

Luis D. Decanini

**Dipartimento di Ingegneria Strutturale e Geotecnica
Università “La Sapienza” - Roma**



Alcuni aspetti del grande terremoto del Cile del 27 febbraio 2010

Relazione a invito



**Sustainable Development Strategies for Constructions in Europe and China
Roma, April 19-20, 2010**

Terremoto del Cile 27 febbraio 2010

M_w 8.8

3:34 am local time

Superficie di rottura 110km x 500 km

Popolazione direttamente coinvolta
nelle zone più colpite > 2M*

Numero di morti ~ 500

Senzatetto ~ 800,000

Stima preliminare dei danni ~ € 25-30 MLD

Devastating quake in Chile

Situation as of 0500 GMT, Monday



About 500 killed



2 million people affected



1.5 million houses/buildings destroyed or badly damaged



Around US\$15-30 billion, total value of economic damage



Epicentre
8.8-magnitude
quake, February 27

- Declared disaster areas
- Government declared curfew in two worst-hit areas
- Badly hit by tsunami

PACIFIC OCEAN

CHILE

ARGENTINA

VALPARAISO

Valparaiso

SANTIAGO

METROPOLITANA

Rancagua

O'HIGGINS

Curico

Taica

MAULE

Penco

Dichato

Concepción

BIOBIO

ARAUCANIA

100 km

010310 AFP

Alcuni aspetti del grande terremoto del Cile del 27 febbraio 2010

(Avvenire, 28/2/2010)

Il fatto. Oltre 210 vittime. 46 scosse in 11 ore, le più forti seicento volte maggiori rispetto ad Haiti. Le costruzioni antisismiche limitano i danni



Alcuni aspetti del grande terremoto del Cile del 27 febbraio 2010

Foto emblematiche dei danneggiamenti



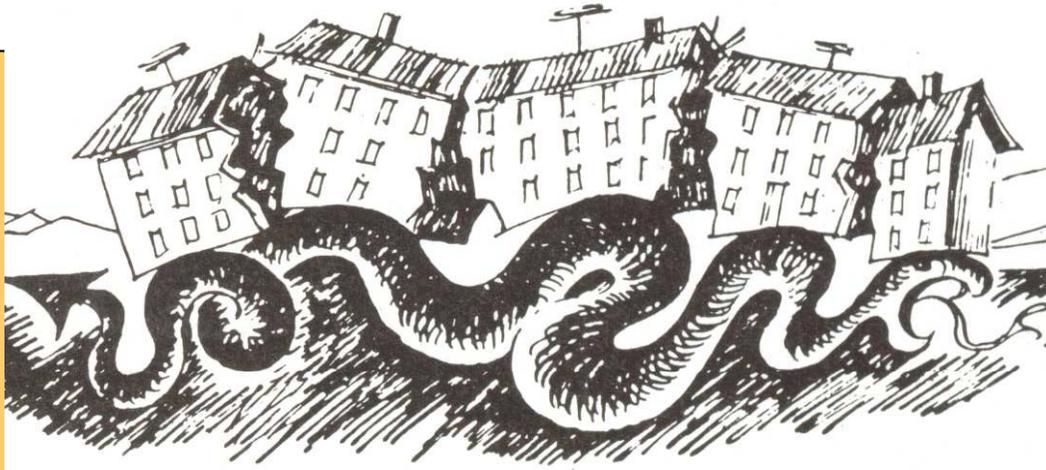
Alcuni aspetti del grande terremoto del Cile del 27 febbraio 2010

Foto emblematiche dei danneggiamenti



Alcuni aspetti del grande terremoto del Cile del 27 febbraio 2010

Rappresentazioni storiche del terremoto



(Kirikov 1992)

Perdite (stime preliminari)

TANGIBILI 25-30 MLD euro

(ricostruzione edifici e infrastrutture, cessazione e ripristino attività produttive, ecc.)

INTANGIBILI non quantificabili

(morti, feriti, shock psicologico, alterazione vita cittadina, ecc.)



ASPETTI SALIENTI COMPORTAMENTO DELLA MURATURA

Comunicazione personale del Prof. Maximiliano Astroza – Università del Cile, Santiago

- Le costruzioni in *adobe* (blocchi o mattoni di terra non cotta) hanno avuto una risposta pessima con un elevato numero di crolli. I sopralluoghi realizzati nelle regioni VI e VII (O'Higgins e Maule) dove le abitazioni in *adobe* erano molto numerose mettono in luce un comportamento pessimo di questa tipologia. I colleghi cileni parlano di un vero e proprio “*adobicidio*”. Attualmente si stanno demolendo un numero molto elevato di queste costruzioni. Questo provoca una grande domanda di abitazioni per l'emergenza anche in vista dell'avvicinarsi dell'inverno generando una situazione di difficile soluzione. Si ritiene che le costruzioni in *adobe* debbano essere espressamente vietate.

Alcuni aspetti del grande terremoto del Cile del 27 febbraio 2010

ASPETTI SALIENTI COMPORTAMENTO DELLA MURATURA

- In linea generale il comportamento della muratura ordinaria di buona qualità e specialmente della muratura confinata, è stato molto soddisfacente, in questi il danneggiamento è stato molto ridotto in rapporto alla quantità di edifici esposti. I casi con danni più elevati meritano uno studio particolarmente approfondito.
- Nelle costruzioni di uno e due livelli la muratura confinata si è comportata ottimamente, anche nel caso di abitazioni edificate dagli stessi proprietari. Tutto ciò conferma, ancora una volta, i risultati osservati a partire dal terremoto di Chillàn del 1939.
Si considera necessario, quindi, incoraggiare l'utilizzo di questa tipologia anche per costruzioni di tre o quattro piani.
- **Il comportamento delle chiese è risultato in genere deficiente se confrontato con quanto osservato sugli edifici di abitazione. L'analisi del comportamento degli edifici di culto, in genere del tipo ad aula, presenta un significativo interesse.**

Alcuni aspetti del grande terremoto del Cile del 27 febbraio 2010

Terremoto del Cile – 27 febbraio

Offshore Maule Earthquake

Ora: GMT 06:34 – Locale 03:34

Epicentro: Lat. 35.85 sud Long. 72.72 (USGS)

Epicentro: Lat. 35.95 sud Long. 73.15 (Global CMT)

Profondità Focale: 35 km

L'epicentro del terremoto si localizza a circa 325 km a sud-ovest di Santiago.

$M_w = 8.8$ (Magnitudo Momento; USGS, CMT)

$M_0 = 1.8 - 2 \times 10^{22}$ Nm (Momento sismico; CMT, USGS)

Lunghezza della superficie di rottura pari ad almeno 500 km.

Larghezza della superficie di rottura pari ad almeno 110 km.

Alcuni aspetti del grande terremoto del Cile del 27 febbraio 2010

Confronto Cile vs Aquila

- Momento Sismico

Cile: $1.8 - 2 \times 10^{22}$ Nm

L'Aquila: 3.4×10^{18} Nm

L'evento cileno ha rilasciato un Momento Sismico 5600 volte più grande di quello di L'Aquila e circa 700 volte più grande di quello di Haiti.

- Superficie territorio sensibilmente scossa

Cile: 54.000 kmq

L'Aquila: 370 kmq

- Popolazione direttamente coinvolta

Cile: 2.000.000

L'Aquila: 70.000

Alcuni aspetti del grande terremoto del Cile del 27 febbraio 2010

Confronto Cile vs Aquila

- Numero di morti

Cile: circa 500

L'Aquila: 308

- Durata scuotimento

Cile: circa 50 sec

Numerosi cicli anelastici

L'Aquila: circa 2-3 sec

pochi cicli anelastici

Frequenza di occorrenza di terremoti nel mondo sulla base delle osservazioni a partire del 1900

Categoria	Magnitudo	Numero di terremoti / anno
Catastrofico	> 8	1
Distruttivo	7 - 7.9	18
Forte	6 - 6.9	120
Moderato	5 - 5.9	800
Lieve	4 - 4.9	6200

Cile: Catastrofico

L'Aquila: Forte

Fonte: National Earthquake Information Center, U.S. Geological Survey

Alcuni aspetti del grande terremoto del Cile del 27 febbraio 2010

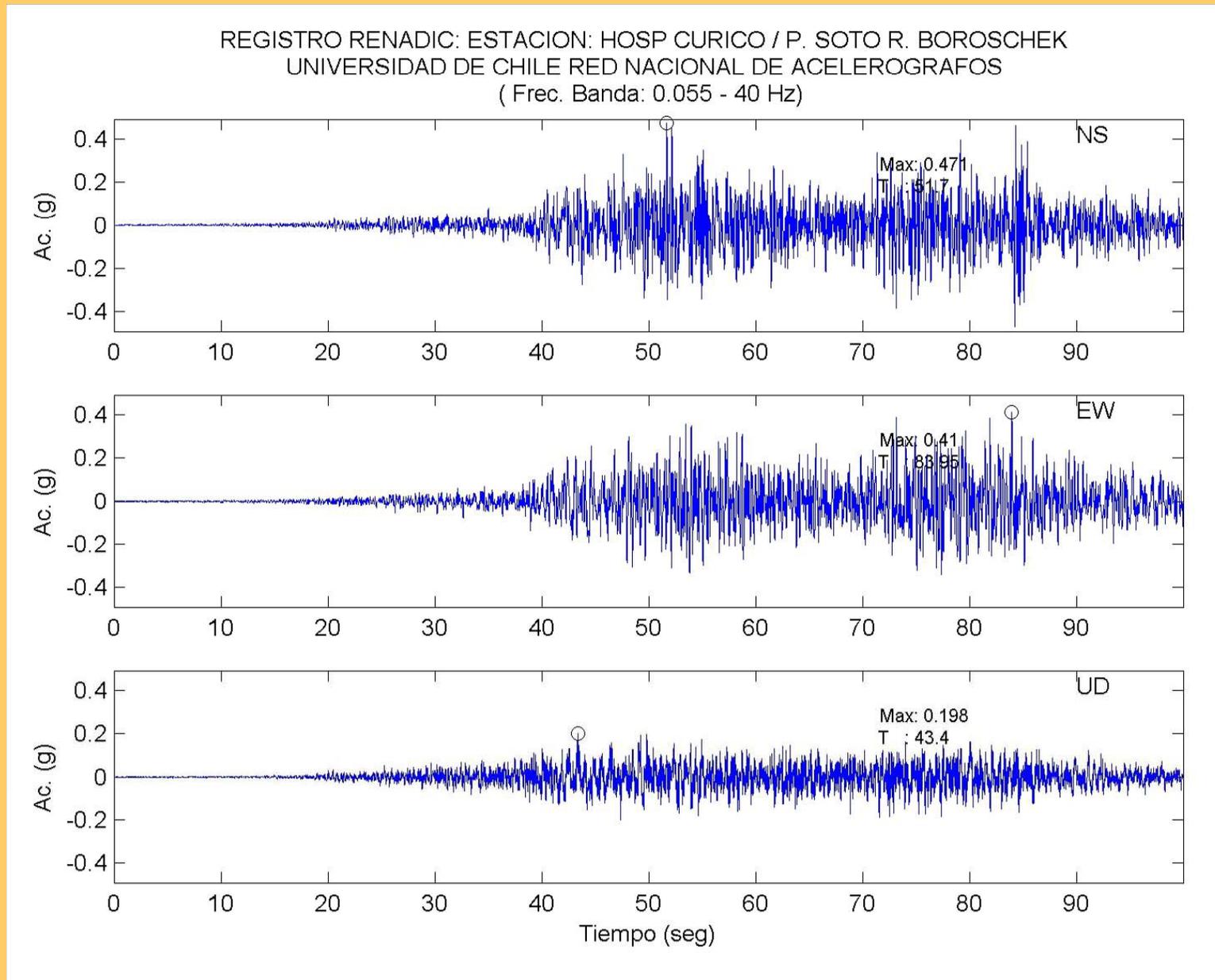
MECCANISMO FOCALE SCOSSA PRINCIPALE MAULE EQ

-  [USGS Centroid Moment Tensor Solution](#)
-  [Global CMT Project Moment Tensor Solution](#)
-  [USGS WPhase Moment Tensor Solution](#)

Interplate event at the interface between the descending slab and the overriding South American plate

[Alcuni aspetti del grande terremoto del Cile del 27 febbraio 2010](#)

Accelerogrammi Cile



Alcuni aspetti del grande terremoto del Cile del 27 febbraio 2010

Accelerazioni massime (non corrette)

Tabla 1. VALORES EXTREMOS (sin corregir)

Estación	Acceleración Máxima Horizontal (g)	Acceleración Máxima Vertical (g)	OBSERVACION
Universidad de Chile Depto Ing. Civil (Interior Edificio) Santiago	0.17	0.14	
Estación Metro Mirador Santiago	0.24	0.13	
CRS MAIPU RM	0.56	0.24	QDR. Clasificación Suelo Pendiente. Interacción Instrumento-Estructura poco probable. Pendiente Suelo- Estructura
Hosp. Tisne RM	0.30	0.28	QDR. Clasificación Suelo Pendiente
Hosp. Sotero de Río RM	0.27	0.13	QDR. Clasificación Suelo Pendiente
Hosp. Curico	0.47	0.20	QDR
Hosp. Valdivia	0.14	0.05	QDR
Viña del Mar (Marga Marga)	0.35	0.26	
Viña del Mar (Centro)	0.33	0.19	QDR

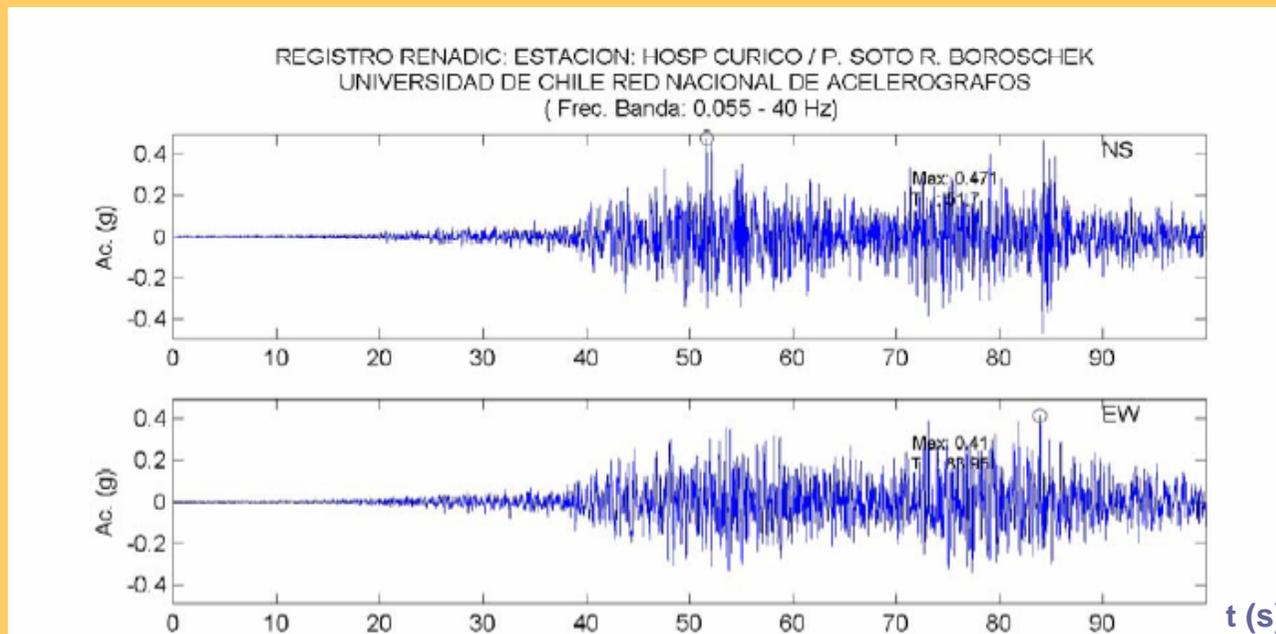
renadic

Boroschek et al.
(2010)

Non si è osservata una buona correlazione tra PGA e Danno

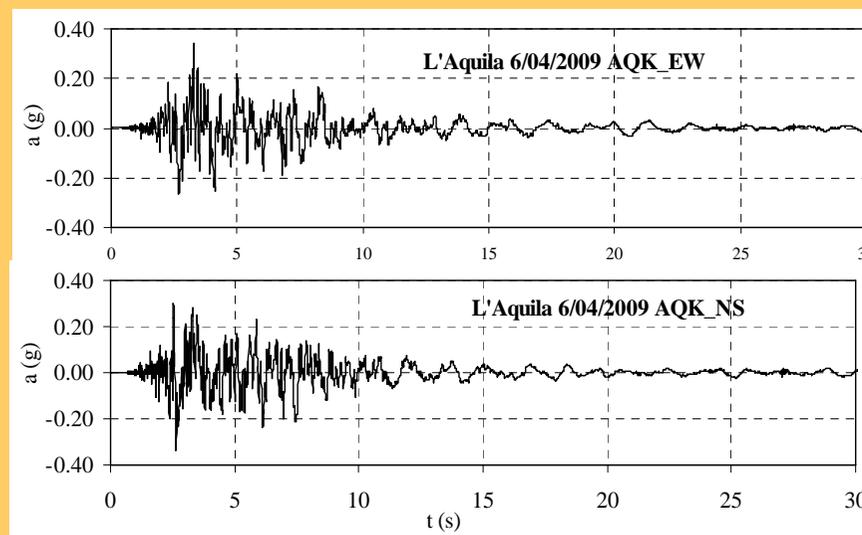
Alcuni aspetti del grande terremoto del Cile del 27 febbraio 2010

Confronto accelerogrammi Cile - L'Aquila



$M_w = 8.8$

renadic

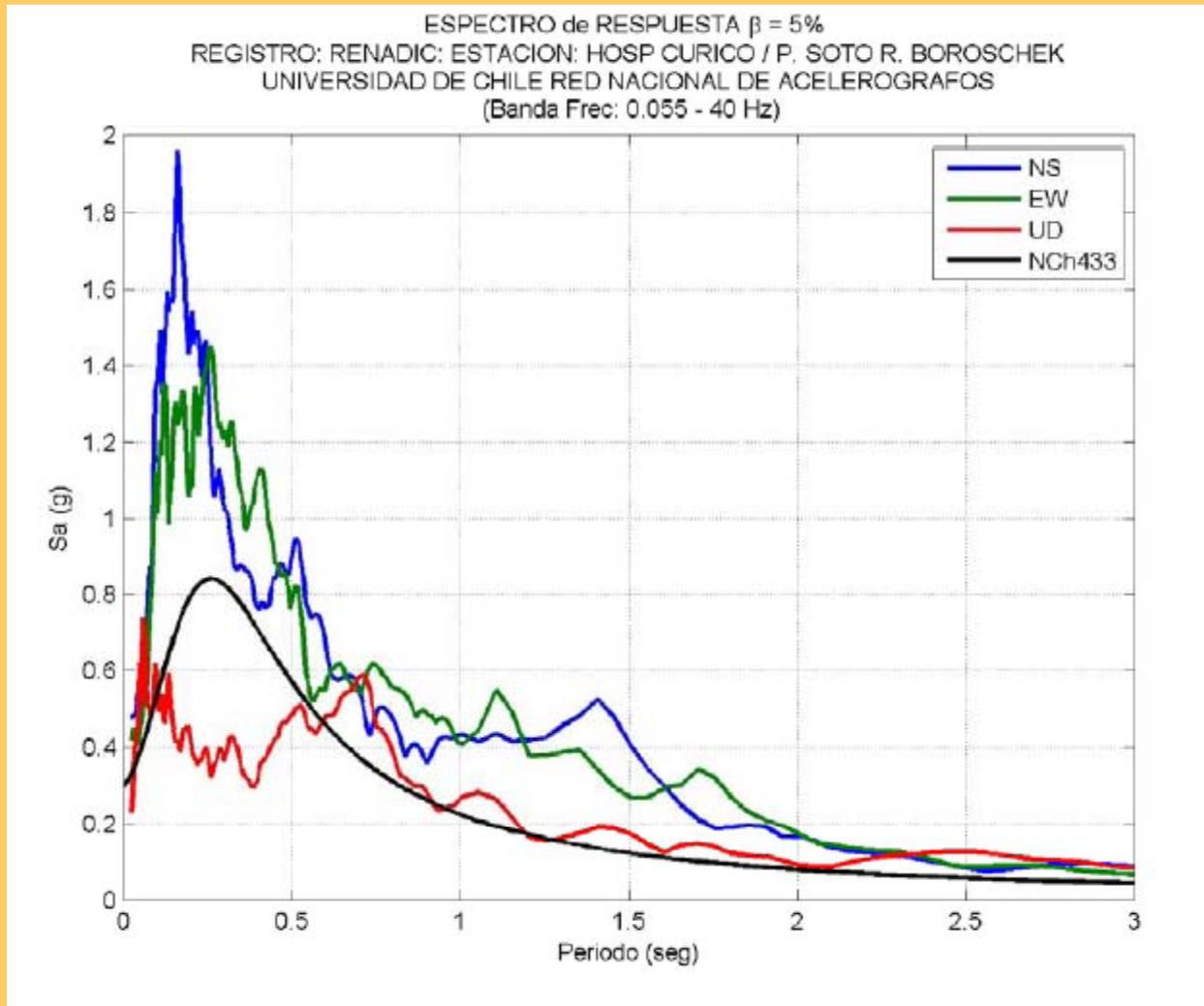


$M_w = 6.3$

RAN

Si noti la notevolissima differenza delle durate

Postazione Hospital Curico, spettri di risposta Confronto con NCh 433

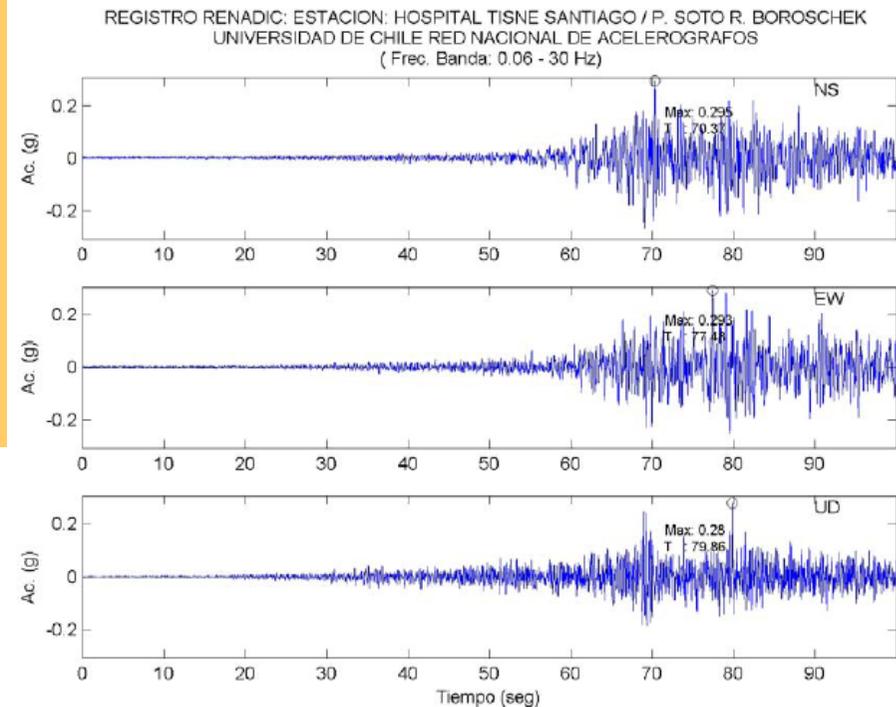
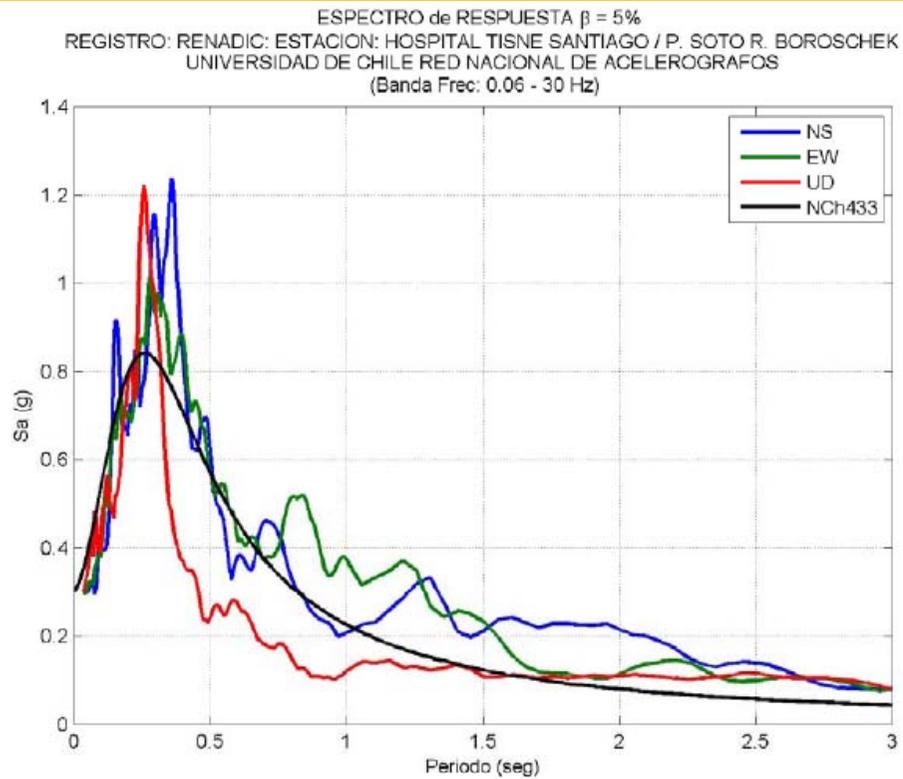


renadic

Boroschek et al.
(2010)

Alcuni aspetti del grande terremoto del Cile del 27 febbraio 2010

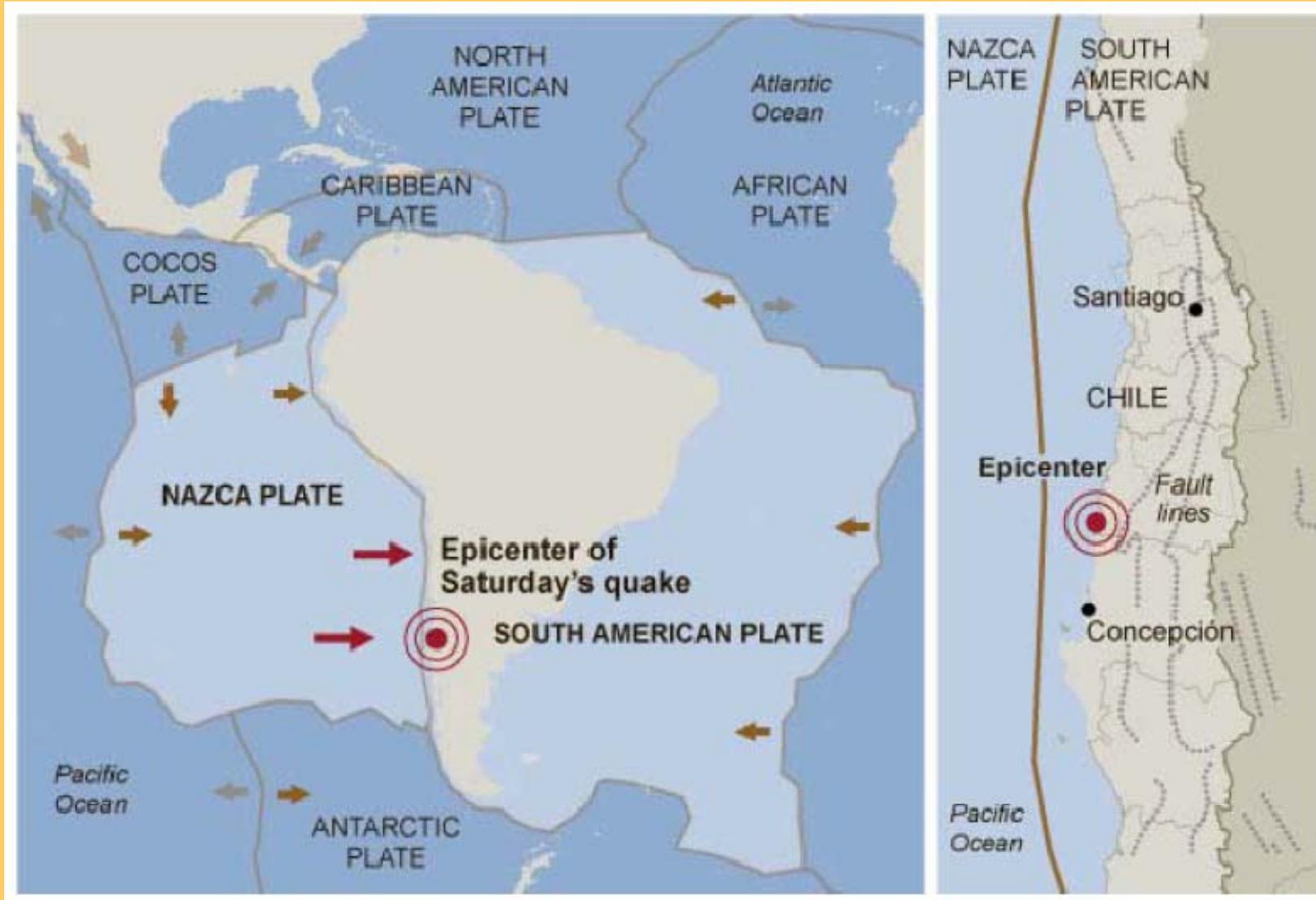
Hospital Tisne Santiago accelerogrammi e spettri di risposta



renadic

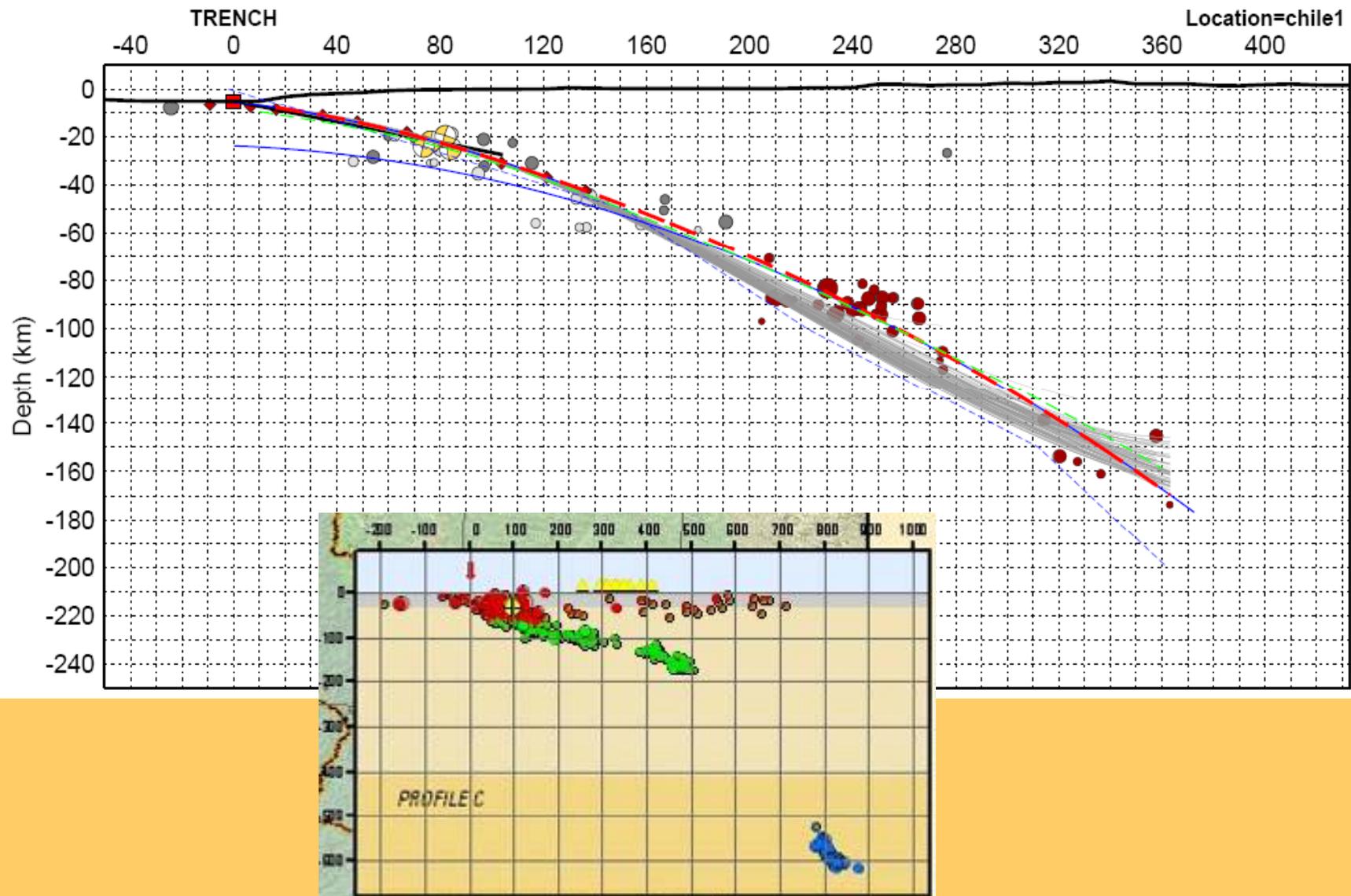
Boroschek et al.
(2010)

Alcuni aspetti del grande terremoto del Cile del 27 febbraio 2010



Geophysical evidence indicates the subduction of the Nazca plate along the coast of Chile and Peru is at a rate of approximately 10 cm per year. (Riddell, 1986)

Alcuni aspetti del grande terremoto del Cile del 27 febbraio 2010



Alcuni aspetti del grande terremoto del Cile del 27 febbraio 2010



Stima dell'intensità dello scuotimento mediante modellazione.

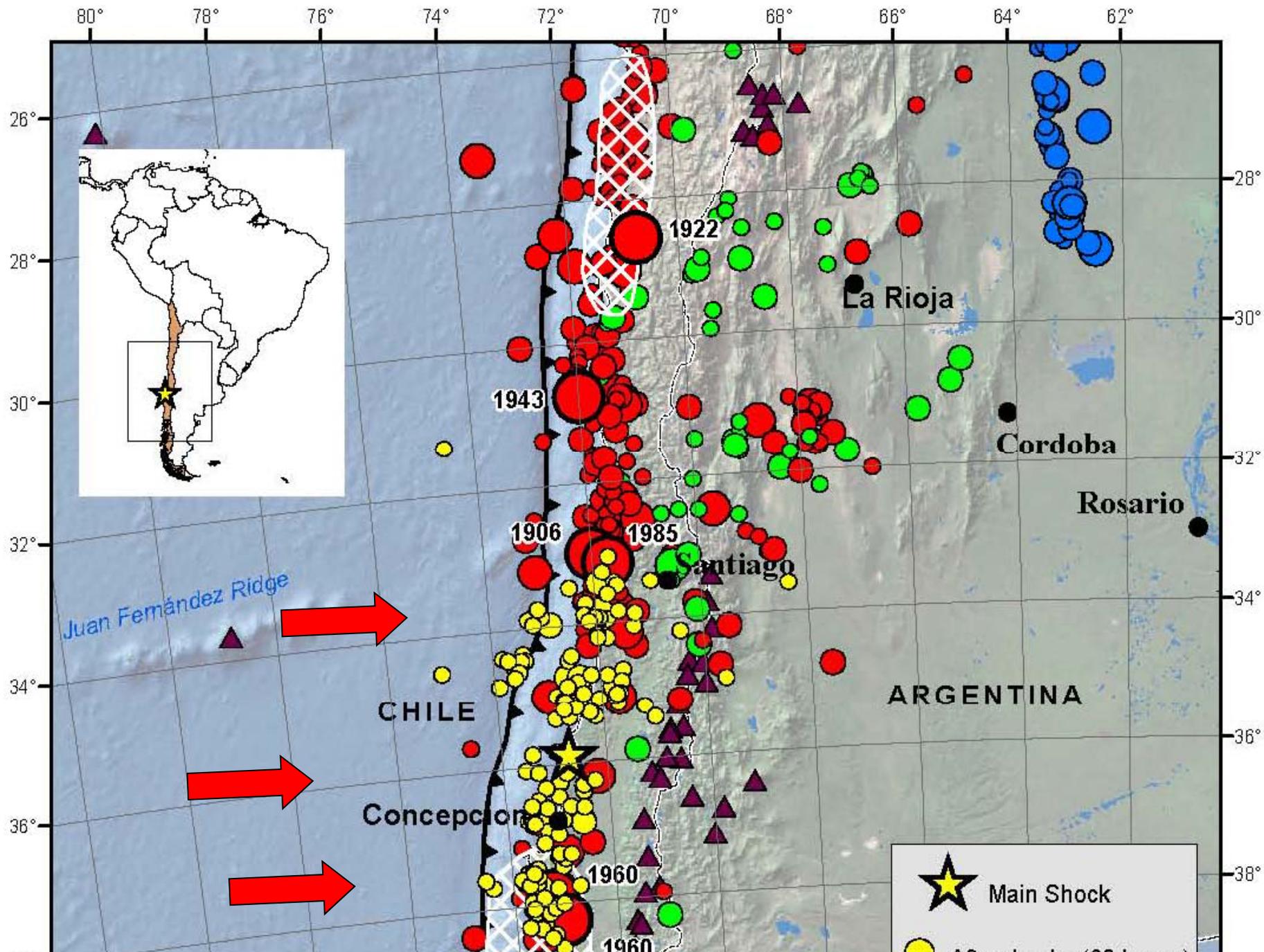
Alcuni aspetti del grande terremoto del Cile del 27 febbraio 2010

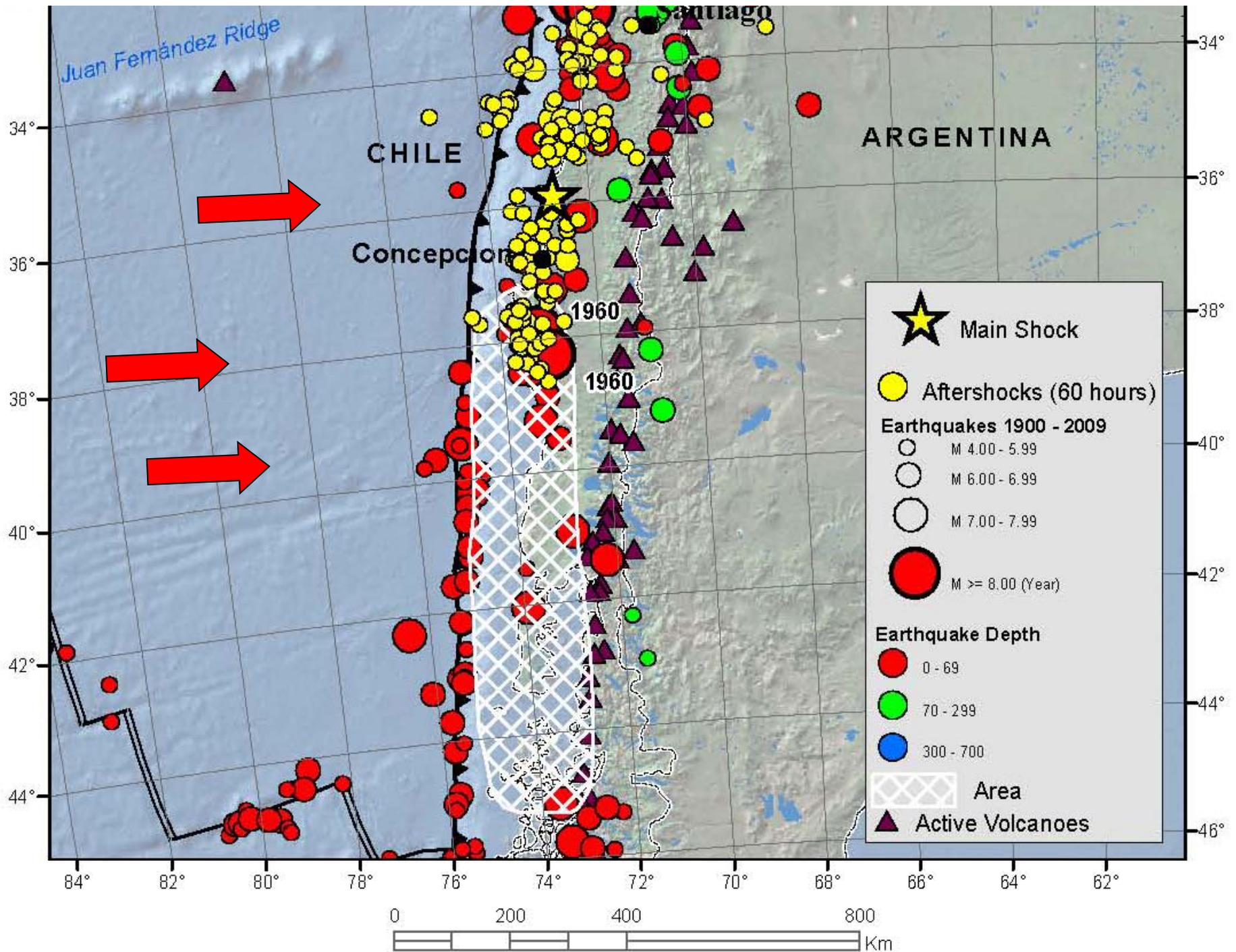


Regioni dichiarate aree disastrose.

Altezza onda Tsunami in ft.

Alcuni aspetti del grande terremoto del Cile del 27 febbraio 2010





TERREMOTI SIGNIFICATIVI IN CILE POST 1906

Magnitudo ≥ 7.5

Year	Mon	Day	Time	Lat	Long	Dep	Mag
1906	08	17	0040	-33.000	-72.000	0	8.2
1914	01	30	0336	-35.000	-73.000	0	7.5
1928	12	01	0406	-35.086	-71.683	35	7.7
1939	01	25	0332	-36.200	-72.200	0	7.7
1943	04	06	1607	-30.750	-72.000	0	8.2
1953	05	06	1716	-37.254	-72.920	68.4	7.5
1960	05	21	1002	-37.872	-73.243	35	8.2
1960	05	22	1856	-38.147	-72.984	35	7.9
1960	05	22	1911	-38.235	-73.047	35	9.5
1962	02	14	0636	-38.091	-73.050	32.9	7.5
1971	07	09	0303	-32.558	-71.085	59	7.8
1975	05	10	1427	-38.215	-72.999	28	7.7
1977	11	23	0926	-31.083	-67.778	18.3	7.5
1985	03	03	2247	-33.132	-71.708	40	8.0
2010	02	27	0634	-35.850	-72.720	35	8.8

Alcuni aspetti del grande terremoto del Cile del 27 febbraio 2010

TERREMOTI SIGNIFICATIVI IN CILE PRE 1906

Date	Epicentral Region	Magnitude
1570 February 8	Concepción	8 - 8½
1575 March 17	Santiago	7 - 7½
1757 December 16	Valdivia	8½
1604 November 24	Arica	8¼ - 8½
1615 September 16	Arica	7½
1647 May 13	Santiago	8½
1657 March 15	Concepción	8
1681 March 10	Arica	7 - 7½
1687 July 12	San Felipe	7 - 7½
1715 August 22	Arica	7½
1730 July 8	Valparaíso	8¾
1737 December 24	Valdivia	7½ - 8
1751 May 25	Concepción	8 - 8¼
1796 March 30	Copiapó	8½ - 8
1819 April 3,4,11	Copiapó	8¼ - 8½
1822 November 19	Valparaíso	8½
1829 September 26	Valparaíso	7
1835 February 20	Concepción	8 - 8¼
1837 November 7	Valdivia	8+
1847 October 8	Illapel	7 - 7¼
1849 November 17	Coquimbo	7½
1850 December 6	Valle de Maipo	7 - 7½
1851 April 2	Casablanca	7 - 7½
1859 October 5	Copiapó	7½ - 7¾
1868 August 13	Arica	8½
1869 August 24	Pisagua	7 - 7¾
1871 October 5	Iquique	7 - 7½
1877 May 9	Pisagua	8 - 8½
1879 February 2	Estrecho de Magallanes	7 - 7½
1880 August 15	Illapel	7½ - 8

Lomnitz, C - 1970

Alcuni aspetti del grande terremoto del Cile del 27 febbraio 2010

Zonazione simica nell'area più colpita dal terremoto

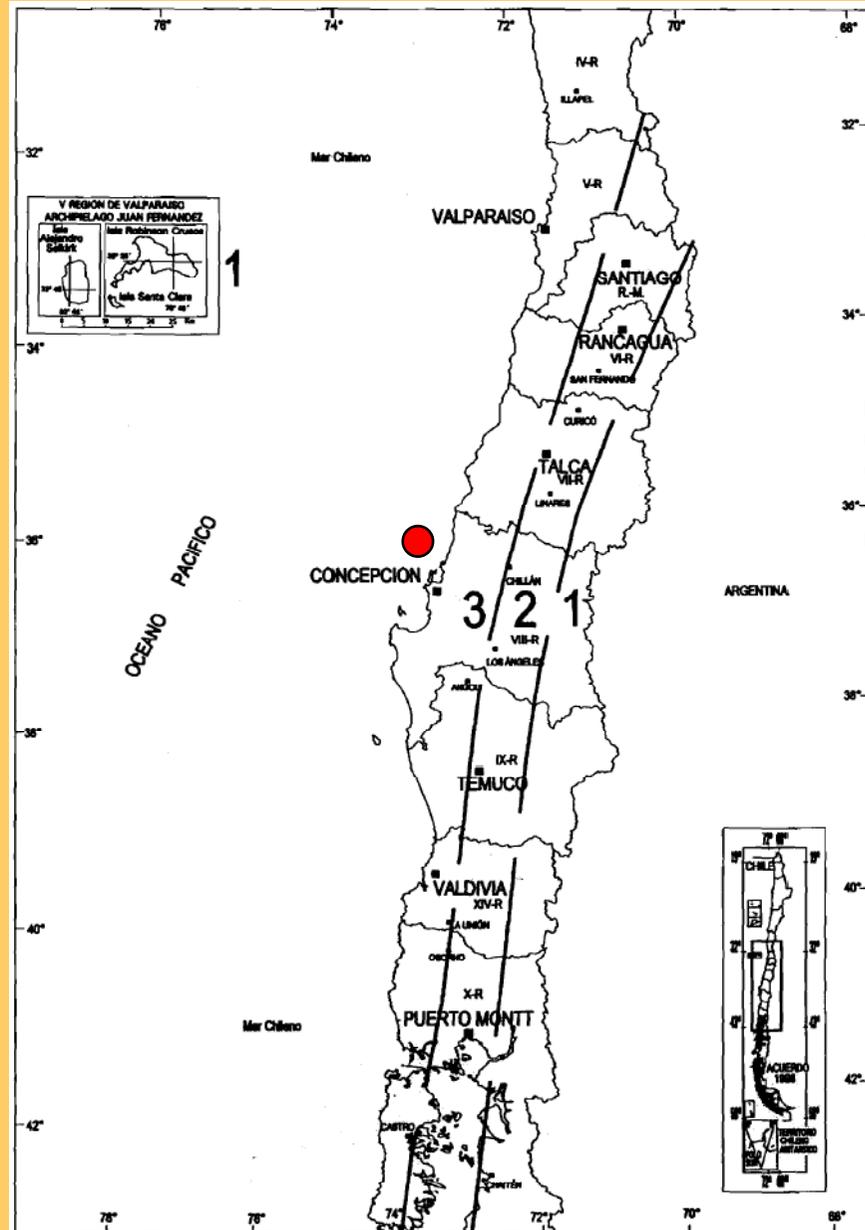


Figura 4.1 b) - Zonificación sísmica de las Regiones IV, V, VI, VII, VIII, IX, X, XIV y Región Metropolitana

Alcuni aspetti del grande terremoto del Cile del 27 febbraio 2010

Zonazione simica nell'area più colpita dal terremoto

ZONAZIONE SISMICA DEL CILE

Nel territorio cileno si distinguono tre zone sismiche. Esse si sviluppano praticamente in direzione N-S e la sismicità decresce dalla zona costiera verso Est. Di seguito si indicano alcuni esempi:

ZONA 3 (Massima)

Coquimbo (4R)
La Serena (4R)

La Ligua (5R)
Llay Llay (5R)
Valparaiso (5R)
Vina del Mar (5R)

Curacavi (RM)
Melipilla (RM)
San Pedro (RM)

Navidad (6R)
Pichilemu (6R)

Cauquenes (7R)
Constitucion (7R)
Maule (7R)
Pelluhue (7R)
Talca (7R)

Chillan (8R)
Concepcion (8R)
Coronel (8R)
Nacimiento (8R)
Talcahuano (8R)

ZONA 2 (Intermedia)

Calle Larga (5R)
Los Andes (5R)

Santiago (RM)
Las Condes (RM)
Lo Barnechea (RM)
Maipù (RM)
Providencia (RM)

Machali (6R)
Rancagua (6R)

Curicò (7R)
Rio Claro (7R)

Antuco (8R)
Tucape (8R)
Yungay (8R)

Alcuni aspetti del grande terremoto del Cile del 27 febbraio 2010

Zonazione sismica nell'area più colpita dal terremoto

Massima Accelerazione Efficace A_0 in accordo con Zonazione Sismica

EPA

Zona Sismica	A_0
3	0.40 g
2	0.30 g
1	0.20 g

FATTORE DI IMPORTANZA I

Categoria	I	A_0
A	1.2	Strategici
B	1.2	Costruzioni con affollamento
C	1.0	Normale
D	0.6	Strutture isolate o provvisorie non per abitazione

Alcuni aspetti del grande terremoto del Cile del 27 febbraio 2010

NORMA CHILENA OFICIAL

***NCh* 433.Of1996
Modificada en 2009**

INSTITUTO NACIONAL DE NORMALIZACION • INN-CHILE

Diseño sísmico de edificios

Earthquake resistant design of buildings

Primera edición : 1996
Reimpresión : 2005
Segunda edición : 2009

5 Disposiciones generales sobre diseño y métodos de análisis

5.1 Principios e hipótesis básicos

5.1.1 Esta norma, aplicada en conjunto con las normas de diseño específicas para cada material enumeradas en 5.3, está orientada a lograr estructuras que:

- a) resistan sin daños movimientos sísmicos de intensidad moderada;
- b) limiten los daños en elementos no estructurales durante sismos de mediana intensidad;
- c) aunque presenten daños, eviten el colapso durante sismos de intensidad excepcionalmente severa.

Aun cuando los puntos anteriores mencionan tres niveles de intensidad de movimiento sísmico, esta norma no los define en forma explícita. Por otra parte, el estado del arte en la disciplina no permite establecer objetivos de desempeño más específicos que los antes genéricamente señalados.

Las prescripciones para edificios con Paredes de Concreto Reforzado se basan en el buen comportamiento observado durante el terremoto del 1985.

Alcuni aspetti del grande terremoto del Cile del 27 febbraio 2010

5.4 Sistemas estructurales

5.4.1 La transmisión de las fuerzas desde su punto de aplicación a los elementos resistentes y al suelo de fundación, se debe hacer en la forma más directa posible a través de elementos dotados de la resistencia y la rigidez adecuadas.

5.4.2 Para los efectos de esta norma se distinguen los siguientes tipos de sistemas estructurales:

5.4.2.1 Sistemas de muros y otros sistemas arriostrados

Las acciones gravitacionales y sísmicas son resistidas por muros, o bien, por pórticos arriostrados que resisten las acciones sísmicas mediante elementos que trabajan principalmente por esfuerzo axial.

5.4.2.2 Sistemas de pórticos

Las acciones gravitacionales, y las sísmicas en ambas direcciones de análisis, son resistidas por pórticos.

6.2.3.1 El coeficiente sísmico C , se obtiene de la expresión:

$$C = \frac{2,75 A_o}{gR} \left(\frac{T'}{T^*} \right)^n$$

en que:

n, T' = son parámetros relativos al tipo de suelo de fundación

A_o = **Maxima Aceleracion Eficaz**

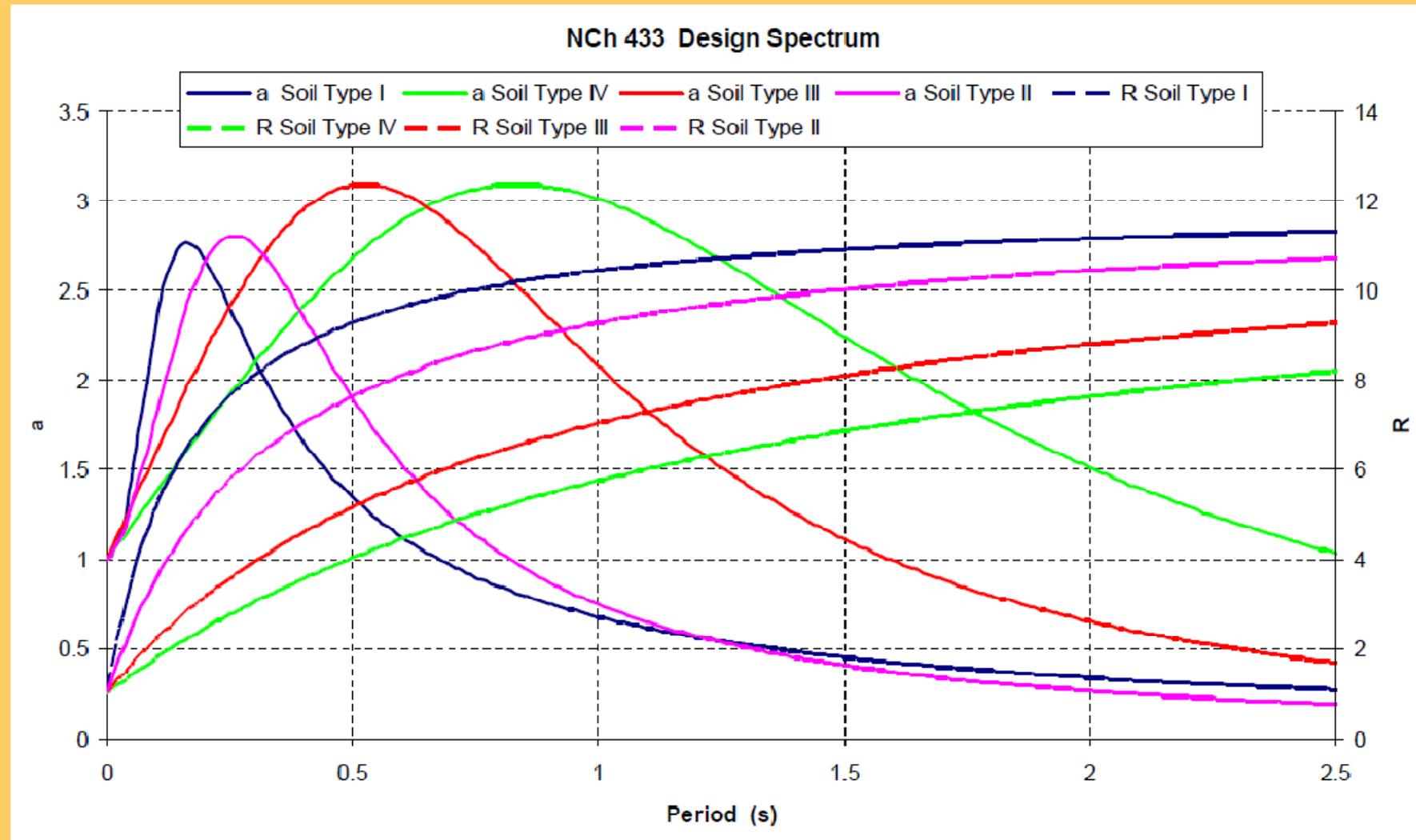
R = factor de reducción

T^* = período del modo con mayor masa traslacional equivalente en la dirección de análisis.

6.2.3.1.1 En ningún caso el valor de C será menor que $A_o / 6g$.

No existen especificaciones particulares para Irregularidad en elevacion

SPETTRI DI PROGETTO NORMATIVA NCh433 normalizzati



Alcuni aspetti del grande terremoto del Cile del 27 febbraio 2010

Normative NCh433 1996 - mod. 2009

I	<p>Roca: Material natural, con velocidad de propagación de ondas de corte in-situ igual o mayor que 900 m/s, o bien, resistencia de la compresión uniaxial de probetas intactas (sin fisuras) igual o mayor que 10 MPa y RQD igual o mayor que 50%.</p>
II	<p>a) Suelo con v_s igual o mayor que 400 m/s en los 10 m superiores, y creciente con la profundidad; o bien,</p> <p>b) Grava densa, con peso unitario seco γ_d igual o mayor que 20 kN/m³, o índice de densidad $ID(DR)$ (densidad relativa) igual o mayor que 75%, o grado de compactación mayor que 95% del valor Proctor Modificado; o bien</p> <p>c) Arena densa, con $ID(DR)$ mayor que 75%, o Índice de Penetración Estándar N mayor que 40 (normalizado a la presión efectiva de sobrecarga de 0,10 MPa), o grado de compactación superior al 95% del valor Proctor Modificado; o bien,</p> <p>d) Suelo cohesivo duro, con resistencia al corte no drenado s_u igual o mayor que 0,10 MPa (resistencia a la compresión simple q_u igual o mayor que 0,20 MPa) en probetas sin fisuras.</p> <p>En todo los casos, las condiciones indicadas se deben cumplir independientemente de la posición del nivel freático y el espesor mínimo del estrato debe ser 20 m. Si el espesor sobre la roca es menor que 20 m, el suelo se debe clasificar como tipo I.</p>
III	<p>a) Arena permanentemente no saturada, con $ID(DR)$ entre 55 y 75%, o N mayor que 20 (sin normalizar a la presión efectiva de sobrecarga de 0,10 MPa); o bien,</p> <p>b) Grava o arena no saturada, con grado de compactación menor que el 95% del valor Proctor Modificado; o bien,</p> <p>c) Suelo cohesivo con s_u comprendido entre 0,025 y 0,10 MPa (q_u entre 0,05 y 0,20 MPa) independientemente del nivel freático; o bien,</p> <p>d) Arena saturada con N comprendido entre 20 y 40 (normalizado a la presión efectiva de sobrecarga de 0,10 MPa).</p> <p>Espesor mínimo del estrato: 10 m. Si el espesor del estrato sobre la roca o sobre suelo correspondiente al tipo II es menor que 10 m, el suelo se debe clasificar como tipo II.</p>
IV	<p>Suelo cohesivo saturado con s_u igual o menor que 0,025 MPa (q_u igual o menor que 0,050 MPa).</p> <p>Espesor mínimo del estrato: 10 m. Si el espesor del estrato sobre suelo correspondiente a algunos de los tipos I, II o III es menor que 10 m, el suelo se debe clasificar como tipo III.</p>

Profilo del suolo

Tipo I – II – III –IV

Descrizione

Alcuni aspetti del grande terremoto del Cile del 27 febbraio 2010

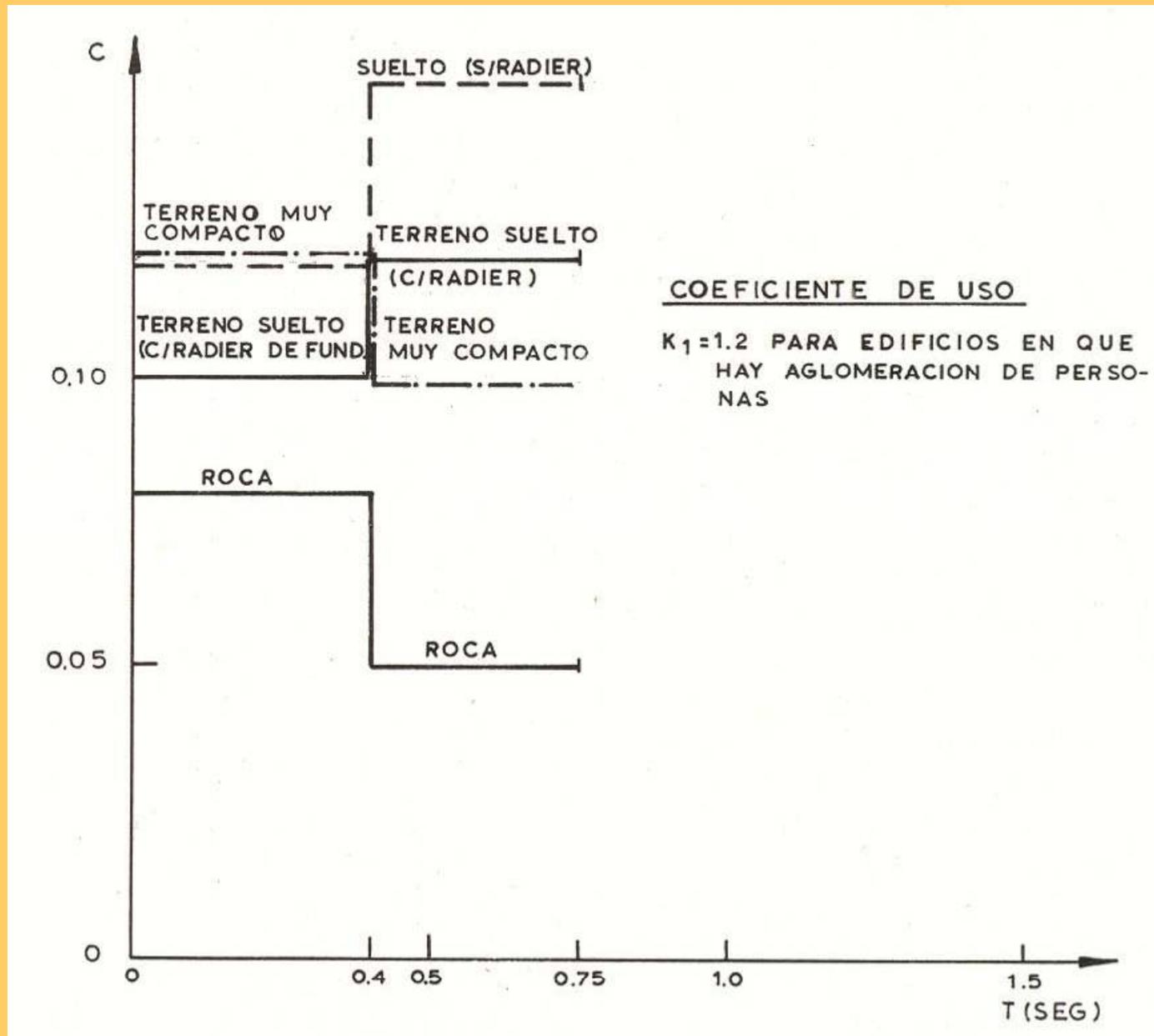
Valori massimi dei fattori di modificazione della risposta

Sistema estructural	Material estructural	R	R _o
Pórticos	Acero estructural		
	a) Marcos corrientes (OMF)	4	5
	b) Marcos intermedios (IMF)	5	6
	c) Marcos especiales (SMF)	7	11
	d) Marco de vigas enrejadas (STMF)	6	10
	Hormigón armado	7	11
Muros y sistemas arriostrados	Acero estructural		
	a) Marcos concéntricos corrientes (CCBF)	3	5
	b) Marcos concéntricos especiales (SCBF)	5.5	8
	c) Marcos excéntricos (EBF)	6	10
	Hormigón armado	7	11
	Hormigón armado y albañilería confinada		
	- Si se cumple el criterio A ²⁾	6	9
	- Si no se cumple el criterio A ²⁾	4	4
	Madera	5,5	7
	Albañilería confinada	4	4
Albañilería armada			
- De bloques de hormigón o unidades de geometría similar en las que se llenan todos los huecos, y albañilería de muros doble chapa	4	4	
- De ladrillos cerámicos tipo rejilla con y sin relleno de huecos y albañilería de bloques de hormigón o unidades de geometría similar en que no se llenan todos los huecos	3	3	
Cualquier tipo de estructuración o material que no pueda ser clasificado en alguna de las categorías anteriores ³⁾		2	-

- 1) Los valores indicados en esta tabla para acero estructural y hormigón armado suponen el cumplimiento de lo establecido en 5.3.3 y 5.3.4 respectivamente.
- 2) Criterio A: los muros de hormigón armado deben tomar en cada piso, el 50% del esfuerzo de corte del piso, como mínimo.
- 3) No procede el uso del análisis modal espectral para este tipo de estructuración o material. Por lo tanto, no se establece un valor para R_o.

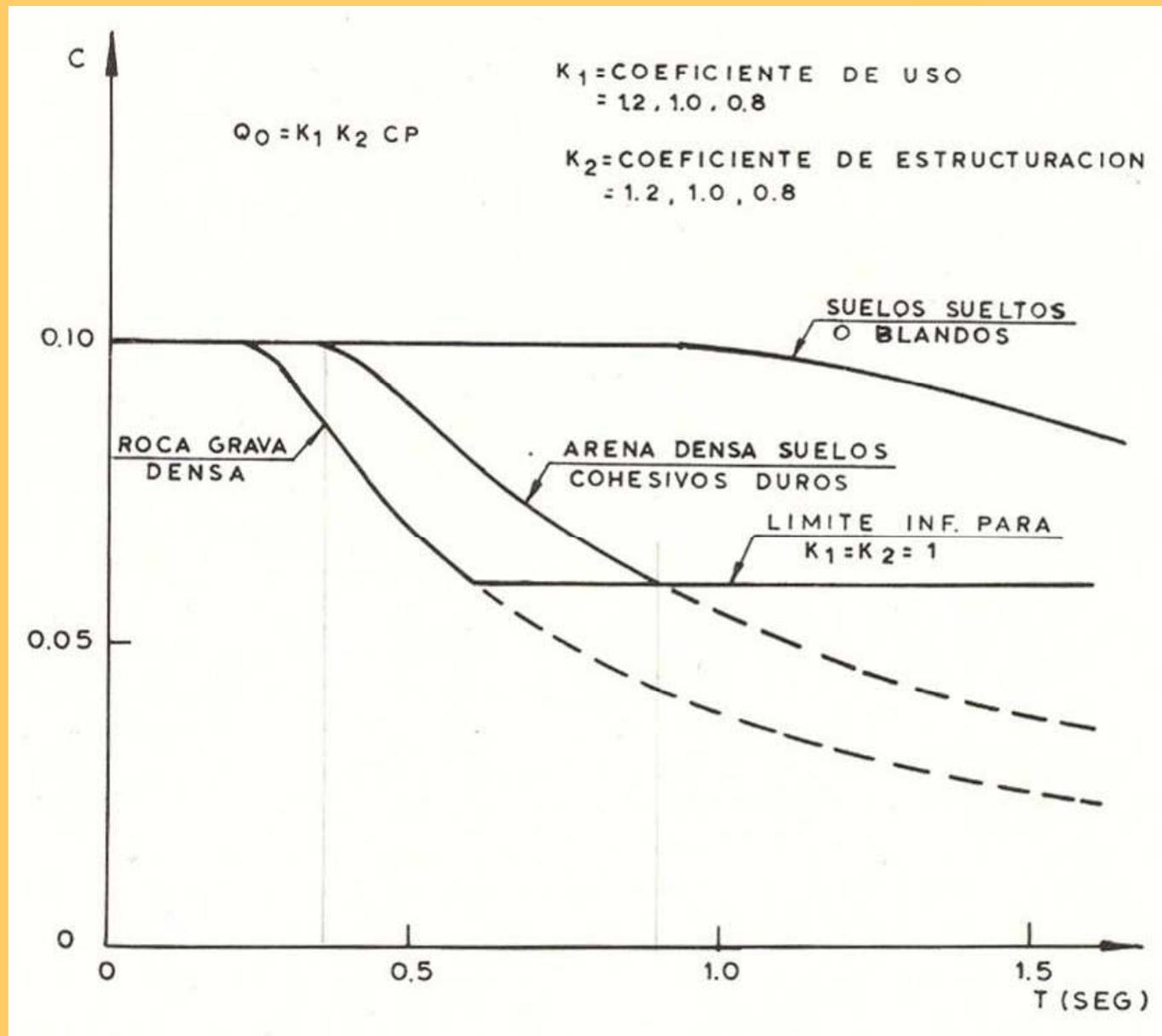
Alcuni aspetti del grande terremoto del Cile del 27 febbraio 2010

Ordinanza Generale delle Costruzioni 1949



Coefficiente sismico C - (Tensioni ammissibili)

Norma NCh433 - 1972



Coefficiente sismico C - (Tensioni ammissibili)

Terremoto gennaio 1939

Tipo de Edificación	% del total	En buen estado (‰)	Deterioradas (‰)	Semi destruidas (‰)	Derrumbadas (‰)
Adobes	62,6	—	35	8	59
Ladrillos	24,2	—	43	13	44
Madera	3,0	4	88	8	—
● Albañilería con cadenas de concreto	4,5	● 53	● 31	3	● 11
Hormigón armado	0,2	80	—	20	—
Tabique de adobe	5,5	—	86	8	6

Distruzione della città di Chillan

Statistica del danno su un totale di 3482 case.

Joaquin Monge

Alcuni aspetti del grande terremoto del Cile del 27 febbraio 2010

Vista aerea di Concepcion (215.000 ab.)



Alcuni aspetti del grande terremoto del Cile del 27 febbraio 2010

Vista aerea di Santiago (4.800.000 ab.)



Alcuni aspetti del grande terremoto del Cile del 27 febbraio 2010

Effetti dello Tsunami



Costruzioni in legno. Puecho, Cile.

Alcuni aspetti del grande terremoto del Cile del 27 febbraio 2010

Effetti dello Tsunami



**Spiaggia di Dichato, macerie dello Tsunami.
Alcuni aspetti del grande terremoto del Cile del 27 febbraio 2010**

Effetti dello Tsunami



Barche e macerie, Talcahuano.

Alcuni aspetti del grande terremoto del Cile del 27 febbraio 2010

Effetti dello Tsunami



Automobili spinte contro edifici, Talcahuano, Cile

Alcuni aspetti del grande terremoto del Cile del 27 febbraio 2010

Effetti dello Tsunami



Collasso dell'edificio e macerie, Pelluhue, Cile

Alcuni aspetti del grande terremoto del Cile del 27 febbraio 2010

Effetti dello Tsunami



Area inondata, Pelluhue, Cile

Alcuni aspetti del grande terremoto del Cile del 27 febbraio 2010

Effetti dello Tsunami



Area inondata e macerie, Pelluhue, Cile

Alcuni aspetti del grande terremoto del Cile del 27 febbraio 2010

Comportamento delle strutture isolate



Coronel, Cile

Alcuni aspetti del grande terremoto del Cile del 27 febbraio 2010

Comportamento delle strutture isolate



Coronel, Cile

Alcuni aspetti del grande terremoto del Cile del 27 febbraio 2010

Danneggiamenti dei Ponti



Collasso del ponte ad arcate in muratura sul fiume Claro, vicino Talca e Camarico, Cile (inizio XIX sec.)

Alcuni aspetti del grande terremoto del Cile del 27 febbraio 2010

Danneggiamenti dei Ponti



Collasso del ponte ad arcate in muratura sul fiume Claro, vicino Talca e Camarico, Cile

Alcuni aspetti del grande terremoto del Cile del 27 febbraio 2010

Danneggiamenti dei Ponti



Collasso di un ponte, Cile

Alcuni aspetti del grande terremoto del Cile del 27 febbraio 2010

Danneggiamenti dei Ponti



Collasso di un ponte, Santiago, Cile

Alcuni aspetti del grande terremoto del Cile del 27 febbraio 2010

Danneggiamenti dei Ponti



Collasso di un ponte, Santiago, Cile

Alcuni aspetti del grande terremoto del Cile del 27 febbraio 2010

Danneggiamenti dei Ponti



Collasso di un ponte, Santiago, Cile

Alcuni aspetti del grande terremoto del Cile del 27 febbraio 2010

Danneggiamenti dei Ponti



Collasso di un ponte, Santiago, Cile

Alcuni aspetti del grande terremoto del Cile del 27 febbraio 2010

Danneggiamenti dei Ponti



Collasso di un ponte, Santiago, Cile

Alcuni aspetti del grande terremoto del Cile del 27 febbraio 2010

Danneggiamenti dei Ponti



Collasso di un ponte, ribaltamento delle automobili, Santiago, Cile

Alcuni aspetti del grande terremoto del Cile del 27 febbraio 2010

Danneggiamenti dei Ponti



Collasso di un ponte, e automobili bruciate, Concepcion, Cile

Alcuni aspetti del grande terremoto del Cile del 27 febbraio 2010

Danneggiamenti dei Ponti



Concepcion, Cile

Alcuni aspetti del grande terremoto del Cile del 27 febbraio 2010

Danneggiamenti dei Ponti



Fessure e subsidenza in una strada, Talcahuano, Cile

Alcuni aspetti del grande terremoto del Cile del 27 febbraio 2010

Comportamento degli edifici c.a.

Mohele et al. 2010 (EERI)

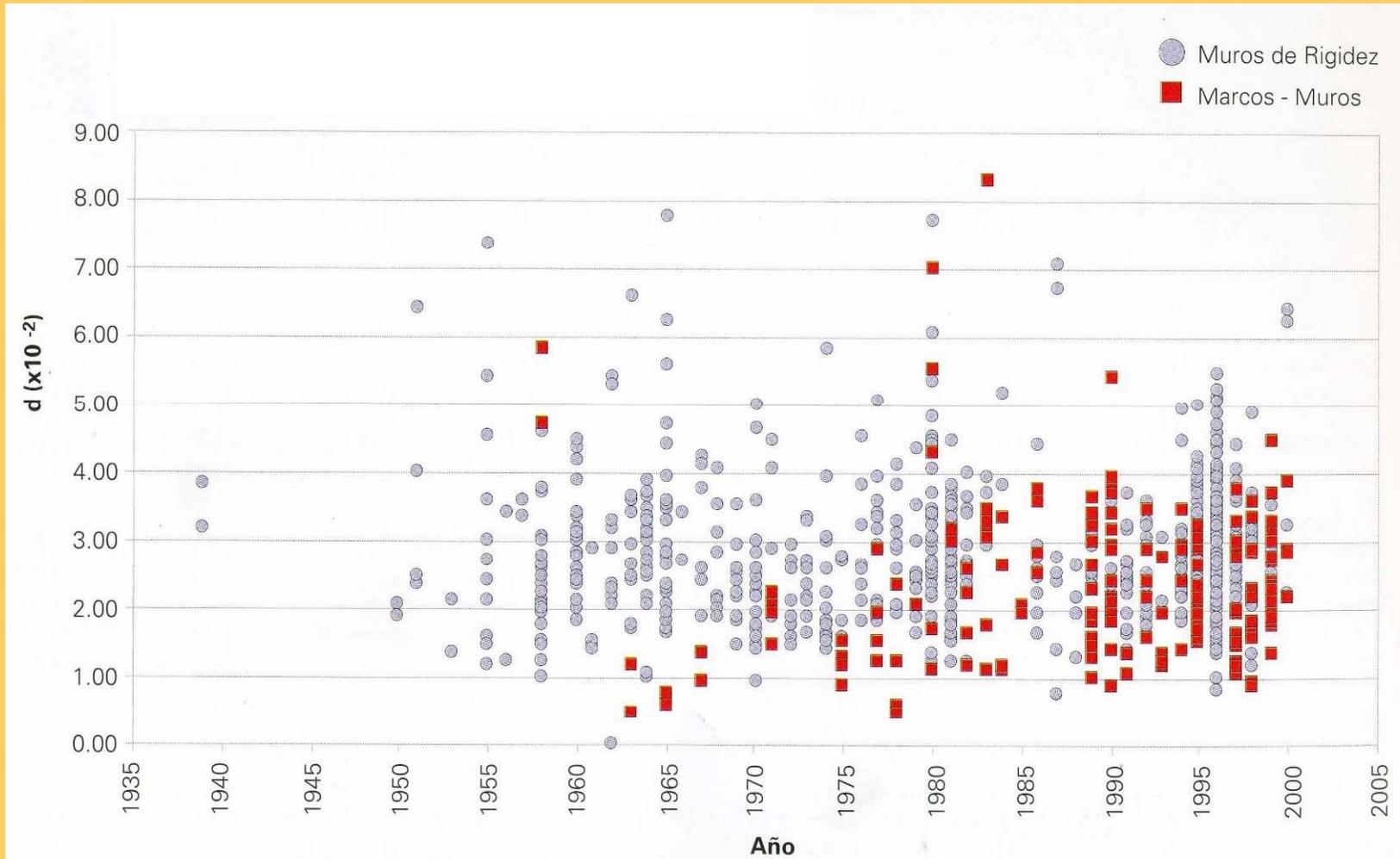
Si considerano soltanto gli edifici tra il 1985 ed il 2009

- Edifici collassati: 4 (circa)
- Edifici da demolire: 50 (stima)
- Numero di edifici con più di 3 piani 9.974
- Numero di edifici con più di 9 piani 1.939

- Fallimento edifici con più di 3 piani: 0.5%
- Fallimento di edifici con più di 9 piani: 2.8%

Alcuni aspetti del grande terremoto del Cile del 27 febbraio 2010

Rapporto tra la sezione orizzontale delle pareti e la superficie di piano (densità di pareti)



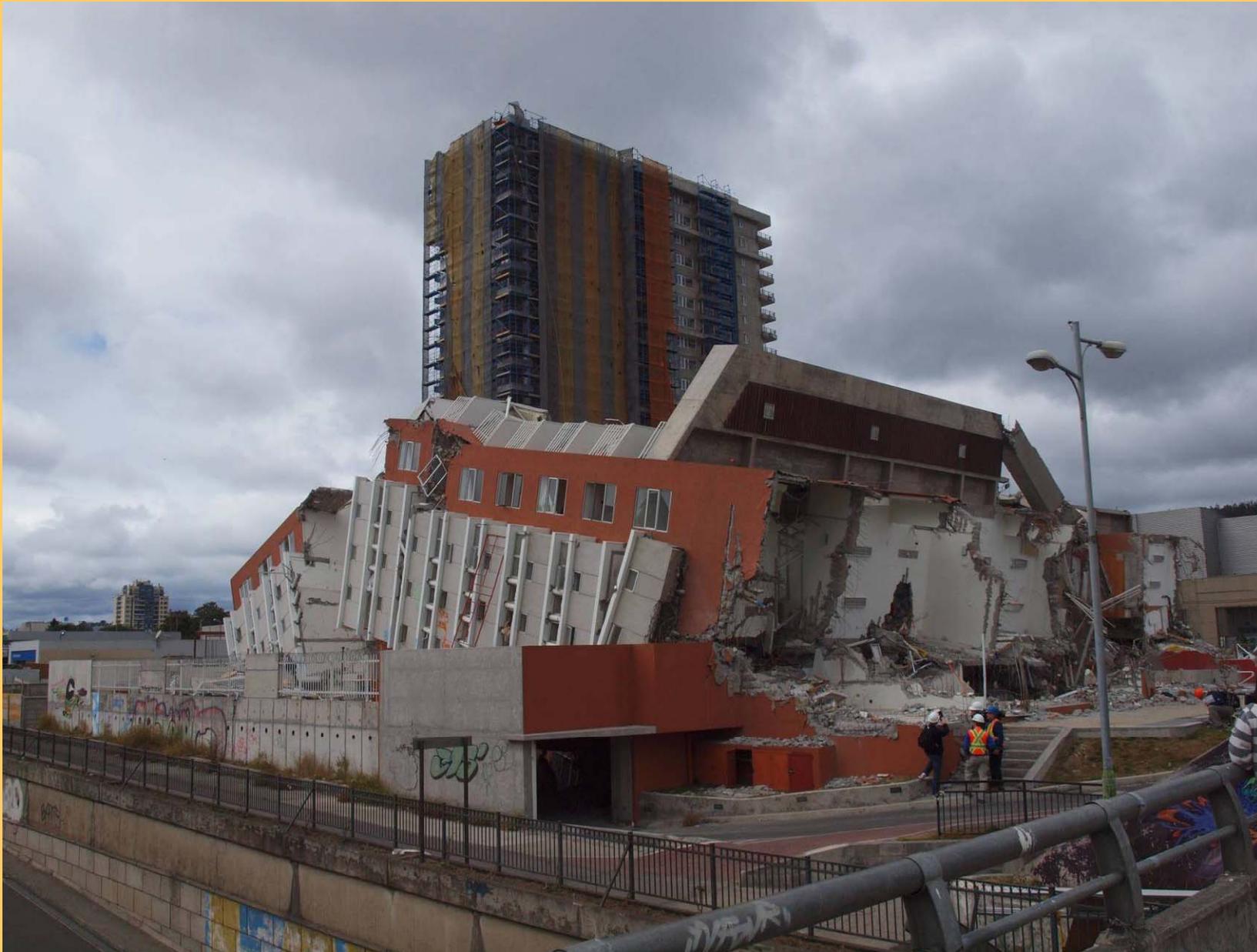
"Edificios Chilenos de Hormigón Armado," ICH Instituto del Cemento y del Hormigón de Chile, 2002

Alcuni aspetti del grande terremoto del Cile del 27 febbraio 2010

Concepcion, Chile - Edificio ALTO RIO 15 piani in c.a., prima del terremoto



Concepcion, Cile - Edificio ALTO RIO 15 piani in c.a., dopo il terremoto



Alcuni aspetti del grande terremoto del Cile del 27 febbraio 2010

Danni alle costruzioni

**Concepcion, Cile - Edificio ALTO RIO 15 piani in c.a.,
collasso completo con ribaltamento, 8 morti**



Alcuni aspetti del grande terremoto del Cile del 27 febbraio 2010

Danni alle costruzioni

**Concepcion, Cile - Edificio ALTO RIO 15 piani in c.a.,
collasso completo con ribaltamento, 8 morti**



Alcuni aspetti del grande terremoto del Cile del 27 febbraio 2010

Danni alle costruzioni

Concepcion, Cile - Edificio ALTO RIO 15 piani in c.a., i soccorsi



Alcuni aspetti del grande terremoto del Cile del 27 febbraio 2010

Danni alle costruzioni

Concepcion, Cile - Edificio ALTO RIO 15 piani in c.a., i soccorsi



Alcuni aspetti del grande terremoto del Cile del 27 febbraio 2010

Danni alle costruzioni

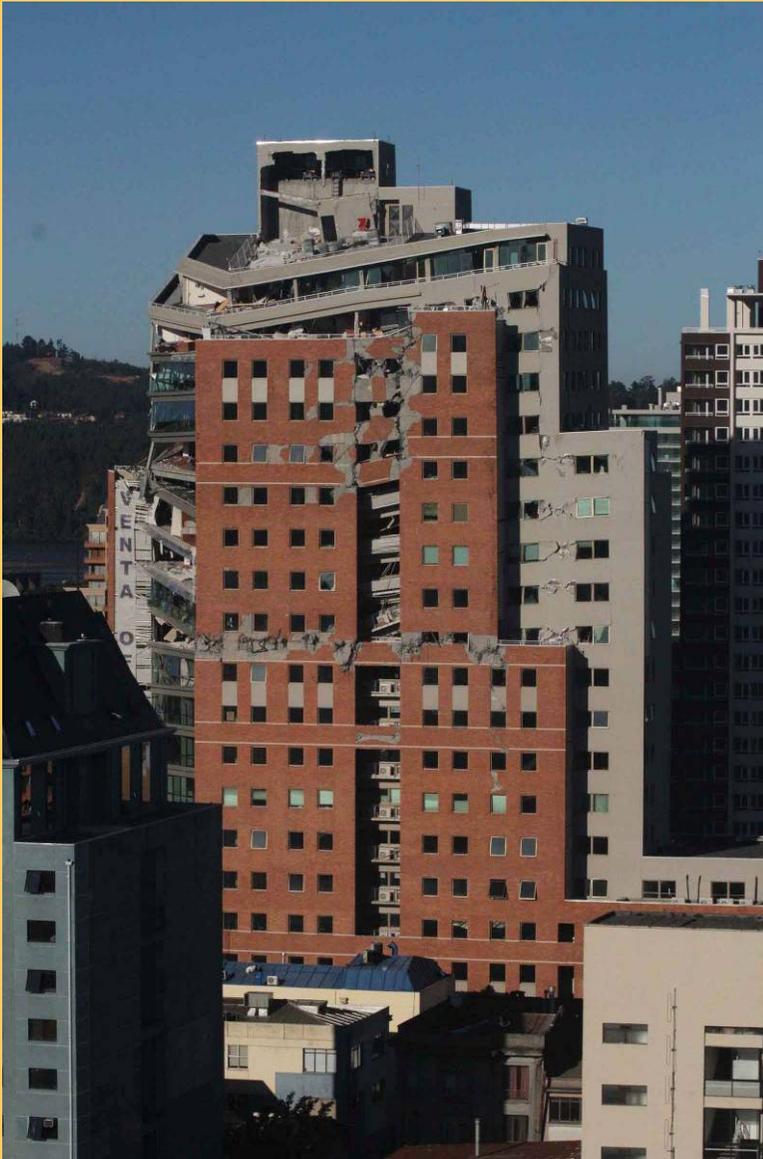
Concepcion, Cile - Edificio ALTO RIO 15 piani in c.a.,
Sopravvissuto trasportato a terra con cavi.



Alcuni aspetti del grande terremoto del Cile del 27 febbraio 2010

Danni alle costruzioni

Concepcion, Cile – O-Higgins (completed in 2008)



Alcuni aspetti del grande terremoto del Cile del 27 febbraio 2010

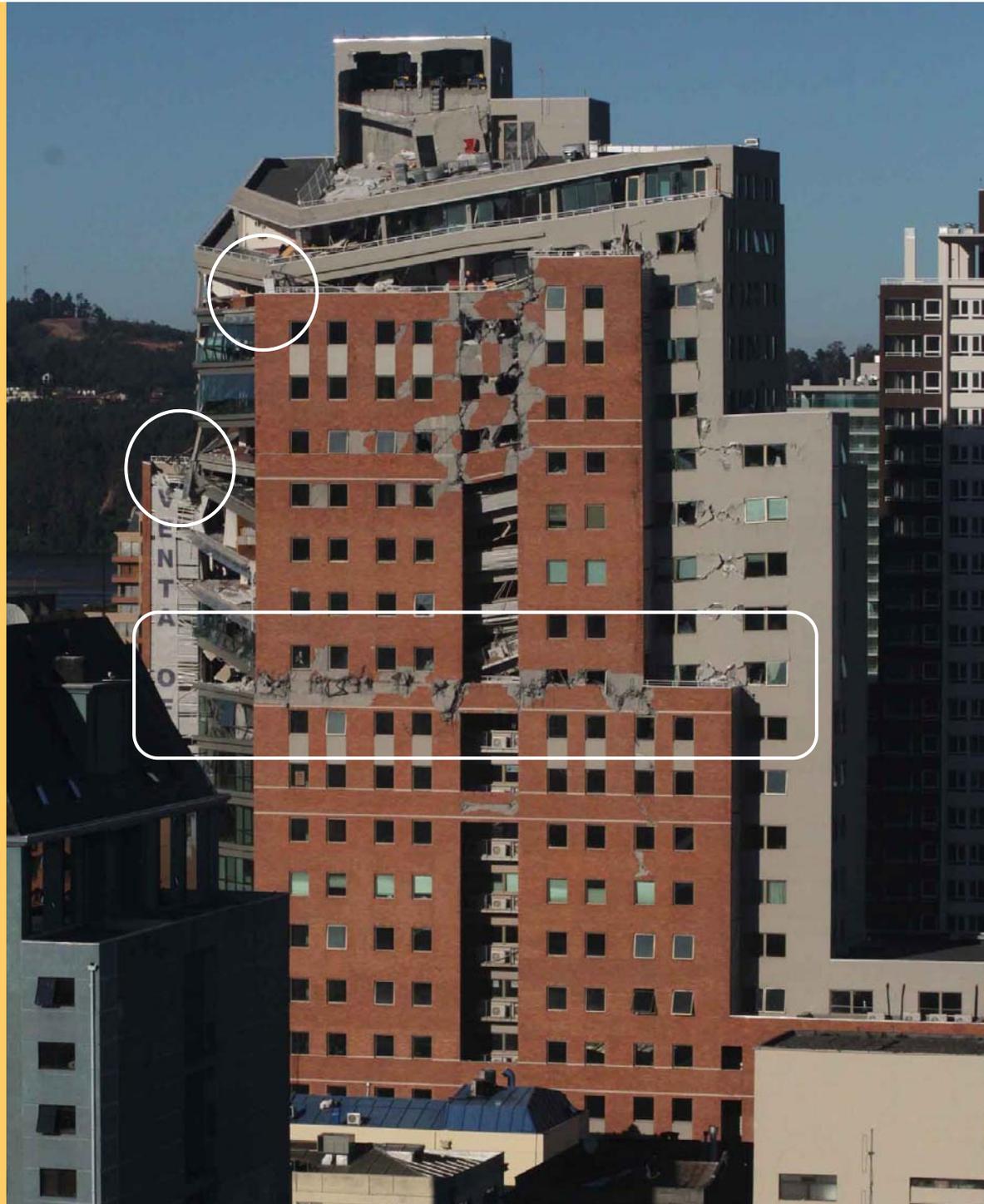
Danni alle costruzioni

Concepcion, Cile – O-Higgins



Dramatic failure above the 10th floor due to vertical stiffness discontinuity

Alcuni aspetti del grande terremoto del Cile del 27 febbraio 2010



Concepcion

Danni alle costruzioni

Concepcion, Cile – Centro Mayor



Alcuni aspetti del grande terremoto del Cile del 27 febbraio 2010

Danni alle costruzioni

Concepcion, Cile – Centro Mayor



Alcuni aspetti del grande terremoto del Cile del 27 febbraio 2010

Danni alle costruzioni

Concepcion, Cile – Centro Mayor



Alcuni aspetti del grande terremoto del Cile del 27 febbraio 2010

Danni alle costruzioni

Concepcion, Cile – Centro Mayor



Alcuni aspetti del grande terremoto del Cile del 27 febbraio 2010

Danni alle costruzioni

Concepcion, Cile –



Alcuni aspetti del grande terremoto del Cile del 27 febbraio 2010

Danni alle costruzioni

Chillan, Cile – Church



Alcuni aspetti del grande terremoto del Cile del 27 febbraio 2010

Danni alle costruzioni

Chillan, Cile –



Alcuni aspetti del grande terremoto del Cile del 27 febbraio 2010

Danni alle costruzioni

Chillan, Cile –



Alcuni aspetti del grande terremoto del Cile del 27 febbraio 2010

Danni alle costruzioni

Chillan, Cile –



Alcuni aspetti del grande terremoto del Cile del 27 febbraio 2010

Danni alle costruzioni

Talca, Cile – Campus universitario



Alcuni aspetti del grande terremoto del Cile del 27 febbraio 2010

Danni alle costruzioni

Talca, Cile – Sylos



Alcuni aspetti del grande terremoto del Cile del 27 febbraio 2010

Danni alle costruzioni

Santiago, Cile – Emerald (Irrarazaral).



Alcuni aspetti del grande terremoto del Cile del 27 febbraio 2010

Danni alle costruzioni

Santiago, Cile – Emerald.



Alcuni aspetti del grande terremoto del Cile del 27 febbraio 2010

Danni alle costruzioni

Santiago, Cile – Emerald.



Alcuni aspetti del grande terremoto del Cile del 27 febbraio 2010

Danni alle costruzioni

Santiago, Cile – Toledo.



Alcuni aspetti del grande terremoto del Cile del 27 febbraio 2010

Danni alle costruzioni

Santiago, Cile – Toledo.



Alcuni aspetti del grande terremoto del Cile del 27 febbraio 2010

Danni alle costruzioni

Santiago, Cile – Toledo.



Alcuni aspetti del grande terremoto del Cile del 27 febbraio 2010

Danni alle costruzioni

Santiago, Cile – Toledo.



Alcuni aspetti del grande terremoto del Cile del 27 febbraio 2010

Danni alle costruzioni

Santiago, Cile – Los Cerezos.



Alcuni aspetti del grande terremoto del Cile del 27 febbraio 2010

Danni alle costruzioni

Santiago, Cile – Los Cerezos (RC shear walls).



Alcuni aspetti del grande terremoto del Cile del 27 febbraio 2010

Danni alle costruzioni

Santiago, Cile – Los Cerezos.



Alcuni aspetti del grande terremoto del Cile del 27 febbraio 2010

Danni alle costruzioni

Santiago, Cile – Don Tristan (quartiere Maipu).



Alcuni aspetti del grande terremoto del Cile del 27 febbraio 2010

Danni alle costruzioni

Santiago, Cile – Don Tristan.



Alcuni aspetti del grande terremoto del Cile del 27 febbraio 2010

Danni alle costruzioni

Santiago, Cile – Edifici gemelli.



Alcuni aspetti del grande terremoto del Cile del 27 febbraio 2010

Danni alle costruzioni

Santiago, Cile – Edifici gemelli.



Alcuni aspetti del grande terremoto del Cile del 27 febbraio 2010

Danni alle costruzioni

Santiago, Cile – Avenida Macul.



Alcuni aspetti del grande terremoto del Cile del 27 febbraio 2010

Danni alle costruzioni

Santiago, Cile –.



Alcuni aspetti del grande terremoto del Cile del 27 febbraio 2010

Danni alle costruzioni

Santiago, Cile – 1972.



Alcuni aspetti del grande terremoto del Cile del 27 febbraio 2010

Danni alle costruzioni

Santiago, Cile – 1972.



Alcuni aspetti del grande terremoto del Cile del 27 febbraio 2010

Danni alle costruzioni

Santiago, Cile – Danneggiamento severo di pareti in c.a. e travi di collegamento.



Alcuni aspetti del grande terremoto del Cile del 27 febbraio 2010

Danni alle costruzioni

Valparaiso, Cile – Collasso vecchio edificio in calcestruzzo.



Alcuni aspetti del grande terremoto del Cile del 27 febbraio 2010

Danni alle costruzioni

Talca, Cile – Collasso parziale vecchio edificio (hotel) in calcestruzzo



Alcuni aspetti del grande terremoto del Cile del 27 febbraio 2010

COMPORTAMENTO EDIFICI IN C.A.

Una analisi preliminare indica:

- **A) complessivamente il comportamento degli edifici in c.a. con progettazione antisismica è stato buono**

- **B) in linea di massima il danno strutturale può essere attribuito a:**
 - **elevata domanda sismica con numerosi cicli in campo anelastico**
 - **assenza di armature di confinamento**
 - **pareti snelle con elevato carico assiale**
 - **irregolarità in elevazione**
 - **dettagli costruttivi non curati**
 - **.....**

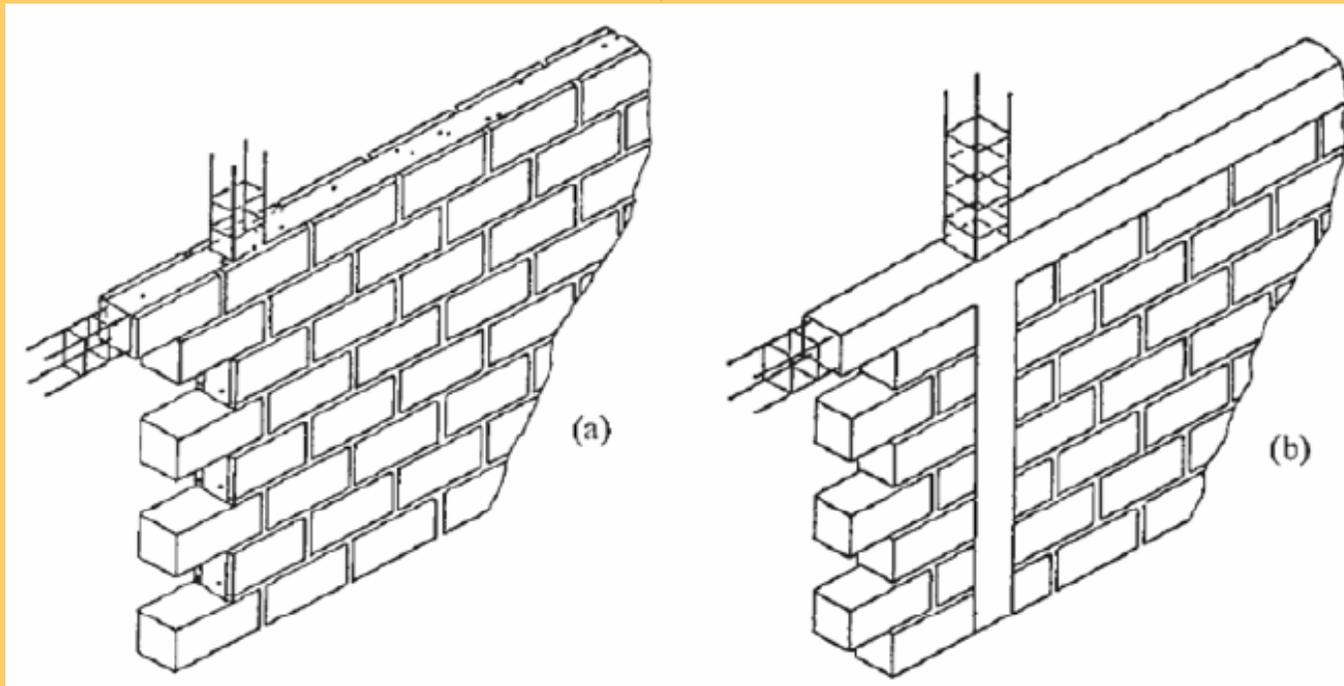
Alcuni aspetti del grande terremoto del Cile del 27 febbraio 2010

Muratura intelaiata

Nella muratura intelaiata (*confined masonry*) le membrature di c.a. sono aderenti ai pannelli murari, che però differiscono dai telai in c.a. tamponati per il ruolo portante della muratura.

Questo tipo strutturale non è contemplato dalla Normativa Italiana, ma lo è dall'EuroCodice 8.

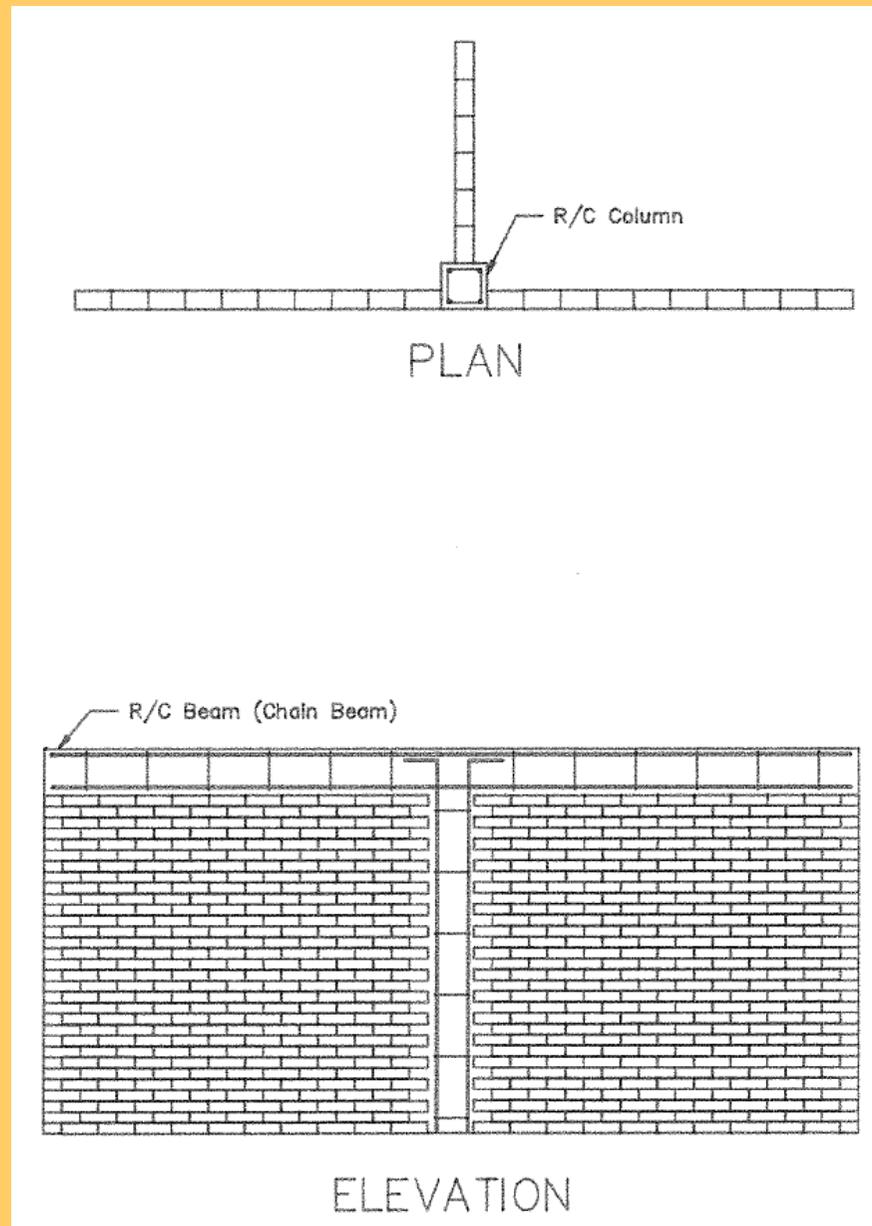
La prestazione sismica di queste costruzioni si è dimostrata molto buona in numerosi terremoti distruttivi (Decanini e D'Amore 1993, Decanini 2005).



(Tomazevic 1999)

Alcuni aspetti del grande terremoto del Cile del 27 febbraio 2010

MURATURA CONFINATA



Wood et al - 1987

Alcuni aspetti del grande terremoto del Cile del 27 febbraio 2010

CONFRONTO DEL COMPORTAMENTO DI DIVERSI TIPI DI MURATURA

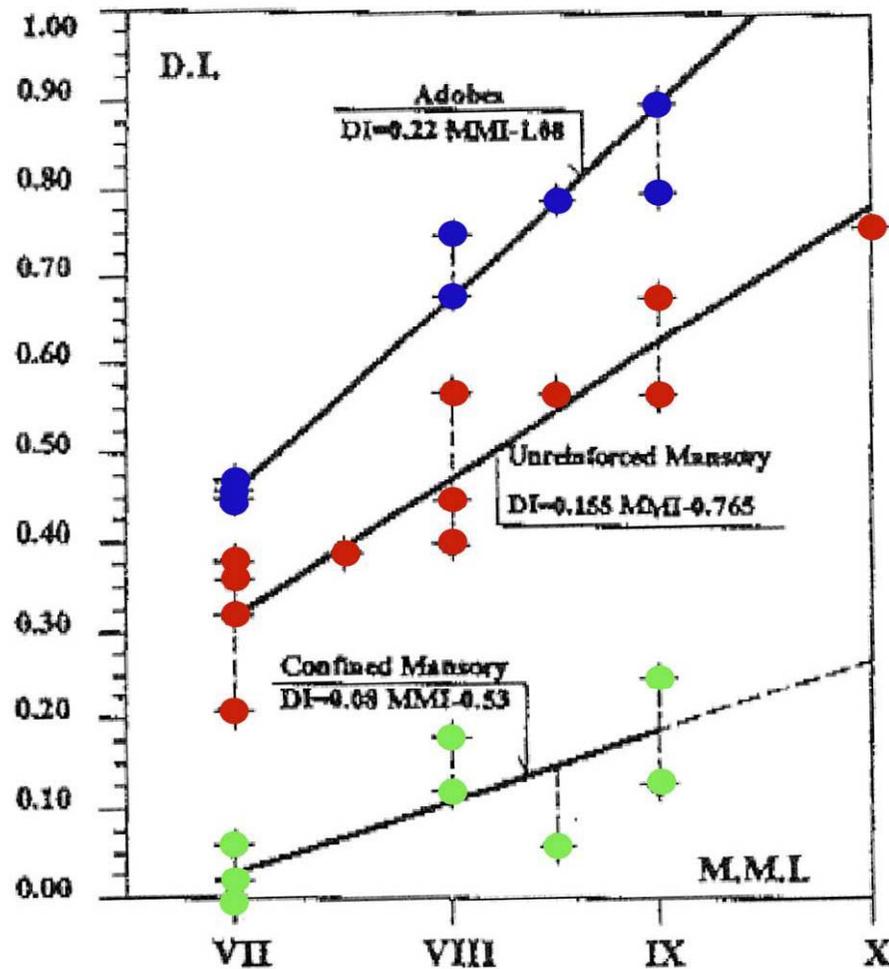


Figure-1. Expressions relating the damage index (D.I) with the MMI

Masonry type	Damage index	MMI range
Adobes	$D.I. = 0.22 \times MMI - 1.08$	VII to IX
Unreinforced	$D.I. = 0.155 \times MMI - 0.765$	VII to X
Confined	$D.I. = 0.08 \times MMI - 0.53$	VII to X

Decanini e D'Amore (1992)

Alcuni aspetti del grande terremoto del Cile del 27 febbraio 2010

CONFRONTO DEL COMPORTAMENTO DI DIVERSI TIPI DI MURATURA

Earthquake	Date	Ms	Site	MMI	Masonry Types	Ref.
San Juan, Argentina	Nov. 23 1977	7.8	Caucete city Bermejo town	VIII-IX IX	Adobes Unreinf. Confined	5,6,7
Mendoza, Argentina	Jan. 26 1985	5.7	Mendoza city counties: LasHeras and Godoy Cruz	VII	Adobes Unreinf. Confined	8,9
Chilean 1918/1966	Dec. 4 1918 Jan. 24 1939 May 21 1960 May 22 1960 March 29 1965 Dec. 28 1966	7.5 8.3 7.5 8.5 7.4 7.5	Copiapó Chillan Conception "A" Conception "B" Talcahuano Coronel Lota Valdivia Quillota Taltal	VII IX VIII VII - VIII VIII VIII VIII VIII - X VIII- IX VII	Adobes Unreinf. Confined	1
Chile March 3, 1985	March 3 1985	7.8	Melipilla San Antonio Llo Llico Some areas of Valparaiso city and Vina del Mar city.	VIII	Adobes Unreinf. Confined Reinfor.	2,3,4
China		7.3	Wulumuqui Dunchuan Yangjang Tonghai Haicheng	VII - X	Unreinf.	10,11
China		7.8	Tangshan	VII - VIII	Unreinf.	10,11
Yugoslavia	Oct 27 1969	6.6	Banja Luka	VII - VIII	Unreinf.	12

Decanini e D'Amore (1992)

Alcuni aspetti del grande terremoto del Cile del 27 febbraio 2010

Danni alle costruzioni

Santiago, Cile – Chiesa.



Alcuni aspetti del grande terremoto del Cile del 27 febbraio 2010

Danni alle costruzioni

Talca, Cile – Macchina schiacciata da macerie in muratura.

URM: muratura ordinaria



Alcuni aspetti del grande terremoto del Cile del 27 febbraio 2010

Danni alle costruzioni

Talca, Cile – URM: collassi parziali e macerie nelle strade.

Tetti in legno e lamiera ondulata.



Alcuni aspetti del grande terremoto del Cile del 27 febbraio 2010

Danni alle costruzioni

Santiago, Cile – URM: collasso completo.



Alcuni aspetti del grande terremoto del Cile del 27 febbraio 2010

Danni alle costruzioni

Talca, Cile – URM: casa distrutta.



Alcuni aspetti del grande terremoto del Cile del 27 febbraio 2010

Danni alle costruzioni

Valparaiso, Cile – URM: ribaltamento della facciata.



Alcuni aspetti del grande terremoto del Cile del 27 febbraio 2010

Danni alle costruzioni

Valparaiso, Cile – URM: rottura dei tramezzi sottili in blocchi di cemento forati



Alcuni aspetti del grande terremoto del Cile del 27 febbraio 2010

Danni alle costruzioni

Cile – URM: ribaltamento della facciata



Alcuni aspetti del grande terremoto del Cile del 27 febbraio 2010

Danni alle costruzioni

Cile – URM: severo danneggiamento di edifici.



Alcuni aspetti del grande terremoto del Cile del 27 febbraio 2010

Danni alle costruzioni

Cile – URM: collasso tetto e parti sommitali di una chiesa



Alcuni aspetti del grande terremoto del Cile del 27 febbraio 2010

Danni alle costruzioni

Curico, Cile – URM: collasso parziale di una chiesa con tetto in legno



Alcuni aspetti del grande terremoto del Cile del 27 febbraio 2010

Danni alle costruzioni

Santiago, Cile – URM: collasso parte sommitale di una chiesa.



Alcuni aspetti del grande terremoto del Cile del 27 febbraio 2010

Danni alle costruzioni

Concepcion, Cile – URM: ribaltamento della facciata.



Alcuni aspetti del grande terremoto del Cile del 27 febbraio 2010

Danni alle costruzioni

Vina del Mar, Cile – URM: ribaltamento facciata del livello superiore.



Alcuni aspetti del grande terremoto del Cile del 27 febbraio 2010

Danni alle costruzioni

Talca, Cile – URM: collasso edifici.



Alcuni aspetti del grande terremoto del Cile del 27 febbraio 2010

Danni alle costruzioni

Talca, Cile – Adobe: collasso edifici.



Alcuni aspetti del grande terremoto del Cile del 27 febbraio 2010

Danni alle costruzioni

Concepcion, Cile



Alcuni aspetti del grande terremoto del Cile del 27 febbraio 2010

Liquefazioni

Temuco, Cile



Alcuni aspetti del grande terremoto del Cile del 27 febbraio 2010

Liquefazioni

Temuco, Cile



Alcuni aspetti del grande terremoto del Cile del 27 febbraio 2010

Ringraziamenti

- Prof. M. Astroza, Universidad de Chile;
- Prof. D. Liberatore, Univ. Di Roma La Sapienza;
- Prof. F. Mollaioli, Univ. Di Roma La Sapienza;
- L. sorrentino, Ph.D., Univ. Di Roma La Sapienza;
- L. Liberatore, Ph.D., Univ. Di Roma La Sapienza;

Informazioni: USGS, EERI, Univ. de Chile.