 1998-1 (2005). Design of structures for earthquake resistance design Part 1: General rules, seismic actions and rules for buildings.
- /3/ Eurocode 8, 1998-2 (2005). Design of structures for earthquake resistance design Part 2: Bridges.
- /4/ AASHTO, 2009. AASHTO Guide Specifications for LRFD Seismic Bridge Design.
- /5/ Professor Braga: Definizione Delle Azioni Sismiche per il Ponte Sullo Stretto di Messina 12 June 2010