



acquedotto  
pugliese

*l'acqua, bene comune*

**Direzione Ingegneria**

**LINEE GUIDA  
PER LA PROGETTAZIONE E REALIZZAZIONE  
DI CONDOTTE DI RECAPITO SOTTOMARINE**

*Redazione a cura di:*

Ing. Giuseppe De Stefano  
*(Resp. Area Tecnologia dei Materiali)*

Ing. Antonio Carbonara  
*(Resp. Area Standard Infrastrutture)*

*Visto: Il Direttore*  
Ing. Andrea Volpe

*Prima edizione maggio 2020*

## INDICE

1. PREMESSA .....	3
2. CENNI SULLA PRINCIPALE NORMATIVA DI RIFERIMENTO .....	3
3. ASPETTI ESSENZIALI DELLA PROGETTAZIONE .....	4
3.1. Generalità .....	4
3.2. Rilievi batimetrici .....	5
3.3. Studio della geologia dei fondali .....	5
3.4. Clima meteomarinò: studio delle correnti e del moto ondoso .....	5
3.4.1. Studio delle correnti.....	6
3.4.2. Valutazione del moto ondoso.....	6
3.4.3. Biocenosi marina .....	8
3.5. Calcoli idraulici .....	8
3.5.1. Calcolo della portata da recapitare.....	9
3.6. Verifica delle sollecitazioni alle quali è sottoposta la condotta .....	9
3.6.1. Condizioni di carico.....	10
3.6.2. Azioni idrodinamiche .....	10
3.7. Diffusori.....	11
3.8. Scelta dei materiali .....	12
3.8.1. Tubi e raccordi di acciaio al carbonio.....	13
3.8.2. Tubi e raccordi di ghisa sferoidale.....	13
3.8.3. Tubi e raccordi di polietilene .....	13
3.8.4. Tubi e raccordi di PRFV .....	14
3.9. Protezione catodica .....	14
4. POSA DI CONDOTTE SOTTOMARINE IN TRINCEA O SUL FONDALE (Cenni).....	14
4.1. Posa in trincea o sul fondale .....	14
4.2. Posa di condotte sottomarine con tecnologia di tipo T.O.C.....	15
4.3. Verifica dei tubi in fase di varo.....	16
4.4. Appesantimento delle condotte sottomarine.....	16

## 1. PREMESSA

Il presente documento definisce le principali linee guida da seguire nella progettazione e costruzione di condotte sottomarine il recapito in mare delle acque depurate trattate dagli impianti di depurazione gestiti da Acquedotto Pugliese.

Il conferimento in mare delle acque depurate deve avvenire nel pieno rispetto dei parametri di Legge, ed in particolare secondo le disposizioni del Piano di Tutela delle Acque (PTA) regionale, il quale impone che lo scarico a mare debba essere attuato in osservanza dei parametri di cui alla Tabella 4, allegato 5, parte III, del D. Lgs 152/06 (Testo Unico Ambientale).

Tuttavia, un ottimale livello di progettazione delle condotte sottomarine, oltre a permettere il recapito in mare secondo consolidati criteri tecnico-ingegneristici, può rappresentare, in virtù delle peculiari caratteristiche costruttive, un vero e proprio “trattamento finale” di abbattimento della carica batterica residua presente nelle acque depurate, già sottoposte a trattamento depurativo secondo Legge.

Ai fini del corretto funzionamento di una condotta sottomarina, devono essere stabiliti, in fase progettuale, quattro aspetti fondamentali:

- il carico idraulico necessario per la corretta fuoriuscita delle acque convogliate dal diffusore terminale, valutando la necessità di realizzare un impianto di sollevamento, a monte della condotta sottomarina nel caso in cui la piezometrica della condotta di avvicinamento alla costa non sia in grado di garantire una sufficiente pressione per l’allontanamento delle acque;
- la lunghezza della condotta sottomarina, da valutare a seguito di accurati studi meteomarini e correntometrici, tale da consentire l’allontanamento dalla costa delle acque depurate, minimizzando le probabilità che il fenomeno di dispersione delle stesse e le correnti possano determinare il loro ritorno a riva;
- il posizionamento ed il tracciato sottomarino della condotta valutato in funzione dei rilievi della batimetria e della geomorfologia del fondo marino al fine di determinare la stabilità della condotta sul fondale;
- la tipologia di materiali (materiali per tubazioni, rivestimenti, pipette del diffusore, dispositivi di appesantimento, valvole terminali, ecc.) scelti, anche in funzione delle specifiche condizioni al contorno, al fine di conferire al sistema idonee caratteristiche di resistenza meccanica, resistenza alla corrosione, resistenza agli urti ed abrasioni, e quindi ai fini di una ottimale affidabilità e durabilità dell’opera nel lungo termine.

## 2. CENNI SULLA PRINCIPALE NORMATIVA DI RIFERIMENTO

Con il Decreto Legislativo 3 aprile 2006, n. 152 (Norme in materia ambientale), il legislatore, recependo nell’ordinamento italiano la direttiva 2000/60/CE del Parlamento europeo e del Consiglio dell’Unione Europea del 23 ottobre 2000, che istituisce un quadro per l’azione comunitaria in materia di acque, ha provveduto al riordino, al coordinamento e all’integrazione delle disposizioni legislative in materia ambientale.

La disciplina degli scarichi costituisce una delle componenti principali della normativa per la tutela delle acque dall’inquinamento ed è normata dal predetto DLgs. 152/06-parte III e successive modifiche e integrazioni.

Il quadro normativo delineato dal DLgs. 152/2006, è arricchito da varie norme regionali, alcune antecedenti e altre emanate in attuazione di disposizioni contenute nel decreto.

Come indicato delle norme nazionali e regionali l’autorità preposta al rilascio delle autorizzazioni per scarico a mare è la Provincia ovvero la Città Metropolitana.

Lo strumento di Piano atto a regolamentare i recapiti delle acque depurate nei corpi idrici è il Piano di Tutela delle Acque della Regione Puglia (PTA).

Con riferimento a quest'ultimo, l'articolo 61 del citato DLgs. 152/2006 attribuisce alle Regioni la competenza in ordine alla loro elaborazione, adozione, approvazione e attuazione. Il Piano di tutela è individuato come fondamentale strumento finalizzato al raggiungimento degli obiettivi di qualità dei corpi idrici e più in generale alla protezione dell'intero sistema idrico superficiale e sotterraneo.

Il Piano di Tutela, dunque, stabilisce per quali agglomerati è previsto il recapito in mare delle acque depurate.

Oltre alle indicazioni regolate dal Piano di Tutela delle Acque i progetti che prevedono il conferimento a mare delle acque depurate dovranno uniformarsi alle prescrizioni di altri strumenti regolatori tra i quali il Piano Regionale delle Coste (PRC).

Il Piano Regionale delle Coste è lo strumento che disciplina l'utilizzo delle aree del Demanio Marittimo, con le finalità di garantire il corretto equilibrio fra la salvaguardia degli aspetti ambientali e paesaggistici del litorale pugliese, la libera fruizione e lo sviluppo delle attività turistico ricreative.

Nel più generale modello di gestione integrata della costa, esso persegue l'obiettivo imprescindibile dello sviluppo economico e sociale delle aree costiere attraverso criteri di eco-compatibilità e di rispetto dei processi naturali.

Il PRC è anche strumento di conoscenza del territorio costiero e in particolare delle dinamiche geomorfologiche e meteomarine connesse al prioritario problema dell'erosione costiera, la cui evoluzione richiede un attento e costante monitoraggio e interventi di recupero e riequilibrio litoraneo. In tale contesto il Piano definisce le cosiddette Unità Fisiografiche e Sub-Unità, intese quali ambiti costiero-marini omogenei e unitari.

Quest'ultimo strumento di piano, pertanto, consente al progettista di conoscere l'estensione delle aree destinate alla balneazione e alle attività turistico ricreative oltre che le informazioni di carattere tecnico sugli aspetti meteomarini del litorale.

### **3. ASPETTI ESSENZIALI DELLA PROGETTAZIONE**

#### **3.1. Generalità**

Gli aspetti tecnici da considerare ai fini di una corretta e completa progettazione dei recapiti in mare di acque depurate sono vari e di varia natura e possono essere così sintetizzati:

- aspetti topografici, relativi alla disposizione plano-altimetrica della condotta;
- aspetti idraulici, riguardanti la valutazione della portata da convogliare entro la condotta, il carico idraulico necessario a far transitare le acque trattate sino al tratto terminale della condotta, il dimensionamento della stazione di sollevamento (necessaria nei casi non sia disponibile il carico idraulico sufficiente), la dimensione dei tubi e del diffusore terminale;
- aspetti fluidodinamici, sullo studio del campo di moto delle acque marine che s'instaura nell'intorno della condotta;
- aspetti ambientali, relativi ai processi di diluizione a mare delle acque depurate provenienti dall'impianto di depurazione;
- aspetti meteomarini, riguardanti l'individuazione del clima ondoso e delle correnti da esso indotte;
- aspetti tecnici e tecnologici, riguardanti la scelta dei materiali, i sistemi costruttivi e le tecniche di varo e posa.

La condotta è correttamente progettata se vengono rispettate tutte le norme sugli scarichi con recapito in mare, con particolare riferimento ai vari parametri chimici e batteriologici valutati anche nell'intorno del tratto di mare interessati dagli interventi.

### **3.2. Rilievi batimetrici**

L'esecuzione di accurati rilievi batimetrici consente di conoscere la morfologia della fascia costiera antistante il tratto di litorale, ove si prevede la posa in opera della condotta. Il rilievo delle batimetrie con il dettaglio proprio di ogni fase progettuale è, dunque, un'operazione preliminare alle attività di progettazione.

Per il progetto di fattibilità tecnico economica possono essere sufficienti i dati del fondo marino contenuti nelle carte nautiche dell'Istituto Idrografico della Marina, i cui elementi salienti potranno essere verificati a campione nell'area di posa delle opere a mare

Per lo sviluppo dei livelli di progettazione successiva, i rilievi e le indagini effettuate devono essere consegnate in appositi elaborati redatti con precisione e partendo da capisaldi quotati, di cui va fornita la relativa monografia.

Le campagne di rilevamento batimetrico vanno eseguite nel tratto di posa delle condotte ed in aree con singolarità geologiche degne di attenzione.

Tra i metodi più diffusi per le attività di rilievo batimetrico vi è l'ecoscandaglio, che consente la conoscenza dettagliata della morfologia dei fondali mediante tecniche applicative del fenomeno della riflessione di onde sonore emesse da sorgente, in presenza di ostacoli.

Negli anni '90 è stata introdotta una tecnica che permette il rilievo topografico e batimetrico della zona costiera, a mezzo di aerei ed elicotteri.

Il sistema è detto LIDAR (*Light Detection And Ranging*) e si basa sull'emissione di un raggio laser da un mezzo aereo, che viaggia in prossimità della superficie marina.

In ogni caso all'attività di rilievo deve essere corredata una relazione che descriva:

- date e orari in cui sono stati eseguiti i rilievi;
- metodo di rilievo batimetrico utilizzato e tipologia di strumenti con relative tarature;
- monografie capisaldi di appoggio dei rilievi;
- condizioni meteomarine nel corso dei rilievi;
- andamento del livello di marea nel corso dei rilievi, con registrazioni della stazione mareografica di riferimento.

### **3.3. Studio della geologia dei fondali**

Il rilevamento geologico di superficie della fascia costiera oggetto di studio ha lo scopo di accertare la distribuzione ed i limiti dei vari affioramenti di rocce, la loro natura litologica, i rapporti di giacitura dei singoli complessi stratigrafici.

Tale studio, in una prima fase, inquadra i risultati delle ricerche e delle osservazioni condotte sul terreno nell'ambito della serie stratigrafica regionale ricostruita, con particolare riguardo ai tempi più recenti, attraverso la cartografia ufficiale esistente e l'aerofotogeologia.

Lo studio geologico va poi completato attraverso il rilevamento sismico nell'area d'interesse, che consente di ridurre il numero dei costosi sondaggi per punti e di ottenere con continuità informazioni sui terreni, anche se costituiti da materiali a diverso modulo di elasticità.

### **3.4. Clima meteomarinico: studio delle correnti e del moto ondoso**

Lo studio del clima meteomarinico è di importanza basilare in tutte le opere marittime, sia per la parte in acqua sia per le opere a terra sull'interfaccia mare-terraferma.

Non trascurabili sono gli effetti del mare sulle opere provvisorie in corso di realizzazione dell'opera o nelle operazioni di varo per il pericolo che eventi estremi improvvisi possano determinare:

- la rovina totale o parziale dell'opera in costruzione;
- il rischio per la sicurezza dei lavoratori.

Lo studio nelle aree di intervento delle correnti marine, unitamente allo studio del moto ondoso, permette di conoscerne gli effetti dei movimenti del mare sull'effluente nonché valutare l'interazione delle opere con i fenomeni di trasporto solido lungo costa con conseguenti interrimenti o, viceversa, erosione della costa.

### 3.4.1. Studio delle correnti

*“La conoscenza approfondita della circolazione oceanica e costiera è fondamentale per la comprensione di una serie di processi ad essa strettamente correlati, tra cui i processi di diffusione e avvezione di inquinanti.”<sup>1</sup>*

Nel caso della progettazione delle condotte sottomarine per il recapito di acque depurate la conoscenza delle correnti (che possono variare nel tempo a seconda dei venti, delle maree, delle stagioni ecc.) è fondamentale per la valutazione dei processi di diffusione del getto.

Contrariamente alla capillare diffusione di stazioni meteorologiche in atmosfera che consentono di avere disponibilità di una rilevante quantità di dati di vento (direzione, intensità, tempo), in via generale, salvo casi specifici (come ad esempio la stazione di monitoraggio del canale navigabile del Mar Piccolo a Taranto)<sup>2</sup>, non esiste un adeguato numero di stazioni che monitorano l'andamento delle correnti marine. È pertanto utile procedere ad indagini in sito con l'utilizzo di correntometri da installare su imbarcazioni collegate a GPS e giroscopi per tenere conto del beccheggio e del rollio nonché dello scarroccio.

I dati misurati possono concorrere alla taratura dei modelli idraulici che potranno essere utilizzati per la corretta progettazione e verifica delle opere da realizzare e del funzionamento del getto fuoriuscito dalla condotta sottomarina.

Sulla base *“della differenza di regime delle onde tra zona a largo e la surfzone (n.d.r. zona di frangimento) [...] occorrerà che gli scarichi sfocino al di là della zona dei frangenti. [...] La ubicazione del diffusore dovrà essere scelta in modo tale che, nelle zone di scarico, vi sia prevalenza di correnti in direzione verso largo<sup>3</sup>”*, in modo tale che la diffusione delle acque provenienti dal depuratore sia effettivamente assicurata.

### 3.4.2. Valutazione del moto ondoso

Per la valutazione dell'evento ondoso estremo, in termini di altezza d'onda significativa, in relazione al suo periodo di ritorno, possono essere utilizzati i dati di moto ondoso degli eventi estremi registrati dalle boe ondometriche.

In alternativa, l'altezza d'onda significativa può essere ricostruita a partire dai dati di vento registrati dalle stazioni meteorologiche presenti nelle vicinanze, rilevati dai satelliti meteorologici o a partire dal gradiente di pressione desumibile dalle carte del tempo.

Nel caso delle condotte sottomarine, che si sviluppano a partire dalla linea di costa fino al punto in cui viene collocato il sistema di diffusione, devono essere valutate sia le caratteristiche delle onde degli eventi estremi in acque profonde sia il comportamento delle onde in acque di trasformazione ed in acque basse.

Determinato il valore dell'onda significativa dell'evento estremo in acque profonde si procede a valutare l'onda nelle zone di trasformazione, tenendo conto del fenomeno della rifrazione (*shoaling*)

---

<sup>1</sup> Diffusione di getti di densità in presenza di corrente su fondale liscio e corrugato - Ben Meftah, Malcangio e Mossa

<sup>2</sup> <http://www.michelemossa.it/stazionemeteo2.php>

<sup>3</sup> Manuale di ingegneria portuale e costiera – U. Tomasicchio e R. Tomasicchio – 1998/2011

ad opera dell'interazione con il fondo marino; infine, per la parte ricadente in acque basse, occorre calcolare le trasformazioni dovute al frangimento delle onde provocato dalla presenza del basso fondale.

Per la determinazione dell'evento ondoso estremo non si può prescindere dal tempo di ritorno da assumerne come dato di progetto.

Le "Istruzioni Tecniche per la Progettazione delle Dighe Marittime" del Consiglio Superiore del Ministero dei Lavori e del Consiglio nazionale delle Ricerche individuano in seguente criterio per stabilire il tempo di ritorno di progetto che è così determinato:

$$T_r = \frac{T_v}{-\ln(1 - P_f)}$$

Nella formula compaiono i parametri  $T_v$  (tempo minimo di vita dell'opera) e  $P_f$  (probabilità o rischio che si verifichi l'evento pericoloso nel tempo di ritorno considerato) che sono determinati attraverso le tabelle di seguito riportate.

Tabella 1 – Tempo di vita minima di progetto ( $T_v$ ) in anni per opere o strutture di carattere definitivo

Tipo di infrastruttura	Livello di sicurezza		
	1	2	3
Uso generale	25	50	100
Uso specifico	15	25	50

Le "Istruzioni Tecniche per la Progettazione delle Dighe Marittime" suddividono le infrastrutture marittime in due tipi, di uso generale e di uso specifico, e individuano tre livelli di sicurezza.

*“Per infrastrutture di uso generale si intendono opere di difesa di complessi civili o industriali, che non siano destinati ad uno specifico scopo e per i quali non è chiaramente identificabile il termine della vita funzionale dell'opera. Per infrastrutture ad uso specifico si intendono le opere di difesa di singole installazioni industriali, di porti industriali, di depositi o piattaforme di carico e scarico, di piattaforme petrolifere, ecc.*

*Il livello di sicurezza 1 si riferisce ad opere o installazioni di interesse locale ed ausiliario, comportanti un rischio minimo di perdita di vite umane o di danni ambientali in caso di collasso della stessa (difese costiere, opere di porti minori o marina, scarichi a mare, strade litoranee, ecc.).*

*Il livello di sicurezza 2 si riferisce ad opere o installazioni di interesse generale, comportanti un rischio moderato di perdite di vite umane o di danni ambientali in caso di collasso (opere di grandi porti, scarichi a mare di grandi città, ecc.).*

*Il livello di sicurezza 3 si riferisce ad opere o installazioni per la protezione dall'inondazione o di interesse sopranazionale, comportanti un elevato rischio di perdita di vite umane o di danno ambientale in caso di collasso della stessa (difese di centri urbani o industriali, ecc.).”*

Tabella 2 - Probabilità massima  $P_f$  di danneggiamento ammissibile nel corso della vita dell'opera

Tipo di danneggiamento	Ripercussione economica	Rischio per la vita umana	
		Limitato	Elevato
Danneggiamento incipiente	Bassa	0,50	0,30
	Media	0,30	0,20
	Alta	0,25	0,15
Distruzione Totale	Bassa	0,20	0,15
	Media	0,15	0,10

	Alta	0,10	0,05
--	------	------	------

Secondo le citate Istruzioni Tecniche, la probabilità che si verifichi l'evento da assumere a base delle verifiche progettuali può essere ricavato dalla tabella sopra riportata in cui sono distinte la condizione di danneggiamento incipiente da quella di distruzione totale.

Si devono assumere le probabilità corrispondenti al danneggiamento incipiente o alla distruzione totale in relazione alla deformazioni-modificazioni subite dall'opera in caso di danneggiamento ed alla difficoltà di riparare il danno subito.

Il danneggiamento incipiente è plausibile quando si proporzioneranno le opere di protezione in scogliera che conservano in tutto o in parte la loro funzione anche se deformate dalle mareggiate.

L'ipotesi di distruzione totale deve essere presa in considerazione quando le opere sottoposte alle condizioni estreme (i.e. opere di difesa a parete verticale) non possono essere riparate in tempi ragionevoli e quando il livello di danneggiamento è tale da non consentirne la funzione.

Per ripercussione economica si intende il seguente rapporto:

$$\Omega = \frac{\text{Costi diretti del danneggiamento} + \text{Costi indiretti per perdita di funzionalità}}{\text{Costo totale di realizzazione dell'opera}}$$

Se  $\Omega < 5$  la ripercussione è bassa, se  $5 < \Omega < 20$  la ripercussione è media, infine, se  $\Omega > 20$  la ripercussione è alta.

Riguardo al "rischio delle perdite di vite umane" è da considerare "limitato" quando non è logico prevedere vittime mentre è da considerare "elevato" in caso contrario.

### 3.4.3. Biocenosi marina

Nel bacino del Mediterraneo è presente, sotto forma di vaste praterie, Posidonia oceanica, della quale, data l'importanza, vengono trattati i vari aspetti, nel presente documento. È stato calcolato che la distruzione di un metro di "matte" ad una distanza di circa 100 metri dalla riva provocherebbe nell'arretramento della costa di almeno 20 metri.

La costruzione e le attività di moli, porti o dighe, e condotte sottomarine modificando l'andamento delle correnti nella porzione di mare interessata, può interferire con il trasporto dei sedimenti con la conseguente comparsa di zone d'intensa sedimentazione o, viceversa, di erosione del fondo marino e delle spiagge (Astier, 1984).

Una sedimentazione troppo rapida, può provocare il soffocamento della prateria e l'intorbidamento dell'acqua, con conseguente riduzione dell'intensità luminosa, che provoca la risalita del limite inferiore della prateria. Al contrario, se la sedimentazione è scarsa e non compensa la crescita verticale dei rizomi, questi vengono scalzati, indebolendo la prateria, che risulta più esposta al moto ondoso e quindi all'erosione.

### 3.5. Calcoli idraulici

Il recapito a mare delle acque depurate avviene attraverso una condotta opportunamente dimensionata, che si sviluppa in parte a terra e per la restante parte in mare, dotata, nella parte terminale, di idoneo "diffusore".

Il diffusore, che deve essere dimensionato in base a portate e velocità da conferire, ha il compito di favorire il mescolamento tra il getto di acqua depurata e il mare circostante.

Per il calcolo della condotta sottomarina devono essere valutate le portate da conferire e il carico idraulico da assicurare per il suo allontanamento.



In base a tali grandezze, devono essere definiti: il diametro della condotta; il diametro e la struttura del diffusore (numero ed interasse delle bocchette del diffusore).

La valutazione del carico idraulico necessario ad assicurare il transito della portata, in confronto al carico idraulico disponibile, consente di determinare l'eventuale utilizzo di una stazione di sollevamento che fornisca carico alla condotta sottomarina.

In generale è sempre utile valutare l'opportunità di prevedere un impianto di sollevamento a servizio della condotta sottomarina, che consente di regolare con maggiore precisione e certezza la pressione di esercizio della condotta e le portate transitanti in condotta, ottimizzando in tal modo il funzionamento del dispositivo di diffusione.

### 3.5.1. Calcolo della portata da recapitare

Dal punto di vista progettistico idraulico, una condotta sottomarina non differisce da un qualsiasi altro recapito; anche i metodi di calcolo sono concettualmente gli stessi.

In prima istanza, per la valutazione della portata massima in l/s, può essere utilizzata la formula:

$$Q = 2,25 \frac{\alpha \cdot d \cdot P}{\beta \cdot 3600}$$

nella quale:

- $\alpha$  è il coefficiente di afflusso con valore tra 0,7 e 0,8 (che tiene conto che non tutta l'acqua distribuita è recapitata nel depuratore);
- $d$  è la dotazione individuale giornaliera di acqua in l/ab x g;
- $P$  è la popolazione a base di calcolo;
- $\beta$  è il numero di ore di funzionamento dell'impianto.

In ogni caso, non può essere omissa lo studio dell'impianto del quale la condotta sottomarina è recapito, con riferimento alla sua potenzialità, alla configurazione del processo, alla presenza di vasche di laminazione/equalizzazione, agli apporti di acque di prima pioggia o parassite, ecc.

### 3.6. Verifica delle sollecitazioni alle quali è sottoposta la condotta

Per la verifica delle sollecitazioni alle quali deve essere sottoposta la condotta sottomarina, oltre a quelle proprie di una condotta posata sul fondo marino (incluse eventuali azioni idrodinamiche indotte dalla corrente marina e dal moto ondoso), bisogna tener conto delle sollecitazioni che la condotta può subire in occasione del varo a seconda del metodo di varo adottato e delle deformazioni indotte sulla condotta durante le operazioni la posa.

In dettaglio, le azioni agenti su una condotta sottomarina posata sul fondo, soggetta a moto ondoso e corrente marina, sono le seguenti:

- peso proprio della condotta compreso il rivestimento interno ed esterno e l'eventuale cappotto di appesantimento (a seconda della situazione più gravosa il tubo dovrà essere considerato pieno, o vuoto) -  $F_c$ ;
- spinta idrostatica che tende a sollevare la condotta -  $F_{id}$ ;
- peso della condotta immersa -  $W = F_c - F_{id}$  (forza verticale);
- forza di lift -  $F_L$  (forza verticale) – indotta dal moto ondoso e dalle maree sulla condotta;
- forza di drag -  $F_D$  (forza orizzontale) - indotta dal moto ondoso e dalle maree sulla condotta;
- forza di attrito tra il tubo e il letto di posa dello stesso -  $F_f$  (forza orizzontale se il fondo è orizzontale);
- forza di inerzia -  $F_I$  (forza orizzontale).

Mentre il calcolo del peso proprio, della spinta idrostatica e della forza di attrito è di semplice

esecuzione, non altrettanto vale per le forze di *lift*, *drag* e di inerzia dovute all'interazione tra moto ondoso e condotta sottomarina.

Queste, infatti, dipendono dalla velocità orbitale e dall'accelerazione delle particelle fluide durante il moto ondoso, dalla velocità di corrente e da altri parametri dimensionali (distanza dal fondo, diametro della condotta, ecc.), sia in maniera esplicita che implicitamente, attraverso dei coefficienti che intervengono nella loro formulazione (numero di *Keulegan Carpenter*, numero di *Reynolds*, ecc.).

Molto importante è la verifica all'instabilità elastica della sezione della condotta soggetta alla pressione marina. In particolare, la verifica della instabilità della sezione deve essere valutata nel caso in cui si possa determinare la condizione di condotta vuota in particolari condizioni di esercizio e in occasione della posa sul fondo in conseguenza delle modalità di varo.

La pressione esterna, infatti, non essendo equilibrata da quella interna del fluido convogliato, può ingenerare uno stato di compressione di entità tale da provocare l'instabilità (*buckling*) dell'equilibrio elastico, con conseguente ovalizzazione del tubo (fino al completo schiacciamento) analoga a quella che può avvenire in una condotta premente quando si innesca il fenomeno di colpo di ariete per arresto improvviso dell'impianto di sollevamento.

L'instabilità una volta innescata può propagarsi ad interi tratti della condotta.

### 3.6.1. Condizioni di carico

Indicando con la lettera A il punto di intersezione del tracciato della condotta sottomarina con la linea di riva e con la lettera B il punto di arrivo sul fondale del tratto terminale della condotta, ossia il diffusore, è possibile definire il carico idraulico nel punto B come segue:

$$H_B + \Delta H_{AB}$$

essendo:

- $H_B$  il carico geodetico sul punto B, uguale all'altezza di colonna d'acqua sovrastante se si considera come "zero altimetrico" il livello medio del mare
- $\Delta H_{AB}$  le perdite di carico distribuite lungo il percorso da A a B.

La formula suddetta indica pertanto la condizione minima affinché sia garantito il funzionamento in pressione dei due tratti di condotta sottomarina suddetti, senza della quale non sarebbe possibile l'immissione del refluo depurato nel corpo idrico ricettore.

In termini pratici, a garanzia del fatto che ciò avvenga, il tutto si traduce, come da buona norma, nell'installazione, in corrispondenza del punto A, di un impianto di sollevamento. In altre parole, nelle zone costiere, per garantire il carico necessario, si interpongono impianti di sollevamento, con pompe aspiranti o sommerse, che consentono al refluo di acquisire il carico necessario a garantire il deflusso fino alla parte terminale della condotta di scarico a mare.

### 3.6.2. Azioni idrodinamiche

Le tratte di condotte sottomarine semplicemente appoggiate sul fondo, risentono delle azioni delle correnti marine e del moto ondoso.

Consideriamo per semplicità che la condotta sia immersa in un fluido viscoso con velocità uniforme  $U$ . Su ogni punto del corpo immerso agiranno le seguenti tensioni dovute all'interazione tra il flusso e la superficie del corpo stesso:

- una tensione tangenziale dovuta alla viscosità del fluido, tangente punto per punto alla superficie del tubo con verso coincidente con quello del flusso liquido;
- una tensione normale dovuta alla pressione esercitata dal flusso.

La forza idrodinamica risultante è data dall'integrale di tutte le forze agenti sull'elemento infinitesimo

di superficie  $dA$ .

Tale risultante può essere scomposta in due componenti, una parallela, l'altra perpendicolare al flusso. La componente perpendicolare o forza di sollevamento o *lift force* è dovuta al fatto che la presenza della condotta costituisce un ostacolo al flusso delle particelle liquide sul fondo, il quale viene impedito al di sotto della condotta e distorto al di sopra di esso. Per il principio di *Bernoulli* ciò porta ad un aumento della velocità del flusso al di sopra della condotta, con conseguente diminuzione della pressione, cosicché si genera una forza di sollevamento (forza verticale) alla quale può opporsi unicamente il peso sommerso della condotta.

La componente parallela o forza di trascinamento o *drag force* è correlata alla velocità orizzontale delle particelle liquide; a tale forza orizzontale si oppone la reazione d'attrito tra condotta e fondale.

Le espressioni della *drag force* e della forza inerziale possono essere calcolate con le seguenti espressioni determinate da Morrison (1950) studiando l'azione di un flusso fluido uniforme agente su un cilindro:

$$FD = c_d * D_e * \gamma_{acq} * U_{max}^2 / 2g$$

$$FI = c_i * \pi * D_e * 2\gamma_{acq} * (du/dt) / 4g$$

mentre, la forza di *lift* può essere calcolata utilizzando la seguente espressione:

$$FL = c_l * D_e * \gamma_{acq} * U_{max}^2 / 2g$$

nelle quali:

- $D_e$  è il diametro esterno della condotta
- $\gamma_{acq}$  è il peso specifico dell'acqua di mare ( $1026 \text{ kg/m}^3$ )
- $g$  è l'accelerazione di gravità
- $c_l$  è il coefficiente di *lift* ( $\text{kg/m}$ )
- $c_d$  è il coefficiente di *drag* ( $\text{kg/m}$ )
- $c_i$  è il coefficiente di inerzia ( $\text{kg/m}$ )
- $U$  è la velocità orizzontale effettiva delle particelle fluide sopra il tubo ( $\text{m/s}$ )
- $du/dt$  è l'accelerazione delle particelle sopra il tubo ( $\text{m/s}^2$ ).

### 3.7. Diffusori

Gli emissari sottomarini dei depuratori, comunali o consortili, nel loro tratto terminale sono dotati di diffusore.

Il diffusore serve ad assicurare un'uniforme distribuzione del fluido depurato ed è dotato di un idoneo numero di torrini diffusori, con relative bocche di scarico con direzioni di scarico alternate. Le bocche di scarico devono essere dotate di dispositivo di ritegno, al fine di evitare l'ingresso di acqua di mare in condotta.

Il diffusore deve essere dimensionato in modo tale da garantire un'idonea velocità dell'effluente per evitare la sedimentazione all'interno del diffusore stesso, nonché una idonea velocità dell'effluente agli ugelli (es.  $5 \text{ m/s}$ ) per garantire una buona diluizione in mare.

Per assecondare la variabilità della portata in arrivo dall'effluente fognario, il diffusore può essere progettato con un unico tronco, o con particolari forme (a L, a T, a Y), al fine di assecondare il regime delle correnti marine e ottimizzare il meccanismo di dispersione iniziale del refluo nel miglior modo possibile.

La diluizione di un effluente nella prima regione di mescolamento è stata oggetto di numerosi studi in laboratorio, in campo e con modello matematico. In sintesi, una valutazione preliminare della diluizione iniziale è funzione di alcuni fattori tra loro combinati, quali ad esempio: il galleggiamento dello stesso effluente; i diversi strati di cui l'ambiente fluido si compone; la presenza delle correnti.

Per la previsione di tali fenomeni esistono delle applicazioni pratiche da letteratura per il caso di scenari semplici. Per una casistica più ampia e complessa si rimanda all'uso dei modelli matematici.

Dal punto di vista altimetrico, i diffusori possono risultare posizionati a campate libere, in una trincea poco profonda oppure completamente interrati con lunghe bocche di diffusione che trasportano il refluo a contatto con l'ambiente marino.

I diffusori posati sul fondo o a campata libera devono essere protetti, lungo il loro sviluppo longitudinale, dalle azioni meccaniche della pesca a strascico, mediante posa di blocchi di conglomerato cementizio e di massi guardiani, sempre in calcestruzzo, posti in maniera discreta ai lati dei diffusori stessi

La posizione del tratto finale deve risultare visibile in corrispondenza della superficie del mare a mezzo di boe illuminate segnalatrici, per fare in modo che questa parte di condotta non sia soggetta a qualsiasi tipologia di urto accidentale (reti, ancore, ecc.).

Le luci del diffusore vengono spesso collegate alla condotta a mezzo di flangia fissata con un solo bullone per facilitare i futuri interventi manutentori.

### 3.8. Scelta dei materiali

I materiali utilizzabili per la realizzazione di condotte sottomarine devono resistere sia alle aggressioni chimiche interne da parte del refluo da scaricare, sia alle aggressioni chimiche dell'ambiente marino.

In Acquedotto Pugliese è ammesso l'uso dei seguenti materiali:

- *Tubi e raccordi di acciaio al carbonio* (con idonei rivestimenti protettivi e protezione catodica), soprattutto in caso di condotte sottomarine di maggiore importanza (incluso il diffusore), alle quali sono richieste caratteristiche di stabilità, monoliticità e resistenza meccanica;
- *Tubi e raccordi di ghisa sferoidale* (con idonei rivestimenti protettivi), in caso di condotte sottomarine (escluso il diffusore, che per motivi costruttivi è preferibile realizzare con altri materiali) posate, per la maggior parte, in trincea, al fine di non sollecitare troppo le giunzioni elastiche;
- *Tubi e raccordi di polietilene* del tipo PE100 oppure del tipo PEad (se è richiesta maggior flessibilità delle barre), solo nei tratti interrati, soprattutto quelli posati con tecniche *No-Dig*;
- *Tubi e raccordi di PRFV*, soprattutto nel caso di condotte sottomarine di grande diametro (incluso diffusore), quale valida alternativa all'acciaio, naturalmente solo nei casi in cui non siano richieste elevate caratteristiche di resistenza meccanica e non sia prevista la posa in opera mediante tecnica *No-Dig*;
- *Valvole* (es. valvola di ritegno terminale) in acciaio oppure ghisa sferoidale;
- **Altri materiali:**
  - I *'tubi-guaina'* utilizzati nei tratti posati con tecnica *No-Dig* devono essere in acciaio al carbonio oppure in polietilene;
  - Le *'pipette'* del diffusore, dotate di dispositivo di ritegno (onde impedire l'entrata di acqua di mare all'interno della condotta), possono essere realizzate in acciaio oppure in polipropilene o altro materiale idoneo all'utilizzo in acqua di mare;
  - La *viteria* per il serraggio di eventuali giunti flangiati deve essere di acciaio inossidabile del tipo AISI 316L o superiore (es. duplex, superaustenitico);
  - Le *guarnizioni di tenuta* devono essere preferibilmente in NBR e devono essere 'armate'.

Pur considerando che la condotta di scarico a mare è interessata da tratti con differenti condizioni al contorno, è sempre preferibile dare una certa uniformità e continuità ai materiali, lungo tutto lo sviluppo della canalizzazione, al fine di garantire maggiore omogeneità del comportamento statico/dinamico e dei fenomeni di invecchiamento, nonché l'ottimizzazione delle attività di

manutenzione e gestione.

### **3.8.1. Tubi e raccordi di acciaio al carbonio**

Devono essere utilizzati tubi/raccordi in tutto conformi alla norma UNI EN 10224, al Disciplinare Tecnico AQP di fornitura e posa in opera di tubi e raccordi di acciaio e alla Tabella F70 del Manuale Tecnico sui Materiali per acquedotto e fognatura in Acquedotto Pugliese.

I tubi/raccordi devono essere di classe L355 secondo UNI EN 10224 o X52 secondo API-5L.

Deve essere previsto un rivestimento esterno di “gunita”, avente spessore minimo pari a 5 cm e costituito da calcestruzzo con densità media di 2400 Kg/m<sup>3</sup>, armato con rete elettro-saldata, secondo ASTM-A, con diametro pari a 6 mm e maglia 200x200 mm. Il calcestruzzo deve essere realizzato mediante utilizzo di cemento tipo Portland secondo ASTM-C-250, inerti secondo ASTM-C-294 e sabbia secondo ASTM-125-2. Il rapporto acqua/cemento non deve superare il valore di 0,4.

Il rivestimento di “gunita” ha una funzione di protezione anti-corrosione, ma soprattutto funzione di appesantimento del tratto poggiato sul fondale, e va preferibilmente sovrapposto a un rivestimento in polietilene R3R secondo UNI 9099 oppure in poliuretano di spessore minimo pari a 2 mm.

Le superfici interne devono essere rivestite con vernice epossidica di spessore minimo pari a 250 µm.

I raccordi possono essere rivestiti, internamente ed esternamente, con strato di vernice epossidica, con spessore minimo pari a 250 µm, oppure di poliuretano, con spessore minimo pari a 700 µm.

I giunti devono essere del tipo per saldatura testa a testa; per consentire la saldatura dei tubi le estremità devono essere non rivestite per una lunghezza di 150 mm. Dopo la saldatura, le zone di giunzione devono essere protette mediante applicazione, in continuità, dei rivestimenti suddetti.

Per il collegamento tra tubi e pezzi speciali (es. tra fine condotta e inizio diffusore) oppure tra tubi e valvole (es. valvola a *clapet* terminale) possono essere utilizzati giunti flangiati, con flange secondo UNI EN 1092-1, rivestite con vernice epossidica di spessore minimo pari a 250 µm; la viteria deve essere in acciaio inossidabile almeno AISI 316L; le guarnizioni devono essere in NBR o materiale tecnicamente equivalente, armate, conformi alla norma UNI EN 681-1.

### **3.8.2. Tubi e raccordi di ghisa sferoidale**

Devono essere utilizzati tubi/raccordi in tutto conformi alla norma UNI EN 598, al Disciplinare Tecnico AQP di fornitura e posa in opera di tubi e raccordi di ghisa sferoidale per fognatura e alla Tabella F60 del Manuale Tecnico sui Materiali per acquedotto e fognatura in Acquedotto Pugliese.

I tubi di ghisa sferoidale devono essere dotati di: rivestimento esterno in polietilene coestruso secondo la norma UNI EN 14628 o in poliuretano secondo la norma UNI EN 15189; rivestimento interno in poliuretano secondo la norma UNI EN 15655 o cemento alluminoso secondo la norma UNI ISO 4179.

I raccordi devono essere dotati di rivestimento interno ed esterno in vernice epossidica, con spessore minimo pari a 250 µm oppure in vernice poliuretana, con spessore minimo pari a 700 µm.

Le giunzioni possono essere del tipo elastico ‘a bicchiere’, con guarnizioni in NBR secondo UNI EN 681-1 e idoneo sistema anti-sfilamento del tipo ‘a doppi camera’ oppure del tipo flangiato, con flange secondo UNI EN 1092-2, protette con vernice epossidica (spessore minimo 250 µm) o poliuretana (spessore minimo 700 µm), con viteria in acciaio inossidabile almeno AISI 316L e guarnizioni in NBR o materiale equivalente, armate, conformi alla norma UNI EN 681-1.

In corrispondenza delle giunzioni, soprattutto se elastiche, devono essere previsti idonei manicotti.

### **3.8.3. Tubi e raccordi di polietilene**

Devono essere utilizzati tubi/raccordi in tutto conformi alle norme UNI EN 12201-1/2/3, al Disciplinare Tecnico AQP di fornitura e posa in opera di tubi e raccordi di polietilene PE100-rc per

fognatura e alla Tabella F10 del Manuale Tecnico sui Materiali per acquedotto e fognatura in Acquedotto Pugliese.

Per le tratte posate in trincea, quindi senza tecnica *No-Dig*, devono essere adoperati tubi/raccordi in polietilene del tipo PE100-rc (*notch test*>8760 ore), almeno PN 6.

Per le tratte posate con tecnica *No-Dig* (generalmente con T.O.C.) possono anche essere utilizzate tubazioni di PEad, a garanzia di maggior flessibilità in fase di posa con traiettoria curvilinea. In tal caso, anche il ‘tubo-guaina’, da interporre da tra roccia e condotta di scarico, può essere in PEad.

Le giunzioni possono essere del tipo ‘testa a testa’ oppure mediante manicotti elettrosaldabili, aventi lo stesso PN dei tubi.

### **3.8.4. Tubi e raccordi di PRFV**

Devono essere utilizzati tubi/raccordi in tutto conformi alle norme UNI 9032 e UNI EN 14364, al Disciplinare Tecnico AQP di fornitura e posa in opera di tubi e raccordi di PRFV e alla Tabella F40 del Manuale Tecnico sui Materiali per acquedotto e fognatura in Acquedotto Pugliese.

Possono essere utilizzati tubi di vetroresina del tipo ‘a filamento avvolto’ oppure del tipo ‘centrifugato’.

La percentuale di materie prime (resina, inerti, vetro, ecc.) e le classi di spessore vengono definite dal produttore in base alle ‘condizioni al contorno’ dichiarate dalla stazione appaltante.

Le giunzioni possono essere del tipo elastico ‘a bicchiere’, dotate di dispositivo antisfilamento e guarnizione in NBR, conformi alla norma UNI EN 681-1, oppure del tipo elastico mediante manicotto dotato guarnizione continua a labbro.

### **3.9. Protezione catodica**

Nel caso di condotte in acciaio, al fine di evitare fenomeni corrosivi precoci, deve essere prevista una stazione di protezione catodica, preferibilmente a ‘corrente impressa’, opportunamente dimensionata secondo le norme UNI EN 12954, UNI 11094 e UNI CEI 8 e secondo il Disciplinare Tecnico aziendale relativo alla progettazione di stazioni di protezione catodica.

## **4. POSA DI CONDOTTE SOTTOMARINE IN TRINCEA O SUL FONDALE (Cenni)**

### **4.1. Posa in trincea o sul fondale**

A seconda del tipo di materiale adoperato, si può in generale fare distinzione tra due casi:

- condotta ad elementi discreti, ad esempio formata da tubi con giunti ‘a bicchiere’ o ‘a manicotto’ (condotta di ghisa sferoidale o vetroresina);
- condotta con elementi aggregabili in continuo, ad esempio formata con giunti saldati (condotta di acciaio o polietilene).

La scelta dei sistemi di varo e di posa in opera degli scarichi a mare è fortemente dipendente dalle situazioni locali, dal materiale della condotta e dalle giunzioni, dalle profondità da raggiungere, dalle modalità con le quali è prevista la collocazione della tubazione sul fondo e dalla sua protezione.

I sistemi di varo delle condotte sottomarine di grande diametro, rigide o flessibili, si classificano in quattro grosse tipologie:

- *assemblaggio della condotta a terra e varo mediante azione di tiro sul fondo esercitata da argani generalmente posti su mezzi navali;*
- *assemblaggio della condotta su mezzo galleggiante e varo della condotta in continuo dal mezzo stesso munito di rampa di varo.* In genere il varo avviene in galleggiamento, per poi procedere

all'immersione mediante riempimento delle tubazioni;

- *assemblaggio della condotta in tronchi successivi, traino in condizioni di galleggiamento della condotta stessa, collegamento del tronco generico a quello già varati, affondamento del tronco;*
- *varo da pontone.* Nel caso al di varo da pontone attrezzato, la giunzione dei singoli tronconi della tubazione avviene via via che si procede varo dell'intera tubazione.

#### **4.2. Posa di condotte sottomarine con tecnologia di tipo T.O.C.**

La tecnologia T.O.C. (Trivellazione Orizzontale Controllata) appartiene alle cosiddette tecnologie *No-Dig* (senza scavo) e consente la posa in opera di condotte mediante inserimento delle stesse in opportune perforazioni eseguite prima della posa.

La tecnologia T.O.C. è utilizzabile, nell'ambito della realizzazione di condotte sottomarine, nei seguenti casi:

- in caso di posa della prima tratta di una condotta sottomarina, allorquando sia necessario mitigare l'impatto ambientale in presenza di aree marine protette e, quindi, specie marine protette (es. poseidonia);
- in caso di pose interrato o sottomarine, allorquando l'orografia del territorio rende difficoltosa o anti-economica la posa tradizionale (es. in caso di superamento di repentini dislivelli nel profilo del territorio).

Non è consigliabile applicare tale tecnica in caso di condotte con giunzioni elastiche, ossia in caso di condotte di ghisa sferoidale e PRFV, in quanto durante il 'tiro' si potrebbero avere sfilamenti dei giunti, con conseguente fallimento e irrimediabile compromissione delle operazioni di posa.

Anche nel caso di condotte di acciaio o polietilene, con giunti saldati, il progettista ha l'obbligo di verificare scrupolosamente la resistenza delle tubazioni e delle giunzioni alle sollecitazioni di trazione indotte in fase di tiro, anche in considerazione dell'andamento del tracciato, onde evitare lesioni che comprometterebbero irrimediabilmente le difficili attività fin lì svolte.

La tecnologia T.O.C. si basa su tre fasi principali:

- *Perforazione pilota:* inizialmente, si esegue una perforazione avente diametro tra 100 e 150 mm, che segue percorsi piano-altimetrici assegnati, anche curvilinei. Si effettua per mezzo di una batteria di perforazione, costituita da aste di acciaio, alla cui testa c'è il cosiddetto utensile fondo foro, la cui direzione è controllata da un sistema elettronico di guida.
- *Alesatura del foro pilota:* una volta completato il foro pilota e tirato fuori dal terreno l'utensile fondo foro, viene montato, in testa alla batteria di perforazione, un apposito utensile, detto alesatore, deputato all'allargamento del foro pilota. L'alesatore percorrerà più volte, avanti ed indietro, la perforazione, fino ad ottenere un foro avente il diametro richiesto (maggiore, di poco, rispetto alla condotta che poi verrà inserita nel foro stesso). Il numero di passaggi di alesatura dipende dalla tipologia di terreno attraversato.
- *Tiro della tubazione nel foro (varo):* completata la fase di alesatura, in corrispondenza del foro di uscita, vengono assemblate le tubazioni da inserire nella perforazione. Naturalmente, in caso di posa sottomarina, l'assemblaggio deve avvenire mediante utilizzo di subacquei esperti. La tratta di condotta realizzata viene, quindi, collegata alla batteria di aste di perforazione, mediante un'idonea testa di tiro. Tra la testa di tiro e le aste di perforazione viene interposto un giunto girevole reggispinga, che ha la funzione di trasmettere alle tubazioni in fase di varo soltanto sollecitazioni a trazione e non momenti torcenti, al fine di evitare rotazioni della condotta. A questo punto viene eseguita la fase di tiro (o di varo) della condotta, che viene trascinata dal foro di uscita (posto a valle del tratto di condotta) al foro di entrata (posto a monte del tratto di condotta). In prossimità del foro di entrata, si trova la tratta di condotta "terrestre", alla quale, la tratta appena posata con tecnica T.O.C. deve essere collegata.

### 4.3. Verifica dei tubi in fase di varo

Nelle fasi di varo delle condotte sottomarine, dove la configurazione della linea d'asse è determinata dalla geometria del fondale e dalle condizioni di vincolo delle sezioni man mano vincolate alla rampa di varo, si può presentare il problema della notevole curvatura con sollecitazioni assai superiori a quelle d'esercizio e facilmente eccedenti i limiti elastici del materiale.

Altrettanto importante risulta il problema della stabilità dell'equilibrio, in quanto è evidente che la progressiva diminuzione della rigidità della struttura può dare origine a fenomeni di instabilità progressiva con l'insorgere e il propagarsi di imbozzamenti locali fino al vero e proprio collasso della sezione nel proprio piano.

A prevenzione di questi rischi, si ricorre a queste procedure:

- dimensionamento adeguato dello spessore della condotta;
- controllo del peso in immersione;
- applicazione di anelli anti-deformazione;
- dosaggio di una tensione di frenatura.

Esistono, oggi, anche sistemi per la correzione della deformata della tubazione costituiti da una sorta di rampa a profilo variabile che sporge dall'estremità del pontone e che accompagna la condotta per un certo tratto, costringendola ad una prefissata curvatura.

È sempre opportuno, dunque, sottoporre la tubazione a delle verifiche, per accettarne il buon comportamento durante le operazioni di varo e di esercizio.

### 4.4. Appesantimento delle condotte sottomarine

La tecnica di posa delle condotte di scarico comprende diversi metodi, da scegliere in base ai seguenti elementi:

- profondità dei fondali;
- tipo di tubazione da posare;
- lunghezza e il diametro della condotta.

La condotta in generale deve essere interrata, al fine di evitare sia alterazioni delle spiagge per un diverso equilibrio di correnti, sia una pericolosa azione del mare sulla condotta (sono oggi disponibili macchine per lo scavo, la posa e il ricoprimento simultanei della condotta).

Generalmente, il materiale scavato può essere usato come copertura se è composto da pietrame sufficiente ad evitare lo spostamento verticale della condotta.

Le condotte che attraversano la zona dei frangenti devono essere interrate ad una profondità maggiore di quella che potrebbe essere prodotta dalla erosione durante la vita di servizio della condotta.

Generalmente, un solo strato di pietrame o 'materasso' del tipo *standard* non sono ritenuti sufficienti a garantire un'efficace protezione nella zona dei frangenti, per cui gli elementi devono essere progettati per resistere alla forte azione delle onde frangenti.

Una possibilità efficace consiste nel coprire la condotta completamente e per una idonea larghezza con due o più strati filtro di pietrame.

Vi sono vari tipi di materassi di copertura usati per proteggere efficacemente le condotte. I materassi possono risultare una soluzione economica quando il pietrame di idonea pezzatura non è facilmente disponibile; comunque la posa di speciali materassi può essere, in generale, un provvedimento adatto.

Per la difesa dalle ancore e dalle reti dei pescherecci, sono adottate barriere costituite da cavi di acciaio tesati ai lati della sede della condotta a una certa distanza da questa e mantenuti a conveniente altezza dal fondo per mezzo di massi d'ancoraggio e boe.



Per condotte che si trovano nella fase di esercizio posate sul fondo, tra le possibili tecniche di appesantimento e protezione, si adottano rivestimenti esterni in calcestruzzo cementizio prefabbricati, sacchi di conglomerato plastico o di sabbia, materassi di tipo prefabbricato o l'ancoraggio al fondo.

Una alternativa all'appesantimento con materassi consiste nell'ancoraggio al fondo della condotta finalizzato a bloccarla per contrastare movimenti laterali o longitudinali. In questo caso, vengono infissi due pali sul fondo marino, posti ai lati della tubazione e, successivamente, viene applicata una morsa ai due supporti che li collega stabilmente.

Per fondali rocciosi, la condotta può essere bloccata con staffe fissate direttamente alla roccia o annegate in getti di calcestruzzo.

Nel caso di condotte prossime al fondo, vengono tipicamente adottati, per l'appesantimento, anelli di calcestruzzo cementizio semplice o debolmente armato oppure di ghisa, il cui inserimento avviene prima della fase di varo.

Nel caso di utilizzo di condotte in acciaio rivestito con 'gunita' non è necessario ricorrere ai blocchi di appesantimento, stante l'elevato peso specifico del materiale ( $7850 \text{ kg/m}^3$ ).

