

UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI NAPOLI "FEDERICO II"



Scuola Politecnica e delle Scienze di Base
Dipartimento di Ingegneria Civile, Edile e Ambientale

Corso di laurea triennale in
INGEGNERIA PER L'AMBIENTE E IL
TERRITORIO

TESI DI LAUREA
INFRASTRUTTURE IDRAULICHE

TUBAZIONI IN ZONA SISMICA: LE CURVE DI FRAGILITA'

Relatori:

CH.mo Prof. Ing. Maurizio Giugni

CH.mo Prof. Ing. Francesco De Paola

Candidata:

Fabiana Siciliano

Matr. N49/579

Anno accademico 2016/2017

RISK EUROPEAN UNION

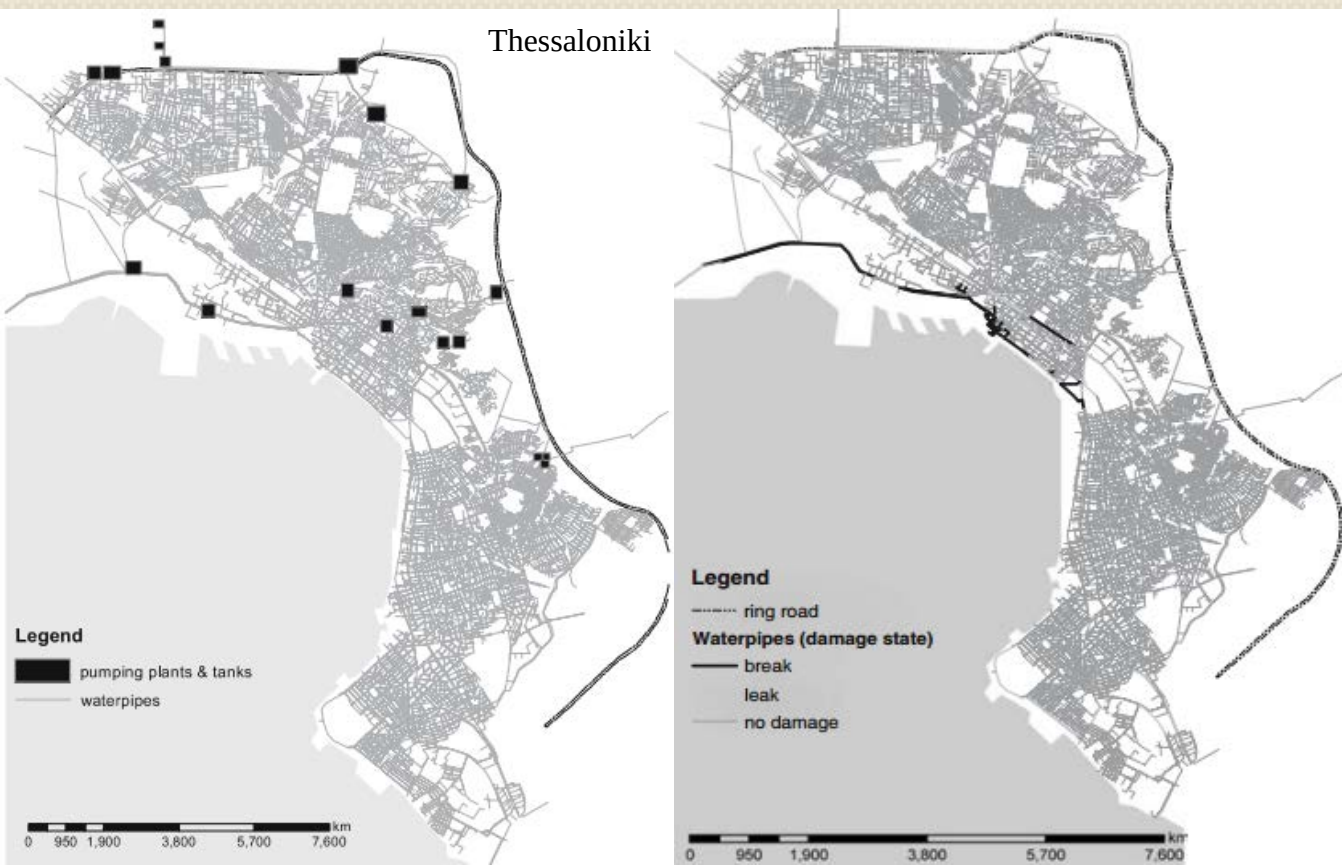
Pitilakis (2005)

E' un progetto europeo che introduce una metodologia per la valutazione del rischio sismico delle infrastrutture idrauliche. E' costituita da due fasi:

- **Hazard analysis:** caratterizzazione dell'azione esterna mediante parametri di intensità;
- **Fragility analysis:** definizione della probabilità di raggiungere o superare differenti stati di danneggiamento, assegnati determinati parametri sismici.

Una componente essenziale della metodologia è costituita dalle **curve di fragilità** delle tubazioni.

L'analisi e l'elaborazione dei dati viene effettuata attraverso un sistema GIS (Geographical Information System).



FENOMENO SISMICO

I terremoti possono essere definiti come *scuotimenti del suolo che interessano senza sosta il nostro pianeta generando onde sismiche*.

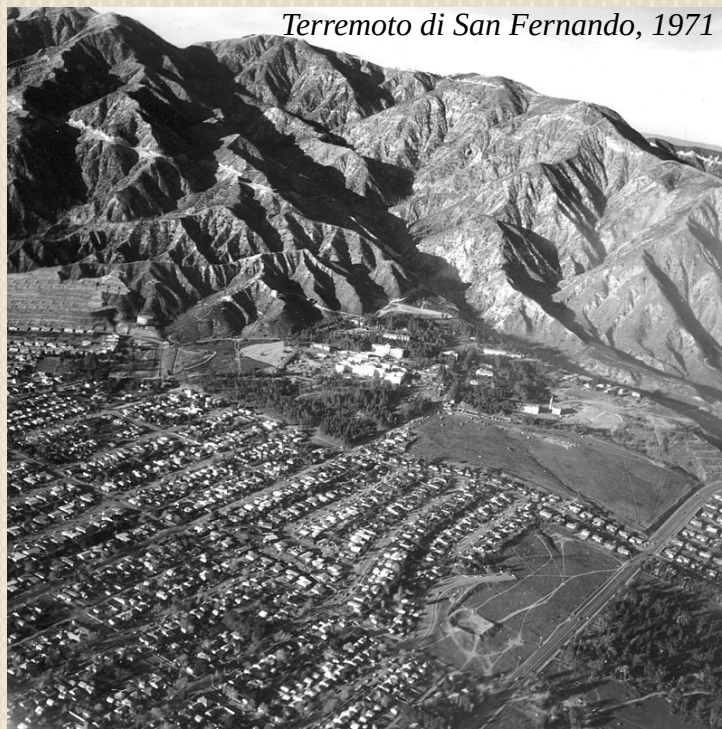
E' possibile distinguere due tipi di onde sismiche:

- Onde di volume: comprendono le onde P e le onde S;
- Onde di superficie: comprendono le onde di Love e le onde Rayleigh.

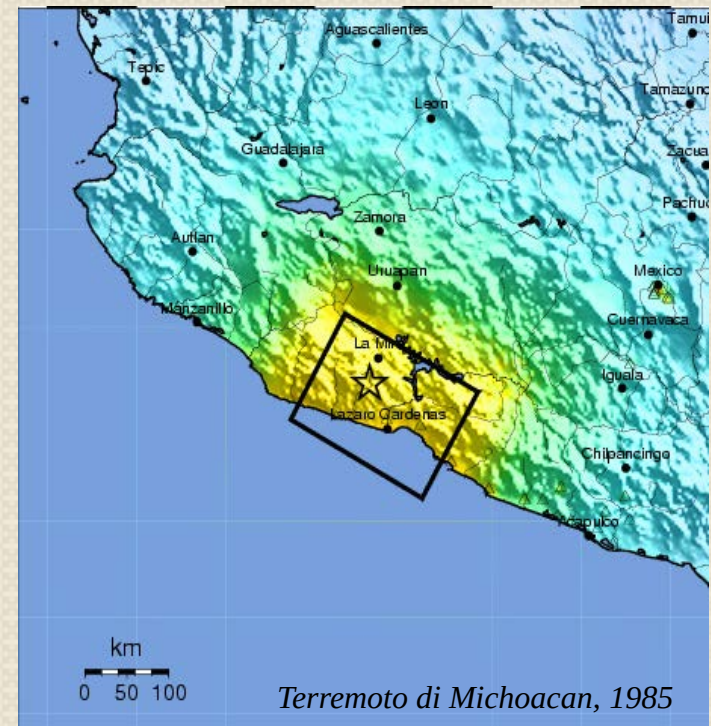
Le principali responsabili dei danni alle strutture sono le onde di superficie.

La velocità di propagazione delle onde e il loro comportamento è strettamente dipendente dal tipo di terreno attraversato.

DEFORMAZIONE PERMANENTE DEL SUOLO



DEFORMAZIONE TRANSITORIA DEL SUOLO



CURVE DI FRAGILITA' PER LE TUBAZIONI

Relazioni di origine empirica, ricavate attraverso l'analisi dei terremoti che si sono verificati in passato. Forniscono il tasso di riparazione/km della tubazione in funzione di un parametro sismico.

PARAMETRI SISMICI:

- Modified Mercalli Intensity, MMI
- Peak Ground Acceleration, PGA
- Peak Ground Velocity, PGV
- Peak Ground Deformation, PGD

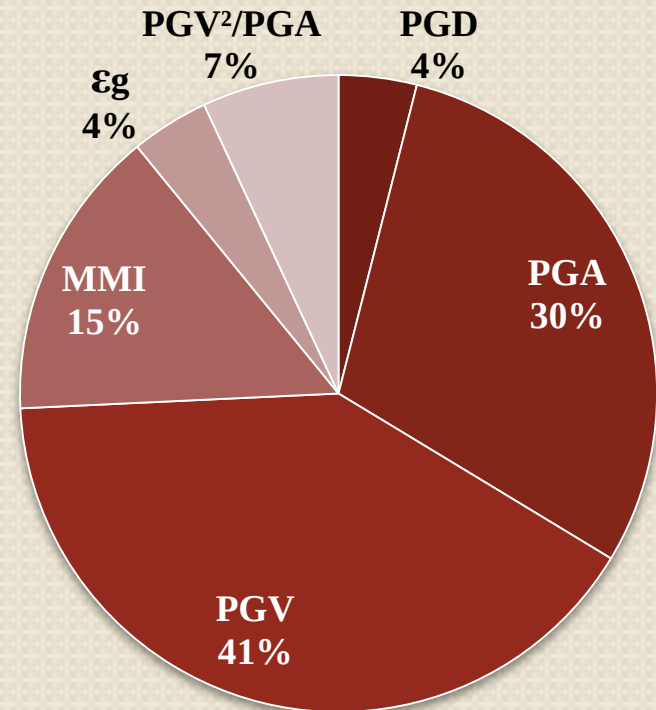


La PGV si correla bene con le deformazioni transitorie indotte nel suolo e risulta un parametro molto utile per caratterizzare il comportamento delle tubazioni interrate.

$$\varepsilon_g = \frac{PGV}{C}$$

ε_g : deformazione di picco del terreno nella direzione di propagazione dell'onda sismica;

C: velocità di propagazione delle onde stesse.

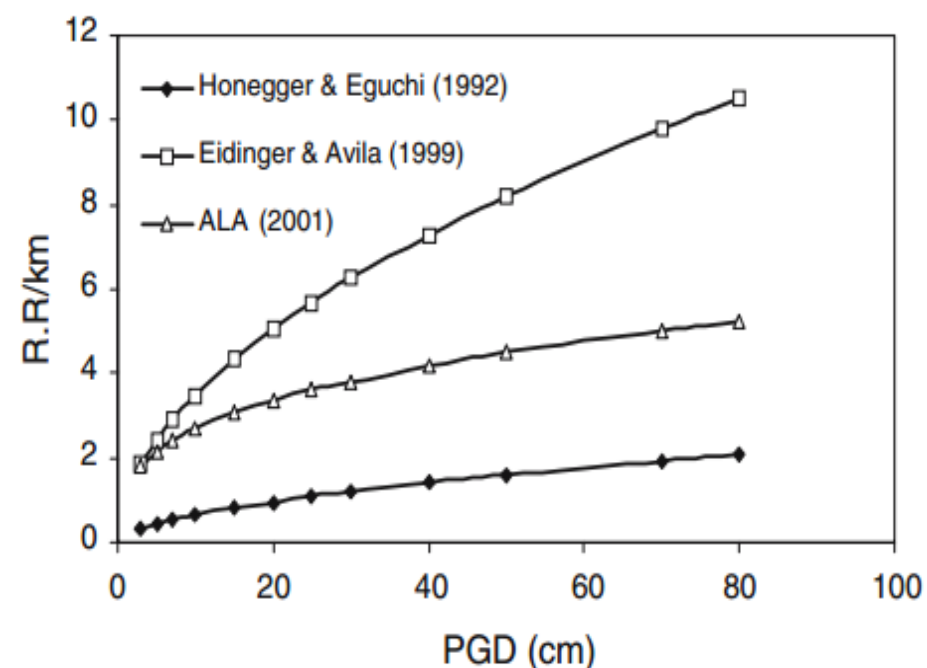
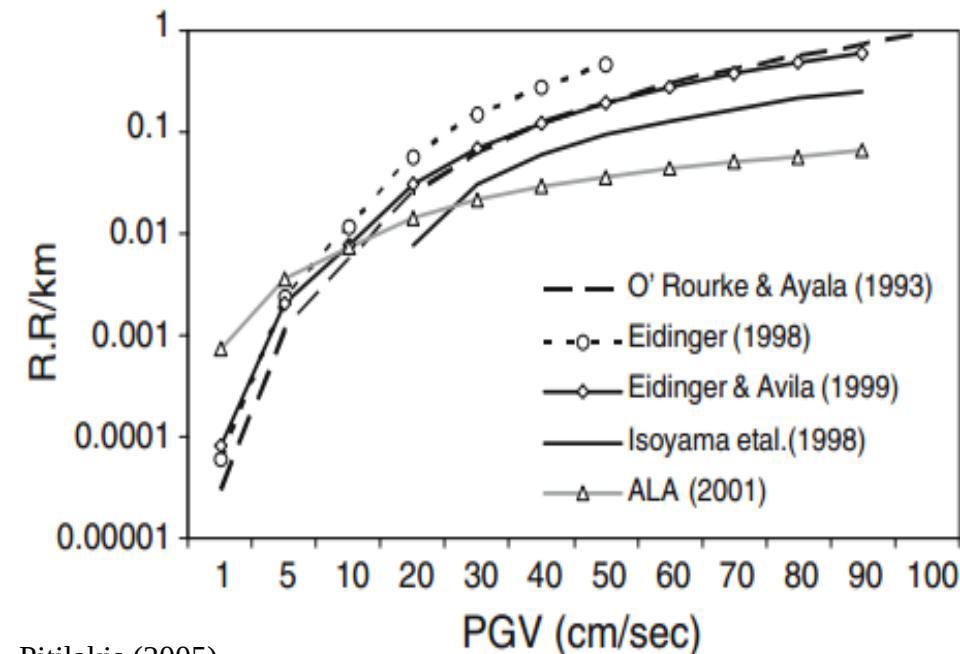


GROUND SHAKING

O'Rourke & Ayala (1993)		$K \cdot (10^{-4} \cdot PGV^{2,25})$
Eidinger (1998)	CA	$1,2 \cdot 10^{-3} \cdot PGV^{0,7677}$
	CI	$6 \cdot 10^{-4} \cdot PGV^{1,5542}$
	DI	$4 \cdot 10^{-5} \cdot PGV^{2,2949}$
Eidinger & Avila (1999)		$K_1 \cdot 1,512 \cdot PGV^{1,98}$
Isoyama et al. (1998)		$C_p \cdot C_d \cdot 3,11 \cdot 10^{-3} \cdot (PGV - 5)^{1,3}$
ALA (2001 a, b)		$K_1 \cdot 0,002416 \cdot PGV$

GROUND FAILURE

Honegger & Eguchi (1992)	$K \cdot (7,821 \cdot PGD^{0,56})$
Eidinger & Avila (1999)	$K_2 \cdot 23,674 \cdot PGD^{0,53}$
ALA (2001 a, b)	$K_2 \cdot 2,5829 \cdot PGD^{0,319}$



PIPELINE DAMAGE CORRELATIONS	PGV	PIPE TYPE	PIPE SIZE	REPAIR RATE EQUATION
HAZUS	Maximum	Brittle mix	Mix	$0,0001 \cdot PGV^{2,25}$
Toprak (1998)	Maximum	CI	$D_p \leq 600 \text{ mm}$	$10^{(1,62 \cdot \log(PGV) - 3,64)}$
O'Rourke & Jeon (2000)	Geometric mean	CI	$D_p \leq 600 \text{ mm}$	$e^{(1,09 \cdot \ln(PGV) - 6,12)}$
O'Rourke & Jeon (1999, 2000)	Maximum	CI	$D_p \leq 600 \text{ mm}$	$e^{(1,21 \cdot \ln(PGV) - 6,78)}$
		DI	$D_p \leq 600 \text{ mm}$	$e^{(1,84 \cdot \ln(PGV) - 9,40)}$
O'Rourke & Jeon (1999, 2000)	Maximum PGV scaled with pipeline diameter	CI	-	$0,036 \cdot (PGV/D_p^{1,021})^{0,989}$
		DI	-	$0,004 \cdot (PGV/D_p^{0,468})^{1,378}$
ALA (2001)	Geometric mean	Mix	Mix	$0,0024 \cdot PGV$
Pinesa & Ordaz (2003)	Maximum	Brittle mix	$D_p \geq 500 \text{ mm}$	$\left[\int_{-\infty}^{PGV} \frac{1}{\sqrt{2\pi \cdot 19,7811}} \cdot e^{-\left(\frac{1}{2}\right) \cdot \left[\frac{PGV - 51,8964}{19,7811}\right]^2} d(PGV) \right]$
O'Rourke & Deyoe (2004)	Maximum	Brittle mix	Mix	$0,0035 \cdot PGV^{0,92}$ for secondary wave
		Brittle mix	Mix	$0,034 \cdot PGV^{0,92}$ for Rayleigh wave

CURVE DI FRAGILITA' DELLE TUBAZIONI PER EFFETTO
DEL SOLO SCUOTIMENTO DEL SUOLO

Il tipo di **materiale** utilizzato è un fattore molto importante nell'analisi di vulnerabilità sismica delle tubazioni.



MATERIALE TUBAZIONE

FRAGILE

- GHISA GRIGIA
- CEMENTO AMIANTO
- CEMENTO

DUTTILE

- GHISA SFEROIDALE
- PVC
- ACCIAIO

O'Rourke & Ayala (1993):

$$K \cdot (10^{-4} \cdot PGV^{2,25})$$

Materiale	K
Fragile	1
Duttile	0,3

K: dipende dal tipo di materiale, se fragile o duttile.

ALA (2001):

$$K_1 \cdot 0,002416 \cdot PGV$$

Materiale	K ₁
Ghisa grigia	0,8
Cemento amianto	0,5
Cemento	0,8
Ghisa sferoidale	0,5
PVC	0,5
Acciaio	1,3
Giunzione ad anello elastomerico	

K₁: dipende dal tipo di materiale, dal tipo di giunzione, dalle caratteristiche del terreno in cui le tubazioni sono ubicate e dal diametro delle stesse.

Eidinger (1998):

$$1,2 \cdot 10^{-3} \cdot PGV^{0,7677}$$

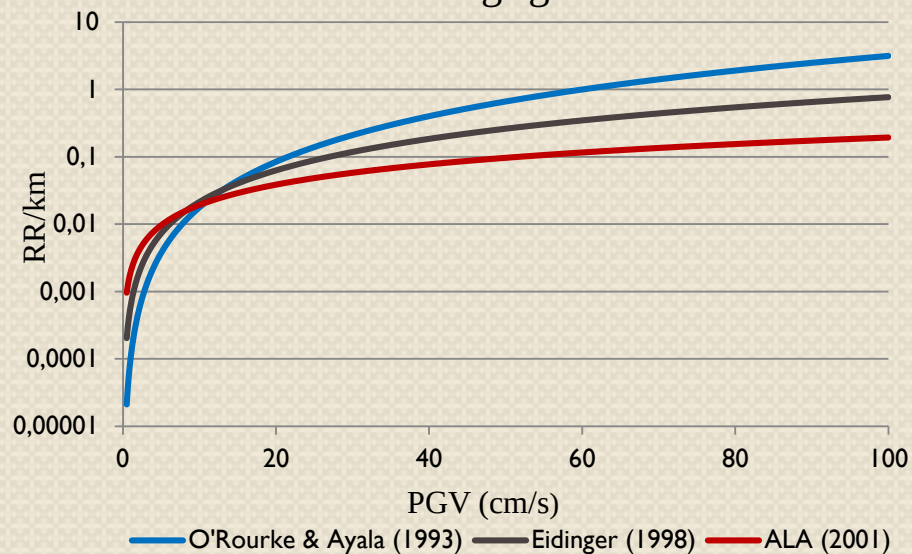
$$6 \cdot 10^{-4} \cdot PGV^{1,5542}$$

$$4 \cdot 10^{-5} \cdot PGV^{2,2949}$$

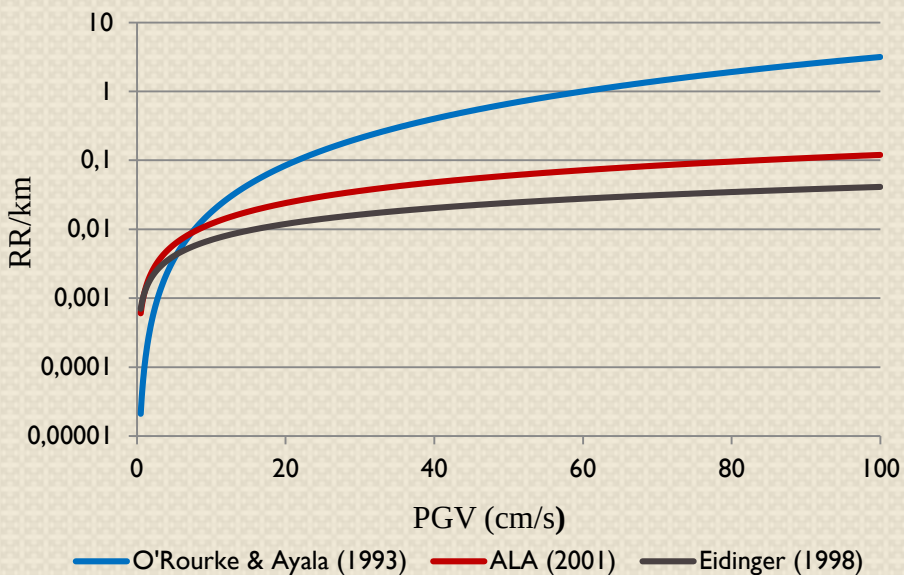
Rispettivamente per cemento amianto, ghisa grigia e ghisa sferoidale.

MATERIALI FRAGILI

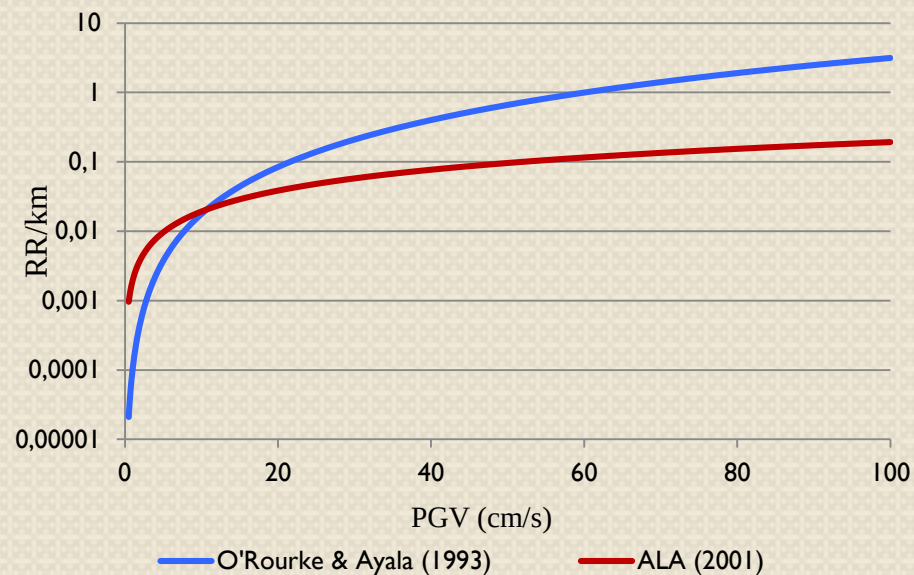
Ghisa grigia



Cemento amianto

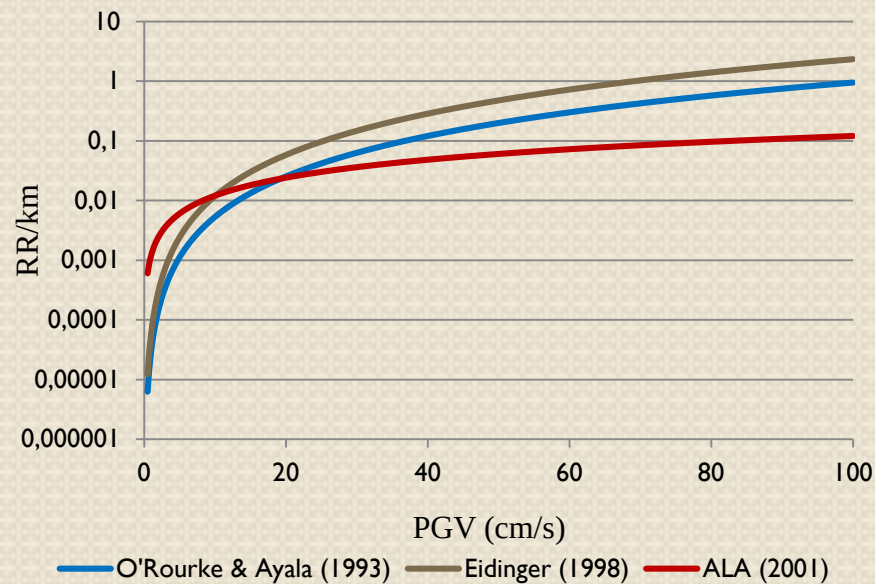


Cemento

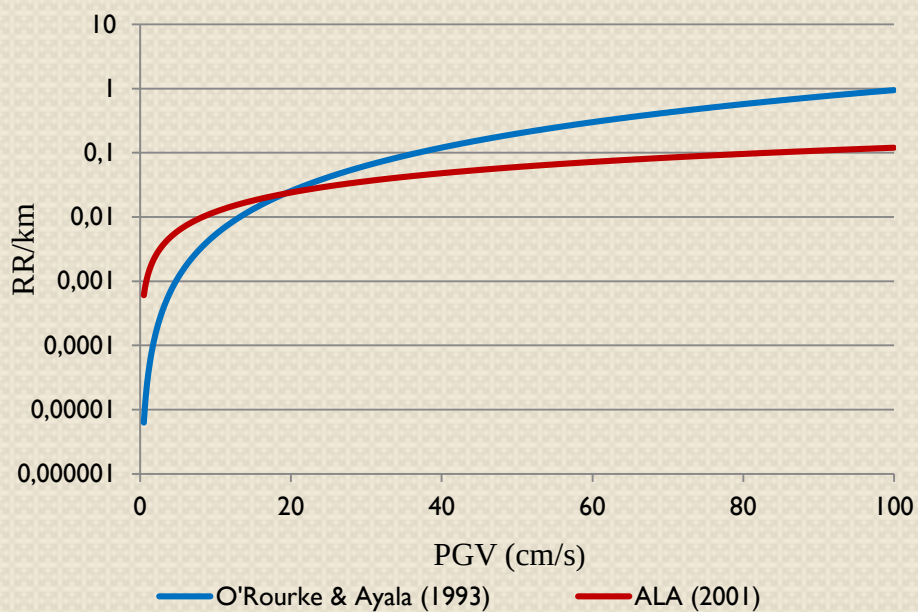


MATERIALI DUTILI

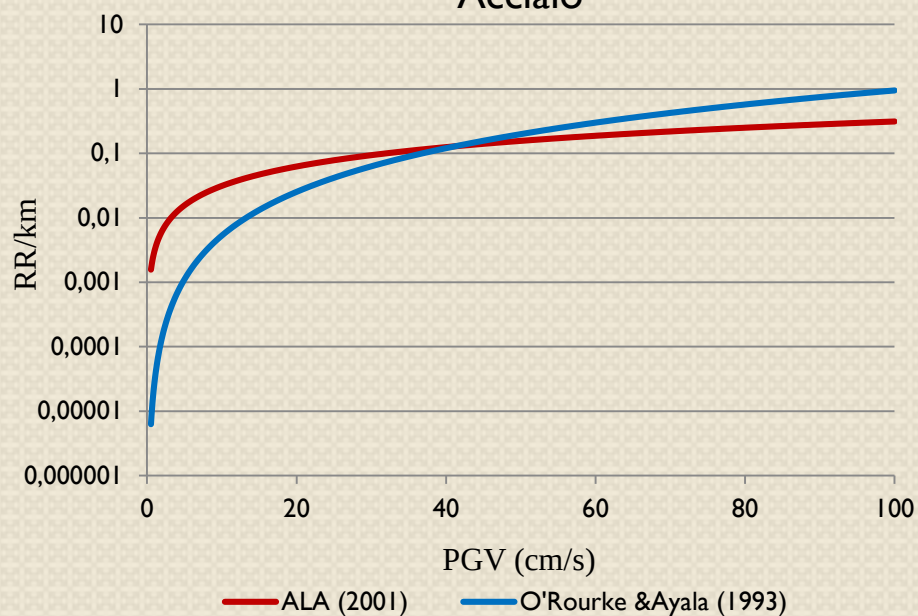
Ghisa sferoidale



PVC

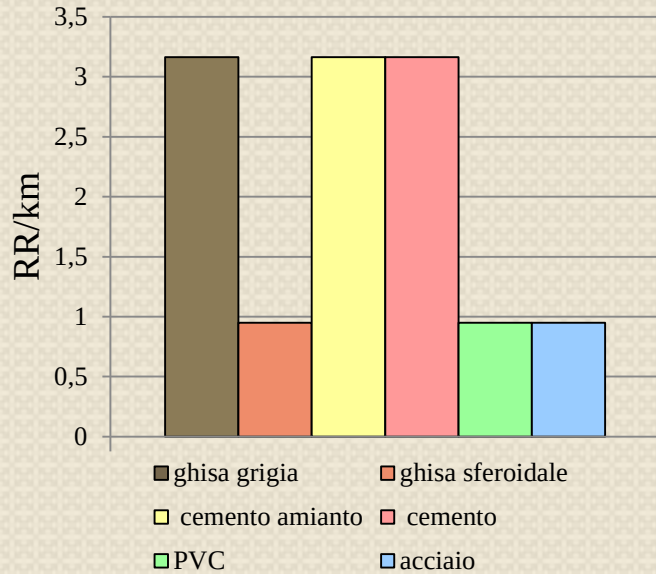


Acciaio

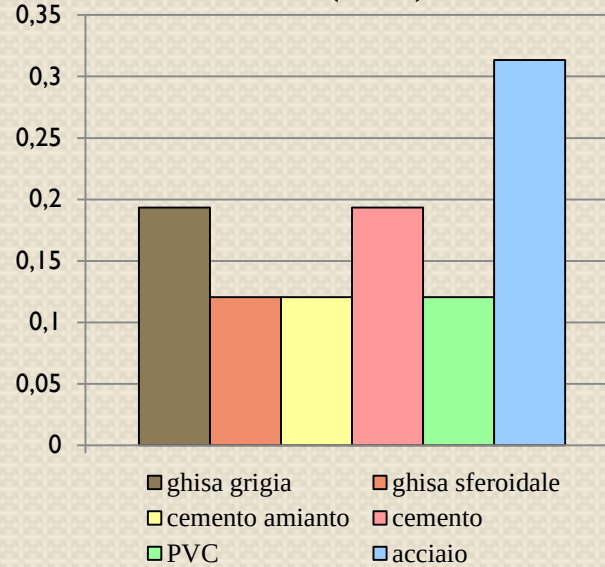


CONFRONTO DEI RISULTATI OTTENUTI

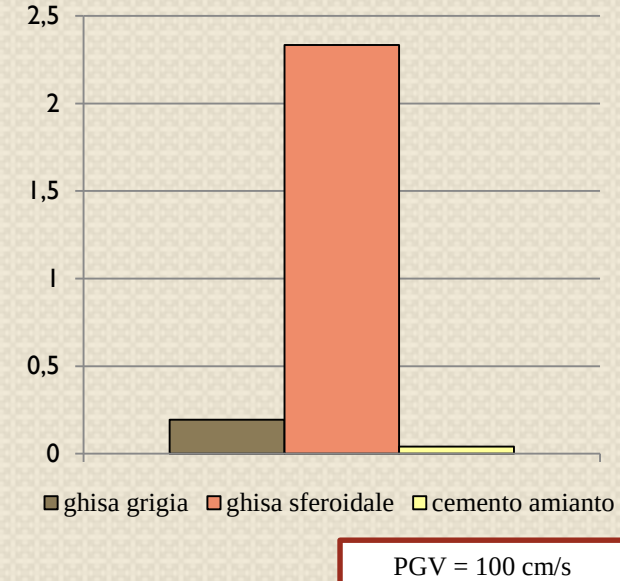
O'Rourke & Ayala (1993)



ALA (2001)



Eidinger (1998)



PGV = 100 cm/s

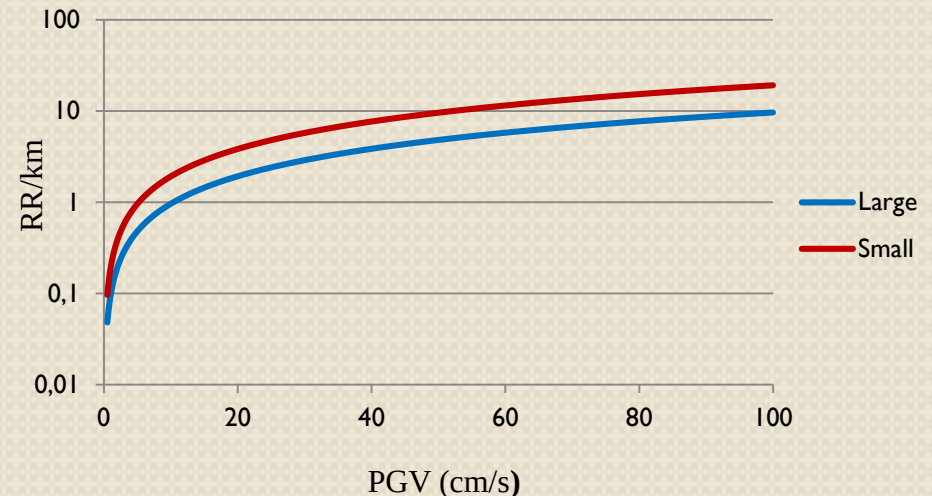
INFLUENZA DEL DIAMETRO:

Il tasso di riparazione/km diminuisce all'aumentare del diametro.

ALA (2001): $K_1 \cdot 0,002416 \cdot PGV$

MATERIALE	DIAMETRO	K1
GHISA	SMALL	0,80
	LARGE	0,40

Ghisa



TUBAZIONI IN PVC

In seguito al terremoto di Chi Chi, nel centro di Taiwan, sono stati applicati tre diversi metodi per ottenere delle relazioni tra il tasso di riparazione delle tubazioni in PVC, con un diametro ≥ 65 mm, e la PGV :

- GRID ANALYSIS:

$$\log(RR) = 0,99 \times \log(PGV) - 2,30 \quad (R^2=0,80)$$

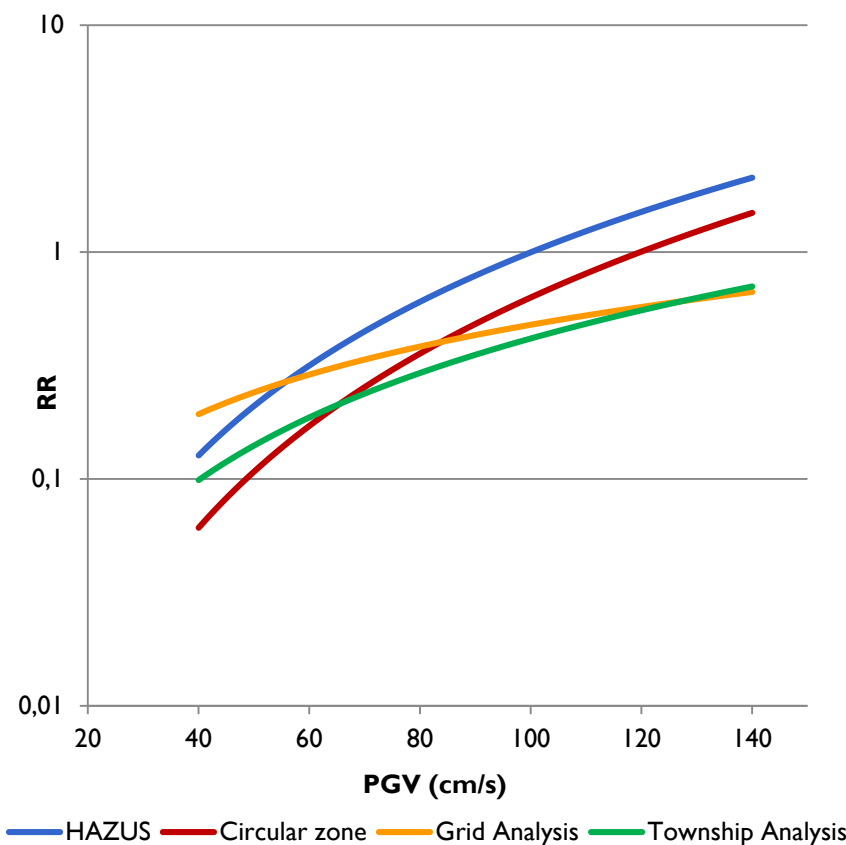
- TOWNSHIP ANALYSIS:

$$\log(RR) = 1,57 \times \log(PGV) - 3,52 \quad (R^2=0,69)$$

- ANALYSIS BY CONSIDERING CIRCULAR ZONE FOR EACH STRONG GROUND MOTION STATION:

$$\log(RR) = 2,55 \times \log(PGV) - 5,30 \quad (R^2=0,71)$$

E' possibile confrontare le curve di fragilità così ottenute con la curva di HAZUS.



FUNZIONI DI PROBABILITA'

Sono state analizzate da Lanzaro et al. (2011) delle procedure alternative per l'analisi della vulnerabilità sismica delle tubazioni, che si basano sulla probabilità di “failure” delle stesse.

Una fase importante consiste nell'individuazione di diversi stati di danno (DS) e di rischio (RS), in relazione alle perdite del fluido trasportato, che possono essere più o meno ingenti.

TUBAZIONI PER IL TRASPORTO DI GAS

STATI DI DANNO		STATI DI RISCHIO		
DS1	LIEVE	RS1	NULLO	Nessuna perdita di fluido
DS2	SIGNIFICATIVO	RS2	BASSO	Perdite limitate e distribuite nel tempo
DS3	GRAVE	RS3	ALTO	Ingenti perdite in un intervallo di tempo breve

Per la costruzione delle curve sono stati utilizzati i dati relativi a 10 terremoti differenti: Long Beach (1933), Kern County (1952), Kern County (1954), San Fernando (1971), Michoacan (1985), Whittier Narrows (1987), Erzican (1992), Northridge (1994), L'Aquila (2009), Maule (2010).

La distribuzione dei dati è stata effettuata utilizzando una distribuzione log-normale.

MODELLO PROBIT

STATI DI RISCHIO

COEFFICIENTI DI PROBABILITA'

VALORI SOGLIA PGV (cm/s)

RS≥RS1

-4,12

2,41

17,05

RS=RS2

-5,95

2,64

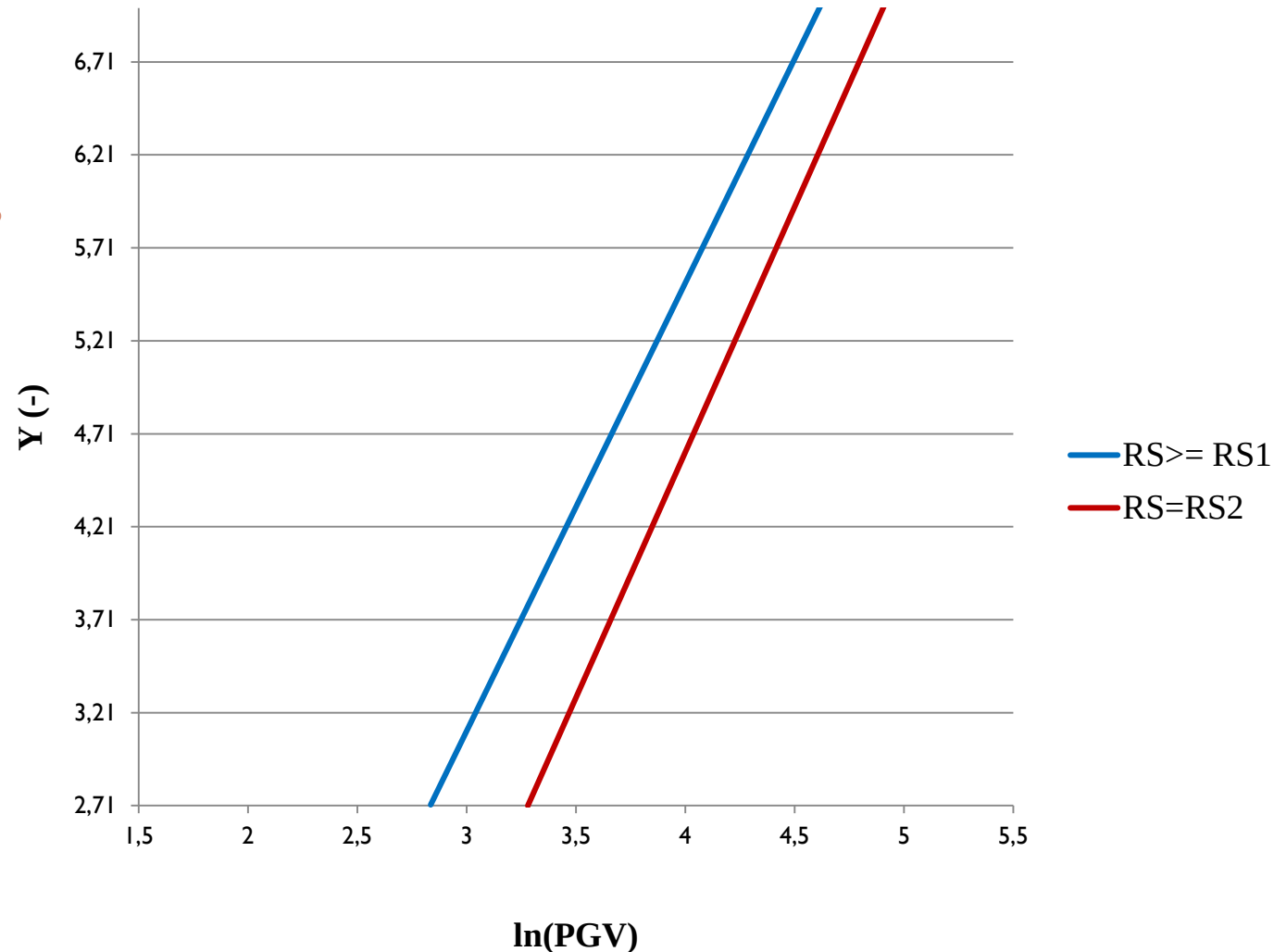
26,58



$$Y = k_1 + k_2 \ln(PGV)$$

k_1, k_2 : coefficienti
di probabilità.

La variabile probit Y è
una variabile binaria ed
è una misura della
probabilità di danno della
tubazione, in funzione
della velocità di picco del
suolo.



CONCLUSIONI

L'analisi della vulnerabilità sismica delle reti idriche (adduzione e distribuzione idrica, drenaggio urbano) è di fondamentale importanza, in quanto il danneggiamento di un sistema di condotte può provocare notevoli disagi alla popolazione colpita.

Nonostante ciò, le osservazioni sperimentali sono ancora molto carenti.

I modelli proposti sono di origine empirica e presentano notevoli limitazioni, in quanto bisogna prendere in considerazione diversi fattori:

l'interazione terreno - tubazione;

le caratteristiche geometriche e il tipo di materiale della tubazione;

l'elevata estensione territoriale delle tubazioni;

le metodologie utilizzate per la costruzione delle infrastrutture idrauliche, diverse da paese a paese.



L'obiettivo principale è quello di individuare un modello unitario, che consenta di applicare una procedura comune per la valutazione del rischio sismico delle infrastrutture idrauliche.

**GRAZIE PER
L'ATTENZIONE**