

REVISIONE DEL

610. 2003



MINISTERO DELLE INFRASTRUTTURE E DEI TRASPORTI

## MAGISTRATO ALLE ACQUE

NUOVI INTERVENTI PER LA SALVAGUARDIA DI VENEZIA  
LEGGE 29/11/1984 N. 798  
ATTO ATTUATIVO N. 7395 DEL 23/11/1993 ALLA CONV. REP. 7191 DEL 04/10/1991

INTERVENTI PER L'ARRESTO E L'INVERSIONE DEI PROCESSI DI DEGRADO  
DELLA LAGUNA


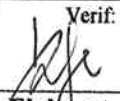




CONCESSIONARIO: CONSORZIO "VENEZIA NUOVA"

INTERVENTI DI SISTEMAZIONE DEL CANALE  
INDUSTRIALE SUD A PORTO MARGHERA  
4° STRALCIO – SPONDA SUD E DARSENA TERMINALE

### PROGETTO DEFINITIVO

ANALISI MULTICRITERI DELLE ALTERNATIVE PROGETTUALI

Dicembre 2002

COORDINAMENTO	PROGETTAZIONE	
 CONSORZIO VENEZIA NUOVA Ing. JOHANN STOCKER Verif.:  Contr.: 	<div data-bbox="639 1731 970 1776">P R O T E C N O</div> <b>Protecno s.r.l. – Padova</b> Direttori tecnici: Prof. Ing. A. Adam Dott. Ing. C. Comola Collaboratori:  Dott. Ing. A. Venuti	 Responsabile della progettazione: Dott. Ing. V. Altieri Direttore Tecnico: Dott. Ing. E. Altieri 

Elaborato F

149/002/RT06/EE/030330/1

M 0016 PD RL A 0006

Interventi per la sistemazione del Canale Industriale Sud a  
Porto Marghera

**ANALISI MULTICRITERI DELLE ALTERNATIVE  
PROGETTUALI**

---

**SOMMARIO**

<b>1.</b>	<b>PREMESSA .....</b>	<b>3</b>
<b>2.</b>	<b>IPOTESI PROGETTUALI ANALIZZATE .....</b>	<b>4</b>
2.1.	OPERE DI CONTERMINAZIONE .....	6
2.2.	BANCHINA INDUSTRIALE .....	7
	<i>2.2.1. Alternativa 1 - palancoato metallico composito e collettore di adduzione acque meteoriche a tergo.....</i>	<i>8</i>
	2.2.1.1. Descrizione della soluzione .....	8
	2.2.1.2. Costo di intervento .....	11
	<i>2.2.2. Alternativa 2 – Palancoato metallico composito e collettore di adduzione acque meteoriche all'interno del cordolo di irrigidimento .....</i>	<i>14</i>
	2.2.2.1. Descrizione della soluzione .....	14
	2.2.2.2. Costo di intervento .....	15
	<i>2.2.3. Alternativa 3 - Palancoato metallico con elementi a cassone tipo Larssen e collettore di adduzione acque meteoriche all'interno del cordolo di irrigidimento.....</i>	<i>18</i>
	2.2.3.1. Descrizione della soluzione .....	18
	2.2.3.2. Costo di intervento .....	19
	<i>2.2.4. Alternativa 4 – Diaframma in c.a. ....</i>	<i>21</i>
	2.2.4.1. Descrizione della soluzione .....	21
	2.2.4.2. Costo di intervento .....	22
2.3.	CONFRONTO FRA ALTERNATIVE .....	24

**ANALISI MULTICRITERI DELLE ALTERNATIVE  
PROGETTUALI**

---

<b>3.</b>	<b>ANALISI MULTICRITERI .....</b>	<b>29</b>
3.1.	SCELTA DEGLI INDICATORI	29
3.1.1.	<i>Costo di realizzazione.....</i>	<i>30</i>
3.1.2.	<i>Interferenze con le attività .....</i>	<i>30</i>
3.1.3.	<i>Interferenza con gli acquiferi .....</i>	<i>32</i>
3.1.4.	<i>Accessibilità alla condotta fognaria .....</i>	<i>33</i>
3.1.5.	<i>Rischio legato alla tenuta idraulica .....</i>	<i>33</i>
3.2.	VALUTAZIONE DELLE ALTERNATIVE	35
3.2.1.	<i>Attribuzione dei pesi.....</i>	<i>38</i>
3.2.2.	<i>Risultati dell'analisi.....</i>	<i>41</i>
3.2.2.1.	Somma pesata .....	41
3.2.2.2.	Analisi di sensitività .....	44
3.2.2.3.	Somma pesata parziale.....	46
<b>4.</b>	<b>CONCLUSIONI.....</b>	<b>48</b>

## **1. PREMESSA**

I problemi complessi pongono spesso la necessità di conseguire obiettivi diversi, spesso in conflitto reciproco; la loro risoluzione richiede che il processo decisionale si articoli in modo tale da selezionare l'alternativa migliore che soddisfi se non l'insieme degli obiettivi, almeno gli obiettivi considerati più rilevanti.

Decidere significa scegliere fra alternative che comportino diverse conseguenze. Per effettuare una scelta chi decide deve applicare alle conseguenze un particolare criterio di valutazione disarticolando gli elementi che rappresentano le conseguenze stesse, in modo da esprimere la conseguenza preferita in relazione al modo con cui variano i singoli elementi che la caratterizzano.

Nella realtà esistono svariate situazioni nelle quali anche se la scelta è ristretta ad un numero finito e ben caratterizzato di soluzioni alternative vi è una molteplicità di aspetti che vanno considerati per identificare quale sia la migliore soluzione (o quella che minimizza l'insoddisfazione): in tali casi si parla di analisi a molti criteri o a molti attributi.

Il presente documento espone l'analisi condotta in relazione alle diverse ipotesi progettuali sviluppate in merito

agli interventi di sistemazione della sponda sud del Canale Industriale Sud con l'ausilio del software VISPA<sup>1</sup>.

## **2. IPOTESI PROGETTUALI ANALIZZATE**

Il presente progetto riguarda la sistemazione di circa 4 km di sponda del Canale Industriale Sud, coinvolgendo la darsena terminale per l'intero suo perimetro, tutta la sponda sud fino al bacino di evoluzione n.4 e un breve tratto della sponda ovest del canale Malamocco-Marghera in adiacenza all'area di proprietà del depuratore VESTA di Fusina.

Lungo il tratto di sponda interessata dall'intervento sono insediate numerose attività industriali: il modo col quale queste si raccordano alla sponda è fortemente differenziato, da cui consegue che lo stato delle sponde, la loro utilizzazione e le tipologie di protezione esistenti variano fortemente lungo lo sviluppo del canale.

Altrettanto variabili e complesse sono le tipologie di intervento previste, schematizzabili a grandi linee nelle seguenti tre categorie:

1. mera impermeabilizzazione della sponda, prevista a tergo di protezioni di sponda già esistenti

---

<sup>1</sup> VISPA – Valutazione Integrata per la Scelta tra Progetti Alternativi – Colorni, Laniado, Rosace, 1989.

Interventi per la sistemazione del Canale Industriale Sud a  
Porto Marghera

**ANALISI MULTICRITERI DELLE ALTERNATIVE  
PROGETTUALI**

---

ed in buono stato, per una lunghezza complessiva di circa 600 m di sponda;

2. conterminazione della sponda, con finalità prettamente ambientale-idraulica, per circa 1 km di intervento;
3. banchina industriale, lungo i tratti in cui venga richiesto che l'opera di marginamento svolga una funzione strutturale oltre che ambientale; l'intervento riguarda complessivamente oltre 2.5 km di sponda.

Il progetto intende inoltre recepire quanto richiesto dalla Regione Veneto<sup>2</sup> relativamente agli interventi previsti dal Progetto Integrato Fusina (PIF) lungo la sponda sud del C.I. Sud ed in particolare alla necessità di prevedere, contestualmente alla realizzazione dell'opera di marginamento, la posa di un collettore di adduzione di acque meteoriche potenzialmente inquinate da avviare all'impianto di depurazione di Fusina (estremo orientale della sponda sud del C.I. Sud).

Tralasciando gli interventi di mera impermeabilizzazione della sponda, per i quali si prevede di adottare soluzioni tradizionalmente utilizzate in interventi simili (dia-

---

<sup>2</sup> cfr. lettera Giunta Regionale Prot n. 1020/02 del 04/10/02

**ANALISI MULTICRITERI DELLE ALTERNATIVE  
PROGETTUALI**

---

frammi plastici, micropali accostati e compenetrati, ecc.), verrà di seguito approfondita l'analisi delle scelte progettuali relative alle opere di conterminazione e alle banchine industriali.

## **2.1. Opere di conterminazione**

La valutazione delle possibili soluzioni di progetto è stata già affrontata nel corso dello sviluppo progettuale di interventi simili a quello in questione.

L'esperienza maturata in quest'ambito ha consentito di orientare la progettazione su di una conterminazione con palancolato metallico e cordolo di irrigidimento sommitale prolungato fino a -2.0 m s.m.m. Si ritiene infatti che la presenza del cordolo ribassato fornisca, assieme ad un opportuno sovradimensionamento dell'opera, un'adeguata protezione al palancolato nella zona maggiormente aggredita dalla corrosione dell'ambiente marino<sup>3</sup>, senza dover ricorrere ad alcun rivestimento aggiuntivo del metallo.

---

<sup>3</sup> la cosiddetta "splash zone" e "low water zone": fascia compresa fra il minimo di marea e la zona interessata dal frangersi delle onde in alta marea (quote comprese fra i +1.50 m ed i -1.50 m s.m.m circa).

Nel seguito verrà invece approfondita la valutazione delle diverse soluzioni progettuali ipotizzate per le banchine portuali.

## **2.2. *Banchina industriale***

Nei paragrafi seguenti vengono analizzate le alternative di progetto possibili e parametrizzate rispetto a 100 m di intervento, in relazione alla tipologia “banchina industriale da 50 kPa con carroponte”, che, per estensione ed oneri strutturali ed economici, caratterizza l’intervento lungo la sponda sud del Canale Industriale Sud.

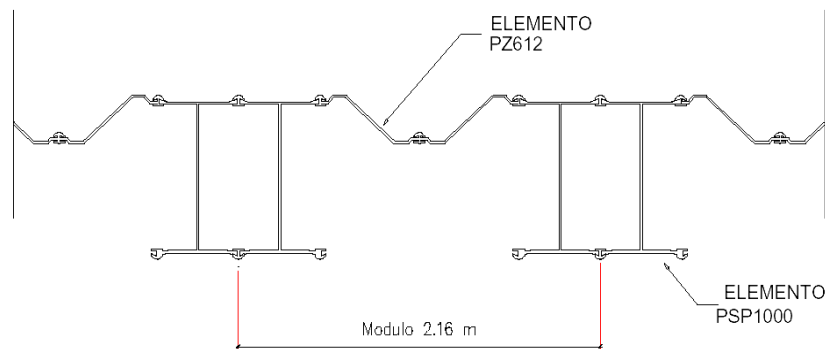
Per ciascuna alternativa individuata verrà fornita una descrizione di:

- caratteristiche tipologiche e strutturali;
- caratteristiche di durabilità delle opere in ambiente marino aggressivo;
- tecniche e modalità esecutive;
- costi di intervento.

### 2.2.1. Alternativa 1 - palancolato metallico composito e collettore di adduzione acque meteoriche a tergo

#### 2.2.1.1. *Descrizione della soluzione*

La soluzione prevede l'adozione di un palancolato metallico in acciaio Fe 510 del tipo Salzgitter costituito da due PSP1000 accoppiate ed intervallate da PZI 612 (cfr. schema seguente).



*Figura 2.1 – Schema del profilo metallico previsto nella Soluzione 1*

Le palancole vengono tirantate mediante barre in acciaio con punto di ancoraggio a quota +1.0 m s.m.m., interasse di 2.16 m, poste in opera orizzontalmente e collegate ad un elemento di contrasto, costituito da un palo in c.a. di 80 cm e lunghezza di circa 18 m, con trave sovrastante in c.a.

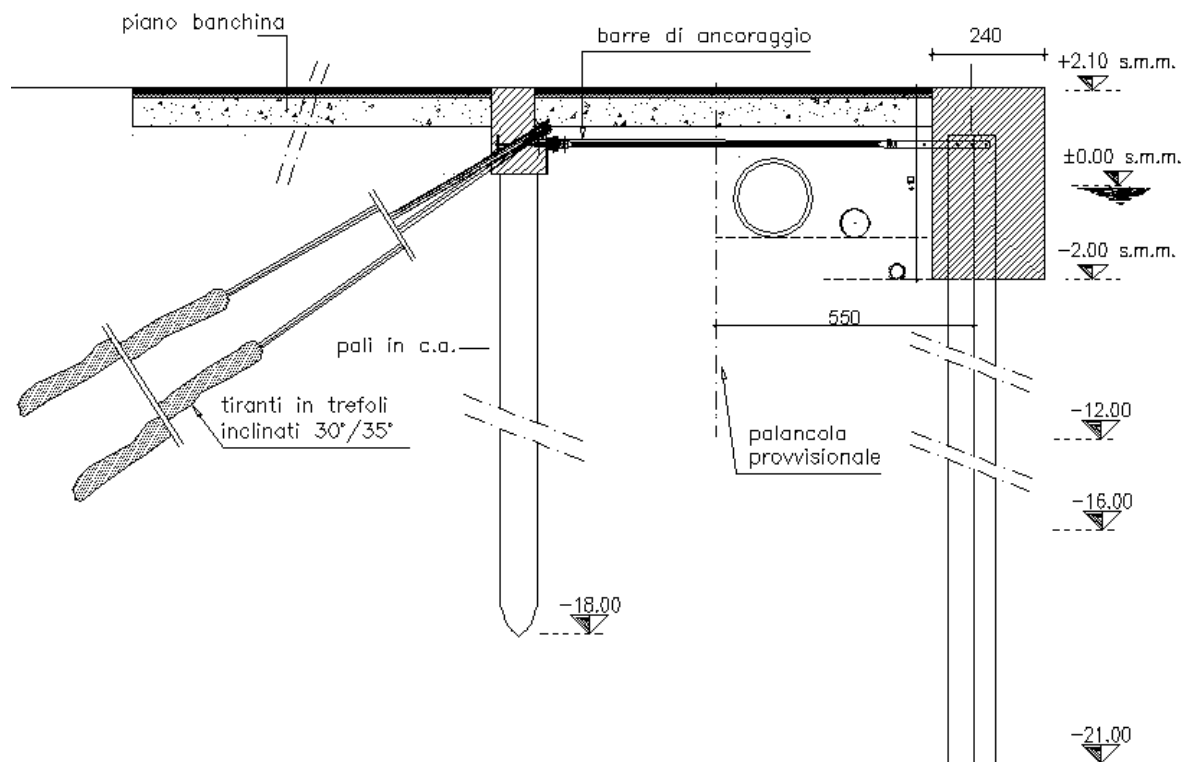
La struttura di contrasto è tirantata mediante trefoli iniettati in malta cementizia, con inclinazione alternata di 30° e 35° e lunghezza di circa 30 m. I tiranti sono collocati ad interasse di 1.08 m e vengono inseriti all'interno di una

**ANALISI MULTICRITERI DELLE ALTERNATIVE  
PROGETTUALI**

---

colonna di “jet-grouting” estesa su tutta la lunghezza teorica del bulbo di ammarro, di diametro non inferiore a 60 cm.

La testa de palancolato è collocata alternativamente a quota +1.3 m e -1.0 m s.m.m. In sommità, fino a quota +2.1 m s.m.m, viene realizzato un cordolo di coronamento in calcestruzzo armato, con la funzione di ripartire le azioni orizzontali derivanti dai sovraccarichi di monte e le azioni puntuali dei tiranti. Il cordolo misura 2.4 m alla base e 4.1 m in altezza e si prolunga fino a quota -2.00 m s.m.m.



*Figura 2.2 – Sezione schematica della soluzione 1*

Da un lato il sovradimensionamento dell'opera metallica, dall'altro la presenza protettiva del cordolo ribassato

**ANALISI MULTICRITERI DELLE ALTERNATIVE  
PROGETTUALI**

---

in c.a. consentono di proteggere l'opera durante la sua vita utile dagli effetti corrosivi dell'ambiente marino aggressivo. A maggiore garanzia della durabilità della banchina, considerata la sua funzione strutturale, prima ancora che ambientale/idraulica, si prevede di installare un impianto di protezione catodica.

In fase realizzativa si prevede di operare entro palancolato provvisorio lato terra, allo scopo di delimitare l'area di scavo a tergo del palancolato e quindi ridurre le quantità di materiale da smaltire, e tura provvisorio lato canale, necessaria essendo la testa delle palancole strutturali a quota  $-1.0$  m s.m.m.

A tergo del palancolato è predisposto un apposito sistema di drenaggio allo scopo di regolare il dislivello fra la quota della falda di monte e quella di valle e quindi permettere di conservare di fatto invariato il livello di falda nello stato attuale.

Il collettore di adduzione delle acque meteoriche all'impianto di depurazione di Fusina verrà collocato a tergo dell'opera di sponda. Nel rispetto di quanto richiesto dalla Regione Veneto, si prevede di utilizzare una condotta circolare in c.a. del diametro interno di 1500 mm, pendenza di 0.5‰, con funzionamento a gravità.

Date le dimensioni del collettore e le perdite di carico previste lungo il tratto di sponda interessato dall'intervento ( $\Delta h \approx 1.8$  m), la condotta dovrà essere necessariamente col-

Interventi per la sistemazione del Canale Industriale Sud a  
Porto Marghera

**ANALISI MULTICRITERI DELLE ALTERNATIVE  
PROGETTUALI**

---

locata al di sotto delle barre di ancoraggio della struttura di sponda e dovrà prevedersi una profondità di scavo variabile da circa  $-1.4$  m s.m.m. fino a circa  $-3.2$  m s.m.m., come indicato nello schema seguente:

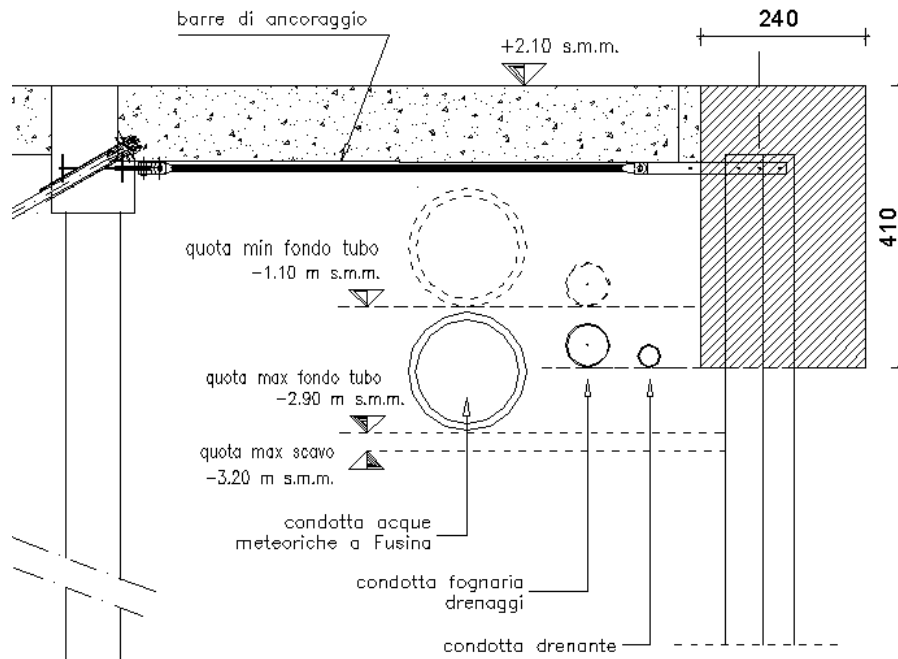


Figura 2.3 – Particolare condotte fognarie previste per la Soluzione 1

#### 2.2.1.2. Costo di intervento

Nella tabella riportata a pagina seguente è presentata una valutazione economica della soluzione 1, solo con riferimento alle voci di costo che permettono di differenziare un'alternativa rispetto ad un'altra<sup>4</sup>.

---

<sup>4</sup> pertanto i costi parametrici riportati non vanno confusi con i costi totali dell'intervento.

**ANALISI MULTICRITERI DELLE ALTERNATIVE  
PROGETTUALI**

---

La valutazione delle caratteristiche qualitative del terreno di scavo (riutilizzabile/da conferire a discarica) è stata effettuata sulla base delle risultanze delle indagini disponibili (cfr. Studio di fattibilità ambientale).

# Interventi per la sistemazione del Canale Industriale Sud a Porto Marghera

## ANALISI MULTICRITERI DELLE ALTERNATIVE PROGETTUALI

Estensione intervento = 100.00 m			<b>SOLUZIONE 1</b>			
			<b>palancolato metallico PSP, condotta a tergo</b>			
			PSP 1000 accoppiate, L=	[m]	22.30	
			Pzi 612, L=	[m]	15.00	
			peso struttura	[kg/m2]	312.50	
			interasse barre	[m]	2.16	
			cordolo in c.a. - base	[m]	2.40	
			cordolo in c.a. - altezza	[m]	4.10	
<b>elementi valutati</b>						
	<b>u.m.</b>	<b>€/u.m.</b>	<b>d1</b>	<b>d2</b>	<b>d3</b>	<b>quantità      totale</b>
<b>cordolo sommitale in c.a.</b>						
1	cls Rbk 30	m² € 117.75	100.00	1.00	9.84	984.0 € 115866.00
2	sovrapprezzo getto mezzo pompa	m² € 17.56	984.00	1.00	1.00	984.0 € 17279.04
3	armatura FeB44k	kg € 0.83	80.00	984.00	1.00	78720.0 € 65337.60
						<b>totale € 198'482.64</b>
<b>realizzazione diaframma</b>						
1	diaframma a T spess.120 cm	m² € 263.40				- € -
2	scavo a vuoto	m² € 83.75				- € -
3	armatura FeB44k	kg € 0.83				- € -
	palo trivellato per realizzazione tenuta					
4	idraulica tra i pannelli	m € 77.47				- € -
						<b>totale € -</b>
<b>guarnizione nel gargame</b>						
1	guarnizione in poliuretano	m € 15.24	100.00	0.93	8	740.7 € 11288.89
						<b>totale € 11288.89</b>
<b>protezione catodica a corrente impressa</b>						
	centralina e due collegamenti, dispersore,					
1	controllo d'alimentazione	m € 800.00	100.00	1.000	1.0	100.000 € 80'000.00
						<b>totale € 80'000.00</b>
<b>palancola strutturale</b>						
	fornitura a piè d'opera palancole PSP1000					
1	Fe510 a coppie saldate	kg € 1.06	44.44	22.30	581.25	576'083.3 € 610'648.33
	sovrapprezzo movimentazione e trasporto					
2	PSP1000 doppie 18<L<24 m	kg € 0.10	44.44	22.30	581.25	576'083.3 € 57'608.33
	fornitura a piè d'opera palancole PZI612					
3	Fe510	kg € 1.03	55.56	15.00	162.50	135'416.7 € 139'479.17
	fornitura a piè d'opera palancole Larssen					
4	per L>14m	kg € 0.80				- € -
	sovrapprezzo trasporto Larssen 18<L<24					
5	m	kg € 0.04				- € -
	sovrapprezzo laminazione Larssen L>18 m	100 kg € 0.46				- € -
	fornitura a piè d'opera pali a cassone tipo					
7	Larssen	kg € 1.29				- € -
	sovrapprezzo alla fornitura per acciaio 510					
8	(eq. S355GP DIN N10248-1)	100 kg € 2.58				- € -
9	infissione palancole Larssen/PZI	m € 10.33	55.56	14	1.7	1'296.3 € 13'390.74
10	infissione palancole PSP	m € 77.50	44.44	19	2.08	1'759.3 € 136'342.59
11	infissione pali a cassone	m € 77.50				- € -
	sovrapprezzo movimentazione e infissione					
12	Larssen L>14m	m pal. € 0.77				- € -
	realizzazione fori nel palancolato per					
13	ancoraggio barre	n € 38.50	44.44	1	2.08	93.0 € 3'580.50
						<b>totale € 961'049.67</b>
<b>scavi e conferimenti</b>						
1	terreno di scavo	m² € 25.00	100.00	25.9	1.00	2'585.0 € 64'625.00
2	materiale riutilizzabile (70%)	m² € 6.00	100.00	18.1	1.00	1'809.5 € 10'857.00
3	terreno da conferire in discarica 2B (15%)	ton € 80.00	100.00	7.0	1.00	698.0 € 55'836.00
4	terreno da conferire in discarica 2Bs (10%)	ton € 180.00	100.00	4.7	1.00	465.3 € 83'754.00
5	terreno da conferire in discarica 2C (5%)	ton € 220.00	100.00	2.3	1.00	232.7 € 51'183.00
						<b>totale € 266'255.00</b>
			<b>TOTALE € 1'517'076.20</b>			

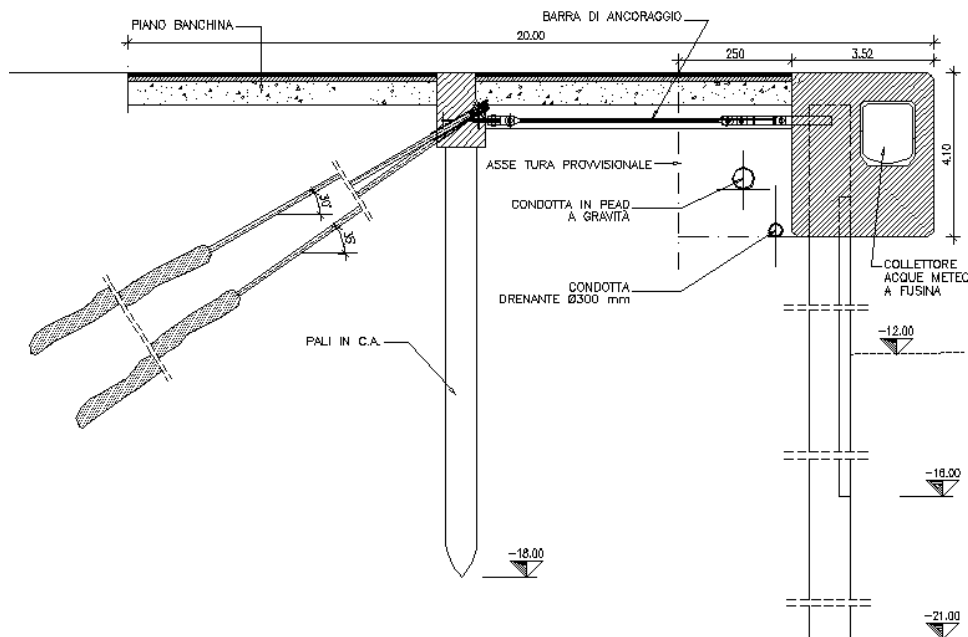
**ANALISI MULTICRITERI DELLE ALTERNATIVE  
PROGETTUALI**

---

**2.2.2. Alternativa 2 – Palancolato metallico composito e  
collettore di adduzione acque meteoriche all'interno del  
cordolo di irrigidimento**

*2.2.2.1. Descrizione della soluzione*

La soluzione prevede l'adozione di un palancolato metallico del tipo Salzgitter in acciaio Fe 510, costituito da due PSP 1000 accoppiate e intervallate da una Pzi 612, del tutto analogo a quello previsto nella soluzione 1.

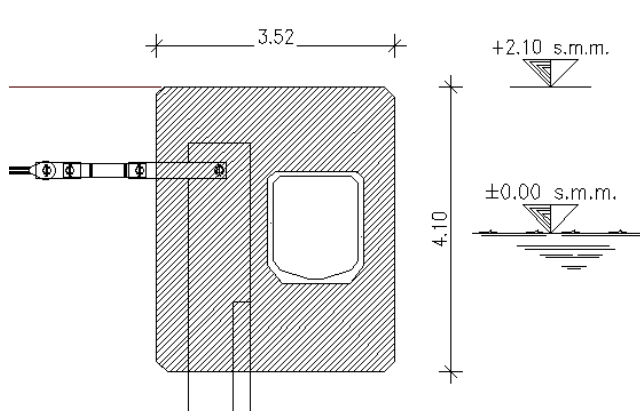


*Figura 2.4 – Schema della sezione della Soluzione 2*

La soluzione si differenzia dalla precedente per il fatto che prevede di collocare all'interno del cordolo di irrigidimento sommitale il collettore di adduzione delle acque meteoriche a Fusina (cfr. particolare sotto riportato). Si tratta di un collettore di tipo prefabbricato in cls  $R_{ck} > 40$ ,

**ANALISI MULTICRITERI DELLE ALTERNATIVE  
PROGETTUALI**

---



dello spessore di 8 cm e area di  $1.7 \text{ m}^2$  con pendenza dello 0.5‰ realizzata con tratti orizzontali di lunghezza non superiore ai 20 m.

Il cordolo sommitale avrà dimensioni maggiori rispetto alla soluzione 1: 3.52 m di base e 4.1 m di altezza (dai +2.1 m ai -2.0 m s.m.m.).

Dato il maggiore ingombro lato canale della struttura in c.a., si prevede di arretrare l'asse del palancolato così da conservare il filo esterno delle opere ed evitare riduzioni di sezione del canale, nel rispetto delle prescrizioni dell'Autorità Portuale di Venezia.

A tergo del palancolato è previsto un apposito sistema di drenaggio, analogo a quello previsto nella soluzione precedente. Anche in questo caso, come nell'alternativa 1, sarà adottato un sistema di protezione catodica a maggiore garanzia della durabilità dell'opera.

#### 2.2.2.2. *Costo di intervento*

Nella tabella riportata a pagina seguente è presentata una valutazione economica della soluzione 2, solo con rife-

**ANALISI MULTICRITERI DELLE ALTERNATIVE  
PROGETTUALI**

---

rimento alle voci di costo che permettono di differenziare un'alternativa rispetto ad un'altra.

L'analisi tiene conto anche delle maggiori quantità di scavo a tergo dell'opera dovute all'arretramento della struttura rispetto alla soluzione 1.

## ANALISI MULTICRITERI DELLE ALTERNATIVE PROGETTUALI

1

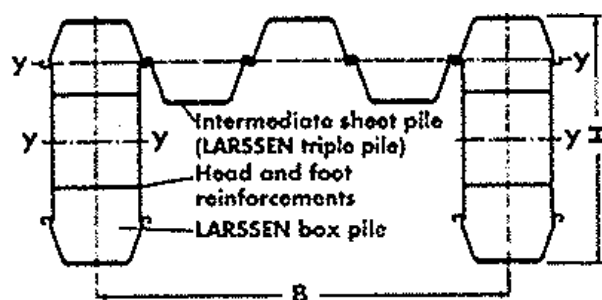
**ANALISI MULTICRITERI DELLE ALTERNATIVE  
PROGETTUALI**

---

**2.2.3. Alternativa 3 - Palancolato metallico con elementi a cassone tipo Larssen e collettore di adduzione acque meteoriche all'interno del cordolo di irrigidimento**

**2.2.3.1. Descrizione della soluzione**

La soluzione si distingue dall'alternativa 2 solo per la tipologia di palancolato: cassoni costituiti da palancole Larssen 606 K inframmezzati da palancole Larssen della stessa tipologia, come illustrato nello schema seguente.



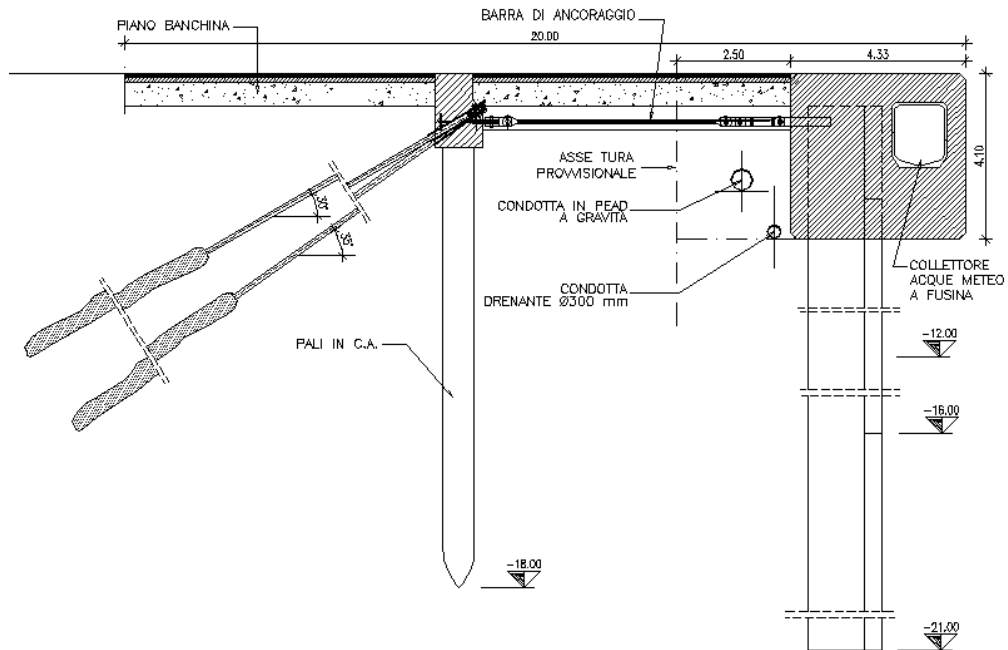
*Figura 2.5 – Schema dei pali a cassone con palancole Larssen 606 K, dove  $B = 2.4\text{ m}$  e  $H = 1.815\text{ m}$*

Anche in questo caso sono previste barre di ancoraggio orizzontali, poste a quota +1.0 m s.m.m. e collegate ad un elemento di contrasto, costituito da una palificata collegata in testa da una trave sovrastante in c.a. Il sistema di tirantatura della struttura di contrasto è analogo a quello delle soluzioni 1 e 2. Dato il maggiore ingombro degli elementi a cassoni rispetto alle palancole tipo Salzgitter previste nelle soluzioni 1 e 2, il cordolo di irrigidimento sommitale, che ospiterà fra l'altro anche il collettore delle acque meteoriche, avrà base di 4.3 m e altezza di 4.1 m.

Interventi per la sistemazione del Canale Industriale Sud a  
Porto Marghera

**ANALISI MULTICRITERI DELLE ALTERNATIVE  
PROGETTUALI**

---



*Figura 2.6 – Sezione schematica Soluzione 3*

Analogamente a quanto previsto nelle soluzioni precedenti, a tergo del palancoolato è previsto un apposito sistema di drenaggio e verrà installato un sistema di protezione catodica a maggiore garanzia della durabilità della struttura.

**2.2.3.2. Costo di intervento**

Nella tabella riportata a pagina seguente è presentata una valutazione economica della soluzione 3, solo con riferimento alle voci di costo che permettono di differenziare un'alternativa rispetto ad un'altra.

Interventi per la sistemazione del Canale Industriale Sud a  
Porto Marghera

**ANALISI MULTICRITERI DELLE ALTERNATIVE  
PROGETTUALI**

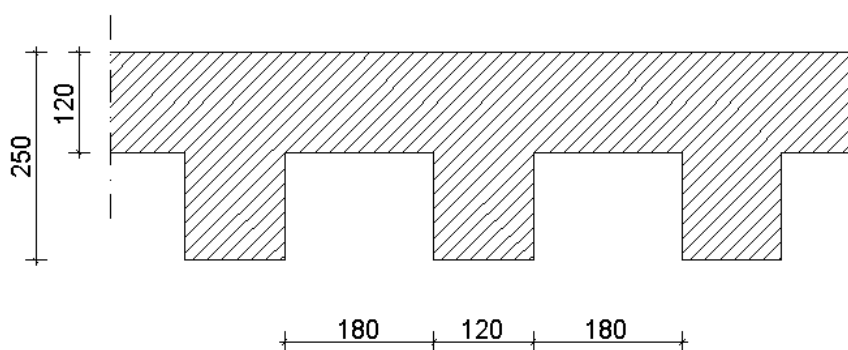
Estensione intervento = 100.00 m				<b>SOLUZIONE 3</b>			
				<b>pali a cassone tipo Larssen, condotta nel cordolo</b>			
				pali LK 606/1380, L=	[m]	22.30	
				Larssen 606 K (lateral), L=	[m]	15.00	
				Larssen 606 K (centrale), L=	[m]	22.30	
				peso struttura	[kg/m <sup>2</sup> ]	292.00	
				interasse barre	[m]	2.40	
				cordolo in c.a. - base	[m]	4.34	
				cordolo in c.a. - altezza	[m]	4.10	
<b>elementi valutati</b>	<b>u.m.</b>	<b>€/u.m.</b>		<b>d1</b>	<b>d2</b>	<b>d3</b>	<b>quantità</b>
<b>cordolo sommitale in c.a.</b>							<b>totale</b>
1 cls Rbk 30	m <sup>2</sup>	€ 117.75	100.00	1.00	16.07	1'607	€ 189'265.46
2 sovrapprezzo getto mezzo pompa	m <sup>2</sup>	€ 17.56	1'607.35	1.00	1.00	1'607	€ 28'225.07
3 armatura FeB44k	kg	€ 0.83	90.00	1'607.35	1.00	144'662	€ 120'069.05
						<b>totale</b>	<b>€ 337'559.57</b>
<b>realizzazione diaframma</b>							
1 diaframma a T spess.120 cm	m <sup>2</sup>	€ 263.40				-	€ -
2 scavo a vuoto	m <sup>2</sup>	€ 83.75				-	€ -
3 armatura FeB44k	kg	€ 0.83				-	€ -
4 palo trivellato per realizzazione tenuta idraulica tra i pannelli	m	€ 77.47				-	€ -
						<b>totale</b>	<b>€ -</b>
<b>guarnizione nel gargame</b>							
1 guarnizione in poliuretano	m	€ 15.24	100.00	1.67	8.00	1'333	€ 20'320.00
						<b>totale</b>	<b>€ 20'320.00</b>
<b>protezione catodica a corrente impressa</b>							
1 centralina e due collegamenti, dispersore, controllo d alimentazione	m	€ 800.00	100.00	1.000	1	100	€ 80'000.00
						<b>totale</b>	<b>€ 80'000.00</b>
<b>palancale strutturale</b>							
1 fornitura a piè d'opera palancole PSP1000 Fe510 a coppie saldate	kg	€ 1.06				-	€ -
2 sovrapprezzo movimentazione e trasporto PSP1000 doppie 18<L<24 m	kg	€ 0.10				-	€ -
3 fornitura a piè d'opera palancole PZI612 Fe510	kg	€ 1.03				-	€ -
4 fornitura a piè d'opera palancole Larssen per L>14m	kg	€ 0.80	75.00	17.43	162.00	211'815	€ 169'452.00
5 sovrapprezzo trasporto Larssen 18<L<24 m	kg	€ 0.04	25.00	22.30	162.00	90'315	€ 3'612.60
6 sovrapprezzo laminazione Larssen L>18 m	100 kg	€ 0.46	25.00	22.30	1.62	903	€ 415.45
7 fornitura a piè d'opera pali a cassone tipo Larssen	kg	€ 1.29	25.00	22.30	760.00	423'700	€ 546'573.00
8 sovrapprezzo alla fornitura per acciaio 510 (eq. S355GP DIN N10248-1)	100 kg	€ 2.58	100.00	18.65	2.92	5'446	€ 14'050.16
9 infissione palancole Larssen/PZI	m	€ 10.33	75.00	15.67	1.67	1'958	€ 20'229.58
10 infissione palancole PSP	m	€ 77.50				-	€ -
11 infissione pali a cassone	m	€ 77.50	25.00	19	1.67	792	€ 61'354.17
12 sovrapprezzo movimentazione e infissione Larssen L>14m	m pal.	€ 0.77	75.00	15.67	1.67	1'958	€ 1'507.92
13 realizzazione fori nel palancole per ancoraggio barre	n	€ 38.50	25.00	1	1.67	42	€ 1'617.00
						<b>totale</b>	<b>€ 818'811.88</b>
<b>scavi e conferimenti</b>							
1 terreno di scavo	m <sup>2</sup>	€ 25.00	100.00	21.87	1.00	2'187	€ 54'683.75
2 materiale riutilizzabile (70%)	m <sup>2</sup>	€ 6.00	100.00	15.31	1.00	1'531	€ 9'186.87
3 terreno da conferire in discarica 2B (15%)	ton	€ 80.00	100.00	5.91	1.00	591	€ 47'246.76
4 terreno da conferire in discarica 2Bs (10%)	ton	€ 180.00	100.00	3.94	1.00	394	€ 70'870.14
5 terreno da conferire in discarica 2C (5%)	ton	€ 220.00	100.00	1.97	1.00	197	€ 43'309.53
						<b>totale</b>	<b>€ 225'297.05</b>

**TOTALE € 1'481'988.50**

#### 2.2.4. Alternativa 4 – Diaframma in c.a.

##### 2.2.4.1. *Descrizione della soluzione*

La soluzione prevede la realizzazione di un diaframma a parete dello spessore di 120 cm, con nervature da 250 cm, gettato in opera per uno sviluppo verticale di circa 22 m.



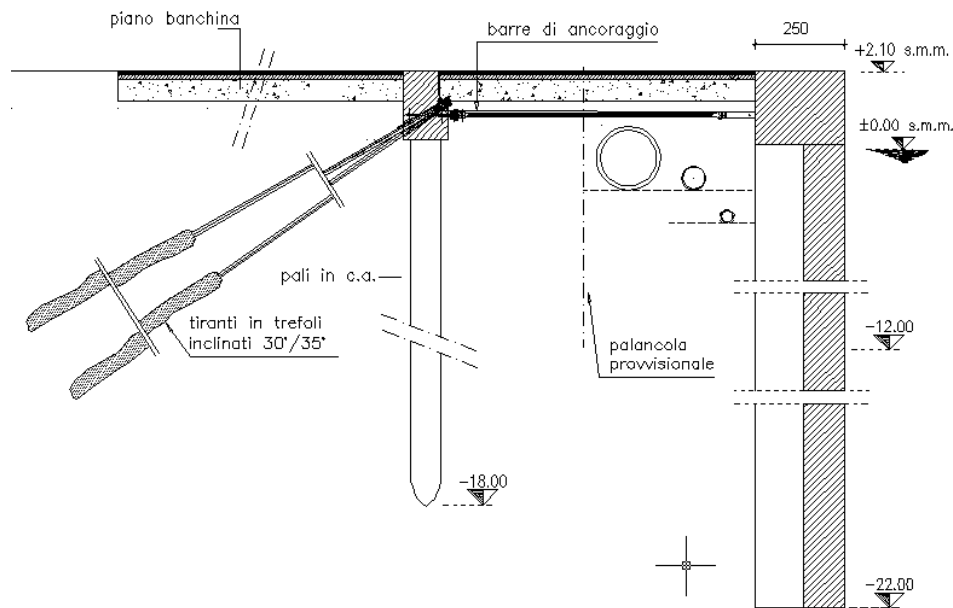
*Figura 2.7 – Pianta schematica del diaframma a T previsto nella Soluzione 4*

In sommità è previsto un cordolo di coronamento in calcestruzzo armato fino a quota +2.1 m s.m.m, di dimensioni 2.5 m x 2.1 m. I diaframmi vanno tirantati analogamente a quanto previsto nelle alternative precedenti, come indicato nello schema di Figura seguente.

A tergo dell'opera è predisposto un apposito sistema di drenaggio ed è prevista la posa in opera del collettore di adduzione delle acque meteoriche all'impianto di depurazione di Fusina, analogamente alla soluzione 1.

**ANALISI MULTICRITERI DELLE ALTERNATIVE  
PROGETTUALI**

---



*Figura 2.8 – sezione schematica della Soluzione 4*

**2.2.4.2. Costo di intervento**

Nella tabella riportata a pagina seguente è presentata una valutazione economica della soluzione 4, solo con riferimento alle voci di costo che permettono di differenziare un'alternativa rispetto ad un'altra.

# Interventi per la sistemazione del Canale Industriale Sud a Porto Marghera

## ANALISI MULTICRITERI DELLE ALTERNATIVE PROGETTUALI

Estensione intervento = 100.00 m				<b>SOLUZIONE 4</b>			
				<b>diaframma a T in c.a. da 120 cm</b>			
				Diaframma in c. a. L=	[m]	22.00	
				spessore	[m]	1.20	
				spessore	[m]	1.20	
				interasse barre	[m]	2.16	
				cordolo in c.a. - base	[m]	2.50	
				cordolo in c.a. - altezza	[m]	2.10	
<b>elementi valutati</b>				<b>u.m.</b>	<b>€/u.m.</b>	<b>d1</b>	<b>d2</b>
						<b>d3</b>	<b>quantità</b>
							<b>totale</b>
<b>cordolo sommitale in c.a.</b>							
1	cls Rbk 30	m²	€ 117.75	100.00	2.50	2.10	525.00 € 61818.75
2	sovrapprezzo getto mezzo pompa	m²	€ 17.56	525.00	1.00	1.00	525.00 € 9219.00
3	armatura FeB44k	kg	€ 0.83	80.00	525.00	1.00	42000.00 € 34860.00
							<b>totale € 105897.75</b>
<b>realizzazione diaframma</b>							
1	diaframma a T spess.120 cm	m²	€ 263.40	100.00	22.00	1.43	3153.33 € 830588.00
2	scavo a vuoto	m²	€ 83.75	100.00	2.10	1.20	252.00 € 21104.69
3	armatura FeB44k	kg	€ 0.83	3153.33	90.00	1.00	283800.00 € 235554.00
4	palo trivellato per realizzazione tenuta idraulica tra i pannelli	m	€ 77.47	34.00	22.00	1.00	748.00 € 57947.56
							<b>totale € 1145194.25</b>
<b>guarnizione nel gargame</b>							
1	guarnizione in poliuretano	m	€ 15.24	-			- -
							<b>totale -</b>
<b>protezione catodica a corrente impressa</b>							
1	centralina e due collegamenti, dispersore, controllo d alimentazione	m	€ 800.00	-			- -
							<b>totale -</b>
<b>palancola strutturale</b>							
1	fornitura a piè d'opera palancole PSP1000 Fe510 a coppie saldate	kg	€ 1.06	-			-
2	sovrapprezzo movimentazione e trasporto PSP1000 doppie 18<L<24 m	kg	€ 0.10	-			-
3	fornitura a piè d'opera palancole PZI612 Fe510	kg	€ 1.03	-			-
4	fornitura a piè d'opera palancole Larssen per L>14m	kg	€ 0.80	-			-
5	sovrapprezzo trasporto Larssen 18<L<24 m	kg	€ 0.04	-			-
6	sovrapprezzo laminazione Larssen L>18 m	100 kg	€ 0.46	-			-
7	fornitura a piè d'opera pali a cassone tipo Larssen	kg	€ 1.29	-			-
8	sovrapprezzo alla fornitura per acciaio 510 (eq. S355GP DIN N10248-1)	100 kg	€ 2.58	-			-
9	infissione palancole Larssen/PZI	m	€ 10.33	-			-
10	infissione palancole PSP	m	€ 77.50	-			-
11	infissione pali a cassone	m	€ 77.50	-			-
12	sovrapprezzo movimentazione e infissione Larssen L>14m	m pal.	€ 0.77	-			-
13	realizzazione fori nel palancolato per ancoraggio barre	n	€ 38.50	-			-
							<b>totale -</b>
<b>scavi e conferimenti</b>							
1	terreno di scavo	m³	€ 25.00	100.00	26.3	1.00	2632.00 € 65800.00
2	materiale riutilizzabile (70%)	m³	€ 6.00	100.00	18.4	1.00	1842.40 € 11054.40
3	terreno da conferire in discarica 2B (15%)	ton	€ 80.00	100.00	7.1	1.00	710.64 € 56851.20
4	terreno da conferire in discarica 2Bs (10%)	ton	€ 180.00	100.00	4.7	1.00	473.76 € 85276.80
5	terreno da conferire in discarica 2C (5%)	ton	€ 220.00	100.00	2.4	1.00	236.88 € 52113.60
							<b>totale € 271096.00</b>
				<b>TOTALE € 1'522'188.00</b>			

**ANALISI MULTICRITERI DELLE ALTERNATIVE  
PROGETTUALI**

---

**2.3. Confronto fra alternative**

Nelle tabelle seguenti vengono sintetizzate le considerazioni sviluppate in merito alle implicazioni (economiche, ambientali, tecniche, ecc.) che ciascuna soluzione analizzata comporta.

	<b>SOLUZIONE 1</b>	<b>SOLUZIONE 2</b>	<b>SOLUZIONE 3</b>	<b>SOLUZIONE 4</b>
	<b>PALANCOLATO METALLICO E CONDOTTA A TERGO</b>	<b>PALANCOLATO METALLICO E CONDOTTA NEL CORDOLO</b>	<b>PALANCOLATO METALLICO A CASSONI E CONDOTTA NEL CORDOLO</b>	<b>DIAFRAMMA IN C.A. E CONDOTTA A TERGO</b>
<b>Aspetti economici</b>	La soluzione strutturale ipotizzata è la medesima della soluzione 2, tuttavia i costi di realizzazione sono leggermente superiori a causa dei maggiori volumi di terreno da movimentare per la posa in opera del collettore a gravità delle acque meteoriche.	Si tratta della soluzione più economica; infatti la collocazione del collettore delle acque meteoriche all'interno del cordolo, pur comportando oneri maggiori nella realizzazione dello stesso, assicura minori volumi di scavo a tergo dell'opera, con conseguente economia nelle operazioni di movimentazione e conferimento a discarica del materiale.	La tipologia di opera è la medesima della soluzione 2 e se ne differenzia solo per il profilo metallico adottato in sponda. I costi sono tuttavia leggermente superiori a causa dei maggiori oneri dovuti alla fornitura e infissione del palancoleto e alla realizzazione del cordolo sommitale di dimensioni maggiori che nel caso 2.	Il costo di realizzazione, leggermente superiore a quello della Soluzione 2, è legato principalmente alla messa in opera di diaframmi nervati.

Interventi di sistemazione della sponda ovest del canale  
S.Leonardo-Marghera

**ANALISI MULTICRITERI DELLE ALTERNATIVE  
PROGETTUALI**

	<b>SOLUZIONE 1</b>	<b>SOLUZIONE 2</b>	<b>SOLUZIONE 3</b>	<b>SOLUZIONE 4</b>
<b>Aspetti strutturali e durabilità</b>	A garanzia della durabilità dell'opera vi sono un congruo sovradimensionamento della stessa e la presenza del cordolo in c.a. esteso fino al di sotto della cosiddetta "low water zone". È inoltre prevista, data l'importanza dal punto di vista strutturale dell'opera, l'installazione di un sistema di protezione dalla corrosione (protezione catodica).	La soluzione strutturale è la medesima dell'alternativa 1; vale quanto detto per essa.	La soluzione strutturale è la medesima dell'alternativa 1; vale quanto detto per essa.	Nel caso di diaframmi, dotati di un copriferro di spessore adeguato, il problema della durabilità legato alla corrosione è meno influente; in ogni caso deve essere posta particolare attenzione all'entità dei fenomeni fessurativi prevedendo, se necessario, nella zona maggiormente sollecitata, la posa in opera di armatura in acciaio inox o altri eventuali sistemi di protezione.
<b>Tenuta idraulica</b>	Ottime caratteristiche di tenuta idraulica.	Come Soluzione 1.	Come Soluzione 1.	La necessità di costituire in cantiere gli elementi di tenuta fra i pannelli verticali pone maggiori incertezze che nel caso della connessione meccanica che sussiste per le palancole.
<b>Interferenza locale con la II "falda"</b>	Data la connessione meccanica a tutt'altezza individuabile nel gargame, il palancolato metallico può essere realizzato a "pettine" (prevedendo palancole più profonde alternate ad altre più corte): questa di-	Come Soluzione 1.	Come Soluzione 1.	L'assenza o la criticità di elementi di connessione al taglio fra i pannelli verticali, non permette di garantire il comportamento di un diaframma infisso a profondità variabili.

Interventi di sistemazione della sponda ovest del canale  
S.Leonardo-Marghera

**ANALISI MULTICRITERI DELLE ALTERNATIVE  
PROGETTUALI**

	SOLUZIONE 1	SOLUZIONE 2	SOLUZIONE 3	SOLUZIONE 4
	spontaneità permette senza dubbio di limitare l'interferenza con gli acquedotti intercettati.			
<b>Ottimizzazione interventi MAV e Regione Veneto</b>	La posa in opera della condotta prevista dalla Regione Veneto e la realizzazione delle opere in sponda previste dal MAV nell'ambito di un unico cantiere consentono di ottimizzare i due interventi in termini di tempi e costi di realizzazione. La collocazione del collettore al di sotto delle barre di ancoraggio rende, tuttavia, difficoltose le operazioni di manutenzione della linea fognaria e richiede lo scavo di quantità di terreno superiori a quanto previsto nella Sol. 2.	La soluzione consente di realizzare in modo integrato l'intervento a carico del MAV (banchina) e quello a carico della Regione Veneto (condotta) grazie all'inserimento dell'opera di adduzione delle acque meteoriche all'interno del cordolo sommitale; ne risultano ottimizzati tempi e costi di realizzazione.  Pur richiedendo l'arretramento dell'opera di sponda, complessivamente la soluzione consente di minimizzare i volumi di scavo a tergo della banchina	Come Soluzione 2.	Come Soluzione 1.
<b>Manutenzione</b>	Per quanto riguarda i dispositivi di protezione catodica a garanzia della durabilità dell'opera strutturale si ricorda come questi comportino costi certi: la manutenzione è legata	Riguardo la manutenzione dei dispositivi di protezione catodica vale quanto detto nella soluzione 1.  Grazie al posizionamento dell'opera di adduzione all'interno del cordolo	Come Soluzione 2.	La struttura in c.a. richiede controlli e manutenzione certamente minori che nei casi precedenti, sempre che siano state adeguatamente prese in considerazione le questioni inerenti la prote-

Interventi di sistemazione della sponda ovest del canale  
S.Leonardo-Marghera

**ANALISI MULTICRITERI DELLE ALTERNATIVE  
PROGETTUALI**

	<b>SOLUZIONE 1</b>	<b>SOLUZIONE 2</b>	<b>SOLUZIONE 3</b>	<b>SOLUZIONE 4</b>
	<p>alla sostituzione periodica degli anodi sacrificali e al controllo (eventualmente telecontrollo) dei dispositivi attivi.</p> <p>La collocazione della condotta di adduzione delle acque meteoriche al di sotto delle barre di ancoraggio pone invece problemi in fase di manutenzione in termini di interferenze con le opere strutturali della banchina.</p>	<p>di adduzione all'interno del cordolo lato mare, la soluzione consente di eliminare ogni interferenza con le barre di ancoraggio della struttura di contrasto e rende l'opera facilmente accessibile per i successivi interventi di manutenzione.</p>		<p>zione del ferro d'armatura.</p> <p>Per quanto riguarda la manutenzione del collettore acque meteoriche vale quanto detto per la soluzione 1.</p>
<b>Movimentazione materiale</b>	<p>Il volume di terreno da scavare per la posa della condotta di adduzione delle acque meteoriche supera di oltre il 30% quello previsto per la seconda soluzione, con conseguenti oneri maggiori nelle operazioni di movimentazione del materiale e conferimento in discarica.</p>	<p>Minori scavi a tergo del palancolato, ottenuti grazie all'inserimento della condotta delle acque meteoriche all'interno del cordolo, consentono una diminuzione degli oneri rispetto al caso 1, con conseguente risparmio nelle operazioni di movimentazione del materiale e di conferimento a discarica.</p>	<p>Come soluzione 2.</p>	<p>La realizzazione del diaframma assieme alla collocazione della condotta acque meteoriche a tergo dello stesso massimizzano la movimentazione del materiale di scavo.</p>
<b>Tempi di esecuzione</b>	<p>L'infissione del palancolato strutturale previsto in progetto comporta</p>	<p>Come Soluzione 1.</p>	<p>Come Soluzione 1.</p>	<p>Si ritiene che i tempi di realizzazione del diaframma siano confrontabili con</p>

Interventi di sistemazione della sponda ovest del canale  
S.Leonardo-Marghera

**ANALISI MULTICRITERI DELLE ALTERNATIVE  
PROGETTUALI**

	SOLUZIONE 1	SOLUZIONE 2	SOLUZIONE 3	SOLUZIONE 4
	un impianto di cantiere certamente oneroso dal punto di vista temporale. Tuttavia, i lavori di infissione del palancolato strutturale e provvisorio, programmati in opportuna successione, permettono di contenere i tempi morti.			quelli previsti per l'esecuzione delle soluzioni alternative.
<b>Interferenze traffico navale</b>	L'interferenza con il traffico navale che interessa il canale è dovuta principalmente al trasporto dei materiali e mezzi d'opera al cantiere e al trasporto e conferimento a discarica dei materiali di scavo non riutilizzabili.	Come Soluzione 1, anche se i volumi di terreno da movimentare fanno ritenere minori, per entità e durata, le interferenze con le attività produttive.	Come Soluzione 2	Come Soluzione 1.

**ANALISI MULTICRITERI DELLE ALTERNATIVE DI  
PROGETTUALI**

---

### **3. ANALISI MULTICRITERI**

I modelli di analisi multicriteri sono tradizionalmente impiegati nelle attività di supporto alla decisione per valutare e confrontare piani, programmi e progetti rispetto ad una molteplicità di criteri e punti di vista e, generalmente, è composta di due fasi: quella oggettiva o analitica e quella dei giudizi o soggettiva.

Con tale metodo di analisi si evita di esprimere una funzione che definisca la variazione dell'obiettivo in relazione alla scelta delle variabili decisionali. Questo aspetto è rilevante dal momento che nei casi più comuni di scelta tra alternative diverse difficilmente si riesce a determinare in modo esplicito le funzioni obiettivo da ottimizzare, poiché la complessità dei fenomeni rende impossibile una formulazione analitica delle leggi di variazione.

#### **3.1. Scelta degli indicatori**

Il primo passo da compiere per effettuare l'analisi consiste nella scelta di indicatori idonei a descrivere in modo completo l'interazione tra le alternative esaminate e gli aspetti ambientali, economici e tecnici influenzati dalla realizzazione del progetto.

**ANALISI MULTICRITERI DELLE ALTERNATIVE DI  
PROGETTUALI**

---

### 3.1.1. Costo di realizzazione

Dal punto di vista economico, le alternative proposte sono state analizzate quantificando il valore del costo da sostenere inizialmente per la realizzazione dell'opera.

Il costo di realizzazione è stato determinato quantificando gli oneri dovuti alla realizzazione delle strutture (palancolato lato laguna e cordolo sommitale), alla loro protezione dalla corrosione, quanto prevista, alla movimentazione di terreno e al ripristino delle condizioni antecedenti la realizzazione dell'opera. L'indicatore non si riferisce dunque al costo complessivo dell'intervento, ma alle sole voci di costo che permettono di differenziare, e quindi confrontare, un'alternativa rispetto ad un'altra.

L'indicatore relativo al costo dell'intervento viene dunque espresso come:

$$I_1 = \text{Importo}_{\text{realizzazione}} [\text{€}].$$

### 3.1.2. Interferenze con le attività

Per mezzo di questo indicatore viene espressa l'interferenza che le opere in progetto svolgono nei confronti delle attività industriali e commerciali che gravitano nella zona interessata dal cantiere.

**ANALISI MULTICRITERI DELLE ALTERNATIVE DI  
PROGETTUALI**

---

Il Canale Industriale Sud è un canale interessato da un traffico navale particolarmente intenso e lungo le sue sponde sono insediate numerose attività produttive.

Durante il periodo di esecuzione dell'opera sono prevedibili interferenze legate all'esecuzione delle attività entro tura (riduzione dello spazio liquido disponibile), all'aumento del traffico dovuto alla movimentazione di materiale, all'occupazione di suolo per le operazioni di cantiere.

Tutte le soluzioni analizzate prevedono di operare entro tura; dunque la diminuzione temporanea di spazio liquido può considerarsi nei 4 casi confrontabile.

Le diverse alternative comportano invece una movimentazione di materiale di scavo sostanzialmente diversa; maggiori volumi da movimentare inducono:

1. l'occupazione lungo le sponde di superfici più estese da destinare e attrezzare a stoccaggio provvisorio del terreno di scavo in vista della destinazione finale (riutilizzo o trattamento/smaltimento in discarica),
2. l'aumento del traffico (via natante o su strada) per il trasporto a trattamento e conferimento a discarica del materiale non riutilizzabile,

**ANALISI MULTICRITERI DELLE ALTERNATIVE DI  
PROGETTUALI**

---

3. il prolungamento dei tempi di intervento, a causa delle attività di cui ai punti 1 e 2, con incremento dei disguidi per le attività industriali e commerciali dell'area.

Volendo definire un parametro che permetta di esprimere le differenze fra le 4 alternative, si ritiene opportuno valutarlo proporzionalmente al volume di terreno scavato e movimentato:

$$I_2 = \text{Volume di scavo [m}^3\text{]}$$

### 3.1.3. Interferenza con gli acquiferi

Il giudizio, sinteticamente espresso con 0 od 1, è rappresentativo della possibilità di realizzare una struttura con un'interferenza limitata sulle falde acquifere.

Data la connessione meccanica a tutt'altezza individuabile nel gargame, il palancoato metallico può essere realizzato a "pettine" (prevedendo palancole più profonde alternate ad altre più corte): questa disponibilità permette senza dubbio di limitare l'interferenza con gli acquiferi intercettati.

Nel caso della soluzione 4, l'assenza o la criticità della connessione al taglio fra i pannelli verticali, non permette di garantire il comportamento di un diaframma infisso a profondità variabili.

**$I_3 = 0 \Rightarrow$  insufficienti garanzie per realizzare strutture a "pettine";**

**$I_3 = 1 \Rightarrow$  possibilità di realizzare strutture a "pettine".**

**ANALISI MULTICRITERI DELLE ALTERNATIVE DI  
PROGETTUALI**

---

**3.1.4. Accessibilità alla condotta fognaria**

Il giudizio, espresso anche in questo caso in modo sintetico con 1 e 0, rappresenta rispettivamente la possibilità o meno di effettuare in modo agevole la verifica del funzionamento della rete fognaria e la sua manutenzione.

Nel caso della condotta di adduzione delle acque meteoriche a tergo del palancolato, l'accesso alla rete è reso difficoltoso dalla presenza delle barre di ancoraggio, posizionate al di sopra della condotta.

Adottando le soluzioni 2 e 3 (collettore all'interno del cordolo di irrigidimento) le operazioni di manutenzione e controllo potranno invece avvenire senza interferire con le opere strutturali della banchina.

**$I_4 = 0 \Rightarrow$  inaccessibilità alla condotta fognaria;**

**$I_4 = 1 \Rightarrow$  accessibilità alla condotta fognaria.**

**3.1.5. Rischio legato alla tenuta idraulica**

L'indice utilizzato intende esprimere la possibilità che esista un rischio legato alla dispersione degli inquinanti, presenti nei terreni a tergo della banchina, verso le acque lagunari.

Si è considerato nullo il rischio nel caso di palancolato metallico il quale, grazie alla configurazione del gargame ed al giunto in poliuretano ivi presente, è praticamente impermeabile a qualsiasi flusso.

**ANALISI MULTICRITERI DELLE ALTERNATIVE DI  
PROGETTUALI**

---

Nel caso del diaframma, è invece difficile garantire la perfetta tenuta idraulica soprattutto in corrispondenza della zona di contatto tra i diversi elementi verticali i quali, a causa della notevole profondità raggiunta, potrebbero presentare un'incompleta connessione alla quale potrebbe non essere sufficiente rimediare con la messa in opera di micropali compenetrati ai pannelli stessi.

**$I_5 = 0 \Rightarrow$  rischio legato alla dispersione di inquinanti;**

**$I_5 = 1 \Rightarrow$  assenza di rischio legato alla dispersione di inquinanti.**

Tra gli indicatori utilizzati, non vengono menzionati la durabilità ed i tempi di realizzazione dell'opera.

La durabilità e, di conseguenza, la funzionalità delle strutture, rappresenta un aspetto fondamentale ed essenziale che deve essere in ogni caso garantito dal progetto. Per questo motivo non si è ritenuto opportuno considerarla come indice su cui basare la scelta.

Non è stato introdotto un parametro legato al tempo di realizzazione in quanto esso appare confrontabile nelle 4 alternative studiate e dunque non si ritiene sia tale da rendere preferibile una soluzione rispetto ad un'altra.

La sintesi delle analisi svolte è riportata nella matrice di valutazione, in cui sono elencati, sulle righe, gli indicatori presentati in precedenza e sulle colonne le alternative di progetto.

**ANALISI MULTICRITERI DELLE ALTERNATIVE DI  
PROGETTUALI**

---

INDICATORI	ALTERNATIVE			
	SOL 1	SOL 2	SOL 3	SOL 4
costo realizzazione [Euro/100m]	1'517'076	1'474'886	1'481'989	1'522'188
interferenza attività produttive [m3/m]	25.9	18.5	21.9	26.3
interferenza con acquiferi [0/1]	1	1	1	0
accessibilità condotta [0/1]	0	1	1	0
rischio legato alla tenuta idraulica [0/1]	1	1	1	0

*Tabella 3.1 – Matrice di valutazione*

### **3.2. Valutazione delle alternative**

L'analisi multicriteri delle alternative progettuali individuate è stata eseguita con l'ausilio del software VISPA<sup>5</sup> sviluppato presso il Politecnico di Milano ed utilizzato frequentemente anche in numerosi settori della Pubblica Amministrazione.

Il programma elabora i dati inseriti nella matrice di valutazione, in cui le righe esprimono informazioni relative all'ambiente (indicatori) e le colonne informazioni relative alle alternative di progetto.

Il software prevede di operare secondo una ben precisa sequenza di operazioni. Il primo passo, dopo l'inserimento dei valori attribuiti agli indicatori, consiste nel trattamento dei dati

---

<sup>5</sup> VISPA – Valutazione Integrata per la Scelta tra Progetti Alternativi – Colorni, Laniado, Rosace, 1989.

**ANALISI MULTICRITERI DELLE ALTERNATIVE DI  
PROGETTUALI**

---

iniziali allo scopo di renderli omogenei, almeno dal punto di vista numerico, per rendere possibili le operazioni successive.

Nella matrice di valutazione gli indicatori sono spesso misurati in unità completamente diverse tra loro: si pensi, ad esempio, agli indicatori dei costi e a quelli delle interferenze. Prima di iniziare qualsiasi tipo di analisi, è quindi necessario rendere confrontabili le quantità associate agli indicatori utilizzati mediante il processo di normalizzazione, cioè la trasformazione degli elementi della matrice in unità adimensionali. Il metodo più consueto è quello di dividere i valori che uno stesso indicatore assume in corrispondenza alle diverse alternative per l'elemento di valore massimo. Questa operazione va però attentamente verificata poiché le quantità che si ottengono dipendono dal massimo valore assunto da ognuno degli indicatori e quindi in generale dal numero e dalla significatività delle alternative considerate.

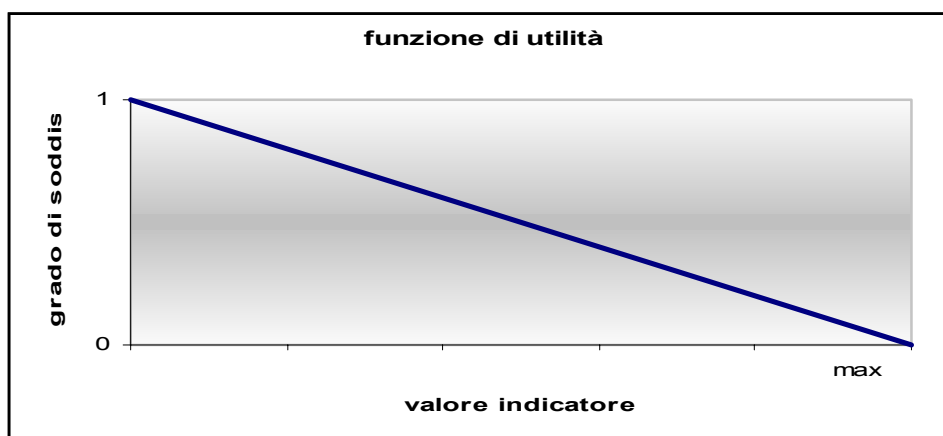
Nel caso in esame la normalizzazione è stata effettuata attraverso la definizione di funzioni di utilità, cioè di relazioni tra i valori che può assumere l'indicatore stesso ed un range adimensionale (compreso tra 0 e 1) rappresentativo della soddisfazione corrispondente. Poiché la matrice di valutazione contiene i valori assunti dagli indicatori in corrispondenza ad ogni alternativa di progetto, l'applicazione di una funzione di utilità ad una riga della matrice consente di ottenere un insieme di valori compresi tra 0 e 1, dove 1 indica la massima soddisfazione

**ANALISI MULTICRITERI DELLE ALTERNATIVE DI  
PROGETTUALI**

---

e 0 la massima insoddisfazione per il comportamento dell'indicatore relativo alla riga considerata.

Le funzioni di utilità possono avere una forma qualsiasi; nell'analisi svolta sono state scelte semplici funzioni lineari in grado però di tener conto del diverso grado di soddisfazione associato ai valori assunti dagli indicatori.



La figura qui sopra rappresenta la funzione di utilità applicata agli indicatori:

- ❑ costo di realizzazione,
- ❑ interferenza con attività produttive.

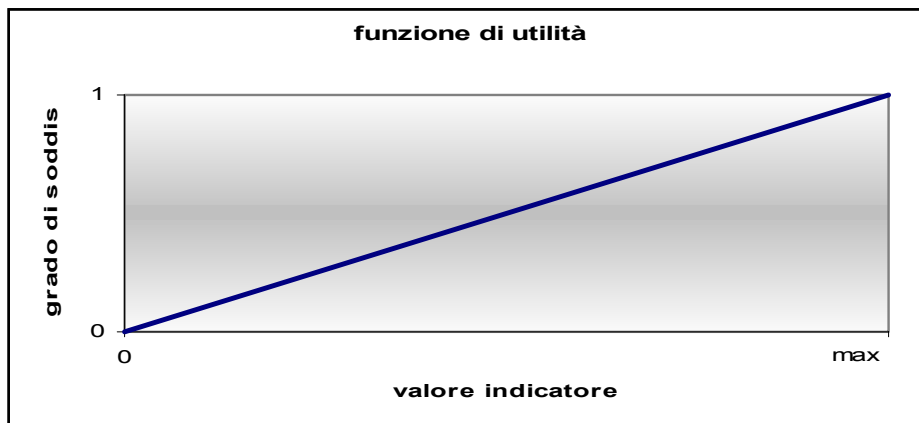
Per ognuno degli indicatori di cui sopra l'utilità decresce linearmente al crescere del valore assunto dall'indicatore. Per ogni indicatore gli estremi della funzione sono differenti in relazione a quelli dell'indicatore corrispondente.

**ANALISI MULTICRITERI DELLE ALTERNATIVE DI  
PROGETTUALI**

---

Nella figura seguente è invece rappresentata la funzione di utilità applicata agli indicatori:

- ❑ tenuta idraulica,
- ❑ possibilità di realizzare strutture "a pettine" (interferenza con gli acquiferi),
- ❑ accessibilità delle condotte fognarie.



In questo caso, l'utilità cresce linearmente al crescere del valore assunto da ciascun indicatore.

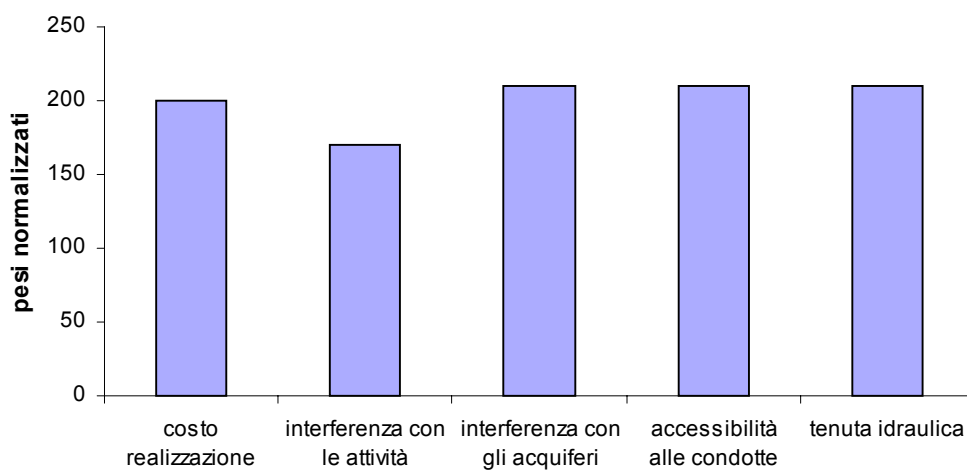
### 3.2.1. Attribuzione dei pesi

La fase probabilmente più delicata per un'analisi comparata delle alternative consiste nell'attribuzione di un vettore dei pesi relativi ai diversi indicatori utilizzati. Attraverso il vettore dei pesi è infatti possibile ampliare o ridurre l'importanza dei vari indicatori con immediato riflesso sulla valutazione finale delle alternative di progetto.

## ANALISI MULTICRITERI DELLE ALTERNATIVE DI PROGETTUALI

---

I pesi sono stati attribuiti ripartendo un totale di 1000 fra gli indicatori scelti, in funzione dell'importanza relativa attribuita alla specifica voce rispetto alle altre. Il risultato è rappresentato nel grafico seguente.



*Figura 3.1 - Suddivisione dei pesi tra gli indicatori individuati – banca industriale*

Nell'attribuzione dei pesi si sono tenuti in considerazione soprattutto gli indicatori che permettono di esprimere al meglio il raggiungimento degli obiettivi progettuali.

Si è allora attribuito peso maggiore ai seguenti indicatori:

- ❑ “interferenza con gli acquiferi” e “rischio legato alla tenuta idraulica dell'opera” che esprimono il carattere ambientale/idraulico della stessa;
- ❑ “costo dell'intervento”, necessario a garantire la piena funzionalità strutturale dell'opera durante la sua vita utile e la

**ANALISI MULTICRITERI DELLE ALTERNATIVE DI  
PROGETTUALI**

---

realizzazione integrata dell'intervento a carico del Magistrato alle Acque di Venezia (sistemazione della sponda) e quello a carico della Regione Veneto (collettore acque meteoriche);

- l'indicatore "accessibilità alle condotte" che consente di valutare la fattibilità o meno dell'ubicazione del collettore.

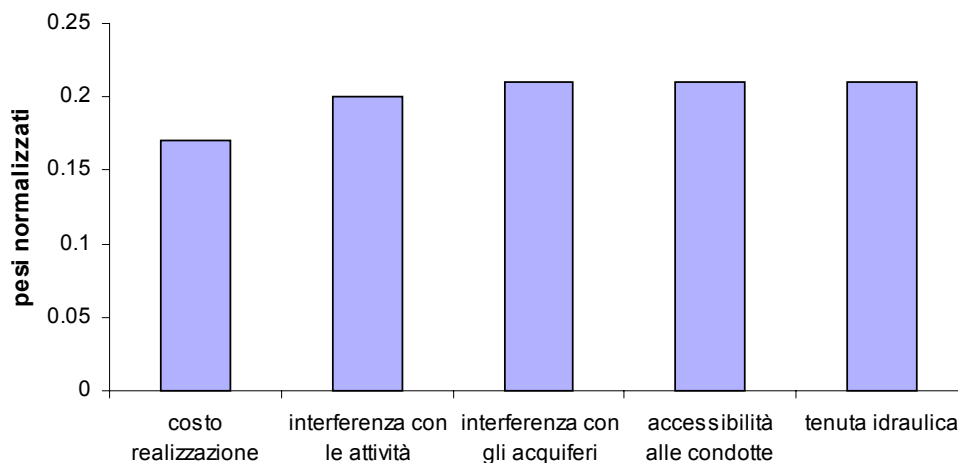
Peso significativo, anche se inferiore ai precedenti, è stato attribuito all'interferenza con le attività produttive soprattutto in considerazione del disturbo che gli interventi potrebbero arrecare al traffico navale lungo il canale industriale Sud e alle attività insediate lungo le sue sponde in termini di riduzione dello spazio liquido disponibile al transito dei natanti, rallentamento del traffico per effetto della presenza del cantiere lato mare, occupazione di suolo, aumento del traffico dovuto alla movimentazione di materiale, ecc.

Successivamente alla fase di attribuzione, il vettore dei pesi è stato normalizzato, cioè la somma di tutti i pesi attribuiti agli indicatori è stata resa pari all'unità.

Il risultato di tale operazione è rappresentato nel grafico seguente.

**ANALISI MULTICRITERI DELLE ALTERNATIVE DI  
PROGETTUALI**

---



*Figura 3.2 - Rappresentazione grafica in ordine crescente dei pesi normalizzati.*

### 3.2.2. Risultati dell'analisi

Le analisi, svolte con il supporto del software VISPA, hanno permesso di ottenere diversi ordinamenti delle alternative progettuali proposte, in dipendenza dai criteri di giudizio adottati.

Di seguito si riportano gli ordinamenti ottenuti ed una breve descrizione dei criteri adottati, sottolineando il fatto che i vari ordinamenti dipendono dal criterio utilizzato nell'analisi.

#### 3.2.2.1. *Somma pesata*

Dopo aver ottenuto il vettore dei pesi riportato precedentemente, si è calcolato la somma pesata moltiplicando il valore

**ANALISI MULTICRITERI DELLE ALTERNATIVE DI  
PROGETTUALI**

---

presente in ogni riga per il peso attribuito all'indicatore corrispondente e sommando i prodotti.

L'alternativa che totalizza il punteggio maggiormente prossimo all'unità è quello che massimizza l'utilità o soddisfazione rispetto ai parametri considerati.

L'ordinamento così ottenuto è riportato nella figura seguente.

VISPA - ATTRIBUZIONE DEI PESI - Vettore dei pesi C.I.Sud	
Alternative	Somma pesata
1. SOL 2	1.000
2. SOL 3	.912
3. SOL 1	.580
4. SOL 4	.151

*Figura 3.3 – VISPA: ordinamento ottenuto con il criterio della somma pesata.*

Da quanto si può notare, l'ordinamento ottenuto con il criterio della somma pesata vede in prima posizione l'alternativa 2 (palancolato metallico e condotta all'interno del cordolo), seguita dalla soluzione 3 (palancolato metallico con pali a cassone e collettore all'interno del cordolo), dalla soluzione 1 (palancolato metallico e collettore a tergo) e infine dalla soluzione 4 (diaframma in c.a.).

**ANALISI MULTICRITERI DELLE ALTERNATIVE DI  
PROGETTUALI**

---

La soluzione 3, del tutto analoga alla soluzione 2 se non per la tipologia di palancolato strutturale, viene penalizzata per il costo di realizzazione, superiore, anche se di poco, a quello dell'opzione 2, e per i maggiori volumi di scavo che essa comporta dovuti ad un cordolo sommitale di maggiori dimensioni.

L'alternativa 1, che pure prevede sul fronte laguna la medesima soluzione strutturale della 2 (palancole metalliche tipo Salzgitter) risulta meno preferibile a causa della maggiore movimentazione di materiale (e dunque costi maggiori, e meno certi, di realizzazione, oltrechè interferenze maggiori con le attività antropiche locali). Essa viene inoltre penalizzata dal fatto che prevede di collocare il collettore di adduzione delle acque meteoriche al di sotto delle barre di ancoraggio, rendendo poco agevoli le operazioni di manutenzione della linea fognaria.

L'alternativa 4 è fortemente penalizzata invece dal fatto che non riesce a garantire una perfetta tenuta idraulica della struttura, soprattutto in corrispondenza della zona di contatto tra i diversi pannelli in c.a., e non prevede (se non con forte criticità) la possibilità di realizzare strutture a “pettine” così da ridurre l'interferenza con il secondo acquifero in pressione.

I risultati ottenuti sono ragionevoli e confermano, di fatto, quanto già indicato dalla matrice di valutazione (Tabella 3.1): la soluzione 2 è infatti quella che presenta, per tutti gli indicatori analizzati, valori preferibili, o al più uguali, a quelli

**ANALISI MULTICRITERI DELLE ALTERNATIVE DI  
PROGETTUALI**

---

delle altre alternative. Non si prevede, dunque, che il risultato ottenuto con il criterio della somma pesata dipenda dall'attribuzione dei pesi agli indicatori. In ogni caso, per verificare l'oggettività del risultato ottenuto è stata condotta un'analisi di sensitività, come di seguito illustrato.

3.2.2.2. *Analisi di sensitività*

Incertezza e soggettività sono le caratteristiche peculiari dell'attribuzione del vettore dei pesi, perché esso riflette comunque le preferenze del decisore o quelle di un particolare gruppo di interesse, tanto che ha poco senso cercare una soluzione "ottima". Può rivelarsi invece utile, quanto meno per chiarire la reale portata dei conflitti, l'individuazione di eventuali valori critici dei pesi, di quei valori cioè in corrispondenza dei quali la soluzione ottima cambierebbe, per confrontarli con i pesi espressi dai soggetti interessati.

Immaginando di tenere costanti tutti i pesi tranne uno, si tratta di determinare quali sono le massime variazioni di tale peso che lasciano inalterato l'ordinamento e che quindi non mutano la scelta finale.

Questo procedimento fornisce un aiuto notevole, perché segnala quali sono gli obiettivi per i quali una anche modesta variazione del valore attribuito al peso provoca dei mutamenti nella scelta finale e quali invece gli obiettivi per cui ciò non accade, consentendo di concentrare l'attenzione sui primi.

**ANALISI MULTICRITERI DELLE ALTERNATIVE DI  
PROGETTUALI**

I risultati forniti dall'analisi di sensitività mettono in luce che l'attribuzione di un peso differente ad alcuni indicatori potrebbe mutare l'ordinamento ottenuto con il metodo della somma pesata. I risultati riportati in Figura 3.4 mostrano nella prima colonna tutti gli indicatori ed il relativo peso normalizzato. La seconda colonna (sensitività sinistra) riporta il valore attribuito all'indicatore rappresentato nella riga, al di sotto del quale l'alternativa scritta a fianco risulterebbe essere preferibile. La terza colonna (sensitività destra) riporta il valore attribuito all'indicatore rappresentato nella riga, al di sopra del quale l'alternativa scritta a fianco risulterebbe essere preferibile.

VISPA - ANALISI DI SENSITIVITA'			C.I.Sud
Criteri	Pesi (SOL 2 )	Sensitività sinistra	Sensitività destra
COSTO	.200	-	-
INTERFEREN	.170	-	-
ACQUIFERI	.210	-	-
CONDOTTE	.210	-	-
TENUTA IDR	.210	-	-

*Figura 3.4 - VISPA: risultati dell'analisi di sensitività.*

L'analisi di sensitività evidenzia dunque che, pur variando i pesi attribuiti agli indicatori analizzati, la soluzione 2 risulta sempre quella preferibile.

**ANALISI MULTICRITERI DELLE ALTERNATIVE DI  
PROGETTUALI**

---

3.2.2.3. *Somma pesata parziale*

Si tratta di un ordinamento derivato dalla somma parziale, considerando solo alcuni indicatori. Questa modalità permette di creare degli ordinamenti basati su alcuni particolari obiettivi piuttosto che su altri.

Un primo ordinamento è stato formulato in base agli aspetti economici (costo di realizzazione).

Come riportato nella figura seguente, si evidenzia come l'alternativa 2 risulta preferibile rispetto alle altre, in quanto meno onerosa; seguono le soluzioni 3, 1 e 4.

VISPA - ORDINAMENTI - Somma pesata parziale (SPp) C.I.Sud	
Alternative	Valore
1. SOL 2	.200
2. SOL 3	.180
3. SOL 1	.160
4. SOL 4	.100

*Figura 3.5 - VISPA: risultati della somma pesata parziale relativa agli indicatori economici*

Concentrando l'attenzione sugli indicatori "ambientali", in termini di rischio di dispersione di inquinanti e di interferenza con la seconda falda, l'analisi multicriteri porta a ritenere preferibili, a parità di punteggio, le soluzioni 1, 2 e 3, che presentano le medesime caratteristiche dal punto di vista del "comportamento" dell'opera nei confronti dell'ambiente; in ul-

**ANALISI MULTICRITERI DELLE ALTERNATIVE DI  
PROGETTUALI**

tima posizione risulta l'opzione 4 che, come già evidenziato, offre sotto questo aspetto minori garanzie.

Studio ALTIERI S.r.l. Thiene (VI)		VISPA 1.3
VISPA - ORDINAMENTI - Somma pesata parziale (SPp)		
C.I.Sud		
Alternative	Valore	
1. SOL 1	.420	
2. SOL 2	.420	
3. SOL 3	.420	
4. SOL 4	.000	

*Figura 3.6 - VISPA: risultati della somma pesata parziale relativa agli indicatori ambientali.*

Le soluzioni 2 e 3 risultano inoltre preferibili per quanto riguarda l'indicatore relativo all'accessibilità della condotta acque meteoriche, in quanto, come già sottolineato, consentono di effettuare le operazioni di manutenzione della condotta senza interferire con le opere strutturali della banchina.

La soluzione 2 risulta infine preferibile anche nel caso in cui si consideri unicamente l'indicatore relativo alle interferenze in fase di esecuzione (comportando i minori volumi di scavo). In tal caso, la soluzione peggiore è l'opzione 1, che comporta in fase di esecuzione la maggiore movimentazione di materiale.

**ANALISI MULTICRITERI DELLE ALTERNATIVE DI  
PROGETTUALI**

---

## **4. CONCLUSIONI**

Grazie all'analisi svolta è stato possibile esprimere ordinamenti fra le alternative valutate, stilati in base a differenti criteri di valutazione, partendo da elementi il più possibile oggettivi ed utilizzando una metodologia razionale, "trasparente" e ripercorribile.

Per quanto riguarda l'intervento di realizzazione di banchine industriali da 50 kPa in progetto lungo la sponda sud del Canale Industriale Sud, l'analisi multicriteri svolta ha messo in luce quanto segue:

- la soluzione 2 (palancolato metallico composito e collettore all'interno del cordolo) risulta preferibile secondo tutti i criteri di valutazione adottati, dal momento che essa consente di raggiungere le finalità progettuali a costi inferiori rispetto alle altre alternative, offrendo adeguate garanzie nei confronti del comportamento ambientale/idraulico dell'opera strutturale, rendendo minime le interferenze con le attività produttive e la navigazione e consentendo, infine, una manutenzione agevole del collettore di adduzione delle acque a Fusina;
- la soluzione 3 (palancolato metallico con elementi a cassone e collettore all'interno del cordolo), pur fornendo le medesime garanzie da un punto di vista ambientale e di accessibilità al collettore fognario, presenta rispetto all'opzione 2

**ANALISI MULTICRITERI DELLE ALTERNATIVE DI  
PROGETTUALI**

---

costi di realizzazione leggermente maggiori (dovuti agli oneri di fornitura ed infissione dei pali a cassone e di realizzazione del cordolo in c.a.) e richiede la gestione di un maggior volume di materiale (per il maggiore ingombro del cordolo sommitale);

- la soluzione 1 (palancolato metallico composito e collettore a tergo del cordolo), pur fornendo le medesime garanzie da un punto di vista ambientale ed idraulico e costi di realizzazione confrontabili con quelli dell'alternativa 2, viene penalizzata dal fatto che non garantisce l'accessibilità alla condotta di adduzione delle acque meteoriche, posizionata al di sotto delle barre di ancoraggio del palancolato;
- la soluzione 4 (diaframma in c.a.) risulta nel complesso la meno preferibile. Il risultato è del tutto ragionevole se si considera che, nonostante comporti costi complessivi confrontabili con quelli dell'alternativa 2, pone maggiori incertezze circa il raggiungimento di obiettivi progettuali di fondamentale importanza: tenuta idraulica della struttura e minimizzazione delle interferenze con la seconda "falda".

In conclusione, la soluzione progettuale che verrà sviluppata nel presente progetto per le banchine portuali da 50 kPa con carroponte è l'alternativa 2: palancolato metallico composito tipo Salzgitter e cordolo sommitale contenete il collettore di adduzione delle acque meteoriche al depuratore di Fusina.

**ANALISI MULTICRITERI DELLE ALTERNATIVE DI  
PROGETTUALI**

---

La soluzione prevede inoltre l'installazione di un sistema di protezione catodica a maggiore garanzia della durabilità dell'opera strutturale.

Tale soluzione viene adottata anche nel caso di banchina industriale da 30 kPa (in area Pagnan) in cui, tuttavia, i minori oneri strutturali richiesti consentono l'utilizzo del tradizionale palancoato Larssen 430 tirantato in testa, senza struttura di contrasto a tergo. Il cordolo sommitale avrà dimensioni tali da poter ospitare il collettore delle acque meteoriche (3.2 m di base x 4.1 m di altezza).

Le conclusioni a cui ha portato l'analisi multicriteri condotta per le banchine industriali sono state infine estese alle opere di conterminazione, prevedendo, nei tratti in cui è richiesta la posa in opera del collettore delle acque meteoriche, la sua collocazione all'interno del cordolo di irrigidimento sommitale (di dimensioni 2.22 m x 4.1 m).

Si rimanda per la descrizione nel dettaglio delle diverse soluzioni progettuali adottate alla Relazione Descrittiva di progetto e agli elaborati grafici specifici (Tavole 11÷ 16).