



AUTORITA' PORTUALE DI CAGLIARI

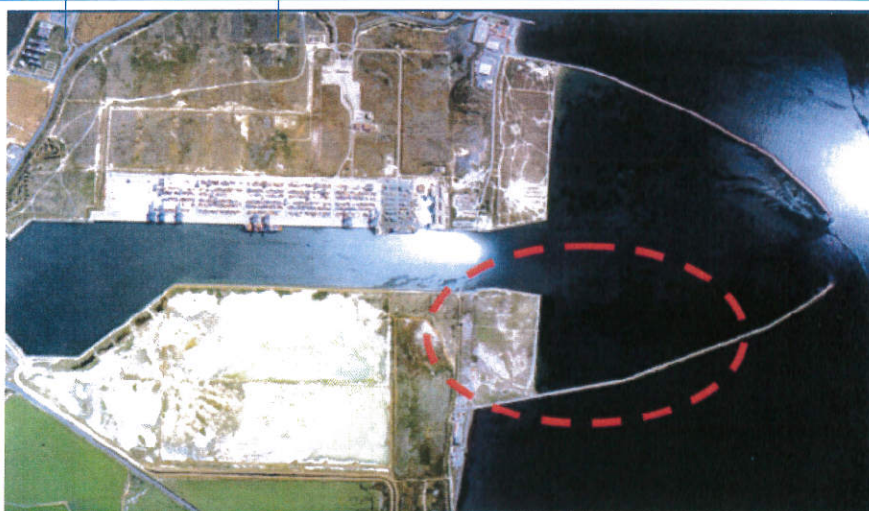
Stazione Marittima - Molo Sanita'
Cagliari



PORTO CANALE CAGLIARI LAY-UOT TERMINAL RO-RO

ANALISI MULTICRITERIA PROPEDEUTICA ALLA PROGETTAZIONE

revisione	data	descrizione della modifica
1	maggio 2011	funzioni obiettivo
2	giugno 2011	manovre di accosto piloti



Data :

29 AGOSTO 11

Prot:

008530

Perizia n°:

RIF. n.566

REDATTO DA:



MINISTERO DELLE INFRASTRUTTURE E DEI TRASPORTI

Provveditorato Interregionale alle OO.PP. Lazio, Abruzzo e Sardegna

Sede Coordinata di Cagliari

Ufficio Opere Marittime

Ing. Walter Quarto

Dott. Roberto Solinas

Collaboratori:

P. I. Rinaldo Cotza

Geom. Anna Pala

Il Dirigente
Ing. Carlo Guglielmi

Il Consulente
Ing. Gianfranco Fancello



Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti

Provveditorato Interregionale per le OO.PP. Lazio, Abruzzo e Sardegna

Ufficio Opere Marittime

Sede Coordinata di Cagliari.

ANALISI DI TIPO MULTICRITERIA PROPEDEUTICA ALLA PROGETTAZIONE DEL TERMINAL RORO NEL PORTO CANALE DI CAGLIARI

Premesse

Nella riunione tecnica del 9 novembre 2010, alla presenza dei rappresentanti dei Piloti del porto di Cagliari e della Capitaneria di porto è stata presentata alla Committente Autorità Portuale, la sintesi dei diversi lay-out progettuali. Il progettista, coadiuvato dai consulenti, ha illustrato i punti di forza e punti di debolezza di tutte e cinque le configurazioni portuali, è stato spiegato, nel dettaglio, quali sono state le opzioni poste a base delle diverse ipotesi progettuali, secondo le indicazioni fornite dalla Autorità Portuale.

I presenti alla riunione hanno ritenuto, che tutte le diverse opzioni erano valide come impostazione e meritorie di approvazione. Il Committente ha ritenuto necessario, onde adottare una soluzione oggettiva e valida, sottoporre le diverse opzioni a tecniche di valutazione comparata. Il Provveditorato alle OO. PP. sede coordinata di Cagliari è stato incaricato a procedere in tal senso. Considerata la complessità dello studio, l'ufficio di progettazione, nella stesura di questo documento si è avvalso della consulenza di un professionista esterno esperto in materia individuato nell'elenco dei professionisti esterni all'Amministrazione.

Il metodo scelto per la comparazione è l'Analisi Multicriteria.

Prima della stesura dell'analisi comparata, per ogni alternativa progettuale, sono stati individuati i parametri qualitativi e quantitativi per poter definire le funzioni obiettivo. Durante il periodo di elaborazione dei parametri, sono state fatte diverse riunioni con il

comandante dei piloti del porto di Cagliari, finalizzate: all'esame delle diverse tipologie di approdo con e senza l'uso dei rimorchiatori, all'analisi delle diverse rotte in ingresso al porto canale, alla valutazione delle interferenze con il traffico delle navi che operano attualmente e che opereranno nel futuro, e alla stima dei tempi di attesa per l'ormeggio.

Per quanto riguarda la stima dei costi e dei tempi di esecuzione si è fatto riferimento a progetti simili, in corso di esecuzione e/o di progettazione, che si stanno eseguendo nell'ambito del porto canale e del porto storico. Occorre precisare che nella stima dei costi e dei tempi delle diverse alternative progettuali, la scogliera di protezione, che necessita di un appropriato studio meteo marino, non è stata considerata. Sia per la mancanza di una conformazione esatta sia perché comunque sarebbe la stessa, nelle diverse ipotesi, pertanto neutra rispetto all'area di meta denominata "*Caratteristiche tecniche*"

Per una maggiore lettura dei risultati della presente analisi multicriteria, occorre precisare quanto segue:

- per quanto riguarda i dragaggi e la conseguente stima del bilancio dei materiali da riutilizzare, portare a colmata e/o conferire a discarica, tutte le valutazioni sono volutamente avulse dai programmi di realizzazione delle opere portuali. Non sono state considerate le dinamiche progettuali di interventi in ambito costiero che potrebbero richiedere parte del materiale in esubero proveniente dai dragaggi, ovvero avere la necessità di conferire i propri materiali in altri siti. Questa scelta ha reso indipendente la corrispondente funzione obiettivo e la valutazione dei pesi dell' "area di meta" in cui al F. O. è stata inserita.
- Nella definizione delle funzioni obiettivo si è valutato attentamente, per le singole ipotesi, il numero di ormeggi, la loro flessibilità e il costo di gestione. Nella stima dei pesi delle aree di meta è stata prestata notevole cura nel valutare attentamente l'incidenza dell'operatività, della gestione e della funzionalità.

1. Introduzione

Il presente documento costituisce la relazione illustrativa inerente lo sviluppo di un'analisi multicriteria applicata al porto di Cagliari. In particolare l'attività è finalizzata ad individuare una procedura oggettiva e trasparente per la scelta del lay out definitivo relativo al nuovo terminal portuale Ro Ro merci da realizzare nell'avamposto del Porto Canale, rispetto al quale poi verranno sviluppate le successive azioni progettuali (progetto preliminare, definitivo ed esecutivo).

L'attività ricade all'interno dell'ampia tematica sulla valutazione degli investimenti pubblici, finalizzata ad individuare un'alternativa progettuale rispetto ad altre di pari livello: tali procedure sono consigliabili per contesti nei quali l'oggetto di tale scelta, sia esso un'infrastruttura o un servizio, presenti elementi di complessità, ovvero sia caratterizzato da variabili diverse ed in contrasto fra loro. Appare infatti evidente come l'oggetto di questo studio (terminal RoRo) abbia le caratteristiche di un classico progetto intersettoriale, in quanto caratterizzato da parametri molto diversi fra di loro quali quelli di tipo infrastrutturale, gestionale, funzionale, di costruzione, ambientale, ect..

Poiché in fase di individuazione preliminare della nuova infrastruttura sono emerse diverse ipotesi di organizzazione del lay-out portuale, si è reso necessario individuare una tecnica di valutazione consolidata che tenesse conto, nella fase di scelta della soluzione finale, di tutte le variabili in gioco e le valutasse in modo adeguato.

Lo sviluppo del lavoro è proceduto per fasi, sinteticamente riportate nel presente documento:

- *analisi preliminare del progetto e definizione delle alternative progettuali;*
- *individuazione delle aree di meta, delle funzioni obiettivo;*
- *compilazione della matrice degli effetti e dei set di pesatura;*
- *elaborazione dell'analisi concordante ed analisi di sensitività;*
- *valutazione definitiva e report finale.*

2. Aspetti metodologici

E' noto come i processi di decisione e scelta che riguardano i sistemi complessi sono, per loro natura, "multiobiettivo" in quanto necessariamente chiamati a dover interagire con gli aspetti tecnici, economici, sociali, politici, ambientali, che connotano tali sistemi e che sono, anch'essi per loro natura, contrastanti e non facilmente riconducibili ad un'unità di misura omogenea.

Per poter correttamente individuare la soluzione più idonea, è necessario valutare indicatori, parametri, variabili di tipo plurisetoriale, che si riferiscano cioè ad aspetti molto differenti fra di loro, come quelli geografici, tecnici, trasportistico-gestionali, ambientali, economico-sociali, ect.

Tali obiettivi spesso appaiono in larga misura contrastanti fra di loro, rendendone così impossibile un perseguimento contemporaneo: per tale motivo la valutazione della soluzione migliore, in questo caso definita "di miglior compromesso", necessita dell'applicazione di una tecnica di tipo multiobiettivo, che garantisca, rispetto a quella più tradizionale monobiettivo, la possibilità di trattare funzioni e parametri relativi ad ambiti differenti e non valutabili dal solo punto di vista economico-finanziario (come richiederebbe un'analisi costi-benefici).

Con le tecniche di analisi multicriteri (A.M.C.), è possibile il confronto e l'ordinamento delle alternative attraverso l'uso di dati di varia natura, comunque combinati (qualitativi e quantitativi, discreti e continui, cardinali, nominali od ordinali).

Sono disponibili diversi algoritmi multiobiettivo, non tutti però adatti per il medesimo tipo di valutazione: ciò dipenderà dal tipo di valutazione (rating, ranking, decision making, ect).

Elemento centrale dell'analisi risulta essere la "*matrice degli effetti*", le cui colonne sono relative alle diverse alternative progettuali mentre le righe si riferiscono ai diversi criteri di giudizio o "*funzioni obiettivo*", definite in relazione alle diverse esigenze o necessità definite dal decisione e che costituiscono la base di riferimento per la valutazione: tali criteri possono essere quantitativi o qualitativi, di tipo cardinale, ordinale o, addirittura, soltanto nominale.

Le funzioni obiettivo vengono poi raggruppate in “aree di meta”, rappresentative delle finalità assegnate al progetto dai diversi soggetti coinvolti nel processo decisionale. Il raggruppamento delle funzioni obiettivo in aree di meta si rende inoltre necessario per evitare sbilanciamenti dovuti al diverso numero di funzioni presenti in ogni area di meta, oltrechè consentire, durante l’analisi, di valutare il rendimento di ogni singola alternativa in ragione di differenti schemi di ponderazione.

Di norma le funzioni obiettivo devono essere:

- *non ridondanti, al fine di non sopravvalutare un’area di meta e, di conseguenza, non condizionare la valutazione delle alternative;*
- *esaustive, in modo da non trascurare funzioni rappresentative per l’analisi;*
- *misurabili, quantitativamente e/o qualitativamente, in modo da avere un riscontro «oggettivo» dell’alternativa sull’obiettivo.*

Fondamentale, in un’analisi multicriteria, è la fase di attribuzione dei “pesi” alle diverse aree di meta, che consentono all’analista di dedurre le priorità e gli indirizzi del decisore politico.

Una metodologia di definizione dei pesi è quella della *stima diretta*, che consiste nel tradurre direttamente in termini numerici (ponderazione) le priorità formulate dal soggetto decisionale o gruppo sociale intervistato. Sostanzialmente i pesi appaiono come i coefficienti di una funzione di utilità U più o meno complessa, spesso espressa in forma lineare per motivi di maggiore trattabilità analitica.

Un altro metodo di stima diretta è il metodo del *rating*, nel quale al decisore si chiede di ordinare i criteri e gli obiettivi in ordine d’importanza, verificando che la somma dei pesi relativi sia sempre unitaria.

I procedimenti di *stima indiretta* si basano invece su dichiarazioni di preferenza o indifferenza e possono dividersi in due gruppi: quelli nei quali i pesi possono essere stimati in base a scelte concrete fatte in passato (*Revealed Preference*), oppure in base ad una classificazione delle alternative effettuata su dichiarazioni di comportamento future (*Stated Preference*).

L’analisi di sensibilità (o di sensitività) applicata all’AMC, consiste nel far variare i pesi per esaminare la loro influenza sul risultato: la

scelta assunta è *solida* quando variazioni relativamente importanti delle misure dei pesi non determinano una diversa selezione. Se, al contrario, è sufficiente modificare leggermente i pesi per alterare la decisione originaria, quest'ultima è *instabile*. E' particolarmente utile ricercare i valori critici delle pesature, cioè quelli che fanno *oscillare* la decisione iniziale, in quanto conoscendo i valori critici, il decisore può eccezionalmente modificare i suoi pesi, inducendo un'iterazione nel processo di decisione.

Come detto in precedenza, sono numerose le tecniche di valutazione degli investimenti di tipo multicriteria: nel caso in esame, ci si trova di fronte ad processo decisionale caratterizzato da un'attitudine o aggregazione "parziale" basata sulla problematica "a" tipica dei processi di selezione e scelta.

Fra queste tecniche, l'Analisi Concordante è una delle procedure più utilizzate per la selezione delle alternative nel campo dei trasporti: essa è quella che, su progetti connessi ai trasporti o al territorio, ha fornito risultati mediamente positivi in numerose applicazioni in campo internazionale. Il risultato finale dell'analisi è l'individuazione dell'alternativa di miglior compromesso, ovvero della soluzione "non ottima" (per definizione) che si comporta mediamente bene su tutti gli obiettivi.

3. L'analisi concordante

Di seguito si riportano schematicamente i principali punti che caratterizzano la tecnica dell'analisi concordante:

1. Normalizzazione della matrice degli effetti, attraverso la trasformazione delle variabili dimensionali delle funzioni obiettivo in parametri adimensionali, sulla base del processo di minimizzazione o massimizzazione delle stesse funzioni obiettivo¹.

¹ Si utilizzano:

$$\begin{aligned} r_{ij} &= Z_{ij} / \max_k (Z_{kj}) && \text{per le funzioni da massimizzare} \\ r_{ij} &= 1 - (Z_{ij} / \max_k (Z_{kj})) && \text{per le funzioni da minimizzare} \end{aligned}$$

2. Avvio del confronto “a coppie” delle diverse alternative progettuali, attraverso la definizione del campo di concordanza e di discordanza²;
3. Definizione dell'indice di concordanza e di discordanza, per la valutazione, nel confronto “a coppie” di quanto un'alternativa progettuale “domina” l'altra o, al contrario, di quanto questa viene “dominata”³;
4. Definizione degli indici globali di dominanza della concordanza e di dominanza della discordanza, per valutare la “bontà” o “cattiveria” delle soluzioni rispetto a tutte le altre⁴.
5. Analisi di sensibilità e variabilità della soluzione, attraverso la variazione degli schemi di pesatura delle aree di meta;
6. Scelta della soluzione di miglior compromesso.

² Campo di concordanza $C_{ij'} = \{i : r_{ij} \geq r_{ij'}\}$;
 Campo di discordanza $D_{ij'} = \{i : r_{ij} \leq r_{ij'}\}$

³ Indice di concordanza: $c_{ij'} = \sum_{i \in C_{ij'}} w_i \quad \forall j \neq j'$,

$$d_{jj'} = \sum_{i \in D_{jj'}} \left\{ w_i |r_{ij} - r_{ij'}| / d^{\max} \right\} / m$$

- di discordanza: $d_{jj'} = \sum_{i \in D_{jj'}} \left\{ w_i |r_{ij} - r_{ij'}| / d^{\max} \right\} / m$, $\forall j \neq j'$ con

$$d^{\max} = \max \{w_i |r_{ij} - r_{ij'}|\}; \quad i \in D_{jj'}$$

⁴ Gli indici di dominanza:

della concordanza $c_j = \sum_{j' \neq j} c_{jj'} - \sum_{j' \neq j} c_{j'j}$;

della discordanza $d_j = \sum_{j' \neq j} d_{jj'} - \sum_{j' \neq j} d_{j'j}$,

4. Descrizione della alternative progettuali

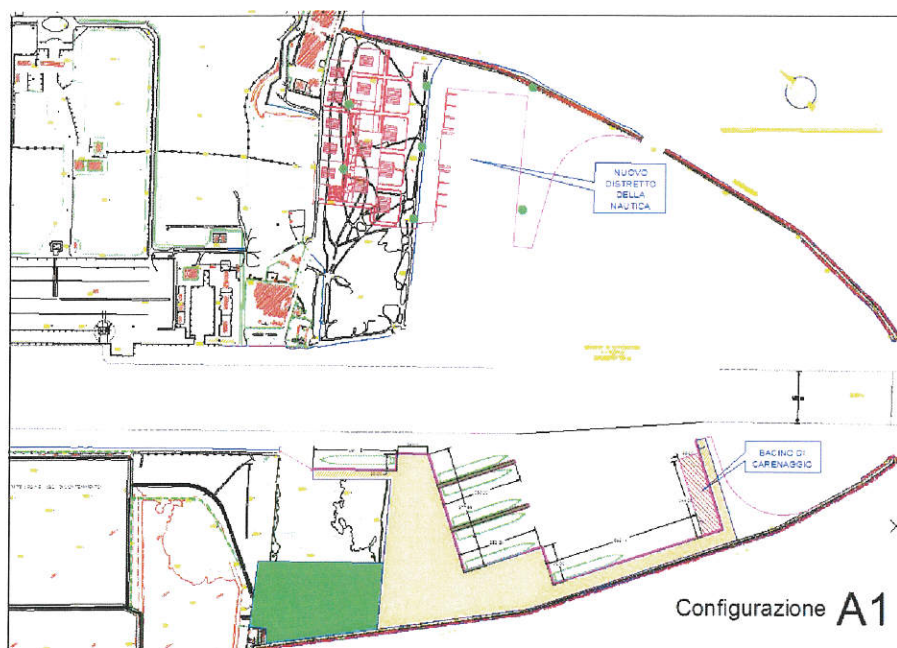
La comparazione è basata su 5 differenti ipotesi progettuali, concordate e vagliate dalla Committente Autorità Portuale: tali ipotesi sono tutte equivalenti ed indipendenti fra loro, ovvero ciascuna di queste è in grado di poter essere realizzata ed essere funzionale in assenza delle altre.

Le cinque alternative progettuali sono di seguito rappresentate:

IPOTESI A1:

Caratteristiche Generali:

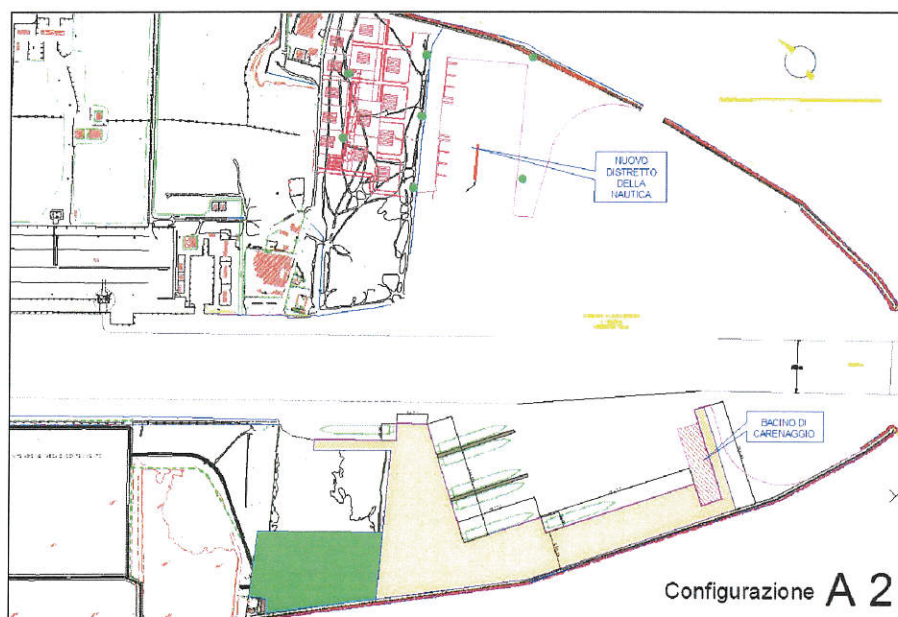
- lunghezza banchine: 1.990 m.
- superficie nuovi piazzali mare: 188.164 mq.
- piazzali a terra da NPRP : 87.737 mq
- pontili da 250 m: n° 2
- costi di realizzazione € 133.400.000



IPOTESI A2:

Caratteristiche Generali:

- lunghezza banchine: 2.037 m.
- superficie nuovi piazzali mare: 222.482 mq.
- piazzali a terra da NPRP : 87.737 mq
- pontili da 250 m: n° 2
- costi di realizzazione € 137.500.000



Pregi Configurazioni A (A1 ed A2):

- Caratterizzate da un numero elevato di ormeggi, fino a 7, consentono di soddisfare la domanda futura, nel caso siano confermati gli sviluppi previsti.
- Orientamento ottimale degli ormeggi, le navi sono orientate secondo la direzione dei venti dominanti.
- Presenza a fianco del bacino di carenaggio di una banchina di allestimento di navi in transito o in disarmo.

- Configurazione ottimale dei piazzali per il carico e scarico delle merci, con tragitti di percorrenza limitati.
- Possibilità di realizzare, in banchina dedicata, un doppio fascio di binari, per il contemporaneo carico/scarico.
- Flessibilità nella esecuzione dei lavori per la presenza dei pontili di ormeggio;
- Possibilità di disporre già di 6 attracchi con la sola realizzazione del piazzale.

Criticità Configurazioni A (A1 ed A2):

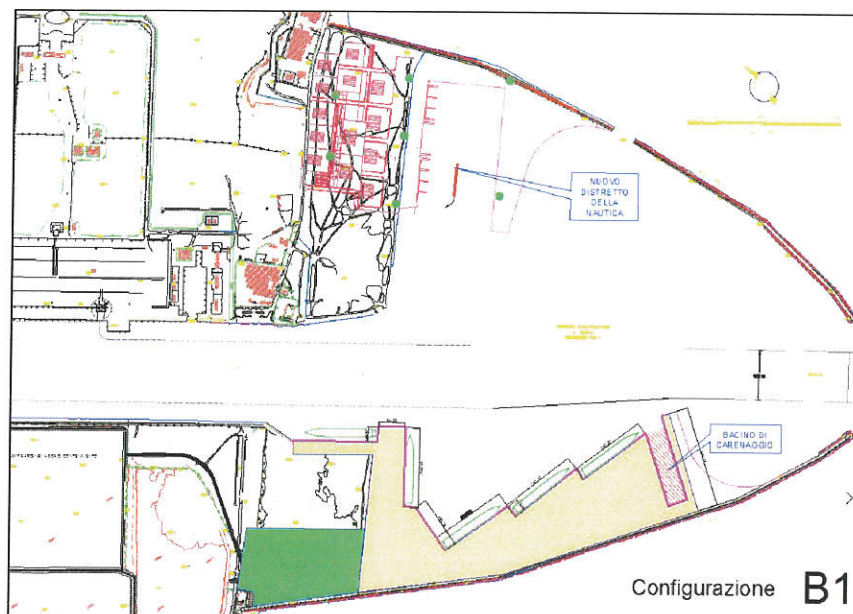
- Maggiore durata nelle manovre di ormeggio.
- Per l'attracco posizionato lungo la banchina interna del molo più a sud le manovre di ormeggio e partenza sono più lunghe a causa dei limitati spazi di manovra. Questo difetto è più accentuato nella soluzione A1.
- Minor superficie dei piazzali rispetto alle altre configurazioni. Ciò comporta una riduzione dei volumi disponibili per conferire i sedimenti di dragaggio, ed un incremento dei volumi di materiale da dragare; lo specchio acqueo è più ampio. Questa particolarità è più accentuata nella soluzione A1.
- Maggiori costi di esecuzione per la presenza di due pontili di ormeggio.

IPOTESI B1:

Caratteristiche Generali:

- lunghezza banchine: 2.306 m.
- superficie nuovi piazzali mare: 260.653 mq.
- piazzali a terra da NPRP : 87.737 mq

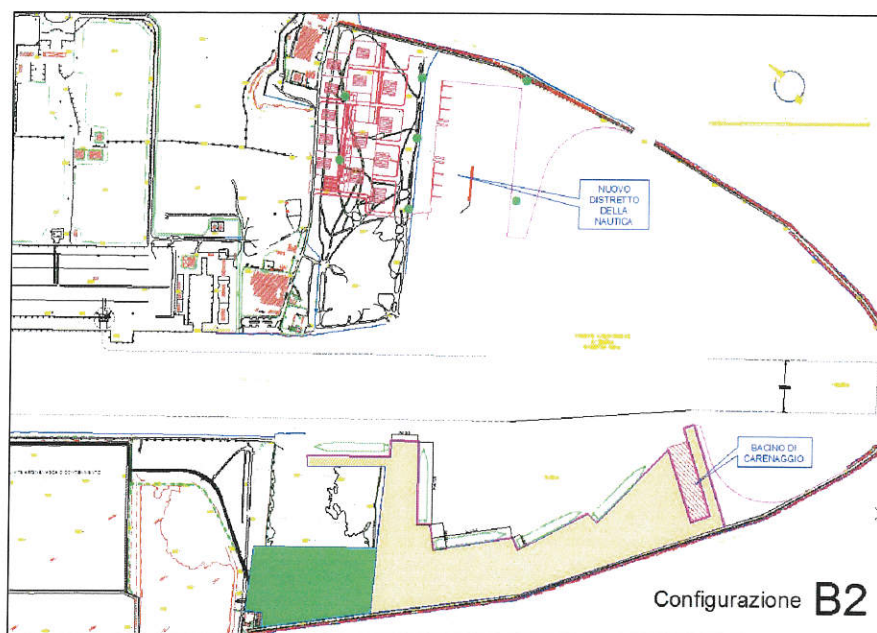
- costi di realizzazione € 131.750.000



IPOTESI B2:

Caratteristiche Generali:

- lunghezza banchine: 2.613 m.
- superficie nuovi piazzali mare: 240.187 mq.
- piazzali a terra da NPRP : 87.737 mq
- costi di realizzazione € 129.350.000



Pregi Configurazioni B (B1 ed B2):

- Buona operatività in tutti gli attracchi: le manovre di ormeggio e di partenza non sono complesse ed è agevole l'assistenza del rimorchiatore.
- La superficie dei piazzali è superiore rispetto alle altre, conseguentemente si hanno maggiori volumi per conferire i sedimenti marini da dragare e un minore volume del materiale da dragare per l'approfondimento a quota -11,00 s.l.m.m.. Nella soluzione B2 ciò è molto evidente.
- Buona protezione del moto ondoso per i 3 accosti più interni.

Criticità Configurazioni B (B1 ed B2):

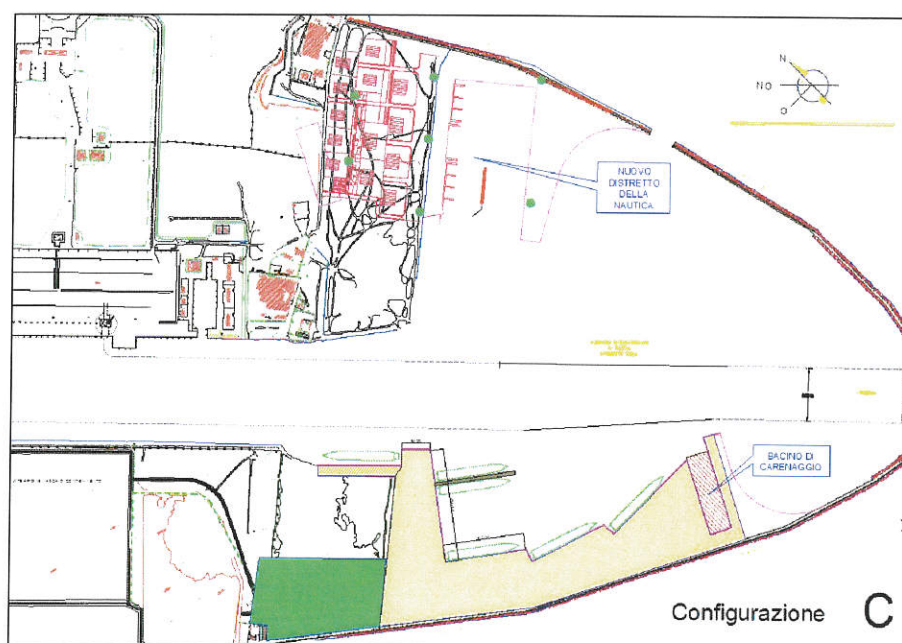
- Gli ormeggi non sono orientati secondo la direzione dei venti dominanti. Tale difetto è più evidente nella soluzione B2.
- La configurazione dei piazzali non è ottimale in quanto i mezzi pesanti, per raggiungere gli imbarchi, devono percorrere distanze maggiori rispetto alle configurazioni di tipo A.

- Manca la banchina di allestimento a servizio del bacino di carenaggio per le navi in transito o in disarmo.
- Minor numero di attracchi, cinque, ben due in meno rispetto alle soluzioni A.
- Il numero di attracchi a disposizione sulla radice è nettamente inferiore a quelli della configurazione A: ciò significa che eventuali fasi intermedie nella realizzazione dei lavori garantirebbero un ulteriore minor numero di attracchi a disposizione rispetto alle soluzioni A.

IPOTESI C:

Caratteristiche Generali:

- lunghezza banchine: 2.264 m.
- superficie nuovi piazzali mare: 240.637 mq.
- piazzali a terra da NPRP : 87.737 mq
- costi di realizzazione € 135.500.000



Pregi Configurazione C:

- Buona operatività degli attracchi, manovre semplici e veloci.
- Dimensioni buone degli spazi di manovra.
- Possibilità di utilizzo dei rimorchiatori per tutti gli attracchi.
- Buona protezione dal moto ondoso per gli attracchi interni.
- Flessibilità nella esecuzione dei lavori per la presenza del pontile di ormeggio.

Criticità Configurazione C:

- Gli ormeggi non sono tutti orientati secondo la direzione dei venti dominanti.
- I costi di costruzione hanno una valutazione intermedia fra le soluzioni A e B.
- Manca la banchina di allestimento a servizio del bacino di carenaggio per le navi in transito o in disarmo.
- Minor numero di attracchi, sei, uno in meno rispetto alle soluzioni A.
- La disposizione degli attracchi non è ottimale in quanto almeno uno degli attracchi risulta essere molto lontano dal piazzale operativo.

5. Descrizione delle funzioni obiettivo prescelte

Complessivamente sono state individuate, di concerto con la Committenza, 18 differenti funzioni obiettivo, rappresentative degli aspetti riguardati la funzionalità del terminal e delle sue caratteristiche di realizzazione e di gestione. Le 18 funzioni sono di seguito elencate:

1. costi di realizzazione per ormeggio;
2. tempi di realizzazione per ormeggio;
3. modularità dell'intervento (1° modulo);

4. modularità dell'intervento (1°+ 2° modulo);
5. volumi di sedimenti da dragare per ormeggio;
6. superficie totale piazzali;
7. bilancio dei materiali per ormeggio;
8. n° ormeggi;
9. n° stalli a disposizione;
10. orientamento ormeggi;
11. superficie aree di deposito semirimorchi;
12. distanza aree di deposito dagli imbarchi;
13. accessibilità via mare (facilità manovra, durata manovre);
14. sicurezza/rischio incidenti;
15. numero ormeggi destinati RoRo tradizionale;
16. oneri annuali manutenzione impianto elettrico;
17. oneri annuali manutenzione arredi banchina;
18. oneri annuali manutenzione piazzali.

Le 18 funzioni obiettivo sono state raggruppate in 4 aree di *meta*:

- A. *caratteristiche tecniche*;
- B. *aspetti ambientali*;
- C. *operatività e funzionalità*;
- D. *gestione del terminal*.

Di seguito si riportano, in tabella, l'aggregazione delle funzioni obiettivo per aree di meta, l'unità di misura prescelta per la loro misurazione ed alcune note che ne specificano la loro natura.

A. Caratteristiche Tecniche

Funzione Obiettivo	Unità di misura	note
Costi di realizzazione per ormeggio	mil € per singolo ormeggio	
Tempi di realizzazione per ormeggio	n° mesi per singolo ormeggio	
Modularità dell'intervento (1° modulo)	n°ormeggi per il 1° modulo	Il 1° modulo corrisponde alla realizzazione del 50% (versante nord) del piazzale posto alla radice
Modularità dell'intervento (1°+ 2° modulo)	n°ormeggi per il 1° ed il 2° modulo	Il 2° modulo corrisponde al completamento del 100% del piazzale posto alla radice

B. Aspetti ambientali

Funzione Obiettivo	Unità di misura	Note
Volumi di sedimenti da dragare per ormeggio	mc per singolo ormeggio	
Superficie totale piazzali	mq superficie per singolo ormeggio	
Bilancio dei materiali per ormeggio	mc per singolo ormeggio	Il bilancio è misurato come differenza fra i volumi di sedimenti da dragare dal fondo e quelli necessari per realizzare i piazzali dell'assetto portuale proposto

C. Operatività e funzionalità

Funzione Obiettivo	Unità di misura	Note
N° ormeggi	n° ormeggi	
N° stalli a disposizione	n° ormeggi a disposizione	Rappresenta il numero di eventuali stalli aggiuntivi a disposizione rispetto all'assetto portuale proposto
Orientamento ormeggi	n° ormeggi orientati dentro il quadrante con orientamento N-NO-O	
Superficie aree di deposito semirimorchi	mq spazi per ormeggio	Tale valore è calcolato come superficie aggiuntiva rispetto a quella valutata nella configurazione B2 (minima)
Distanza aree di deposito dagli imbarchi	distanza totale diviso numero totale stalli	E' stata valutata rispetto ad un punto virtuale uguale per tutte le configurazioni (punto medio della

		base della radice della banchina)
Accessibilità via mare (facilità manovra, durata manovre)	Somma delle lunghezze delle rotte di attracco totali diviso numero stalli	Le rotte di attracco sono state definite in collaborazione con il Corpo Piloti del Porto di Cagliari
Sicurezza/rischio incidenti	Occupazione (in mq) del cerchio di manovra delle navi rispetto al corridoio centrale di transito delle navi portacontainer	

D. Gestione del terminal

Funzione Obiettivo	Unità di misura	Note
Numero ormeggi destinati RoRo tradizionale	Differenza fra totale ormeggi e n° ormeggi dedicati	AP ha chiesto di riservare n°1 ormeggio per un eventuale invaso ferroviario e n°2 ormeggi per RoRo da attrezzare con sistemi di precarico automatizzato.
Oneri annuali manutenzione impianto elettrico	mil € per mq piazzale*anno	
Oneri annuali manutenzione arredi banchina	mil € per ml banchina*anno	
Oneri annuali manutenzione piazzali	mil € per mq piazzale*5 anni	

6. Matrice degli effetti

A seguito di questa definizione delle funzioni obiettivo, è stata definita la matrice degli effetti. Di seguito si riporta la matrice completa in valore assoluto e la versione normalizzata da utilizzare nei calcoli.

MATRICE FINALE

Aree di meta		Funzioni obiettivo	Scenari				
Caratteristiche Tecniche			Scenario A1	Scenario A2	Scenario B1	Scenario B2	Scenario C
			19.057.142,86	19.642.857,14	26.350.000,00	25.870.000,00	22.583.333,33
	costi di realizzazione per ormeggio		13,71	13,71	16,00	17,00	14,17
	tempi di realizzazione per ormeggio		3	3	2	2	3
	modularità dell'intervento (1° modulo)		6	6	3	3	4
	modularità dell'intervento (1°+ 2° modulo)						
	Volumi di sedimi da dragare per ormeggio						
Aspetti ambientali	Superficie totale piazzali		246.834,42	246.511,66	256.411,94	277.503,06	228.721,22
	Bilancio dei materiali per ormeggio		118.163,61	222.482,24	260.653,44	240.187,44	246.637,58
Operatività	n° ormeggi		112.221,92	87.670,92	0,10	50.150,89	33.003,22
	n° stalli a disposizione		7	7	5	5	6
	orientamento ormeggi		1	1	0	0	0
	Superficie aree di deposito semirimorchi		7	7	4	4	6
	distanza aree di deposito dagli imbarchi		30471,31	30663,33	13910,46	1	6090,64
	Accessibilità via mare (facilità manovra, durata manovre)		237,5871429	234,2828571	341,746	281,902	298,275
	Sicurezza/ rischio incidenti		1310,09	1300,934286	1470,108	1461,956	1431,236667
	Numero ormeggi destinati RoRo tradizionale		0,0212335	0,1836102	0,1521716	0,1161814	0,2554229
Gestione del terminal	oneri annuali manutenzione impianto elettrico		4	4	2	2	3
	oneri annuali manutenzione arredi banchina		753.830	889.508	1.044.242	960.835	991.182
	oneri annuali manutenzione piazzali		31.294	31.248	35.934	35.269	34.600
			267.342	315.459	370.335	340.755	351.518

MATRICE FINALE NORMALIZZATA

Aree di meta	Funzioni obiettivo	Scenari				
		Scenario A1	Scenario A2	Scenario B1	Scenario B2	Scenario C
Caratteristiche Tecniche	costi di realizzazione per ormeggio	0,276768772	0,254540526	0	0,018216319	0,276768772
	tempi di realizzazione per ormeggio	0,193277311	0,193277311	0,058823529	0	0,193277311
	modularità dell'intervento (1° modulo)	1,00000000	1,00000000	0,666666667	0,666666667	1,00000000
	modularità dell'intervento (1°+ 2° modulo)	1,00000000	1,00000000	0,50000000	0,50000000	1,00000000
Aspetti ambientali	Volumi di sedimi da dragare per ormeggio	0,11051639	0,11167948	0,07600320	0,00000000	0,11051639
	Superficie totale piazzali	0,45333608	0,85355574	1,00000000	0,92148195	0,45333608
	Bilancio dei materiali per ormeggio	0,00000000	0,21877190	0,99999911	0,55310970	0,00000000
	n° ormeggi	1,00000000	1,00000000	0,71428571	0,71428571	1,00000000
Operatività	n° stalli a disposizione	1,00000000	1,00000000	0,00100000	0,00100000	1,00000000
	orientamento ormeggi	1,00000000	1,00000000	0,57142857	0,57142857	1,00000000
	Superficie aree di deposito semirimorchi	0,99373780	1,00000000	0,45365132	0,00003261	0,99373780
	distanza aree di deposito dagli imbarchi	0,30478442	0,31445326	0,00000000	0,17511251	0,30478442
Gestione del terminal	Accessibilità via mare (facilità manovra, durata manovre)	0,10884779	0,11507570	0,00000000	0,00554517	0,10884779
	Sicurezza/ rischio incidenti	0,91686922	0,28115221	0,40423649	0,54514095	0,91686922
	Numero ormeggi destinati RoRo tradizionale	1,00000000	1,00000000	0,50000000	0,50000000	1,00000000
	oneri annuali manutenzione impianto elettrico	0,27810795	0,14817830	0,00000000	0,07987325	0,27810795
	oneri annuali manutenzione arredi banchina	0,12912562	0,13040574	0,00000000	0,01850615	0,12912562
	oneri annuali manutenzione piazzali	0,27810766	0,14817935	0,00000000	0,07987363	0,27810766

7. Set di Pesatura

Inizialmente è stato proposto, per le 4 aree di meta prescelte, una struttura del set di pesatura di tipo "classico", ovvero:

- Peso uguale a tutte e 4 le aree di meta (0,25 cadauna);
- Peso doppio ad ogni singola area di meta, rispetto alle altre 3, che lo mantengono uguale (0,50 la prima e 0,16 le altre).

Poiché i primi risultati (che verranno discussi nel successivo paragrafo) non hanno evidenziato chiaramente una soluzione dominante sulle altre, si è reso necessario avviare l'analisi di sensibilità, consistente nell'attribuzione di differenti set di pesatura alle aree di meta, in modo da "stressare" l'analisi al fine di far emergere maggiormente la soluzione di miglior compromesso.

In totale, sono state pertanto valutate n°40 differenti alternative di pesatura, riportate nella tabella dei risultati.

Sempre all'interno dell'analisi di sensibilità, si è deciso poi di accorpare alcune aree di meta, al fine di valutare il comportamento ulteriore delle differenti alternative.

Gli accorpamenti effettuati hanno riguardato le aree di meta "Caratteristiche tecniche" ed "Aspetti ambientali" messe insieme in un'unica area di meta denominata "Caratteristiche tecniche" ed ambientali";

Altri accorpamenti fra aree di meta non sono risultati significativi, per via dei contenuti differenti delle diverse funzioni obiettivo. Nella tabella di seguito sono riportati i risultati ottenuti con n°26 set di pesatura delle differenti aree di meta.

8. Risultati

Dalla lettura dei risultati si nota che due alternative emergono come maggiormente significative, ovvero la **A2** e la **C**, mentre, a parte un singolo caso, non compaiono mai le altre opzioni (A1, B1, B2).

Analizzando in dettaglio i risultati emergono in sintesi i seguenti aspetti:

n° 4 Aree di meta

- se viene dato un peso esattamente uguale (0,25) a tutte e quattro le aree di meta, le soluzioni prescelte risultano essere sia la A2 che la C;
- se il peso fra le differenti aree di meta è “abbastanza” simile ma non uguale (variabile fra 0,20 e 0,30 per singola area di meta), si registra un comportamento differente: in un caso prevale la soluzione A2, in altri la soluzione C, in altri ancora nessuno dei due, a testimonianza del fatto che non vi è, in questo caso, una soluzione nettamente prevalente;
- se si raddoppia il peso di un’area di meta rispetto a quello delle altre, per le quali invece viene quasi dimezzato (con pesi valutabili intorno a 0,50 nel primo caso ed a 0,16-0,17 negli altri), si evidenzia come emergono sia la soluzione A2, che la C; anche in questo caso, quindi non emerge una netta prevalenza di una delle due soluzioni rispetto all’altra;
- se si penalizza fortemente l’area di meta “Aspetti ambientali”, con valori del peso non superiori a 0,07, emerge, quasi sempre, una netta prevalenza della soluzione A2 rispetto alle altre, a testimonianza di come tale soluzione diventi quella da preferire, o comunque quella di “miglior compromesso” quando si attribuisce un basso peso alle funzioni ambientali;
- se, al contrario, si assegna un rilevante peso all’area di meta “aspetti ambientali” (anche se non rilevante), in alcuni casi (non in tutti) emerge una prevalenza della soluzione C rispetto all’altra;
- in tutti gli altri casi non si rileva alcuna soluzione prevalente.

n° 3 aree di meta (accorpamento "Caratteristiche tecniche" ed "Aspetti ambientali" in "Caratteristiche tecniche ed ambientali").

- se viene dato un peso esattamente uguale (0,33) a tutte e tre le aree di meta, non viene individuata alcuna soluzione prevalente;
- se vengono assegnati alle diverse aree di meta pesi "abbastanza simili" (variabili fra 0,45 e 0,25), si registra in un caso una prevalenza della soluzione A2 (quella con un peso maggiore dell'area di meta "Caratteristiche tecniche ed ambientali"), mentre negli altri casi non si registra una soluzione prevalente;
- nel caso di una rilevante prevalenza dell'area di meta "Caratteristiche tecniche ed ambientali", con valori del peso superiore a 0,50, si rileva in due casi la prevalenza della soluzione A2, mentre in altre tre si rileva una prevalenza della soluzione C. Negli altri casi non si rileva una soluzione prevalente.
- nel caso di una netta prevalenza (peso pari a 0,80) dell'area di meta "Caratteristiche tecniche ed ambientali" rispetto alle altre due (0,10), si rileva la prevalenza della soluzione C;
- in tutti gli altri casi non si rileva alcuna soluzione prevalente.

9. Commenti finali

Dal confronto dei risultati emergono, in estrema sintesi, questi due elementi:

- la soluzione A2 prevalere quando si fornisce un peso abbastanza basso all'area di meta "Aspetti ambientali";
- la funzione C sembra prevalere (anche se solo in alcuni casi) quando invece l'area di meta "Aspetti ambientali" assume un valore rilevante, o quanto meno comparabile con quello delle altre aree di meta.

Come esplicitato nelle pagine precedenti, l'area di meta "Aspetti ambientali" è formata da tre funzioni obiettivo rilevanti:

- Volumi di sedimenti da dragare per ormeggio;
- Superficie totale piazzali;

- Bilancio dei materiali per ormeggio.

Tutte e tre sono riconducibili ad uno degli aspetti più delicati relativi alla realizzazione di un porto, ovvero quello del deposito del materiale di scavo determinato dalla necessità di garantire allo scalo un adeguato fondale.

L'analisi è stata qui basata sulle sole necessità di allocazione dei materiali del progetto del nuovo terminal RoRo: in particolare le funzioni obiettivo n°5 ("Volumi di sedimenti da dragare per ormeggio") e n°7 ("Bilancio dei materiali per ormeggio") hanno assunto un segno negativo e sono state valutate sulla base della "domanda di materiale" delle sole opzioni progettuali: non a caso, la soluzione C è quella, fra le due, che risponde meglio alla richiesta di allocare ingenti quantità di scavo.

Se però si dovesse ragionare secondo un'ottica più ampia di "sistema portuale", ovvero considerando anche le future realizzazioni all'interno del Porto Canale di Cagliari, emerge come vi sia una forte necessità di materiali di scavo per la costruzioni di nuove opere:

- la realizzazione del nuovo distretto della nautica, sull'avamposto antistante il nuovo terminal RoRo oggetto del presente studio, prevede la realizzazione di nuove infrastrutture a mare, con l'esigenza di disporre di rilevanti quantità di materiale;
- il consolidamento delle aree sud-occidentali del Porto Canale, con particolare riferimento a quelle nelle quali dovrà sorgere il futuro Distretto Industriale ed in quelle antistanti il nuovo terminal RoRo, richiede anch'essa rilevanti apporti in termini di materiale di scavo.

Poiché non è possibile, al momento, stimare puntualmente le richieste di materiale da scavo (nel primo caso si è ancora in fase progettuale, mentre nel secondo tale fase non è stata ancora avviata), tale integrazione con gli altri ambiti può essere valutata attribuendo all'area di meta "Aspetti ambientali" un peso rilevantemente basso.

Inoltre, proprio per la richiesta di materiali di scavo proveniente dalle nuove opere sopracitate, anche nell'ipotesi di un coordinamento nella realizzazione delle stesse infrastrutture, le due funzioni obiettivo n°5 e n°7, assumerebbero un andamento positivo, contribuendo così a limitare ulteriormente il peso dell'area di meta "Aspetti ambientali".

L'area di meta "*operatività e funzionalità*" e l'area di meta "*Gestione del Terminal*" ragionando secondo quelle che sono le finalità di una

opera portuale, ossia avere un numero elevato di accosti, possibilmente caratterizzati da una ampia flessibilità, e coniugando questa finalità con la necessità di avere costi di gestione contenuti o comunque funzione della tipologia dei traffici ad essi allocati, riveste notevole importanza.

Il peso delle funzioni obiettivo in esse contenute hanno una rilevanza fondamentale quando l'opera è stata realizzata. Il numero di ormeggi, la distanza delle aree di deposito dagli imbarchi, ed i costi di gestione sono basilari nella appetibilità degli ormeggi da parte di partner privati. Per gli operatori portuali, le caratteristiche gestionali sono una discriminante irrinunciabile.

Pertanto:

- nel caso in cui si intendesse considerare il progetto all'interno di un sistema portuale più ampio, dando il giusto peso alle aree di meta *“operatività”* e *“gestione”*, dai risultati emergerebbe una netta prevalenza della soluzione A2; soprattutto dando un giusto valore alla fase di esercizio delle banchine.
- al contrario, nel caso in cui comunque si volesse dare all'area di meta ambientale un peso comunque rilevante, la soluzione C risulterebbe prevalente rispetto alla A2, anche se, in alcuni casi, quest'ultima risulta essere la migliore anche con valori del peso dell'area di meta ambientale rilevante.

SCHEMA RIASSUNTIVO DEI TEST**N° 4 Aree di meta**

Prova n°	PESI AREE DI META				SOLUZIONE
	Caratteristiche tecniche	Aspetti ambientali	Operatività e funzionalità	Gestione del terminal	
1	25	25	25	25	A2 - C
2	50	16	17	17	C
3	17	50	16	17	A2 - C
4	17	17	50	16	
5	16	17	17	50	
6	30	20	20	30	A2
7	30	30	20	20	C
8	30	20	30	20	C
9	20	30	30	20	C
10	20	30	20	30	C
11	20	20	30	30	
12	20	10	50	20	
13	30	10	30	30	
14	30	22	23	35	A2 - C
15	50	10	20	20	
16	33	1	33	33	A2
17	30	10	30	30	
18	32	4	32	32	A2
19	31	7	31	31	
20	43	1	33	23	A2
21	43	1	23	33	A2
22	43	1	13	43	
23	43	1	43	13	A2

24	48	1	48	3	A2
25	48	3	48	1	
26	49	1	49	1	A2
27	49	1	1	49	
28	1	49	49	1	B2 - C
29	1	49	1	49	C
30	1	1	49	49	
31	1	1	69	29	
32	1	1	29	69	
33	49	49	1	1	C
34	69	29	1	1	C
35	25	17	33	25	
36	30	5	30	35	A2
37	40	20	20	20	
38	20	20	20	40	
39	20	40	20	20	A2 - C
40	20	20	40	20	

N° 3 Aree di meta

Prova n°	PESI AREE DI META			SOLUZIONE
	Caratteristiche tecniche ed ambientali	Operatività e funzionalità	Gestione del terminal	
1	34	33	33	
2	50	25	25	A2 - C
3	25	50	25	
4	25	25	50	
5	60	20	20	
6	20	60	20	
7	20	20	60	
8	45	25	30	A2
9	45	30	25	
10	30	45	25	
11	25	45	30	
12	25	30	45	
13	30	25	45	
14	80	10	10	C
15	10	80	10	
16	10	10	80	
17	60	30	10	C
18	60	10	30	C
19	50	40	10	C
20	50	10	40	
21	50	20	30	A2
22	40	50	10	
23	10	50	40	
24	50	5	45	
25	45	50	5	
26	5	50	45	