

## *Un esempio di verifica statica delle tubazioni in grès ceramico in presenza di sisma*



### // 1. Premessa

La presente nota ha lo scopo di dare un contributo tecnico sull'uso di tubazioni rigide anche in zone a rischio sismico e, in particolare, pone in evidenza la qualità delle tubazioni in grès ceramico che, a parità di condizioni esterne, assicurano un'ottima risposta statica alle sollecitazioni indotte dal sisma. Nelle elaborazioni che seguono si è fatto riferimento alle normative CEN-EN295 del 1991, raffrontando i risultati di calcolo con quelli delle resistenze meccaniche ottenute attraverso prove di carico effettuate su tubazioni in grès ceramico di diametro Ø 400 - Ø 500 - Ø 600 - Ø 700 - Ø 800. Nella seguente tabella sono riportate le classi ed i valori di resistenza meccanica di tubazioni in grès con riferimento a ciascun diametro nominale in produzione.

Diametro nominale (mm)	Classe di resistenza (KN/m <sup>2</sup> )	Carico di rottura (KN/m)
Ø 150		28 40
Ø 200	160 240	32 48
Ø 250	160 240	40 60
Ø 300	160 240	48 72
Ø 350	120 160	42 56
Ø 400	120 160	48 64
Ø 500	95 120	48 60
Ø 600	95 120	57 72
Ø 700	L* 95	60 67
Ø 800	L* 95	60 76
* Classe leggera		

## // 2. Ipotesi di calcolo

### 2.1. Caratteristiche meccaniche del terreno

Ai fini della verifica, assume notevole importanza la schematizzazione del terreno nonché l'interazione terreno-tubazione in presenza di azioni dinamiche. Si suppone che il terreno si comporti come un semispazio alla Winckler, isotropo ed omogeneo, sì da trasmettere uniformemente le onde elastiche in ogni direzione.

I parametri geotecnici che intervengono nella definizione delle caratteristiche meccaniche del terreno sono i seguenti:

$\varnothing$  = angolo di attrito interno del terreno;  
 $\delta$  = angolo di attrito terreno-tubazione;  
 $\Gamma_t$  = peso specifico del terreno;  
 $\rho_t = \Gamma/g$  densità del terreno  
( $g = 9,81 \text{ m/sec}^2$ )

### 2.2. Modellazione del sisma

Sulla scorta di indicazioni di normative internazionali (vedi Nuclear Regulatory Commission) e suggerimenti di vari Autori [1], [4], [6], [7], occorre preliminarmente, in funzione delle caratteristiche del sito e della sua collocazione rispetto alle aree a più alto rischio sismico, identificare un "terremoto di progetto".

La complessità dei fenomeni caratterizzanti un movimento tellurico e la difficoltà di sintetizzare gli stessi a mezzo di misure empiriche e, comunque, soggettive, fa sì che, in una generalità, ci si riferisca ad una scala sismica sufficientemente tarata ed affidabile, ovvero la scala Mercalli Modificata, assai simile alla M.S.K. ovvero alla J.M.A., adottata in Giappone.

Una volta definito il grado di sismicità in base al quale la normativa vigente classifica la zona interessata alla posa della condotta, a tale valore si associa l'"intensità del sisma", che è il termine usato per definire l'entità del "terre-

moto di progetto". Nella pratica comune, l'intensità sismica è l'unico valore che definisce il terremoto, a tale parametro (grado della scala di riferimento) si associa – anche se in modo approssimato data la complessità del fenomeno – il valore dell'accelerazione massima a terra.

La scala di riferimento maggiormente utilizzata è la scala Mercalli Modificata: questa si compone di dodici gradi, ciascuno caratterizzato da un campo di valori dell'accelerazione espressa in  $\text{mm/s}^2$ ; anche nel successivo esempio di calcolo l'entità del terremoto viene definita in base al grado di intensità indicato nella scala stessa.

In base a tale valore ed a mezzo di formule semiempiriche, è possibile determinare  $A_o$ ,  $V_o$  ed  $S_o$ , avendo con tali simboli indicato:

$$A_o = 0,1 * g * 2^{(I-7)} \text{ (m/s}^2\text{)}$$

= accelerazione massima del sisma;

$$V_o = 0,1 * 2^{(I-7)} \text{ (m/s)}$$

= velocità massima del sisma;

dove:

$I$  = grado di intensità sismica

$g$  = accelerazione di gravità

$$S_o = \frac{6 * V_o^2}{A_o} \text{ (m) = spostamento massimo.}$$

Poiché nella realtà le tre grandezze  $A_o$ ,  $V_o$  ed  $S_o$  non si manifestano simultaneamente, è possibile individuare le condizioni per cui, mobilizzandosi il terreno con processi di moto armonico sinusoidale, le caratteristiche di quest'ultimo si associano alle caratteristiche proprie del sisma.

### 2.3. Schematizzazione del moto del terreno

Si sostituisce al movimento del terreno un'onda sinusoidale di spostamento, la cui equazione è del tipo:

$$S(t) = S * \text{Sin}(\infty t - \infty x/c) \quad (1)$$

in cui:

$\infty = 2\pi f$  rappresenta la pulsazione dell'onda

$f$  = frequenza di propagazione dell'onda

$c$  = celerità di propagazione dell'onda

Le correlazioni tra tali spostamenti e le altre grandezze dinamiche del moto, sono:

$$V = \infty * S$$

$$A = \infty^2 * S$$

Poiché non è possibile ottenere una coppia di valori  $S$  ed  $\infty$  che diano luogo, in un'unica soluzione, alla determinazione dei valori  $S_o$ ;  $V_o$ ;  $A_o$ , si formulano due ipotesi di calcolo:

- bassa frequenza ( $f_1$ ); alla quale si associano i valori  
 $S_o$  (spostamento massimo)  
 $f_1 \rightarrow (S_o; V_o)$   
 $V_o$  (velocità massima)
- media frequenza ( $f_2$ ); alla quale si associano i valori  
 $A_o$  (accelerazione massima)  
 $f_2 \rightarrow (A_o; V_o)$   
 $V_o$  (velocità massima)

### 2.4. Verifiche di stabilità

Le verifiche di stabilità delle tubazioni interrate in presenza di sisma vengono elaborate ipotizzando che la tubazione possa trovarsi in una delle due seguenti condizioni:

- a) "**condizione di non scivolamento**", per cui vanno determinate le tensioni massime di lavoro nel materiale di condotta e le conseguenti deviazioni angolari, nonché gli spostamenti assiali massimi in corrispondenza dei punti fissi allocati lungo il tracciato (pozzetti, blocchi, ecc);
- b) "**condizione di scivolamento**", per cui si determinano spostamenti differenziali tubo-terreno e le conseguenti deviazioni angolari.

Nelle verifiche di stabilità, i parametri che caratterizzano il materiale e le caratteristiche geometriche della condotta sono i seguenti:

$\rho$  = densità del materiale della condotta  
 $E$  = modulo di Young  
 $\varnothing$  = diametro della condotta  
 $p$  = perimetro della sezione retta della condotta  
 $d$  = spessore delle pareti  
 $\Delta_x$  = lunghezza del tratto di condotta  
 $h$  = profondità di interrimento  
 $b$  = larghezza della sezione di scavo

I parametri che caratterizzano il terreno sono i seguenti:

$f_t = \text{tg } \delta$  coefficiente di attrito terreno-tubo  
 $G_t = \rho_t c^2$  modulo di resistenza a taglio del terreno

I parametri che caratterizzano il moto sono i seguenti:

$f_1 (S_0; V_0)$   
 $f_2 (A_0; V_0)$

dove:  
 $f_1$  = bassa frequenza  
 $f_2$  = media frequenza  
 $S_0$  = spostamento  
 $V_0$  = velocità  
 $A$  = accelerazione

### 2.4.1. Verifica allo scivolamento

Considerando un tratto di condotta lunga  $\Delta_x$ , e facendo riferimento all'equazione dello spostamento (1) riportata al precedente paragrafo 2.3., si definisce la massima tensione ( $t$ ) di attrito tra terreno e condotta in funzione delle seguenti forze che agiscono sul tubo:

a) Forza assiale dovuta alla deformazione assiale:

$$p * d * E * S \frac{\infty^2}{c^2} S * \sin \left( \infty t - \frac{\infty x}{c} \right)$$

b) Forza di attrito:  $p * \Delta x * t$

c) Forza di inerzia:

$$\rho * p * d * S * \infty^2 * \Delta x \sin \left( \infty x - \frac{\infty x}{c} \right)$$

Pertanto, la tensione massima di attrito tra terreno e condotta è data dalla seguente equazione:

$$t_{\max} = d * E * S \frac{\infty^2}{c^2} = d * E * \frac{A}{c^2} \quad (2)$$

La condizione di non scivolamento è espressa quindi da:

$$t_{\max} < f_t * \rho_t * g * h$$

sostituendo si ha:

$$d * E * \frac{A}{c^2} < f_t * \rho_t * g * h$$

$$\text{essendo: } G_t = \rho_t * c^2$$

si ottiene:

$$\frac{A}{g} < f_t * \frac{G_t}{E} * \frac{h}{d} \quad (3)$$

in cui, ferme restando le caratteristiche che schematizzano il moto, variano solo i parametri **h, d,  $G_t$  ed E**.

Si procede quindi alla valutazione delle deformazioni indotte dal terreno alla catena di tubi e successivamente si determinano le tensioni massime sul tubo e le deviazioni angolari.

Il sisma provoca due tipi di onde sinusoidali: una ortogonale all'asse di propagazione (onde trasversali), l'altra parallela all'asse di propagazione (onde longitudinali). Dalla proiezione delle due onde sull'asse della condotta (generalmente deviato di un angolo  $\alpha$  dall'asse di propagazione) nascono sulla condotta delle deformazioni assiali  $\epsilon_a$  e delle deformazioni trasversali  $\epsilon_f$ .

Con riferimento sempre alla equazione dell'onda sinusoidale (1) (omettendo i passaggi analitici) si arriva alle seguenti definizioni:

$$\epsilon_a = \frac{V}{c}; \epsilon_f = \frac{AR}{c^2};$$

$$(R = \text{raggio min condotta}) \quad (4)$$

$$\epsilon_f \ll \epsilon_a \text{ (si trascura nei calcoli)} \quad (5)$$

La deformazione  $\epsilon_a$  può generare sia compressione che trazione (dipende dal verso del sisma).

In presenza di sollecitazioni di trazione risulta:

$$\sigma_{\max} = \epsilon_a * E \quad (6)$$

$$\Delta l = \epsilon_a * l \quad (7)$$

### 2.4.2. Verifica in condizioni di scivolamento

Nel caso in cui la (3) non risultasse verificata si rende necessario verificare che gli spostamenti differenziali ( $\delta$ ) responsabili di eventuali sfilamenti degli elementi di condotta in corrispondenza dei giunti siano contenuti entro il limite ammissibile imposto dalla Normativa CEN EN295.

Si riportano nella seguente tabella i valori massimi della deviazione in mm/m di lunghezza del tubo con riferimento a ciascun diametro nominale:

Diametro nominale (DN mm)	Deviazione angolare (mm/m)
100 - 200	80
225 - 500	30
600 - 800	20
> 800	10

### 3. Stabilità delle tubazioni in Gres ceramico in presenza di azioni sismiche - esempio di calcolo

Si riporta di seguito un esempio numerico di calcolo sulla stabilità delle tubazioni in grès facendo riferimento ai dati relativi ad una determinata rete fognaria considerando, per ogni singolo tronco, la massima e la minima altezza di ricoprimento, la larghezza dello scavo, nonché lo spessore ed il diametro della tubazione secondo le citate norme UNI EN 295.

#### 3.1. Caratteristiche geometriche della rete

Indicando secondo la simbologia normalmente in uso con:

- $h_{max}$ : la massima altezza di ricoprimento  
 $h_{min}$ : la minima altezza di ricoprimento  
 $b$ : la larghezza dello scavo  
 $d$ : lo spessore del tubo  
 $\varnothing$ : il diametro del tubo

si riportano di seguito i dati base delle calcolazioni:

$\varnothing$ (mm)	s (mm)	b (m)	$h_{min}$ (m)	$h_{max}$ (m)	N tronco
400	30	1,00	1,22	4,81	20/19
500	39	1,10	2,00	3,91	8/13
600	42	1,30	2,00	4,58	15/15
700	50	1,40	2,00	3,61	15/15
800	50	1,50	1,40	3,19	15/15

Siffatta rete risulta pertanto costituita da tubazioni circolari in grès, del diametro variabile tra  $\varnothing$  400 mm e  $\varnothing$  800 mm; il sistema di giunzione, in resina poliuretana, garantisce tenuta idraulica e soprattutto, come si dimostrerà nel seguito, elasticità e resistenze meccaniche elevate.

La sezione di scavo presenta un fronte massimo variabile tra 1,00 m e 1,50 m, in relazione al diametro dello scavo, ed un'altezza di ricoprimento tra 1,22 m e 4,81 m; la posa in opera delle tubazioni rispetta le più generali norme di capitolato, con un allettamento su sabbia, dello spessore di (10 ÷ 20) cm e un rinfiamento in materiale idoneo perfettamente costipato ed un adeguato reinterro.

#### 3.2. Caratteristiche del terreno

I parametri geotecnici che classificano i terreni interessati dalla rete sono i seguenti:

$$\varnothing = 28^\circ \text{ (angolo di attrito interno del terreno)}$$

$$\delta = 19^\circ \text{ (angolo di attrito terreno tubazione)}$$

$$f_t = \text{tg } \delta = 0,34 \text{ (coefficiente di attrito terreno-tubo)}$$

$$\Gamma_t = 1800 \text{ Kg/m}^3 \text{ (peso specifico del terreno)}$$

$$\rho_t = 183 \text{ Kgs}^2/\text{m}^4 \text{ (densità del terreno)}$$

$$G_t = 1,65 * 10^7 \text{ Kg/mq} \text{ (modulo di elasticità tangenziale terreno)}$$

#### 3.3. Caratteristiche meccaniche del grès

Si riportano di seguito le principali caratteristiche del materiale così come dichiarate nelle specifiche tecniche

dalla Società del Grès Ing. Sala S.p.A:  
 Peso specifico  $\approx 2200 \text{ Kg/m}^3$   
 Modulo di elasticità a flesso-trazione  $E = 5 * 10^4 \text{ N/mm}^2$   
 Coefficiente di dilatazione termica  $K^{-1} = 6 \div 7,8 * 10^{-6}$

Per quanto riguarda il carico di rottura a flesso-trazione si riportano in appendice i valori medi ottenuti dalle prove di carico effettuate in laboratorio sui diametri nominali:  $\varnothing$  400;  $\varnothing$  500;  $\varnothing$  600;  $\varnothing$  700.

#### 3.4. Caratteristiche del "terremoto di progetto"

La zona sismica interessata dalla rete, oggetto di verifica, risulta classificata con grado di sismicità  $S = 9$ .

Facendo riferimento alla teoria (2), (3), (4), riportata nei paragrafi 2.2 e 2.3, i parametri che definiscono il sisma sono: Intensità sismica  $I = 6$  (grado VI scala M.M) Celerità di propagazione  $c = 300 \text{ m/s}$

Per il sisma in esame le frequenze significative in corrispondenza delle quali le grandezze  $A$ ,  $V$ ,  $S$  assumono i valori massimi, risultano:

$$f_1 = 0,26 \text{ Hz (bassa frequenza)}$$

$$f_2 = 1,60 \text{ Hz (media frequenza)}$$

Si risolve l'equazione (1) associando ad  $f_1$  ed  $f_2$  rispettivamente ( $S_0$ ,  $V_0$ ) e ( $A_0$ ,  $V_0$ ).

$$f_1 \rightarrow (S_0; V_0)$$

$$f_2 \rightarrow (A_0; V_0)$$

Di talché risulta:

1ª condizione : (bassa frequenza  $f_1$ )

- $\infty_1 = 2\pi f_1 = 1,63 \text{ s}^{-1}$
- $S = S_0 = 6 V_0^2/A_0 = 0,63 \text{ m}$
- $V = V_0 = 0,05 \text{ m/s}$
- $A = \infty_1^2 * S = 0,08 \text{ m/s}^2$

2ª condizione : (bassa frequenza  $f_2$ )

- $\infty_2 = 2\pi f_2 = 10,05 \text{ s}^{-1}$
- $A = A_0 = 0,49 \text{ m/s}^2$
- $V = V_0 = 0,05 \text{ m/s}$
- $S = A/\infty_2^2 = 0,0048 \text{ m}$

### 3.5. Verifica allo scivolamento e calcolo delle tensioni indotte

Facendo riferimento al paragrafo 2.4. si procede alla verifica di stabilità attraverso la disequazione (3) che definisce le condizioni al limite di scivolamento.

Nel caso in esame il termine al secondo membro è stato calcolato per le diverse sezioni di speco e per i diversi valori di ricoprimento del terreno, avendo assunto i parametri indicati nei paragrafi 3.1. - 3.2. - 3.3.

I risultati delle calcolazioni numeriche dei valori relativi al secondo termine della disequazione (3) rappresentano le condizioni limite allo scivolamento; essi sono riportati nella seguente tabella per ciascun diametro in funzione del ricoprimento minimo o di quello massimo.

diámetro	ricoprimento minimo	ricoprimento massimo
Ø 400	0,0453	0,1787
Ø 500	0,0572	0,1118
Ø 600	0,0531	0,1202
Ø 700	0,0446	0,0805
Ø 800	0,0312	0,0711

Confrontando i valori tabellati con i valori di  $A/g$  per le due frequenze di riferimento del sisma si ha:

1) caso di onde a bassa frequenza

$$\frac{A}{g} = \frac{0,08}{9,81} = 0,008 <$$

valore tabellato per ciascun diametro

2) caso di onde a media frequenza

$$\frac{A}{g} = \frac{A_0}{g} = \frac{0,49}{9,81} = 0,0499$$

La condizione di non scivolamento

$$0,0499 < \text{valore tabellato}$$

risulta verificata per tutti i diametri sottoposti al ricoprimento massimo, risulta altresì verificata per i diametri Ø 500 e Ø 600 sottoposti al ricoprimento minimo; non risulta verificata per i seguenti diametri sottoposti a ricoprimento minimo:

diámetro	valore tabellato
Ø 400	0,0453
Ø 700	0,0446
Ø 800	0,0312

Per i suddetti diametri risulta, infatti:  
 $0,0499 > \text{valore tabellato}$

In questo caso si procederà nel paragrafo successivo alla verifica degli spostamenti differenziali ed al confronto dei valori delle deviazioni angolari così ottenute con i valori ammissibili che sono riportati dalla normativa ed elencati al paragrafo 2.4.

– Calcolo delle tensioni indotte

Facendo riferimento alle relazioni (4) e (5) riportate nel paragrafo 2.4.1., si ottiene:

$$\epsilon_a = \frac{0,05}{300} = 1,67 * 10^{-4} \text{ m}$$

$$\epsilon_f \ll \ll \epsilon_a$$

Pertanto dalla relazione (6) si ottiene:

$$\sigma_{\max} = 8,35 \text{ N/mm}^2$$

In base a quanto riportato nelle norme UNI EN 295 ed in relazione ai risultati

acquisiti da prove di laboratorio sulla resistenza del grès a flessotrazione e compressione (vedi Appendice), eseguite presso i laboratori della Società del Grès Ing. Sala S.p.A., possono assumersi per il carico di rottura ( $\sigma_{bZ}$ ) i valori di seguito tabellati in funzione di ciascun diametro:

Diámetro	$\sigma_{bZ}$
Ø 400	29,55 N/mm <sup>2</sup>
Ø 500	33,45 N/mm <sup>2</sup>
Ø 600	28,20 N/mm <sup>2</sup>
Ø 700	29,19 N/mm <sup>2</sup>
Ø 800	27,57 N/mm <sup>2</sup>

Per cui, assumendo un fattore di sicurezza F.S. = 3, la tensione ammissibile più bassa risulta:

$$\frac{\sigma_{bZ}}{3} = 9,19 \text{ N/mm}^2 > 8,35 \text{ N/mm}^2$$

Pertanto il valore della tensione di lavoro ottenuto (8,35 N/mm<sup>2</sup>) dimostra che anche per i diametri Ø 400, Ø 700 e Ø 800 le verifiche sono soddisfatte.

### 3.6. Determinazione delle deviazioni angolari

Come precedentemente accennato, il sistema di giunzione prescelto, in resina poliuretana, conferisce alla rete una notevole sicurezza nei confronti dei disassamenti delle tubazioni e delle deformazioni indotte da fattori esterni.

Come può infatti evincersi dalle figg. 1 e 2 di seguito allegate, tra punta e bicchiere viene a realizzarsi una adesione tenace, resistente ed elastica al tempo stesso tale da compensare le eventuali ovalizzazioni e deformazioni

comuni nel materiale ceramico, consentendo nel contempo movimenti telescopici tra punta e manicotto e sopportando, senza alcuna perdita, un carico di taglio di 2 Kg per ogni mm di diametro nominale.

In sostanza la giunzione poliuretanică costituisce di fatto una cerniera tridimensionale che permette, in ampia escursione, l'adattamento della sezione ad assestamenti del terreno dovuti a carichi dinamici, a spinte di galleggiamento, a movimenti tellurici.

Con riferimento alle già citate Norme UNI EN 295, si riportano di seguito i valori di deviazione angolare di tubi in grès collegati e tenuti ad una pressione idraulica all'incirca pari a 0,5 bar.

Si riportano di seguito i valori delle deviazioni angolari prescritti dalla Normativa EN 295.

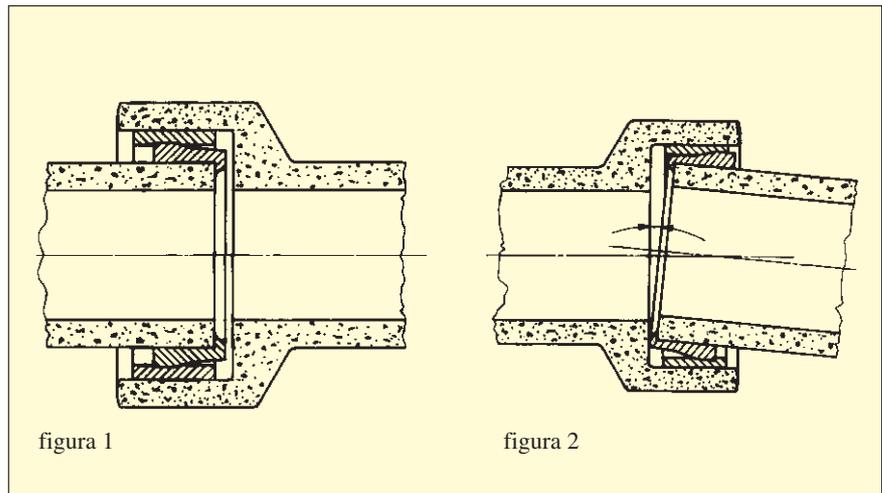
Diametro Nominale (mm)	Deviazione Angolare mm/m
225÷500	30
600÷800	20
> 800	10

Poiché la deviazione angolare conseguente al sisma è rapportata alla lunghezza  $l$  dell'elemento di condotta ed al raggio di curvatura  $R_c$  assunto dalla condotta al passaggio dell'onda di progetto, risulta:

$$\alpha_{\max} = l/R_c$$

e quindi, con riferimento ad elementi di condotta di 2,00 m per diametri  $\varnothing 400 \div \varnothing 600$  e di m 1,50 per diametri  $\varnothing 700$  e  $\varnothing 800$  ed al raggio di curvatura relativo alle onde trasversali:

$$R_c = \frac{c^2}{w^2} * S = \frac{300^2}{1,63^2} * 0,03 = 1016 \text{ m}$$



$$\alpha_{1\max} = \frac{2,00}{1016} = 0,0020 \text{ rad} = 0,056^\circ$$

$$\alpha_{2\max} = 1,50/1016 = 0,015 \text{ rad} = 0,084^\circ$$

Di contro risulta:

$$\varnothing 400 \div 500 \alpha_{1\text{amm}} = \arctg(30/1000) = 1,72^\circ$$

$$\varnothing 600 \div 800 \alpha_{2\text{amm}} = \arctg(20/1000) = 1,14^\circ$$

ovvero:

$$\alpha_{1,2\max} < \alpha_{1,2\text{amm}}$$

Da cui ne consegue che la verifica è ampiamente soddisfatta.

### 3.7. Calcolo dello spostamento assiale massimo

Tale verifica appare opportuna in corrispondenza di "punti fissi", quali ad esempio pozzetti, allacci, blocchi di ancoraggio, etc. In tali condizioni infatti i giunti devono sopportare gli

spostamenti assiali conseguenti alle deformazioni longitudinali degli elementi di condotta senza sfilarsi.

Poiché il tipo di giunto in esame consente spostamenti apprezzabili senza indurre lo sfilamento della condotta laddove lo spostamento assiale massimo  $\Delta l$  viene calcolato con la relazione (7) esposta in precedenza, e tenendo conto delle lunghezze commerciali delle tubazioni,

si ottiene:

$$\begin{aligned} & \text{(per tubazioni di diametro fino a } \varnothing 600) \\ \Delta l &= \epsilon * l = 1,67 * 10^{-4} * (2,00) = \\ & 3,33 * 10^{-4} = 0,33 \text{ mm} \end{aligned}$$

(per tubazioni di diametro  $\varnothing 700$  e  $\varnothing 800$ ) ed ancora

$$\Delta l = \epsilon * l = 1,67 * 10^{-4} * (1,50) = 2503 * 10^{-4} = 0,25 \text{ mm}$$

risulta in ogni caso

$$\Delta l < \Delta l_{\text{amm}}$$

La condizione di scivolamento come può evincersi dalle calcolazioni del paragrafo 3.5, si verifica in corrispondenza di onde sismiche di media frequenza e di particolari condizioni di carico e di diametro. In tal caso insorgono spostamenti differenziali  $\delta$ , responsabili di eventuali sfilamenti del giunto fra gli elementi di condotta. Ta-

le valore va confrontato con l'equivalente massimo ammissibile, che è nell'ordine, come visto, di 10 mm. Poiché dalla relazione (1) si ottiene:

$$\delta_{1\max} = \pm 2 * S * \text{sen} \frac{\infty l}{c}$$

da cui

$$\delta_{1\max} = \pm 2 * 0,0048 * \text{sen} \frac{10,05 * 2,00}{300} = \pm (1,12 * 10^{-5}) \text{ m} \ll \Delta l_{\text{amm}}$$

$$\delta_{2\max} = \pm 2 * 0,0048 * \text{sen} \frac{10,05 * 1,50}{300} = \pm (0,84 * 10^{-5}) \text{ m} \ll \Delta l_{\text{amm}}$$

anche tale ultima condizione risulta soddisfatta.

## 4. Conclusioni

Le verifiche prima esposte mettono in evidenza le caratteristiche di resistenza delle tubazioni in grès con giunto in resine poliuretaniche, e la possibilità della loro idonea utilizzazione anche in una zona a rischio sismico.

Poiché le verifiche sono state effettuate nell'ipotesi di simulare l'interazione tubo-terreno a mezzo di un modello tanto semplice quanto efficace quale quello di Winckler, va tenuto presente che nelle applicazioni di campo le condizioni specifiche dovute a discontinuità e irregolarità riscontrabili nei terreni di posa, possono infatti indurre sollecitazioni e deformazioni di entità non trascurabili.

Da quanto sopra detto emerge la necessità di mettere in opera le tubazioni attenendosi alle più cautelative norme in uso, sì da consentire un'adeguata resistenza ai carichi esterni minimizzando, al contempo, l'insorgere nel terreno di tensioni concentrate e/o diffuse, avvicinandosi il più possibile al modello teorico adottato.

È stato infatti possibile riscontrare che con il trascorrere del tempo le tubazioni hanno la tendenza a modificare il loro comportamento statico a causa di interferenze esterne non implicabili a difetti iniziali.

## Riferimenti bibliografici

[1] OKAMOTO: Introduction to *Earthquake Engineering*, University of Tokio Press (1973).

[2] Legge 2 febbraio 1974, n° 64: Normativa sismica.

[3] D. Min. LL.PP. 24 gennaio 1986: Norme tecniche relative alle costruzioni sismiche.

[4] MORANI, V: Progettare in zona sismica (1990).

[5] Manuale Ingegneria Civile Ed. Cremonese 1982.

[6] Biggs, J. M.: Introduction to structural Dynamics (1964).

[7] CASTOLDI A, FACCIOLI E., GRANDORIG, PETRINI V., RAMASCO R.: Calcolo di strutture in zona sismica (1975).

[8] BETBEDER J., COLADENTC,: Regles pour verification de la tenue au seisme des canalisations et galeries enterrès (1979).

[9] D. Min. LL.PP. 12 Dicembre 1985: Norme tecniche relative alle tubazioni.

[10] Circ. Min. LL.PP. n°27291 - 20 Marzo 1986: Istruzioni relative alla normativa per le tubazioni DM. 12/12/1985.

[11] Iannelli, G.: Evoluzione dei materiali per tubazioni interrate per le esigenze delle infrastrutture urbane.

## Appendice

Prove di laboratorio eseguite presso i laboratori della Società del Gres Ing. Sala S.p.A.



Dr. Ing. Nino Gabriele  
NIRO Studi e Ricerche s.r.l.

**Tabella 1 - Provini DN 400 data: 01.06.92**

N.	KN	14 mm	b <sup>3</sup> mm	s <sup>1</sup> mm	d <sup>1</sup> mm	sigma N/mm <sup>2</sup>	
1	14,32	150	91	34,7	393	31,00	
2	12,36	150	91	34,9	393	26,45	
3	13,29	150	91	35,2	393	27,97	
4	14,42	150	91	35,4	393	30,02	
5	13,34	150	91	35	393	28,39	
6	15,01	150	91	34,6	393	32,67	
7	14,71	150	91	34,6	393	32,02	
8	14,99	150	91	35,6	393	30,86	
9	13,93	150	91	35,5	393	28,84	
10	13,63	150	91	36,1	393	27,31	
						media	29,55
						max	32,67
						min	26,45
						dev.std	2,08

**Tabella 2 - Provini DN 600 data: 01.06.92**

N.	KN	14 mm	b <sup>3</sup> mm	s <sup>1</sup> mm	d <sup>1</sup> mm	sigma N/mm <sup>2</sup>	
1	17,26	220	132	39,6	587	28,68	
2	17,95	220	132	39,6	587	29,82	
3	16,97	220	132	39,6	587	28,19	
4	17,95	220	132	40	587	29,24	
5	17,76	220	132	39,7	587	29,36	
6	19,22	220	132	42,6	587	27,67	
7	17,41	220	132	40,6	587	27,54	
8	12,36	220	132	40	587	20,13	
9	19,22	220	132	40,4	587	30,70	
10	19,22	220	132	40,4	587	30,70	
						media	28,204788
						max	30,70331
						min	20,133872
						dev.std	3,0475938

**Tabella 3 - Provini DN 500 data: 08.06.92**

N.	KN	14 mm	b <sup>3</sup> mm	s <sup>1</sup> mm	d <sup>1</sup> mm	sigma N/mm <sup>2</sup>	
1	22,07	195	116	42,7	499	32,13	
2	21,58	195	116	42	499	32,44	
3	25,5	195	116	43,2	499	36,28	
4	20,4	195	116	43	499	29,29	
5	23,44	195	116	42,7	499	34,12	
6	23,05	195	116	42	499	34,65	
7	23,05	195	116	41,2	499	35,98	
8	22,46	195	116	41,2	499	35,06	
9	22,07	195	116	42,7	499	32,13	
10	21,58	195	116	42	499	32,44	
						media	33,45
						max	36,28
						min	29,29
						dev.std	2,15

**Tabella 4 - Provini DN 700 data: 08.06.92**

N.	KN	14 mm	b <sup>3</sup> mm	s <sup>1</sup> mm	d <sup>1</sup> mm	sigma N/mm <sup>2</sup>	
1	23,51	230	138	45,2	687	29,95	
2	18,74	230	138	44,4	687	24,73	
3	22,17	230	138	44,3	687	29,38	
4	22,66	230	138	43,6	687	30,99	
5	20,89	230	138	44,2	687	27,81	
6	22,95	230	138	43,6	687	31,38	
7	21,38	230	138	43,4	687	29,50	
8	23,51	230	138	45,2	687	29,95	
9	22,66	230	138	44,4	687	29,90	
10	21,38	230	138	44,3	687	28,34	
						media	29,19
						max	31,38
						min	24,73
						dev.std	1,90

**Tabella 5 - Provini DN 700 data: 08.06.92**

N.	KN	14 mm	b <sup>3</sup> mm	s <sup>1</sup> mm	d <sup>1</sup> mm	sigma N/mm <sup>2</sup>	
1	20,11	242	146	46,8	782	23,69	
2	24,91	242	146	45,8	782	30,61	
3	22,95	242	146	46,3	782	27,61	
4	23,24	242	146	45,7	782	28,69	
5	21,97	242	146	45,6	782	27,23	
6	20,11	242	146	46,8	782	23,69	
7	24,91	242	146	45,8	782	30,61	
8	22,95	242	146	46,3	782	27,61	
9	23,24	242	146	45,7	782	28,69	
10	21,97	242	146	45,6	782	27,23	
						media	27,57
						max	30,61
						min	23,69
						dev.std	2,39

**Tabella 6 - Provini DN 500 data: 08.06.92**

N.	KN	14 mm	b <sup>3</sup> mm	s <sup>1</sup> mm	d <sup>1</sup> mm	sigma N/mm <sup>2</sup>	
1	22,07	195	116	42,7	499	32,13	
2	21,58	195	116	42	499	32,44	
3	25,5	195	116	43,2	499	36,28	
4	20,4	195	116	43	499	29,29	
5	23,44	195	116	42,7	499	34,12	
6	23,05	195	116	42	499	34,65	
7	23,05	195	116	41,2	499	35,98	
8	22,46	195	116	41,2	499	35,06	
9	22,07	195	116	42,7	499	32,13	
10	21,58	195	116	42	499	32,44	
						media	33,45
						max	36,28
						min	29,29
						dev.std	2,15

**Tabella 7 - Provini DN 700 data: 08.06.92**

N.	KN	l <sub>4</sub> mm	b <sup>3</sup> mm	s <sup>1</sup> mm	d <sup>1</sup> mm	sigma N/mm <sup>2</sup>	
1	23,51	230	138	45,2	687	29,95	
2	18,74	230	138	44,4	687	24,73	
3	22,17	230	138	44,3	687	29,38	
4	22,66	230	138	43,6	687	30,99	
5	20,89	230	138	44,2	687	27,81	
6	22,95	230	138	43,6	687	31,38	
7	21,38	230	138	43,4	687	29,50	
8	23,51	230	138	45,2	687	29,95	
9	22,66	230	138	44,4	687	29,90	
10	21,38	230	138	44,3	687	28,34	
						media	29,19
						max	31,38
						min	24,73
						dev. std	1,90