

Il modulo CONDOTTE INTERRATE

Premessa

Il modulo Condotte Interrate consente la verifica statica di condotte interrate rigide o flessibili.

Caratteristiche di calcolo e risultati

Il calcolo implementato segue le indicazioni della norma UNI 7517/1976, con riferimenti alla normativa Ouvrages d'assainissement. Fascicule n°70, redatta dal Ministero di Trasporti francese e alla normativa americana ANSI-AWWA C950/88.

La verifica statica di condotte interrate rigide prevede il calcolo dei carichi ovalizzanti e la verifica allo stato limite ultimo di resistenza. Qualora non sia noto il carico di rottura a schiacciamento della condotta è possibile eseguire una verifica alle tensioni ammissibili.

La verifica statica di condotte interrate flessibili riguarda il calcolo dei carichi, della inflessione diametrale, della tensione e deformazione massime di flessione e la verifica all'instabilità all'equilibrio elastico (buckling).

E' possibile eseguire anche la verifica statica di tubazioni in pressione.

Il programma consente il calcolo automatico della rigidezza della condotta .

Definizione della rigidezza della condotta

1) Norma UNI 7517/1976

$$\text{coefficiente di elasticità } n = E_s/E_t(r/s)^3$$

dove

E_s = modulo di elasticità del terreno

E_t = modulo di elasticità della tubazione

r = raggio medio della tubazione $r = (D-s)/2$

D = diametro esterno della tubazione

s = spessore della tubazione

$n \geq 1$ tubazione flessibile

2) Ouvrages d'assainissement. Fascicule n°70

$$\text{criterio di rigidezza } RIG = 1/12 * (1 - 0.09) E_t / E_s (s/r)^3 - 0.1$$

$RIG \leq 0$ tubazione flessibile

Tubazione Rigida - Verifica allo stato limite ultimo di resistenza

1) Determinazione dei carichi: carico dovuto al rinterro, in funzione del tipo di posa,

(trincea stretta o larga), sovraccarichi mobili concentrati e distribuiti, carico dovuto alla massa d'acqua contenuta nella condotta, calcolo del carico per pressione idrostatica esterna.

- 2) Definizione del coefficiente di posa
- 3) Verifica: $Q_r/Q_t \leq \text{Coeff. Sic.}$

Q_r = carico di rottura in trincea

Q_t = risultante dei carichi

Coeff. Sic. = coefficiente di sicurezza allo schiacciamento, di solito pari a 1.5.

Tubazione Rigida - Verifica alle tensioni ammissibili

- 1) Determinazione dei carichi: carico dovuto al rinterro, in funzione del tipo di posa, (trincea stretta o larga), sovraccarichi mobili concentrati e distribuiti, carico dovuto alla massa d'acqua contenuta nella condotta, calcolo del carico per pressione idrostatica esterna.
- 2) Valutazione del momento flettente massimo M
- 3) Verifica: $\sigma / \sigma_{amm} \leq \text{Coeff. Sic.}$
 $\sigma = 6M/s^2$
 σ_{amm} = sigma ammissibile
 Coeff. Sic. = coefficiente di sicurezza, di solito pari a 1.5.

Tubazione Flessibile

- 1) Determinazione dei carichi: carico dovuto al rinterro, sovraccarichi mobili concentrati e distribuiti, carico dovuto alla massa d'acqua contenuta nella condotta, calcolo del carico per pressione idrostatica esterna.
- 2)
- 3) Calcolo dell'inflessione diametrale verticale

$$Dy = (DeW_c + W_L)K_x r^3 / (EtI + 0.061KaEsr^3) + Da$$
 dove:
 De = fattore di ritardo d'inflessione
 WC = carico dovuto al rinterro
 WL = carico mobile
 Kx = coefficiente di inflessione
 r = raggio medio della tubazione $r = (D-s)/2$
 Et = modulo di elasticità della tubazione
 I = momento di inerzia
 Ka, Da = parametri per passare da inflessione media a inflessione massima caratteristica
 Es = modulo di elasticità del terreno

e verifica $Dy \leq D_{max}$

- 4) Verifica: $\sigma / \sigma_{lim} \leq \text{Coeff. Sic.}$
 σ = tensione dovuta alla deflessione diametrale
 σ_{lim} = tensione limite ultima
 Coeff. Sic. = coefficiente di sicurezza, di solito pari a 1.5.
- 5) Verifica: $\varepsilon / \varepsilon_{lim} \leq \text{Coeff. Sic.}$
 ε = deformazione massima
 ε_{lim} = deformazione limite ultima

Coeff. Sic. = coefficiente di sicurezza, di solito pari a 1.5.

- 6) Verifica all'instabilità all'equilibrio elastico (buckling)
 Consiste nel verificare che la pressione dovuta ai carichi esterni, nel caso di depressione interna in condotta o nel caso di sovraccarichi mobili, non superi la pressione ammissibile di buckling, grandezza che dipende dalle caratteristiche geometriche della condotta, dal suo materiale e dalle caratteristiche di posa (altezza di rinterro, modulo di elasticità del terreno, ecc.)

Riferimenti bibliografici

Per informazioni più dettagliate sul calcolo statico di condotte interrato si rinvia alla letteratura tecnica specializzata tra cui si consiglia:

Ente Nazionale Italiano di Unificazione	<i>UNI 7517 – Guida per la scelta della classe dei tubi per condotte di amianto cemento sottoposte a carichi esterni e funzionanti con o senza pressione interna</i>	-	1976
Ministère de l'Équipement, du Logement e des Transports	<i>Ouvrages d'assainissement. Fascicule n°70</i>	-	1992
American Water Works Association	<i>ANSI-AWWA C950/88 AWWA Standard for fiberglass pressure pipes</i>	-	Denver, Colorado 1988
AA.VV.	<i>Sistemi di fognatura</i>	Centro Studi Deflussi urbani – Hoepli	Milano, 1997

Per cominciare

Supponiamo di voler procedere al calcolo statico di una condotta interrata. E' possibile partire da un nuovo file o da uno precedentemente salvato (come indicato nella Guida all'ambiente). La pagina iniziale del modulo Condotte Interrate si presenta come illustrato di fianco. Selezionando il nodo principale si possono inserire nel foglio corrispondente i dati riepilogativi del progetto tenendo presente che tali dati compariranno nell'intestazione della relazione di calcolo.



Condotte Interrate

Titolo: Versione

Oggetto:

Località:

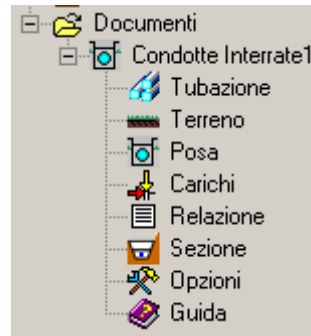
Committente:

Progettista: Impresa:

Calcolatore: Direzione Lavori:

Note:

L'albero del modulo Condotte Interrate si presenta come nella figura accanto. I contenuti dei singoli nodi e i comandi in essi disponibili verranno descritti in modo dettagliato nei paragrafi successivi.



L'albero di Condotte Interrate

Nei paragrafi successivi vengono descritti i nodi che sono presenti nell'albero relativo al modulo Condotte Interrate. Non viene riportato il nodo che contiene le informazioni generali del documento, descritto già nella parte generale e il nodo relativo alla guida all'uso specifico del modulo.

In particolare vengono indicate le principali operazioni che è possibile effettuare per inserire una nuova condotta, per modificare una condotta precedentemente assegnata o per variare le opzioni così come sono disponibili in ciascuno dei nodi del modulo.

L'accesso ai nodi dell'albero può avvenire dal menù a tendina oppure dalla barra dei comandi oppure ancora posizionandosi direttamente su uno dei nodi.

Tubazione

Selezionando il nodo Tubazione attraverso il comando del menù oppure cliccando sull'apposita icona dell'albero si attiva la scheda di inserimento dati relativi alla tubazione. La finestra di editing si presenta come nella figura sopra riportata.

Per definire una condotta occorre assegnarne il diametro esterno, lo spessore e scegliere il materiale selezionandolo mediante l'apposito combo-box.

Il modulo elastico del materiale verrà assegnato automaticamente scegliendo il materiale, ma è sempre possibile variarlo a piacere dell'utente. Se la condotta è in pressione occorre assegnare la pressione di esercizio.

La scelta del tipo di condotta da verificare (rigida o flessibile) e di altre opzioni di calcolo va fatta nella scheda Opzioni., illustrata di seguito.

Se si deve procedere alla verifica di una condotta flessibile occorre assegnare una serie di parametri per il calcolo dell'inflessione verticale diametrale, il fattore di forma per il calcolo della tensione massima di flessione, il fattore di progettazione, che interviene nel calcolo della pressione ammissibile di buckling (di solito pari a 2,5) ed infine l'eventuale depressione interna in condotta da portare in conto nella verifica all'instabilità.

Cliccando sui pulsanti  si accede alle schede di aiuto che riportano i valori da adottare.

Tubazione																																			
Diametro esterno [mm]:	<input type="text" value="850"/>	<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="3">Modulo elastico del materiale</th> </tr> <tr> <th>Materiale</th> <th>Modulo elastico iniziale (istantaneo) [MPa]</th> <th>Modulo elastico a lungo termine (differito) [MPa]</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Acciaio</td> <td>210000</td> <td>210000</td> </tr> <tr> <td>Ghisa sferoidale</td> <td>170000</td> <td>170000</td> </tr> <tr> <td>Gres</td> <td>50000</td> <td>50000</td> </tr> <tr> <td>Calcestruzzo</td> <td>35000</td> <td>12000</td> </tr> <tr> <td>Fibrocemento</td> <td>20000</td> <td>7000</td> </tr> <tr> <td>PRFV non caricato</td> <td>25000</td> <td>9000</td> </tr> <tr> <td>PRFV caricato</td> <td>13000</td> <td>4700</td> </tr> <tr> <td>PVC</td> <td>3000</td> <td>1500</td> </tr> <tr> <td>PEad</td> <td>900</td> <td>225</td> </tr> </tbody> </table>	Modulo elastico del materiale			Materiale	Modulo elastico iniziale (istantaneo) [MPa]	Modulo elastico a lungo termine (differito) [MPa]	Acciaio	210000	210000	Ghisa sferoidale	170000	170000	Gres	50000	50000	Calcestruzzo	35000	12000	Fibrocemento	20000	7000	PRFV non caricato	25000	9000	PRFV caricato	13000	4700	PVC	3000	1500	PEad	900	225
Modulo elastico del materiale																																			
Materiale	Modulo elastico iniziale (istantaneo) [MPa]		Modulo elastico a lungo termine (differito) [MPa]																																
Acciaio	210000		210000																																
Ghisa sferoidale	170000		170000																																
Gres	50000	50000																																	
Calcestruzzo	35000	12000																																	
Fibrocemento	20000	7000																																	
PRFV non caricato	25000	9000																																	
PRFV caricato	13000	4700																																	
PVC	3000	1500																																	
PEad	900	225																																	
Spessore [mm]:	<input type="text" value="55"/>																																		
Materiale:	<input type="text" value="gres"/>																																		
Modulo elastico [MPa]:	<input type="text" value="55000"/>																																		
Pressione idr. esercizio [N/cm ²]:	<input type="text" value="4.9"/>																																		
Condotta flessibile		<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="3">Condotta flessibile: Inflessione verticale</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td colspan="3">$D_y = (D_e W_c + W_l) K_x r^3 / (E t + 0.061 K_a E_s r^3) + D_a$</td> </tr> <tr> <th colspan="3">Condotta flessibile: σ max di flessione</th> </tr> <tr> <td colspan="3">$\sigma = D_f E t (D_y / D) (s / D) \leq \sigma_{lim} / \mu$</td> </tr> <tr> <th colspan="3">Condotta flessibile: pressione amm di buckling</th> </tr> <tr> <td colspan="3">$q_a = (1 / F S) (32 R_w B^3 E_s E t / D^3)^{0.5}$</td> </tr> </tbody> </table>	Condotta flessibile: Inflessione verticale			$D_y = (D_e W_c + W_l) K_x r^3 / (E t + 0.061 K_a E_s r^3) + D_a$			Condotta flessibile: σ max di flessione			$\sigma = D_f E t (D_y / D) (s / D) \leq \sigma_{lim} / \mu$			Condotta flessibile: pressione amm di buckling			$q_a = (1 / F S) (32 R_w B^3 E_s E t / D^3)^{0.5}$																	
Condotta flessibile: Inflessione verticale																																			
$D_y = (D_e W_c + W_l) K_x r^3 / (E t + 0.061 K_a E_s r^3) + D_a$																																			
Condotta flessibile: σ max di flessione																																			
$\sigma = D_f E t (D_y / D) (s / D) \leq \sigma_{lim} / \mu$																																			
Condotta flessibile: pressione amm di buckling																																			
$q_a = (1 / F S) (32 R_w B^3 E_s E t / D^3)^{0.5}$																																			
Fattore di ritardo De:	<input type="text" value="1.5"/> ...																																		
Coef. di inflessione Kx:	<input type="text" value="0.103"/> ...																																		
Parametro Ka:	<input type="text" value="0.75"/> ...																																		
Parametro Da:	<input type="text" value="0"/> ...																																		
Fattore di forma Df:	<input type="text" value="3.8"/> ...																																		
Fattore di progettazione FS:	<input type="text" value="2.5"/>																																		
Depressione interna Pv [N/cm ²]:	<input type="text" value="0"/>																																		

Terreno

In questa scheda viene assegnato il tipo di terreno utilizzato e le sue caratteristiche: modulo elastico, peso specifico, coefficiente di attrito.

Terreno				
Classificazione del terreno:	Sabbia molto fine			
Costipamento:	costipamento leggero			
Modulo elastico [MPa]:	8,3			
Peso specifico [kN/m ³]:	17,50	...	Angolo di attrito interno [°]:	28
Valori di Es in funzione del grado di compattazione del materiale che avvolge la tubazione [MPa]				
Tipo di materiale che avvolge la tubazione	Scaricato alla rinfusa	Costipamento leggero	Costipamento moderato	Costipamento Elevato
a) Terreni a grana fine, con meno del 25% di particelle a grana grossolana; plasticità da media a nulla	0,34	1,4	2,8	6,9
b) Terreni a grana fine, con più del 25% di particelle a grana grossolana; plasticità da media a nulla. Terreni a grana grossolana con più del 12% di fini.	0,69	2,8	6,9	13,8
c) Terreni a grana grossolana con pochi fini o nessuno (<12% di fini).	1,4	6,9	13,8	20,7
d) Roccia frantumata	6,9	-	20,7	-
Appartengono al gruppo a) i seguenti terreni: argille inorganiche con plasticità da bassa a media - limo inorganico - sabbia molto fine				
Appartengono al gruppo b) i seguenti terreni: quelli del gruppo a), ma con più del 25% di particelle a grana grossolana - miscele di ghiaia, sabbia e limo (o argilla) mal graduate - sabbie con limo				
Appartengono al gruppo c) i seguenti terreni: miscele di ghiaia e sabbia con pochi fini o nessuno - sabbie ghiaiose con pochi fini o nessuno				

Posa

Nella scheda Posa si definiscono tutti i parametri relativi alla posa della condotta.

L' altezza di rinterro è intesa dalla generatrice superiore del tubo. Allo stesso modo la larghezza della trincea è la larghezza di scavo sulla generatrice superiore del tubo.

E' prevista la presenza di falda e il tirante da assegnare è la distanza tra il pelo libero della falda e la generatrice superiore del tubo. La scarpa definisce l'inclinazione dello scavo.

Posa	
Altezza rinterro [m]:	1,5
<input type="checkbox"/> Larghezza trincea in funzione del tipo di posa	
Larghezza trincea [m]:	2
scarpa [m/m]:	0
<input checked="" type="checkbox"/> Falda	Hw [m]: 1,2
Tipo di posa:	Tipo 2
Coefficiente di posa K:	1,5
<input checked="" type="checkbox"/> Calcola a b c	
a [m]:	0,185
b [m]:	0,14166
c [m]:	0,3
<p>Tipo 2</p> <p>Appoggio su letto di materiale granulare fine e rinterro con materiale granulare fine o con materiale proveniente dagli scavi leggermente costipato</p> <p>a=0,10 m + 1/10 D</p> <p>b=1/6 D c>=0,30</p>	

E' possibile assegnare il tipo di posa, con definizione automatica del coefficiente di posa. Qualora si desideri assegnare il coefficiente di posa è sufficiente selezionare per il tipo di posa la voce 'generico'.

Le altezze degli strati di posa (a,b,c) possono essere assegnate in automatico, sempre in funzione del tipo di posa, oppure definite dall'utente. Infine, anche la larghezza della trincea, per alcuni tipi di posa, può essere calcolata in automatico.

Carichi

I sovraccarichi mobili concentrati e distribuiti possono essere assegnati dall'utente oppure calcolati in automatico in base alla definizione del tipo di convoglio (per il carico concentrato) e delle dimensioni dell'area di impronta (per il carico distribuito) secondo le indicazioni della norma UNI 7517/76.

Carichi

Sovraccarico mobile concentrato

Calcola sovraccarico mobile concentrato sulla condotta

Tipo di convoglio:

Q concentrato su sommità condotta [kN/m]:

Sovraccarico mobile distribuito

Calcola sovraccarico mobile distribuito sulla condotta

Sovraccarico vert. mobile distr. [N/mq]:

Dimensioni area di impronta Q distr

A [m]: L [m]:

Q distribuito su sommità condotta [kN/m]:

Fattore dinamico:

Sovraccarichi esercitati dalle ruote di convogli tipo leggeri (L) e pesanti (H)							
N°	Simbolo convoglio	Massa del convoglio t	Numero degli assi	Sovraccarico della ruota anteriore		Sovraccarico della ruota posteriore	
				kg	kN	kg	kN
1	LT 3	3	2	500	4,903	1000	9,807
2	LT 6	6	2	1000	9,807	2000	19,613
3	LT 12	12	2	2000	19,613	4000	39,227
4	HT 26	26	2	6500	63,744	6500	63,744
5	HT 30	30	3	5000	49,034	5000	49,034
6	HT 38	38	3	6250	61,292	6500	63,744
7	HT 45	45	3	7500	73,550	7500	73,550

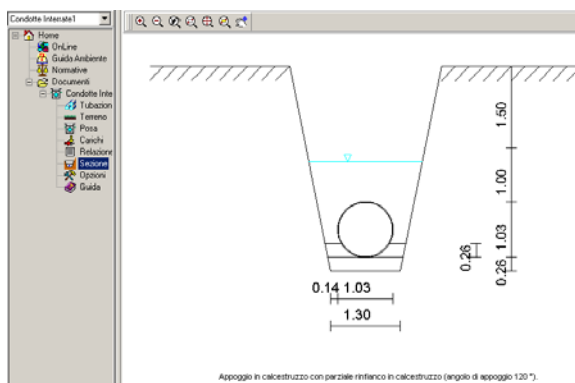
Relazione

Posizionandosi sul nodo Relazione si attiva l'editor di testo che visualizza i dati e i risultati dell'elaborazione; i comandi disponibili sono quelli già illustrati nella parte generale.

Disegno della Sezione

Selezionando il nodo Sezione oppure l'omologa voce nel menù a discesa si attiva l'editor grafico con il disegno della sezione di scavo.

Per un'illustrazione delle funzioni grafiche si rinvia alla parte generale dell'ambiente Edilstudio.



Appoggio in calcestruzzo con parziale rifinico in calcestruzzo (angolo di appoggio 120°).

Opzioni

In questa scheda è possibile definire alcune opzioni di calcolo e di disegno. Selezionando l'apposito combo-box è possibile scegliere quale verifica statica eseguire: per condotta rigida o per condotta flessibile.

Il software può anche calcolare in automatico la rigidezza e scegliere quale delle due verifiche eseguire.

Opzioni	
Tipo di calcolo:	condotta rigida
Formula di calcolo della rigidezza:	Ouvrages d'assainissement - Fascicule n°70
<input checked="" type="radio"/> Condotta a pelo libero <input type="radio"/> Condotta in pressione	
Condotte rigide <input checked="" type="radio"/> Verifica stato limite ultimo di resistenza (UNI 7517/76)	
Classe di resistenza [kN/m ²]:	95
Coefficiente di sicurezza	1.5
Pressione rottura scoppio [N/cm ²]	440
Coeff. sicur. allo scoppio vz:	3.5
Coeff. sicur. a schiacciamento vd:	2.5
<input type="radio"/> Verifica tensioni ammissibili (Ouvrages d'assainissement - Fasc.70)	
Coeff. di momento Kalfa:	0.31
Sigma limite [N/cm ²]:	2000
Deformazione limite [per mille]:	2
Coeff. sicurezza a flessione:	1.5
Condotte flessibili	
Inflessione max [% Diametro]:	5
Sigma limite [N/cm ²]:	2000
Deformazione limite [per mille]:	2
Coeff. sicurezza a flessione:	1.5
Opzioni di disegno	
Altezza carattere:	0.1
<input checked="" type="checkbox"/> Descrizione del tipo di posa	

Per il calcolo automatico della rigidezza si può seguire la norma UNI 7517/76, che calcola il coefficiente di elasticità ($n \geq 1$ tubazione flessibile) oppure la norma francese, Ouvrages d'assainissement. Fascicule n°70, che prevede il calcolo del RIG, criterio di rigidezza, ($n \leq 0$ tubazione flessibile).

Nel caso di condotte rigide si può eseguire una verifica allo stato limite ultimo di resistenza, se si è a conoscenza della classe di resistenza della tubazione. Se la condotta è in pressione è necessario assegnare i seguenti valori limite: pressione di rottura allo scoppio, coefficiente di sicurezza allo scoppio, coefficiente di sicurezza allo schiacciamento.

Quando non si conosce la classe di resistenza della tubazione è possibile eseguire una verifica alle tensioni ammissibili, attraverso la valutazione del momento massimo flettente, assegnando i parametri di resistenza del materiale.

Nel caso di condotte flessibili occorre assegnare l'inflessione massima diametrale verticale ed i parametri di resistenza del materiale.

Le opzioni di disegno consentono di variare l'altezza del carattere dei testi e di scegliere se inserire o meno nel disegno la descrizione del tipo di posa.