



REGIONE SICILIANA

ACCORDO DI PROGRAMMA QUADRO PER IL TRASPORTO MARITTIMO

Porto di Gela (CL)
*Progetto dei Lavori di costruzione della nuova darsena
commerciale, completamento delle banchine
interne, arredi, impianti ed escavazioni*

DIMENSIONAMENTO IMPIANTO DI BYPASS

Collaborazione giusto Atto aggiuntivo alla Convenzione
siglato in data 04/12/2008 tra

Dipartimento Regionale per i Lavori Pubblici

Dipartimento Regionale Territorio e Ambiente

Genio Civile Opere Marittime di Palermo

REDATTO	APPROVATO	REVISIONE	DATA
Dipartimento Regionale Territorio e Ambiente	Il R.U.P.	0	Marzo 2009
Genio Civile Opere Marittime di Palermo			

INDICE

<i>Premessa</i>	2
<i>CAP.1 Metodologia di studio</i>	5
1.1. <i>Processi d'insabbiamento nei porti</i>	5
1.2. <i>Metodologia applicata</i>	6
1.3. <i>Altra metodologia esistente</i>	6
<i>CAP.2 Dati meteo-marini</i>	8
2.1. <i>Descrizione e problematiche dell'area portuale</i>	8
2.1.1. <i>Dispositivi portuali ed opere di protezione esistenti</i>	9
2.2. <i>Meteo-oceanografia</i>	10
<i>CAP.3 Evoluzione della linea di costa</i>	14
3.1. <i>Risultati del Piano regionale per la difesa del litorale</i>	14
3.2. <i>Descrizione della situazione attuale</i>	18
3.3. <i>Evoluzione della linea di riva</i>	19
3.4. <i>Aggiornamento della linea di riva al 2006</i>	25
<i>CAP.4 Dimensionamento del bypass</i>	30
4.1. <i>Necessità dell'impianto</i>	30
4.2. <i>Progetto dell'impianto</i>	30
4.2.1. <i>Calcolo delle perdite di carico nel sabbiodotto</i>	31
4.2.2. <i>Dimensionamento dell'impianto di sollevamento</i>	39
4.2.3. <i>Dimensionamento della vasca di raccolta delle sabbie</i>	44
4.3. <i>Modalità operative dell'impianto</i>	47
4.4. <i>Impatto ambientale del bypass</i>	49
4.5. <i>Stima dei costi</i>	50
4.6. <i>Indicazioni per l'esecuzione di un ripascimento</i>	52
<i>Bibliografia</i>	55

Premessa

La presente relazione tecnica origina dalle conclusioni dello Studio di Impatto Ambientale (S.I.A.), in merito alle ricadute (impatti) che le opere in progetto avranno sull'ambiente idrico, e ne riprende alcuni risultati esposti nell'analisi dei dati meteomarini.

Dall'analisi dell'idrodinamica costiera nel S.I.A., in seguito alla futura realizzazione del dispositivo portuale, si è previsto un potenziale avanzamento della battigia nella zona di sopraflutto ed una erosione nella parte sottoflutto.

Nello stesso S.I.A., al fine di porre rimedio a tale fenomeno si prevedeva, qualora necessario, un sistema di bypass costituito da una stazione di pompaggio fissa o mobile la quale, mediante condotta (sabbiodotto), trasporterà sottoflutto rispetto al porto la miscela costituita da acqua e sedimenti, quest'ultimi accumulatisi a ridosso del molo di sopraflutto.

Su proposta del R.U.P., pertanto, la Convenzione siglata nel 2006 è stata integrata da un Atto aggiuntivo (del 04.12.2008) col quale si concorda la progettazione dell'impianto di bypass, ossia di un impianto idrovoro avente lo scopo di trasferire la sabbia che si accumulerà nella radice esterna del molo di sopraflutto del porto, nella zona di erosione del litorale sottoflutto.

Nell'area sopraflutto di accumulo della sabbia sarà prelevata, tramite dragaggio, una miscela composta da 82% di acqua e 18% di sabbia che sarà trasferita sottoflutto mediante l'impiego di un impianto di sollevamento e di un sabbiodotto, costituito da un tubo in acciaio posizionato al di sotto delle banchine interne del porto.

I sistemi di bypass delle sabbie sono diffusi già da diversi anni in alcune parti del mondo, come l’Australia, gli Stati Uniti, il Sud-Africa, il Canada, l’India, mentre nel nostro continente non hanno ancora raggiunto un’esperienza consolidata, come mostrato nella seguente figura che illustra la localizzazione nel mondo dei principali impianti realizzati (P.K. Boswood e R.J. Murray, 2001).

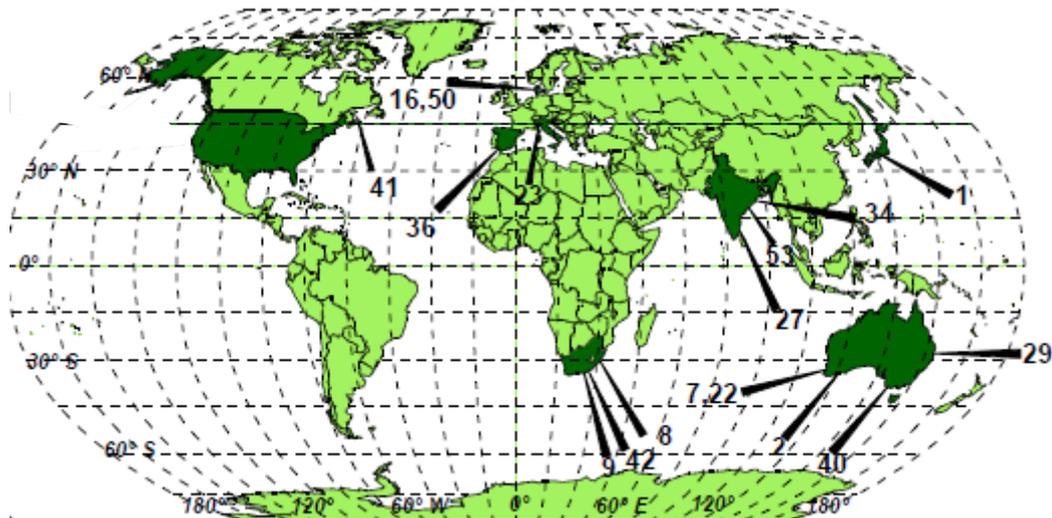


Figura 0.1. Localizzazione dei principali impianti di bypass nel mondo (Queensland E.P.A., 2001)

Tra di essi vi sono il “Nerang River Sand Bypassing System”, nel Queensland (Australia), il “Boca Raton Inlet Sand Bypassing System” in Florida (U.S.A.), l’ “Oceanside Harbour Sand Bypassing System” in California, (U.S.A.), per citarne alcuni tra i più avanzati nel funzionamento.

L’opera in progetto presso il porto di Gela presenta due criticità fondamentali da considerare sia in sede di progettazione sia in fase di esercizio dell’impianto.

La prima riguarda l’esistenza di alcune barriere frangiflutti, realizzate negli anni passati (1970 e 1992), posizionate sottoflutto al porto di Gela, che hanno già determinato l’avanzamento della spiaggia. La loro presenza costituisce di fatto un ostacolo alle finalità del trasferimento della miscela sabbiosa sottoflutto mediante il bypass in progetto, in quanto esse opererebbero un intrappolamento della sabbie qualora fossero scaricate nelle loro vicinanze, contrariamente allo scopo che ci si è prefissi, ossia, quello di ristabilire l’equilibrio del bilancio sedimentario dei litorali sottocosta al porto. Tuttavia, per poter ovviare al problema, il bypass in progetto dovrebbe avere uno sviluppo longitudinale tale da superare tutte le barriere frangiflutti esistenti che, nel caso dell’area portuale di Gela, è di oltre i 6.000 m. Ciò, a sua volta, implicherebbe l’utilizzo di un gran numero di macchine per il sollevamento con un cospicuo consumo energetico complessivo, oltre che una manutenzione più complessa del sabbiodotto entro il quale la

miscela, per non dar luogo a sedimentazione all'interno della tubazione, deve aver garantita un'elevata velocità di trasporto.

La seconda criticità riguarda la gestione dell'impianto di bypass nel tempo ed il monitoraggio dei risultati conseguiti in seguito al suo funzionamento. Per garantire la riuscita dell'intervento con il sabbiodotto in progetto, occorrerà innanzitutto individuare un soggetto gestore dell'impianto (quale, ad esempio, un'Autorità di gestione portuale) che abbia l'incarico di programmare e realizzare le operazioni di attivazione del sistema di sollevamento e trasporto delle sabbie sottoflutto. Tale compito, di fatto, può essere incaricato ai sensi dell'art. 10 co.1 della L.R. 23 dicembre 2000, n. 32, il quale prevede:

“Nelle more dell'approvazione di una legge organica sui porti in Sicilia e al fine di consentire l'utilizzazione dei fondi comunitari per il periodo 2000-2006, il Presidente della Regione, su delibera di Giunta, nomina per i porti di preminente interesse regionale un'autorità di gestione portuale con le attribuzioni previste dalla legge 28 gennaio 1994, n. 84. Per i porti d'importanza minore il Presidente della Regione attribuisce le funzioni amministrative ad organi decentrati della Regione o dello Stato ovvero affida in concessione la realizzazione e/o la gestione delle opere e/o dei porti la privati o a società miste”.

Altra precipua funzione del gestore incaricato sarà quella di monitorarne i risultati nel tempo, al fine di ottimizzare il funzionamento complessivo dell'impianto e raggiungere gli obiettivi prefissati per il riequilibrio del bilancio sedimentario sottocosta.

In forza delle suddette considerazioni, è stato ritenuto opportuno, in questa fase, prevedere lo scarico del sabbiodotto a tergo del molo di sottoflutto del porto dove è ben individuato un tratto di spiaggia con un'erosione accentuata dovuta proprio alla presenza del porto. Successivamente, avendo acquisito adeguata esperienza e raggiunto dei risultati significativi con questo primo intervento di ricostituzione di litorale e sulla base delle indicazioni del monitoraggio, sarà possibile eventualmente espandere il sistema di bypass, mediante l'aggiunta di ulteriori macchine di sollevamento e il prolungamento della condotta di scarico del sabbiodotto superando i dispositivi di protezione esistenti sottocosta (barriere frangiflutti).

Nel processo di monitoraggio che seguirà la realizzazione del bypass, dovranno essere raccolti i dati relativi alle variazioni della posizione della linea di riva lungo il litorale ubicato sottoflutto rispetto al porto. L'intervento di bypass si prefigge l'obiettivo di riequilibrare il litorale in cui è localizzato il porto, ripristinando per quanto possibile il trasporto solido longitudinale dei sedimenti intercettato dalle opere foranee.

Metodologia di studio

Capitolo 1

1.1. Processi d'insabbiamento nei porti.

L'accumulo di sabbia nei porti, associato all'erosione, è il risultato di quattro processi che possono manifestarsi in maniera isolata o congiunta, come di seguito descritto.

- L'interruzione del trasporto longitudinale di sabbia attraverso la costruzione di numerose infrastrutture portuali sulla costa; queste numerose opere portuali consentono la navigazione da diporto ma ostruiscono considerevolmente la deriva sedimentaria longitudinale e creano localmente delle forti erosioni.
- Il trasporto di sedimenti attraverso il moto ondoso, in direzione dell'ingresso del porto, determina un cumulo importante di sabbia che riduce la profondità del fondale, limitando l'accesso al porto.
- La sedimentazione sotto l'effetto della diffrazione delle onde, nella parte più esterna della diga del porto.
- I sedimenti provenienti dai fiumi che, talvolta, si gettano direttamente nel porto.

Per risolvere il problema dell'erosione delle spiagge del Mediterraneo, dal 1980 si

eseguono regolarmente interventi di dragaggio e di ripascimento. Si contano oltre 600 operazioni di ripascimento effettuate sul Mediterraneo dal 1998, su circa 400 zone costiere, per approssimativamente 110 milioni di m³ di sabbia riversata (Hanson e al. 2002).

1.2. Metodologia applicata

Al fine di quantificare i sedimenti accumulati, è stata adottata una metodologia basata principalmente sull'analisi di cartografie, ortofoto e di sondaggi batimetrici più recenti. Nella fase preliminare è stata digitalizzata la linea di riva di alcune cartografie ed ortofoto recenti, definendo così le aree confrontabili. Sono state inoltre calcolate le variazioni volumetriche e gli spostamenti della linea di riva grazie al confronto tra batimetrie successive. È stato quindi possibile quantificare i sedimenti accumulati nel corso degli anni. I valori ottenuti sono stati integrati con la previsione del trasporto annuale dei sedimenti, calcolata applicando un semplice modello di propagazione lineare delle onde. Questa metodologia può essere applicata per ottimizzare la valutazione delle quantità di sedimenti che possono essere dragate e successivamente impiegate per il ripascimento delle spiagge sottoflutto.

1.3. Altra metodologia esistente

La quantificazione degli stock di sabbia sottocosta intercettati dai porti, associati al trasporto morfodinamico, costituisce oggi una tappa essenziale per la gestione delle coste. Per questo motivo, al fine di determinare la disponibilità di sabbia accumulata, si utilizzano anche dati sismici, dati batimetrici e dati sedimentologici.

Tipicamente, i sondaggi batimetrici e topografici, si realizzano periodicamente nelle zone di dragaggio e ripascimento, al fine di definire la caratterizzazione ed il controllo: prima delle attività di dragaggio, subito dopo il dragaggio e il ripascimento, sei mesi dopo e un anno dopo.

I rilievi sismici ad alta risoluzione si pianificano sulla base di una batimetria dei fondali marini. In questo senso si possono definire due scale diverse: una grande scala per lo studio del “prisma infralitorale” ed una piccola scala per la zona dragata. Successivamente al rilievo geofisico, si definisce il posizionamento dei vibrocarotieri, in conformità con l'interpretazione preliminare delle registrazioni sismiche. La simulazione dell'evoluzione morfologica della zona dragata permette di valutare

l'accumulo annuale di sabbia che, unito alla conoscenza dell'entità dello stock sabbioso, permette di stimare gli impatti dell'attività di dragaggio.

Idrodinamica costiera

L'esame dell'idrodinamica costiera è stato condotta nell'ambito dello studio idraulico marittimo relativo al Piano Regolatore Portuale di Gela al quale per maggiori approfondimenti si rimanda. Gli studi condotti sul sito in esame hanno rilevato la frequenza di maggiori correnti che si evolvono in direzione parallela alla costa. Nelle altre direzioni le frequenze risultano più contenute, con il predominio di quelle cui compete un andamento normale alla riva, sia verso il largo sia verso costa. Le correnti superficiali mostrano l'esistenza di due ben definite direzioni prevalenti di flusso: la prima verso ESESE e la seconda verso WNNW.

L'esame dell'azione di trascinamento esercitata dal moto ondoso ha rilevato come, nell'attuale configurazione, il dispositivo pone l'imboccatura su fondali tali da consentire un facile accesso e deposito del materiale solido trasportato. Il fenomeno dell'interrimento può essere contenuto spingendo al largo il passo di accesso, fino a raggiungere una isobata pari a circa 8,0-9,0 m. La realizzazione di un diga capace di proteggere le azioni provenienti da SW connesse sia alle correnti sia al moto ondoso ed una successiva rotazione in direzione SE che valga a riparare ulteriormente dalle azioni, seppure meno intense delle precedenti, provenienti dal secondo quadrante, diminuirebbe le azioni di interrimento limitando il processo di trasporto per trascinamento.

In funzione dei tempi di ritorno analizzati si rileva un potenziale avanzamento della battigia nella zona di sopraflutto ed una erosione nella parte sottoflutto. Si rileva però che in aggiunta alle mareggiate di libeccio, alle quali competono le maggiori frequenze, esiste una azione meteomarina da scirocco; tali ultimi marosi generano una componente del trasporto in verso opposto ai precedenti, attenuandone così la capacità evolutiva. Vi sarà pertanto una alternanza della tendenza all'erosione e all'accumulo, nella zona rivierasca a levante del porto, in cui la prima fenomenologia è prevalente.

A tale fenomeno si potrà porre rimedio prevedendo un sistema di bypass, oggetto della presente relazione tecnica, costituito da una stazione di pompaggio fissa la quale, mediante condotta, trasporterà sottoflutto rispetto al porto la miscela costituita da acqua e sedimenti, quest'ultimi accumulatisi a ridosso del molo di sopraflutto.

Dati meteo-marini

Capitolo 2

2.1. Descrizione e problematiche dell'area portuale.

Il Porto Rifugio di Gela è classificato, ai sensi del Decreto Presidenziale Regione Siciliana 01.06.2004, di 2° categoria - 3° classe con destinazione commerciale, industriale, peschereccia, turistica e da diporto.

Il porto sorge al centro dell'omonimo golfo che si sviluppa tra Licata e Punta Secca.

Per la sua peculiare posizione strategica è stato inserito fra i porti rifugio. Allo stato attuale presenta uno specchio acqueo, parzialmente protetto, di circa m² 120.000 sotteso da due moli convergenti che raggiungono fondali variabili da circa - 3,00 a -5,00 m s.l.m.m. Sul molo di sottoflutto è radicato un pennello banchinato che delimita la darsena operativa.

Il porto dispone di circa 800 m di banchine operative e durante la stagione estiva, di pontili galleggianti che garantiscono l'ormeggio a circa 150 imbarcazioni da diporto.

Considerato il limitato sviluppo dei moli foranei, l'esposizione dell'attuale imboccatura, il trasporto litoraneo derivante dal clima ondosso del paraggio e le caratteristiche fisiche e geologiche dei fondali limitrofi, l'esistente bacino portuale è

soggetto a periodici fenomeni di insabbiamento, in corrispondenza dell'imboccatura e delle banchine interne, che lo rendono insicuro e ne limitano l'operatività e le prospettive di sviluppo.

Il fenomeno dell'insabbiamento del porto di Gela ha sempre costituito un annoso problema alla portualità, che pur avendo un numeroso e variegato naviglio, spesse volte, per l'ormeggio è costretto a trasferirsi in porti più sicuri, ma lontani.

Il vicino porto isola a servizio della raffineria non può, per ragioni di sicurezza e di qualità d'attracco, ospitare alcun tipo di traffico diverso da quello proprio e solo qualche piccola attività di spedizione è concessa in testata al pontile, negli intervalli dell'attività primaria cui esso è preposto, con una notevole difficoltà stante la necessità d'opportuna vigilanza per l'interconnessione dei traffici all'interno della raffineria e la pericolosità di ogni attività estranea svolta in un così delicato contesto.

Nel seguito si riportano i dati meteo-marini (moto ondoso, correnti, ecc.) già esposti nel documento dello studio di impatto ambientale, al solo scopo di dare un quadro descrittivo unitario all'interno della presente relazione di dimensionamento del bypass.

2.1.1. Dispositivi portuali ed opere di protezione esistenti

Lungo il litorale del Comune di Gela sono presenti due significativi dispositivi portuali distinti: il *porto Isola* ed il *porto Rifugio*. Con Decreto del Presidente della Regione Siciliana del 01.06.2004, recante "Classificazione dei porti di II categoria, classe III, ricadenti nell'ambito del territorio della Regione Siciliana", il *Porto Isola* è stato classificato con destinazione funzionale "commerciale, industriale petrolifera", ed il *Porto Rifugio* con destinazione funzionale "Commerciale, industriale, peschereccia, turistica e da diporto".

Il porto Isola, realizzato nel 1963/64 nello specchio acqueo antistante lo stabilimento petrolchimico di Gela (oggi Raffineria di Gela – gruppo Eni), è posto immediatamente ad est della foce del fiume Gela nei pressi del quale furono perforati numerosi pozzi di petrolio a terra ed il primo pozzo in assoluto off-shore, il "pozzo 121", sul quale fu installata la Piattaforma di produzione "GELA 1". Il porto Isola comprende un pontile e una diga foranea di protezione, attrezzata per il carico e lo scarico dai pontili petroliferi. La superficie a terra è impegnata da un pontile principale lungo 2.800 m e largo 10m; la diga foranea è lunga 1.200 m e larga 7,60 m. Tra i due porti esiste un pontile denominato "*sbarcatoio*", lungo 360 m circa.

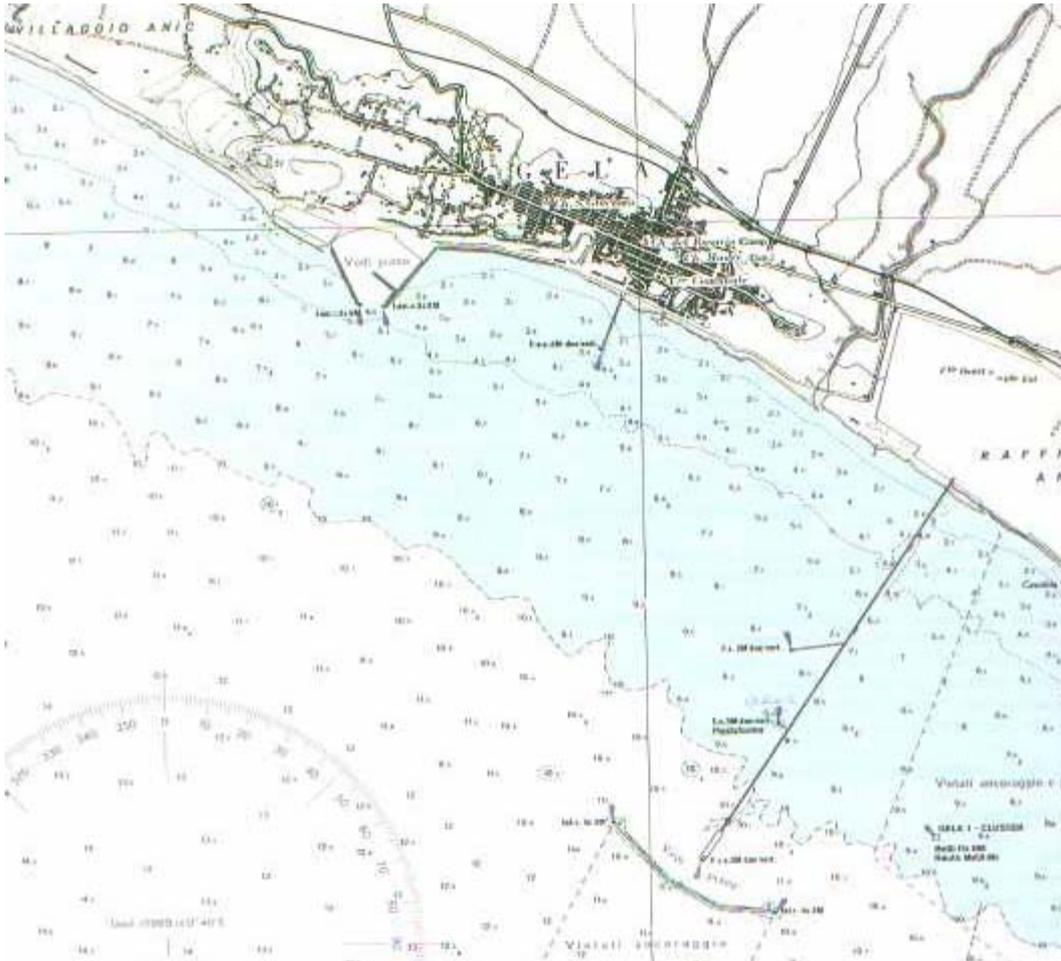


Figura 2.1. Planimetria delle infrastrutture portuali di Gela

Il pontile, costruito nel 1910, è stato più volte allungato e modificato. In atto è interdetto al traffico ed all'accosto di unità perché il tratto più a sud è pericolante. Il tratto nord, demolito e ricostruito ex novo nel 1982 è transennato in maniera permanente alla testata e risulta staccato di alcuni metri dal tratto pericolante.

Sempre tra i due porti è stato realizzato un sistema di difesa costiero costituito da barriere frangiflutti sub-parallele emerse.

2.2. Meteo-oceanografia

Nel "*Progetto di realizzazione del metanodotto di importazione dalla Libia*¹" (SNAM S.p.A. – Greenstream S.p.A., 2003) la descrizione del moto ondoso è stata effettuata sulla base dei dati del KNMI (Koninklijk Nederlands Meteorologisch Institut). Di seguito se ne riportano i principali risultati riferiti al golfo di Gela.

¹ È il più lungo (516 km) gasdotto sottomarino mai realizzato nel Mediterraneo. Il Greenstream parte da Mellitah (85 km a Ovest di Tripoli) e arriva a Gela passando fra Lampedusa e Malta (Figura 2.2). Il progetto ha ottenuto giudizio di compatibilità ambientale positivo dal Ministero dell'Ambiente di concerto con il Ministro per il Beni e le Attività Culturali (DEC/VIA/6383 del 21.08.2001).

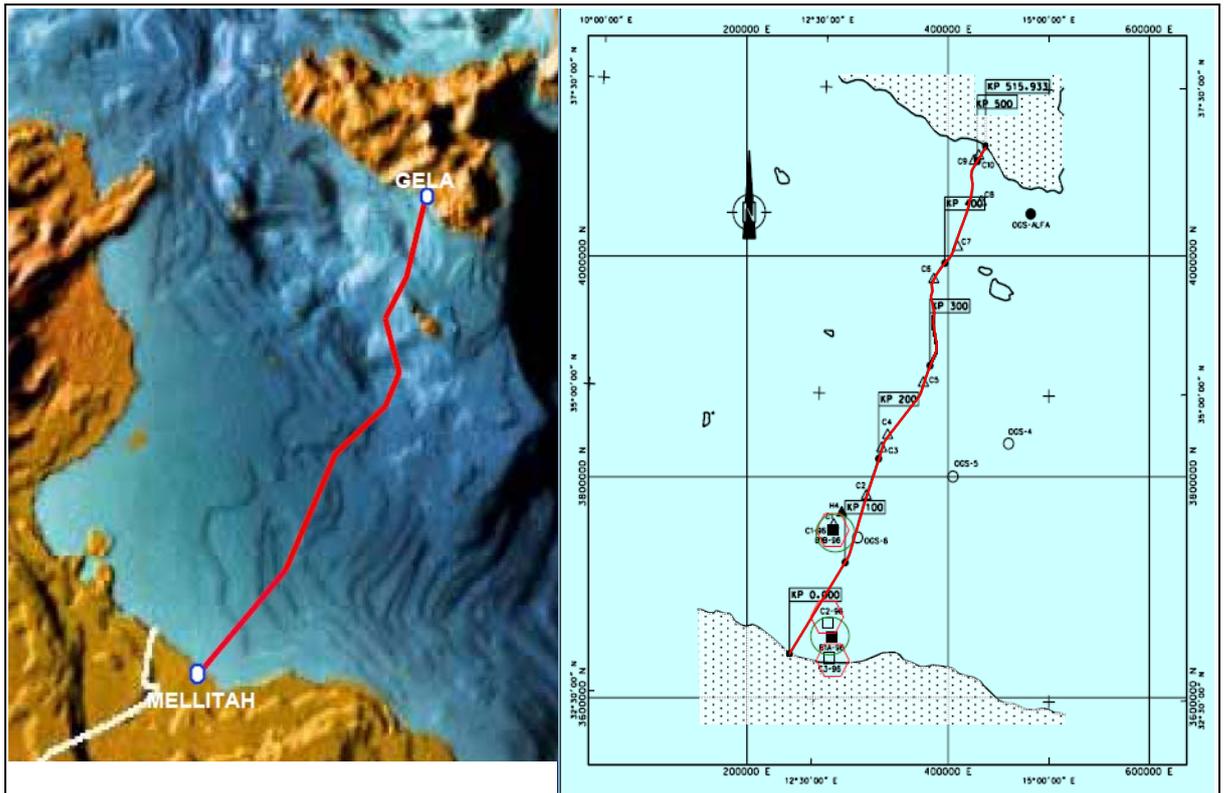


Figura 2.2. Tracciato del gasdotto dalla Libia alla Sicilia e stazioni correntometriche (SNAM-GreenStream).

Moto ondoso

Il vento prevalente su base annuale è quello in direzione NW/SE con intensità di 8 m/sec.

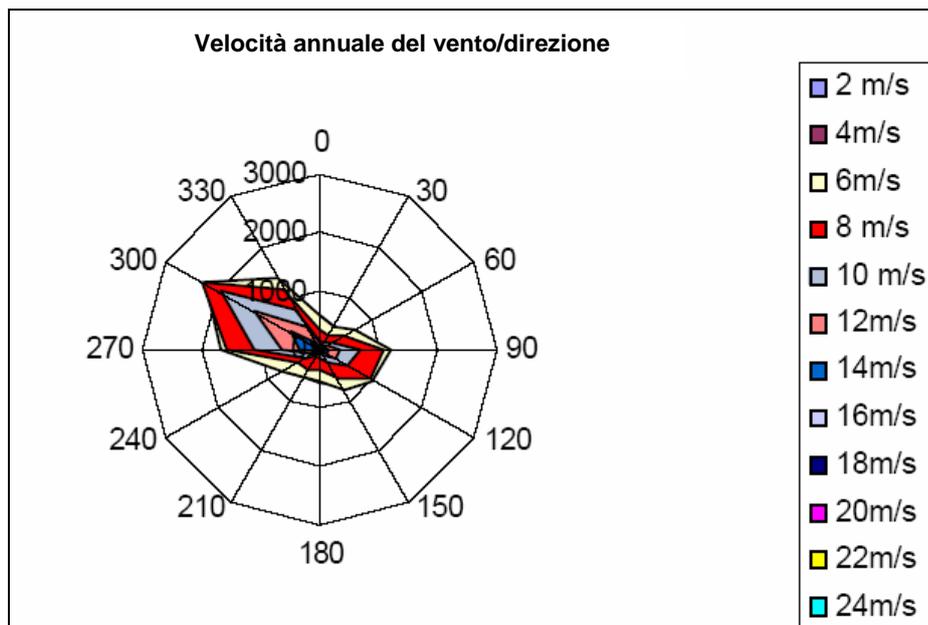


Figura 2.3. Rosa dei venti nel golfo di Gela (fonte: GreenStream, 2003)

La rosa delle onde mostra lo stesso andamento dei venti, con direzione prevalente NW/SE ed altezza significativa delle onde², mediata su base annuale, di 1,5 metri.

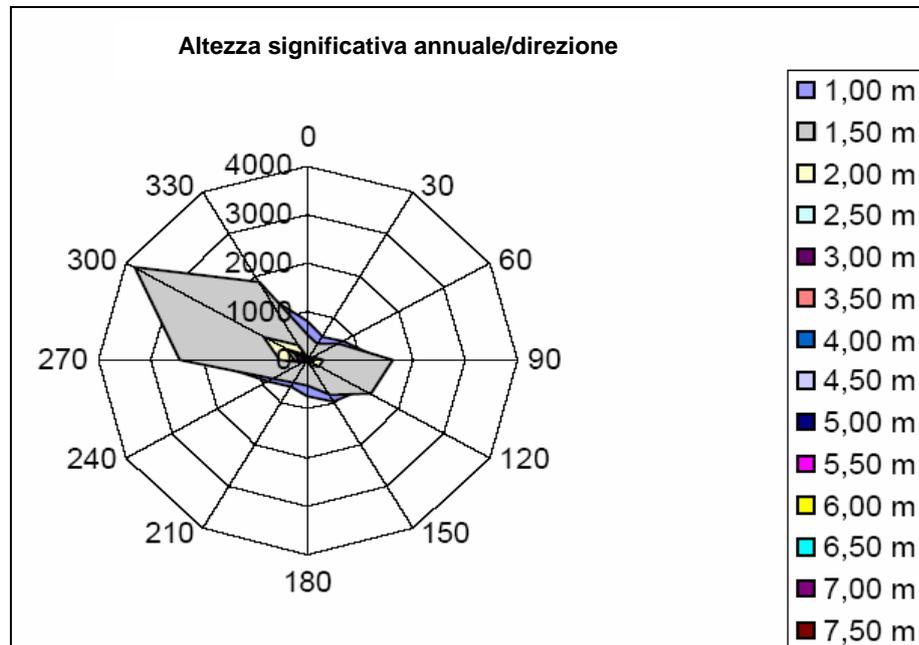


Figura 2.4. Rosa delle onde nel golfo di Gela (fonte: GreenStream, 2003)

Variazione del livello del mare

La variazione del livello medio mare risulta dalla marea astronomica, dalla pressione atmosferica e dallo “storm surge”. La marea è a carattere semi-diurno. La variazione è molto piccola, di conseguenza le condizioni meteorologiche possono avere più effetto sulle variazioni del l.m.m. della marea. I livelli della marea sono stati calcolati a Porto Empedocle e sono pari a: MHWS 0,3 m ; MHWN 0,1 m ; MLWS 0,1 m ; MLWN 0,1 m; Chart datum -0,25 (valore a Gibilterra).

L’effetto della pressione atmosferica può indurre il sollevamento del l.m.m. di circa 30 cm al passaggio di una forte depressione. Per quanto riguarda lo storm surge da vento non si hanno dati in proposito. Tuttavia, essi non dovrebbero discostarsi molto da quelli di Mazara del Vallo, per la similitudine tra le morfologie costiere.

Lo “storm surge” da onda risulta dal flusso di momento verso costa associato al processo di frangimento del moto ondoso. Per spiagge aperte come quella in esame esso può costituire uno dei contributi più significativi all’innalzamento a costa del livello

² Considerando le onde presenti in una data superficie del mare e immaginando di ordinarle per altezza crescente, si definisce altezza significativa H_s , l'altezza media di 1/3 delle onde più alte. La caratteristica di questa misura è quella di essere molto simile all'altezza che rilevarebbe un osservatore ad occhio nudo.

medio del mare, ma per Gela non si hanno dati in proposito³.

Correnti

La corrente a 12 metri di profondità calcolata su un fondale di 54 metri risulta in direzione prevalente SE/NW con velocità media annuale di 0,20 – 0,25 m/sec.

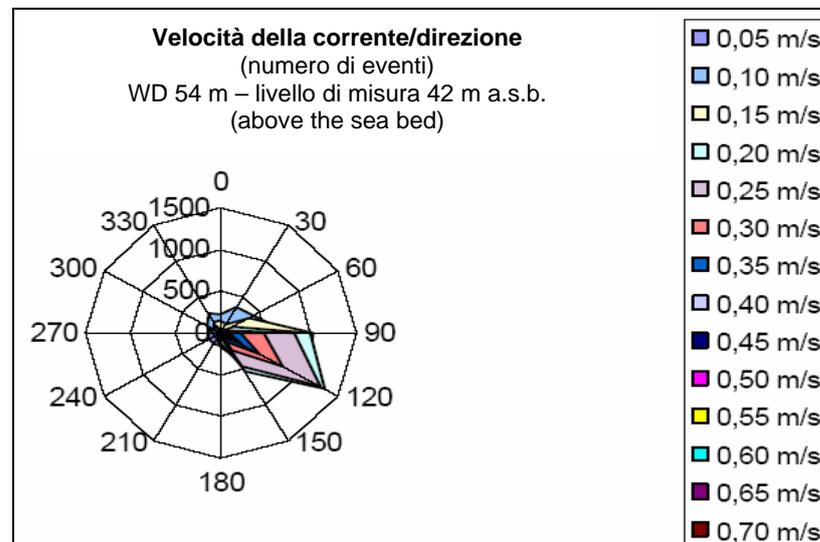


Figura 2.5. Velocità della corrente nel golfo di Gela (fonte: GreenStream, 2003)

Corrente lungo costa

Il contributo della corrente lungo costa indotta dal frangimento delle onde risulta in direzione W-E. La presenza di un sistema barra-truogolo ben definito determina il frangimento delle onde in una serie multipla di punti e la distribuzione della corrente longshore mostra due picchi con velocità media di circa 0,9 m/sec. Questa corrente può determinare un trasporto longitudinale di sedimenti in direzione W-E pari a circa 118.000 m³/anno, diviso rispettivamente in circa 5.000 m³/anno sul fondo e circa 113.000 m³/anno in sospensione. Una componente minore di trasporto si ha anche in direzione opposta (E-W) con oltre 3.000 m³/anno di materiale trasportato sul fondo e quasi 52.000 m³/anno in sospensione. Il trasporto netto risultante dalla combinazione dei due è in direzione W-E ed è pari a 1.700 m³/anno sul fondo e circa 61.600 m³/anno in sospensione per un totale di oltre 63.000 m³/anno.

³ Un'altra possibile causa dell'innalzamento del livello medio del mare in prossimità della costa è dato dal fenomeno del *surf beat*, cioè dall'oscillazione del livello medio del mare con periodicità che può andare da alcune a diverse decine di volte di quella relativa alle onde incidenti. In generale la variazione del livello dovuta al *surf beat* non supera il 10% dell'altezza dell'onda al largo, ma può raggiungere il 30% sotto costa.

Evoluzione della linea di costa

Capitolo 3

L'analisi dell'evoluzione della linea di riva descritta nel seguito parte da quanto già esposto nello studio di impatto ambientale, ossia le valutazioni dall'anno 1875 al 2000, e risulta arricchito dell'analisi dei dati più recenti (fino al 2006) al fine di verificare il trend valutato negli anni antecedenti.

3.1. Risultati del Piano regionale per la difesa del litorale

Con legge regionale 11 aprile 1981 n.65, all'articolo 13 si autorizzava l'Assessore regionale per il territorio e l'ambiente alla predisposizione del "Piano regionale per la difesa del litorale marino".

Stipulando una convenzione con la Società "Bonifica S.p.A." di Roma, Gruppo IRI-ITALSTAT, nel 1982 fu redatto il Piano, in seguito mai adottato dall'amministrazione regionale siciliana.

Tale Piano presenta delle cartografie che inquadrano le aree costiere siciliane descrivendone lo stato di qualità delle acque, lo stato lungo i litorali (processi erosivi o di ripascimento in corso), lo stato dell'urbanizzazione e i vincoli vigenti sulle stesse aree.

Di seguito si riporta un'estratto della cartografia contenuta nel suddetto Piano, riferita all'area del porto di Gela, che registra, per il 1981, la situazione di erosione sottoflutto e l'accumulo di sedimenti sopraflutto. Lo stato delle qualità delle acque costiere era valutato con alterazioni periodiche "gravi", per tutto il tratto sottoflutto al porto e fino a circa metà dell'area industriale.

A seguire, infine, si riporta l'aerofotogramma dell'area del porto di Gela, contenuto nello stesso Piano, in cui si osserva sopraflutto l'accumulo di sedimenti mentre, sottoflutto, l'effetto di ripascimento dovuto alla presenza delle barriere frangiflutti.

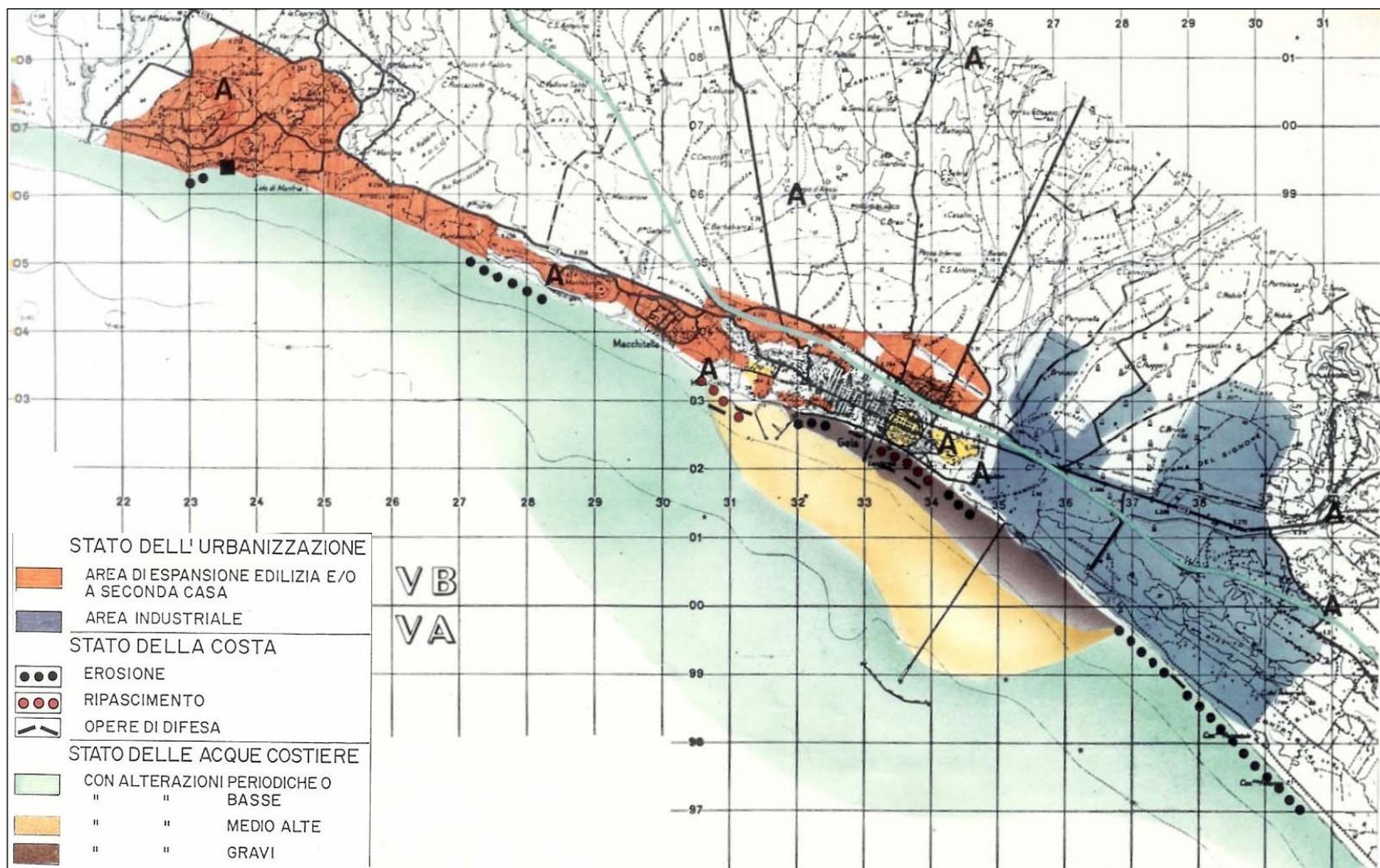


Figura 3.1. Stato della costa secondo il Piano regionale per la difesa del litorale marino (Bonifica S.p.A., 1981)



Figura 3.2. *Aerofotogramma del Piano regionale per la difesa del litorale marino (Bonifica S.p.A., 1981)*

3.2. Descrizione della situazione attuale

Il litorale in esame è caratterizzato da una costa bassa sabbiosa e da fondali omogenei costituiti da sabbie medie passanti verso il largo a sabbie fini, caratterizzati nei primi metri di profondità da una lunga serie di barre e/o cordoni sottomarini e con pendenze medie, nella fascia compresa tra la battigia e l'isobata dei 5 m, dello 1%. La spiaggia, presenta ampiezza estremamente varia, con zone anche superiori ai 100 m. La tipologia naturale caratteristica di questo tratto di costa è rappresentata dai sistemi dunali che in cordoni singoli ed anche in serie, oggi in buona parte urbanizzati e soggetti a forte erosione, si seguono lungo il litorale.

I rilievi di modesta entità, localizzati nel tratto di costa ad ovest del porto di Gela, quali quello di Poggio dell'Arena e Monte Lungo, non sono altro che delle dune fossili di età Olocenica. In particolare, Monte Lungo si presenta come un altopiano con quota massima di 65 m s.l.m., esteso per circa 3 km parallelamente alla costa e per solo 1 km spinto verso l'entroterra. Dato l'enorme apporto sabbioso derivante da questi versanti, fortemente erodibili e solcati da profonde incisioni prodotte dalle acque di dilavamento superficiali, i piedi di tali pendii sono caratterizzati dalla presenza di dune mobili.

Buona parte del materiale proveniente dall'erosione dei suddetti rilievi viene trasportato lungo costa ad opera delle correnti litoranee, in direzione prevalente ovest-est. Pertanto, la zona che comprende Poggio dell'Arena e Monte Lungo, rappresenta l'origine e nello stesso tempo il grande serbatoio naturale di materiale sabbioso della costa sabbiosa gelese.

Nel suddetto stralcio sono indicate le principali opere antropiche presenti lungo il litorale, quali in particolare le barriere frangiflutti emergenti localizzate nel tratto di costa sottoflutto al porto rifugio, la diga e gli argini fociali presenti lungo il Fiume Gela.

Il verso del trasporto solido lungocosta è prevalentemente da Ovest verso Est, con talora cambiamenti del verso del trasporto a causa dei marosi provenienti da Scirocco.

Per un tratto di circa 400 m sopraflutto al porto la spiaggia presenta notevole larghezza con massimi di circa 200 m. Si tratta del materiale sabbioso trasportato sia dal moto ondoso che dal vento che trovando come ostacolo il molo del porto, si è accumulato dal 1954, anno di costruzione del porto, ad oggi. Questo fenomeno, insieme alla forte erosione che interessa il tratto di costa sottoflutto al porto, testimonia maggiormente il verso prevalente del trasporto solido lungo il litorale gelese.

Ad Est del porto, per circa 500 m il litorale si presenta quasi del tutto privo di

spiaggia. Procedendo la spiaggia comincia gradualmente a prendere consistenza fino a raggiungere, in prossimità del Pontile Sbarcatolo, ampiezza notevole, dovuta alla realizzazione negli anni '70 di un sistema di 10 scogliere frangiflutti, distanziate circa 150 m le une dalle altre e con direzione di circa 135° N. Circa 1,5 km ad est del pontile, si trova la foce del Fiume Gela la cui asta terminale è stata resa rigida da interventi di cementificazione al fine di eliminare l'instabilità delle sponde.

Procedendo ancora verso Est, dalla foce del Fiume Gela, la spiaggia ritorna a essere ampia con alle spalle doppi sistemi di dune.

Le opere foranee del porto rifugio di Gela allo stato attuale non offrono alcuna difesa al trasporto solido costiero per cui la sabbia si deposita continuamente all'interno del porto, dal momento che le testate dei moli si trovano alla profondità di 5 m, molto prima della fascia di frangimento. Tale situazione ha reso molto difficoltosa la fruizione di tale opera e da sempre si è proceduto con interventi di dragaggio (circa **50.000 m³** **l'anno**). Tali interventi, per mancanza di fondi, non hanno mai interessato la zona occidentale all'interno del porto, dove è oggi presente una spiaggia molto estesa che ha causato una notevole riduzione dei fondali nello specchio acqueo antistante la banchina del molo che risulta inutilizzabile.

3.3. Evoluzione della linea di riva

In merito allo studio dell'evoluzione della linea di costa del tratto d'interesse, si riportano sinteticamente le valutazioni effettuate nell'ambito di una tesi di laurea in Ingegneria Civile Idraulica, dal titolo "*Analisi dell'evoluzione del litorale di Gela*", redatta nell'anno accademico 2001 - 2002.

Il confronto storico cartografico, nel suddetto lavoro, è stato condotto considerando le linee di costa relative agli anni 1875 (IGM a scala 1:50.000), 1940 (IGM a scala 1:25.000), 1966 (IGM a scala 1:25.000), 1987 e 2000 (aerofotogrammetrie scala 1:10.000). Sono state realizzate in totale quattro tavole, ciascuna delle quali riporta le due linee di riva successive in ordine cronologico e le principali infrastrutture esistenti nell'arco temporale considerato dalla sovrapposizione. Nelle suddette tavole, considerato che lo spostamento maggiore registrato è stato di circa 130 m, è stata adottata una suddivisione in quattro range di grandezza, variazioni oltre i 100 m, fra i 100 ed i 50 m, fra i 50 ed i 10 m ed infine inferiori ai 10 m. Si riportano di seguito, procedendo lungo il litorale studiato da Ovest verso Est, i risultati più significativi.

La sovrapposizione fra la cartografia del 1875 e il 1940, in cui è stato riportato il “Pontile Sbarcatoio” costruito nei primi anni del 1900, ha messo in evidenza lungo il tratto litoraneo che si estende dalla foce del Torrente Roccazzelle fino al rilievo Monte Lungo un arretramento medio della linea di riva di circa 30 m con un massimo di 50 m, spiegato come una fase transitoria della posizione della linea di riva in tale zona, viste le enormi potenzialità in termini di materiale solido apportato dalla sistema dunale fossile di Monte Lungo. Procedendo verso est, la foce del Torrente Gattano risulta avanzata di circa 40 m rispetto la configurazione del 1875. Segue una situazione di stazionarietà, fino ad incontrare la zona denominata “caricatore”, proprio perché vi si svolgevano le operazioni di carico scarico merci profittando del riparo che quella particolare conformazione costiera offriva. In tale zona, sorgerà nel 1954 l’attuale Porto Rifugio di Gela. Procedendo verso Est si registra una modesta tendenza all’avanzamento che raggiunge valori massimi di circa 60 m in prossimità del “Pontile Sbarcatoio”, che nel corso di 40 anni, nonostante la sua struttura trasparente, ha captato il materiale solido trasportato lungo costa. Segue fino alla foce del Fiume Gela una situazione di stabilità.

La sovrapposizione fra la cartografia del 1940 e il 1966 , riportante il Porto Rifugio (1954), il Pontile Sbarcatoio, la Via Mare e quattro serie di scogliere artificiali frangiflutti (1965), ha messo in evidenza che nell’arco temporale di 26 anni, gli spostamenti della linea di riva nei primi 14 anni sono da imputarsi fondamentalmente a cause naturali, mentre per i restanti 12 anni a cause prevalentemente antropiche, che hanno profondamente modificato nel giro di un ventennio l’assetto costiero.

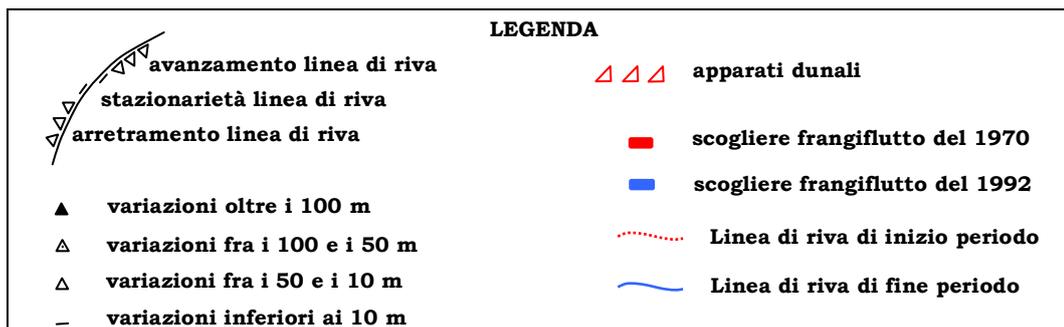
E’ da evidenziare un arretramento della linea di riva in prossimità della foce del Torrente Gattano, massima in corrispondenza della foce che arretra rispetto al 1940 di 30 m. Tale fenomeno viene imputato principalmente al depauperamento del materiale solido trasportato dal torrente per fattori antropici, quali il prelievo dall’alveo di materiale solido utilizzato con molta probabilità per il confezionamento del calcestruzzo. Procedendo verso est, sono stati riscontrati gli effetti indotti dalla costruzione del porto rifugio, che intercettando il materiale trasportato lungocosta dalle correnti, ha causato un forte accumulo di materiale sabbioso a ridosso del molo di sopraflutto, con valori di avanzamento della linea di riva che vanno da un minimo di 10 m ad un massimo di 75 m. Immediatamente sottoflutto all’opera si è verificato un forte arretramento della linea di battigia con valori massimi di 130 m. Tale situazione erosiva permane procedendo ancora verso Est, anche se con entità minore, mantenendosi fra i

50 e gli 80 m massimo.

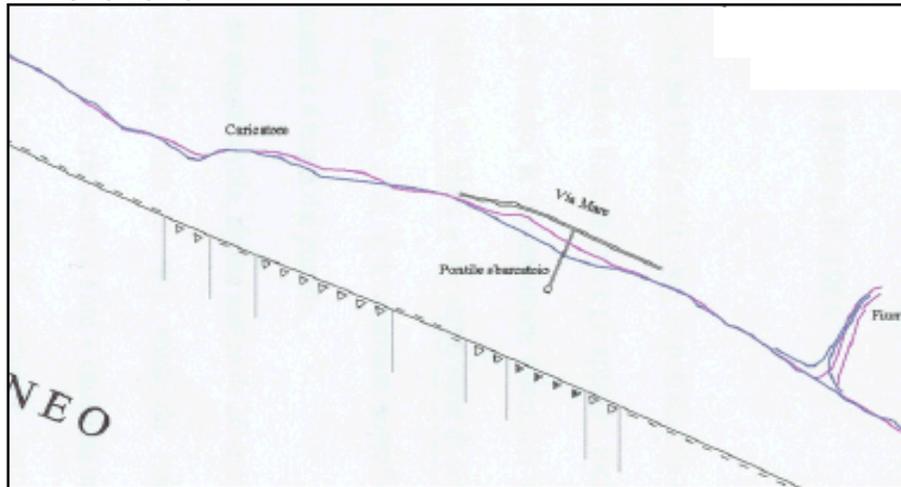
La sovrapposizione fra la cartografia del 1966 e il 1987 che riporta oltre le infrastrutture sopraelencate, le 10 scogliere frangiflutti con interasse di 150 m poste nel 1970, mette in evidenza un ritorno alla naturale tendenza all'avanzamento (fino ai 50 m) del tratto di litorale che si estende per circa 2 km oltre il promontorio di Monte Lungo in cui trova foce il Torrente Gattano. Procedendo ad est si registra ancora un avanzamento della linea di riva in prossimità del molo di sopraflutto del porto rifugio (70 m). La realizzazione nel 1970 delle suddette scogliere frangiflutti tra il pontile ed il Fiume Gela ha sortito l'effetto di avanzamento con valori anche superiori ai 100 m. La foce del Fiume Gela è stata modificata oltre che dagli interventi risalenti agli anni '80, da una cementificazione delle sponde dell'asta terminale allo scopo di renderle stabili e dall'inserimento delle due scogliere antistanti la foce che ne hanno provocato un notevole allargamento. Un avanzamento dell'ordine dei 20÷50 m è stato valutato lungo il litorale compreso tra la foce del Fiume Gela ed il porto isola.

La sovrapposizione fra la cartografia del 1987 e il 2000, che riporta oltre le quattro scogliere frangiflutti poste nel 1992, due delle quali a ridosso del molo di ponente del porto rifugio e le restanti poco ad Est della foce del Gela. Nel corso di 13 anni, ad Ovest del porto rifugio è stato valutato un avanzamento massimo di circa 70 m, di uguale entità a quello registrato nei precedenti 21 anni, da cui si evince un aumento della velocità di avanzamento. Tale notevole incremento di materiale sabbioso si è tradotto nell'aggravamento del fenomeno dell'insabbiamento del porto, già critico fin dalla costruzione dell'opera, che ha determinato la costituzione di una vera e propria spiaggia interna al porto. Il tratto di litorale ad Est del pontile interessato dalle scogliere frangiflutti è in condizioni di stabilità per i primi 600 m, e in avanzamento (fra i 30 ed i 40 m) per la restante parte.

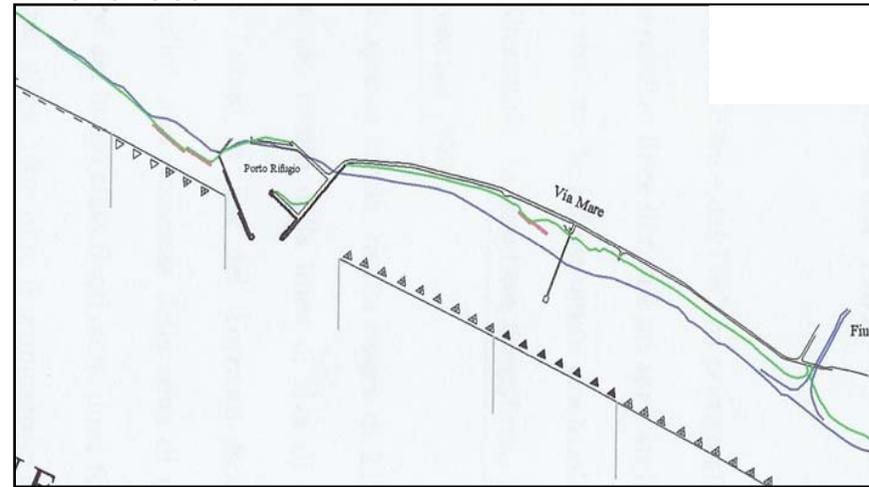
Segue la rappresentazione cartografica sopra descritta (1875-2000), con riferimento alla sola area di progetto del porto, che utilizza la seguente legenda esplicativa.



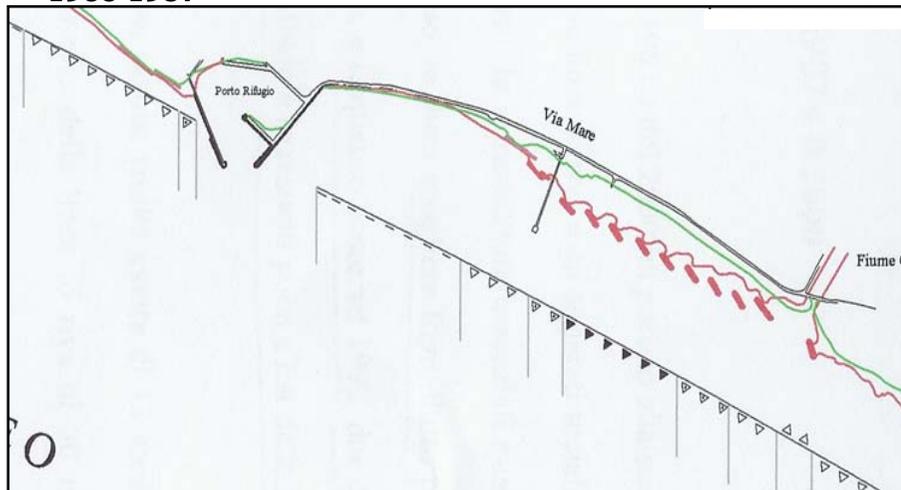
1875-1940



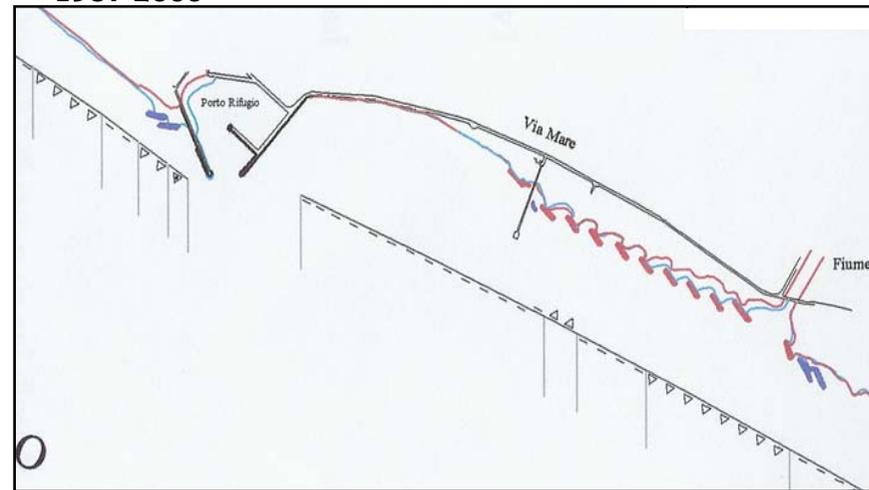
1940-1966



1966-1987



1987-2000



Pertanto, escludendo dalle valutazioni il periodo antecedente alla realizzazione del porto Rifugio (1954), ossia l'indagine dal 1875 fino al 1940, risulta che l'avanzamento della linea di riva sopraflutto al porto è mediamente pari a 1,2 m/anno, prendendo come riferimento il maggior spostamento rilevato nel periodo (tra 70 e 75 m).

Periodo di indagine	Anni di indagine	Avanzamento linea di riva sopraflutto al porto rifugio	Velocità media avanzamento (m/anno)
1940 - 1966	26	fino a 75 m	2,9
1966 - 1987	21	fino a 70 m	3,3
1987 - 2000	13	fino a 70 m	5,4
<i>Totale (1875-2000)</i>	<i>Somma = 60</i>	<i>Media = 72 m</i>	<i>1,2</i>

Nell'ambito del "*Progetto di realizzazione del metanodotto di importazione dalla Libia*" (GreenStream, 2003), per individuare nel tempo la dinamica della linea di costa sono state acquisite le informazioni cartografiche relative ad epoche diverse e disponibili presso l'IGM e/o l'Ufficio Cartografico della Regione Siciliana.

La documentazione consultata ed utilizzata nel suddetto progetto è stata la seguente:

- cartografia IGM del 1867 a scala 1:50.000;
- cartografia IGM del 1897 a scala 1:50.000;
- tavoletta IGM del 1940 a scala 1:25.000;
- sezioni carta tecnica Regione Siciliana 1988 a scala 1:10.000;
- ortofotocarta Regione Siciliana del 1994 a scala 1:25.000;
- sezioni carta tecnica regione Sicilia 2001 a scala 1:10.000.

Inoltre, sono state utilizzate le foto aeree stereoscopiche di un volo del 1938 e quelle di un volo del 1997.

Dall'analisi effettuata risulta una tendenza all'arretramento della costa già evidente dal 1897. Da allora la linea di costa è arretrata in alcuni punti di oltre 250 m. Anche l'analisi stereoscopica dei fotogrammi riferiti al 1938 evidenzia una scarpata d'erosione con andamento pressoché rettilineo che interrompe le originarie forme morfologiche legate alla duna costiera.

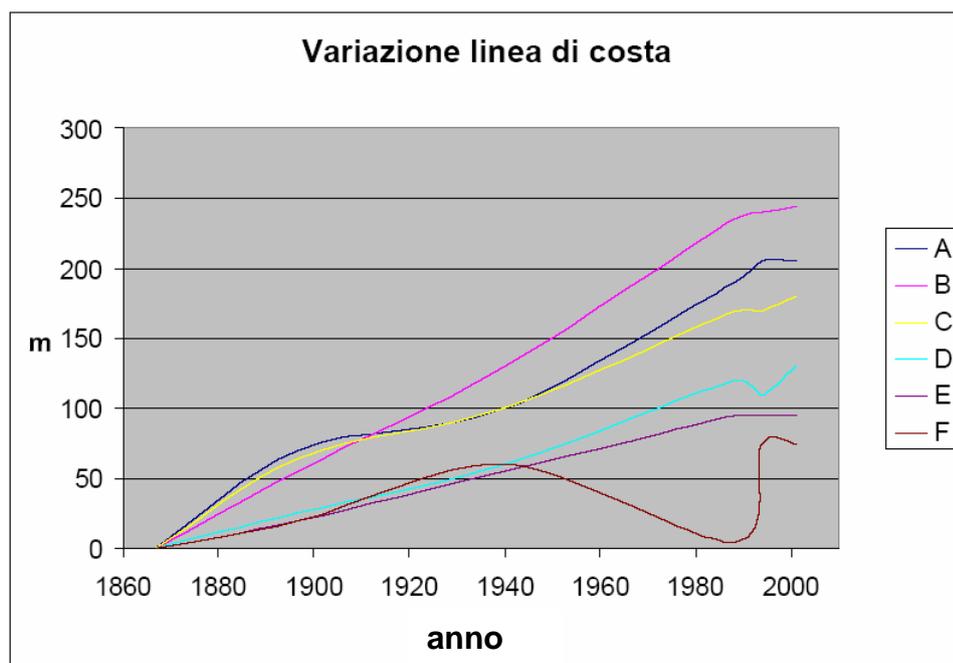


Figura 3.3. *Variazione della linea di costa nei pressi del Biviere di Gela (fonte:GreenStream, 2003)*

Dal grafico è evidente come l'arretramento della linea di costa sia un processo attivo già dal 1867 che continua in modo abbastanza lineare fino ai giorni nostri. Il fenomeno è più evidente lungo il margine occidentale del SIC Biviere di Gela (sezioni A, B e C) con un arretramento medio di 210 metri, meno procedendo verso la foce del Fiume Dirillo (sezioni D, E e F) con un arretramento medio di 100 metri. Un'accentuazione dell'erosione si è avuta dopo il 1940 probabilmente con la realizzazione delle dighe lungo i principali corsi d'acqua che hanno limitato significativamente i normali apporti di materiale solido prodotti dalla rete idrografica. Dalla modellizzazione effettuata (dalla Snamprogetti per la progettazione dell'approdo della condotta) è previsto un ulteriore arretramento di circa 26 metri del margine occidentale dell'area SIC del Biviere nei prossimi 50 anni. Probabilmente la causa principale dell'erosione costiera è da ricercare, vista la storicità del fenomeno, in mutamenti climatici o di coperture dell'uso del suolo che hanno modificato nel tempo o il regime delle correnti o i vari contributi di materiale apportato alla costa. Sicuramente, tra le cause, negli ultimi anni è da ascrivere anche l'intervento antropico che ha ridotto nel tempo i contributi di materiale sabbioso a questo tratto di spiaggia come ad esempio può aver contribuito la diga sul Fiume Gela.

3.4. Aggiornamento della linea di riva al 2006

Al fine di verificare la tendenza evolutiva della linea di costa valutata per gli anni precedenti è stata condotta una analisi dei dati più recenti relativi alla posizione della linea di riva.

Per tale aggiornamento sono state utilizzate le ortofoto in b/n del SIDERSI⁴ in scala 1:2.000 realizzate con voli del 2000-2001, le immagini del satellite QuickBird del 2006, nonché la Cartografia Tecnica Regionale del 1997 in scala 1:10.000, in particolare le sezioni 643100, 643120, 643160, 644110, 644130, 647010.

Sono state determinate le posizioni della linea di riva del 1997, del 2001 e del 2006, che hanno consentito di estendere l'analisi ad un periodo di almeno un decennio.

L'analisi si è estesa per circa 9 km a ponente del porto fino a Torre Manfria all'interno del SIC ITA050011 "Torre Manfria", e per circa 14 km a levante del porto fino all'estremità orientale del SIC-ZPS ITA050001 "Biviere e Macconi di Gela", in prossimità della foce del fiume Dirillo.

Per il tratto di litorale sopra specificato sono state tracciate delle sezioni pressoché perpendicolari alla costa, con interasse di 200 m, in numero totale di 117 (Figura 3.4) appoggiate ad una linea di riferimento virtuale.

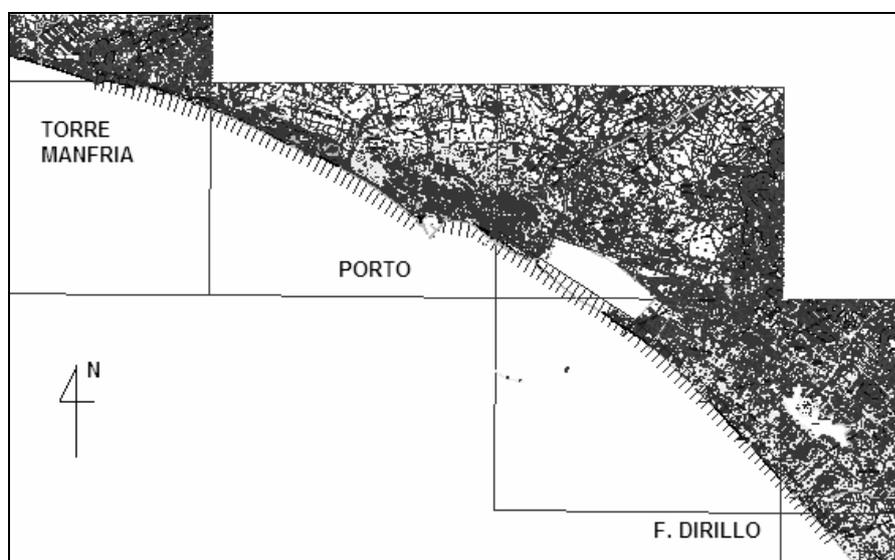


Figura 3.4. Litorale di Gela – Schema delle sezioni utilizzate nei calcoli di aggiornamento.

Il porto di Gela risulta compreso tra la sezione n. 47 e la n. 48. Il litorale sopraflutto al porto è, quindi, compreso tra la sezione n. 1 e la n. 47, mentre il litorale di sottoflutto tra la sezione n. 48 e la n. 117. Per ciascuna sezione e per gli anni oggetto dell'analisi è

⁴ Sistema Informativo Demanio marittimo estensione Regione Siciliana.

stata determinata la posizione della linea di riva.

In figura 3.5 è riportata la variazione della posizione della linea di riva per i periodi di riferimento considerati. Il grafico del pannello A), riferito al periodo dal 1997 al 2006, mostra un valore massimo di arretramento pari a $-50,2$ m nella sezione 63 ed un valore massimo di avanzamento pari a $31,2$ m nella sezione 35, corrispondenti ad un tasso di variazione su base annua rispettivamente pari a $-5,6$ m/anno e $3,5$ m/anno. Il grafico del pannello B), riferito al periodo dal 2001 al 2006, mostra un valore massimo di arretramento pari a $-37,0$ m in corrispondenza della sezione 87 ed un valore massimo di avanzamento pari a $40,1$ m in corrispondenza della sezione 32. Il grafico del pannello C), riferito al periodo dal 1997 al 2001, mostra un valore massimo di arretramento pari a $-37,0$ m in corrispondenza della sezione 63 ed un valore massimo di avanzamento pari a $47,8$ m in corrispondenza della sezione 47.

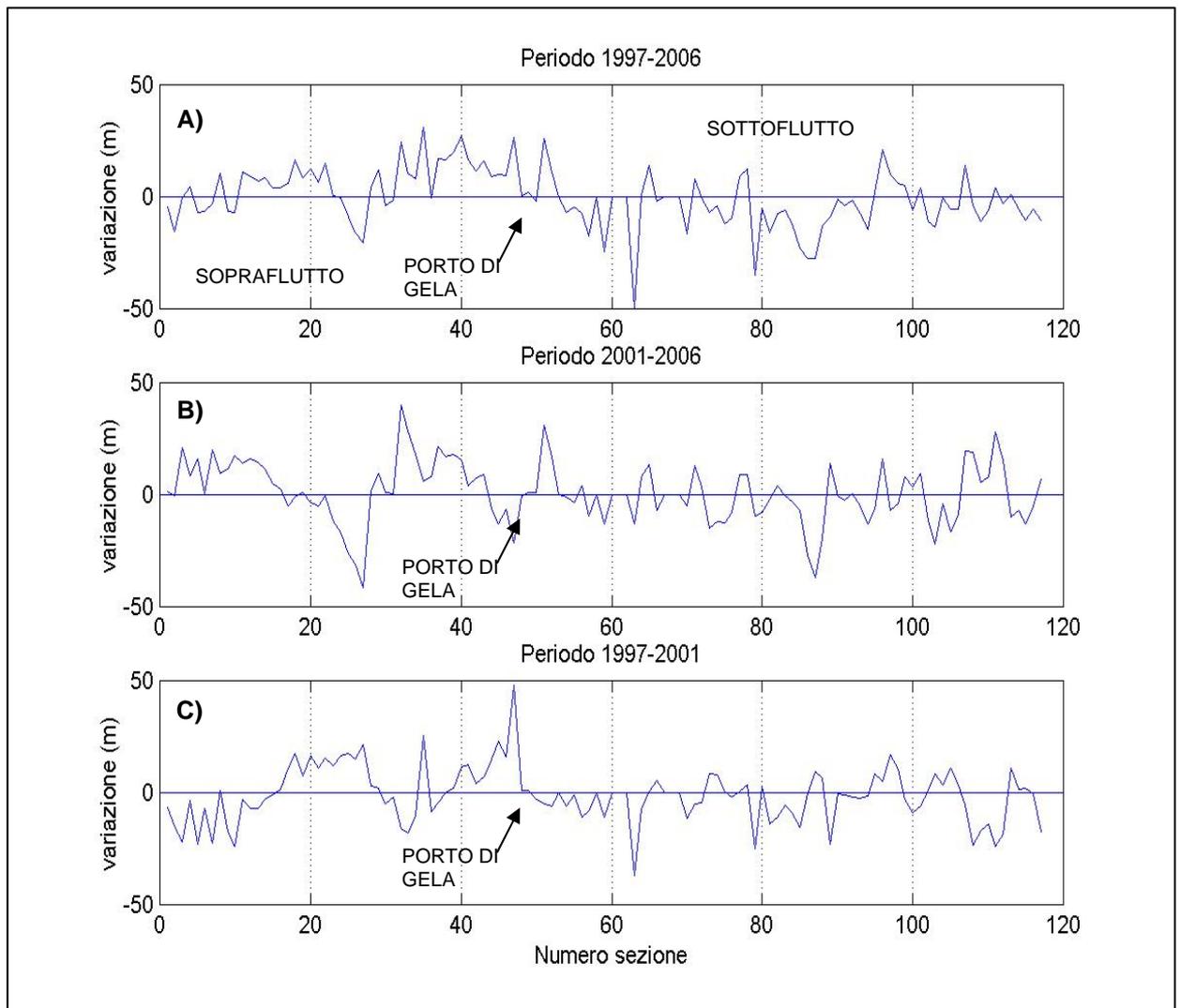


Figura 3.5. *Variazione della posizione della linea di riva tra Torre Manfreda e il F. Dirillo (1997-2001).*

Nella tabella seguente sono riportati, per i periodi analizzati, i valori delle variazioni medie della posizione della linea di riva riferiti al tratto sopraflutto rispetto al porto (sezioni da 1 a 47), al tratto sottoflutto (sezioni da 48 a 117), nonché all'intero tratto di costa esaminato.

VARIAZIONI LINEA DI RIVA MEDIE TOTALI

Sezioni	1997-2001 (m)	2001-2006 (m)	1997-2006 (m)
Sopraflutto (da 1 a 47) ca. 9 km	+2,26	+4,17	+6,43
Sottoflutto (da 48 a 117) ca. 14 km	-3,38	-1,20	-4,58
<i>Totale (da 1 a 117)</i>	<i>-1,12</i>	<i>+0,96</i>	<i>-0,16</i>

Infine, nella tabella successiva sono riportati i corrispondenti valori delle variazioni medie annue della posizione della linea di riva.

VARIAZIONI LINEA DI RIVA MEDIE ANNUE

Sezioni	1997-2001 (m/anno)	2001-2006 (m/anno)	1997-2006 (m/anno)
Sopraflutto (da 1 a 47) ca. 9 km	+0,56	+0,83	+0,71
Sottoflutto (da 48 a 117) ca. 14 km	-0,84	-0,24	-0,51
<i>Totale (da 1 a 117)</i>	<i>-0,28</i>	<i>+0,19</i>	<i>-0,02</i>

In carenza di rilievi topo-batimetrici estesi al tratto di litorale analizzato, le variazioni volumetriche sono state stimate sulla base delle variazioni planimetriche assumendo che il profilo di spiaggia trasli rigidamente, in avanzamento o in arretramento, secondo lo schema riportato nella Figura seguente.

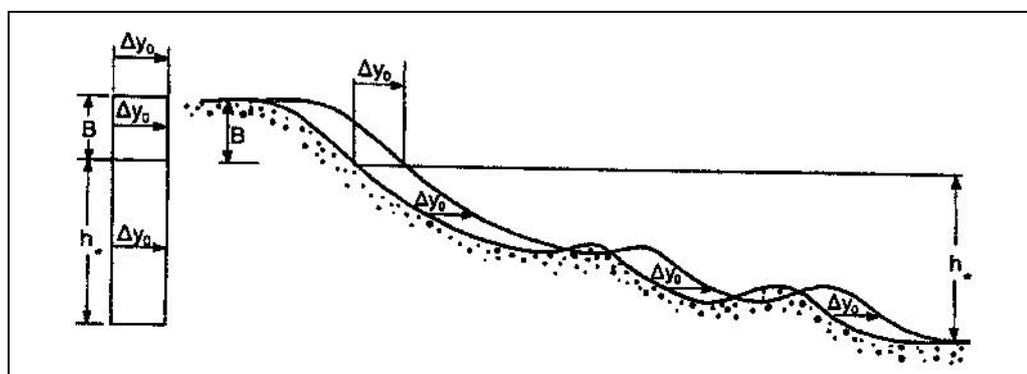


Figura 3.6. *Traslazione del profilo di spiaggia, Δy_0 , associato con un incremento della densità di volume ΔV (m^3/m) per sabbia avente le medesime caratteristiche granulometriche.*

Pertanto, ad ogni variazione planimetrica della linea di costa, Δy_o , corrisponderà una traslazione rigida del profilo di spiaggia per l'intera altezza attiva, determinando in tal modo una variazione della densità di volume pari a

$$\Delta V = \Delta y_o * (B + h_*)$$

dove:

B, altezza della berma di spiaggia (m);

h_* , profondità di chiusura (m).

Intendendo per profondità di chiusura il limite verso il largo entro il quale si attendono le fluttuazioni stagionali del profilo di spiaggia, che può essere determinata utilizzando la relazione sperimentale di Birkemeier nella quale tuttavia non entrano in gioco le caratteristiche granulometriche dei sedimenti.

Pertanto assumendo $B=2$ m e $h_*=5$ m e considerando che l'interasse tra le sezioni di riferimento è pari a 200 m, si sono stimate le variazioni volumetriche.

Nelle tabelle seguenti sono riportate, per i periodi considerati, le variazioni volumetriche medie totali e medie annue riferite al tratto sopraflutto rispetto al Porto (sezioni da 1 a 47), al tratto sottoflutto (sezioni da 48 a 117), nonché all'intero tratto di costa esaminato.

VARIAZIONI VOLUMETRICHE MEDIE TOTALI

Sezioni	1997-2001 (m³)	2001-2006 (m³)	1997-2006 (m³)
Sopraflutto (da 1 a 47) ca. 9 km	+145.448	+268.670	+414.118
Sottoflutto (da 48 a 117) ca. 14 km	-331.100	-117.880	-448.980
<i>Totale (da 1 a 117)</i>	<i>-180.932</i>	<i>+155.295</i>	<i>-25.637</i>

VARIAZIONI VOLUMETRICHE MEDIE ANNUE

Sezioni	1997-2001 (m³/anno)	2001-2006 (m³/anno)	1997-2006 (m³/anno)
Sopraflutto (da 1 a 47) ca. 9 km	+36.362	+53.734	+46.013
Sottoflutto (da 48 a 117) ca. 14 km	-82.775	-23.576	-49.887
<i>Totale (da 1 a 117)</i>	<i>-45.233</i>	<i>+31.059</i>	<i>-2.849</i>

Tale analisi, condotta esclusivamente sulla base delle variazioni planimetriche, potrebbe condurre ad una sovrastima del deficit volumetrico di sedimenti, poiché non tiene conto delle eventuali variazioni stagionali del profilo di spiaggia il quale, generalmente, nel periodo invernale presenta la formazione di una barra sommersa dovuta al trasferimento di sedimenti dalla parte emersa a quella sommersa del profilo, tuttavia, sempre all'interno di quello attivo.

Dai risultati dell'analisi dell'evoluzione morfologica della linea di costa si osserva come nel lungo periodo (1997-2006) per il tratto di litorale da Torre Manfreda alla foce del Fiume Dirillo non si evidenzia un significativo deficit sedimentario, invece, analizzando separatamente il tratto di litorale di sopraflutto e di sottoflutto rispetto al porto si evidenzia un consistente squilibrio della distribuzione dei sedimenti.

Infatti, sopraflutto si ha un accumulo medio annuo di circa 45.000 m³, mentre sottoflutto si ha un deficit di circa 50.000 m³.

Tali valori non tengono in considerazione degli eventuali volumi di materiale accumulatisi all'interno del bacino del porto di Gela né, tantomeno, di quelli eventualmente rimossi mediante le operazioni di dragaggio dei fondali del porto di cui non si hanno informazioni dettagliate (volumi, aree di scarico, date di esecuzioni dei lavori ...).

Tuttavia, tali risultati confermano la presenza di un trasporto solido longitudinale netto da ponente verso levante, il cui valore medio annuo risulta congruo con quello stimato per il medesimo tratto di litorale nell'ambito del sopra menzionato "*Progetto di realizzazione del metanodotto di importazione dalla Libia*" (Greenstream, 2003) pari a circa 63.000 m³.

Dimensionamento del bypass

Capitolo 4

4.1. Necessità dell'impianto

Dalle conclusioni dello Studio di Impatto Ambientale (S.I.A.), in seguito alla futura realizzazione del dispositivo portuale, si è previsto un potenziale avanzamento della battigia nella zona di sopraflutto ed una erosione nella parte sottoflutto.

Al fine di porre rimedio a tale fenomeno si prevedeva, qualora necessario, un sistema di bypass, ossia un impianto avente lo scopo di pompare la sabbia che si accumulerà nella radice esterna del molo di sopraflutto del porto (così come già avviene nell'infrastruttura esistente) per depositarla nella zona di erosione della costa sottoflutto.

4.2. Progetto dell'impianto

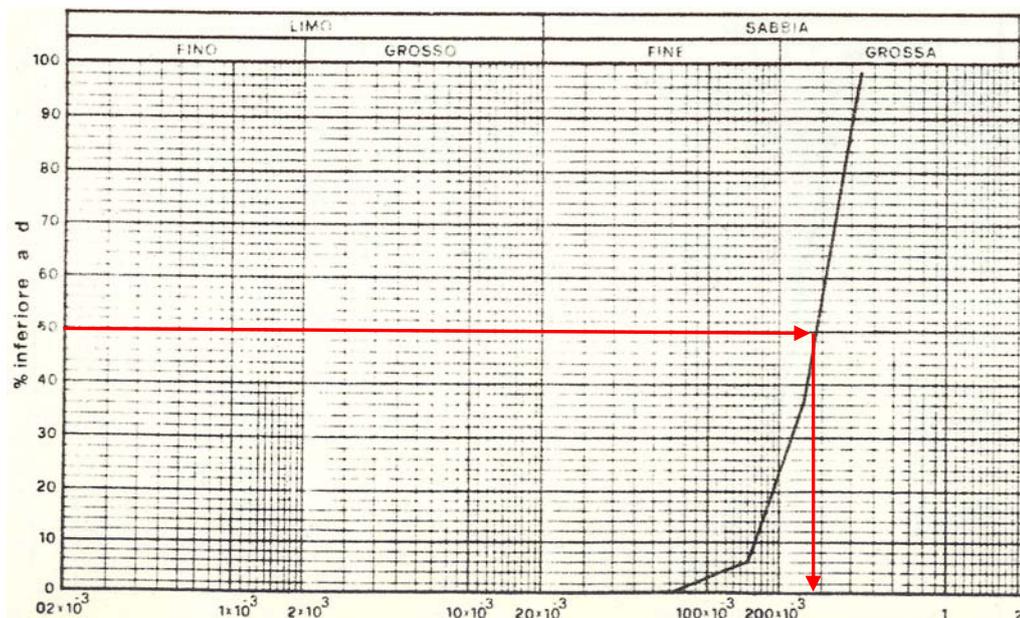
Per il dimensionamento dell'impianto di bypass occorre conoscere il tipo di miscela che si intende trasportare. In particolare, occorre conoscere le caratteristiche fisiche del fluido, al fine di individuare quel valore della velocità di trasporto che eviti la sedimentazione delle particelle solide sul fondo della tubazione. Tipicamente, se la velocità di trasporto scende al di sotto di una certa soglia, le particelle solide cominciano a depositarsi sul fondo, pur continuando a muoversi, generando un

“trasporto di fondo”; tuttavia, non appena la velocità di trasporto scende al di sotto del suddetto valore soglia, le particelle solide cominceranno a formare un deposito stabile sul fondo della condotta.

4.2.1. Calcolo delle perdite di carico nel sabbiodotto

Utilizzando i grafici sperimentali forniti della GIW Industries, azienda americana leader nella produzione di pompe centrifughe per il trasporto di fanghi (c.d. slurry pumps), saranno valutate le perdite di carico per il trasporto di una miscela sabbiosa in una condotta e la relativa potenza necessaria della pompa di sollevamento. Le unità di misura utilizzate nei grafici sono quelle del Sistema Imperiale Britannico⁵.

Dalle valutazioni sul trasporto solido nell’area antistante il porto di Gela, riportate nel capitolo precedente, il valore di progetto preso a base dei calcoli di dimensionamento della tubazione di trasporto è pari a 50.000 m³/anno e una lunghezza di trasporto di circa 1.500 m. Fissiamo la portata massica media da convogliare nel valore pari a 225 t/ora, mentre la condotta scelta ha un diametro DN=8” ossia (essendo 1 in = 25,4 mm) circa 200 mm. Assumiamo che i solidi che costituiscono la miscela di sabbia abbiano un diametro medio⁶ d_{50} di 240 μm , valore prossimo a quello delle analisi granulometriche eseguite nei sedimenti a ponente del porto e presenti nel progetto originario (1981)



⁵ Principali conversioni da Unità Imperiali a S.I.: 1 ft = 0,3048 m; 1 in = 25,4 mm; 1 mile = 1609,34 m.

⁶ Nel caso in cui il materiale solido in esame non sia granulometricamente omogeneo, occorre fare riferimento al d_{50} , vale a dire alla dimensione dell’orditura di un ipotetico setaccio, il quale non trattiene il 50% del peso iniziale del campione di sedimento analizzato. Un micrometro corrisponde a un milionesimo di metro (cioè millesimo di millimetro).

Occorre preliminarmente verificare, attraverso il grafico di Figura 4.1, qual'è il regime del moto della miscela in base al peso e alla grandezza dei granelli di sabbia, bisogna cioè valutare se la miscela può essere trattata come una miscela di sedimentante. Il grafico è tracciato per velocità variabili da 4 a 7 ft/s, ossia (essendo 1 ft = 0,3048 m) da 1,2 a 2,0 m/s, e riporta in ascisse la gravità specifica⁷ della particella solida ed in ordinata il diametro della particella solida. Il suddetto grafico, mediante due curve, suddivide il regime del flusso della miscela in tre tipologie (eterogeneo, composto ed omogeneo), in funzione della grandezza dei solidi e del peso: la miscela che sedimenta è quella che ricade nella zona identificata come “eterogenea”.

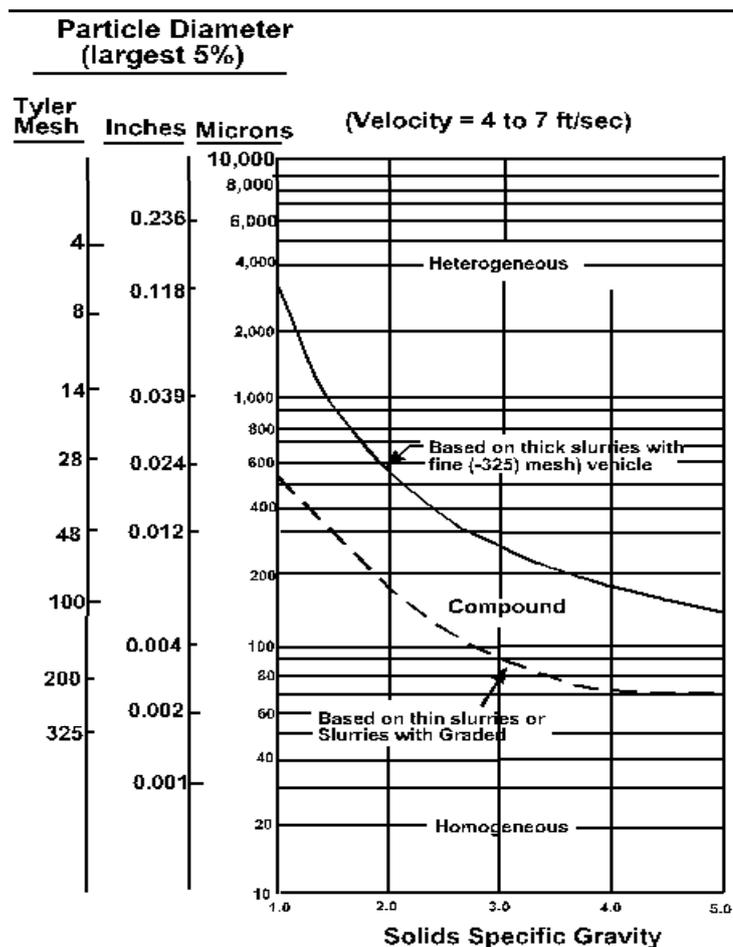


Figura 4.1. Regime di moto della miscela in funzione della grandezza dei solidi e della gravità specifica

Nel dimensionamento del bypass di Gela, la grandezza media d_{50} dei granelli di sabbia è stata posta pari a 240 micron mentre il peso specifico è posto pari a $S=2,65$

⁷ La gravità specifica (o densità relativa) è una grandezza adimensionale, definita come il rapporto tra il peso (o la densità) di un corpo e il peso (o la densità) di un volume di acqua pari al volume del corpo

g/cm^3 : dal grafico si evince che il solido, per la data velocità di trasporto, non sedimenta.

Il grafico di Figura 4.2 mette in relazione il peso S_m della miscela, il peso S del solido, e la concentrazione in peso C_w e in volume C_v , della miscela. Il secondo passo consiste nel risalire al peso della miscela di acqua e sabbia, conoscendo il peso del solido e la sua concentrazione (in volume o in peso). Considerando una concentrazione $C_v=18\%$ e peso $S=2,65 \text{ g}/\text{cm}^3$: dal grafico di Figura 4.2, tracciando la retta che dal punto $S=2,65$ interseca la retta C_v al valore 18% , prolungando quest'ultima fino ad incontrare l'asse verticale otteniamo il valore $S_m=1,30 \text{ g}/\text{cm}^3$ che è il peso (gravità specifica) della miscela acqua-solido.

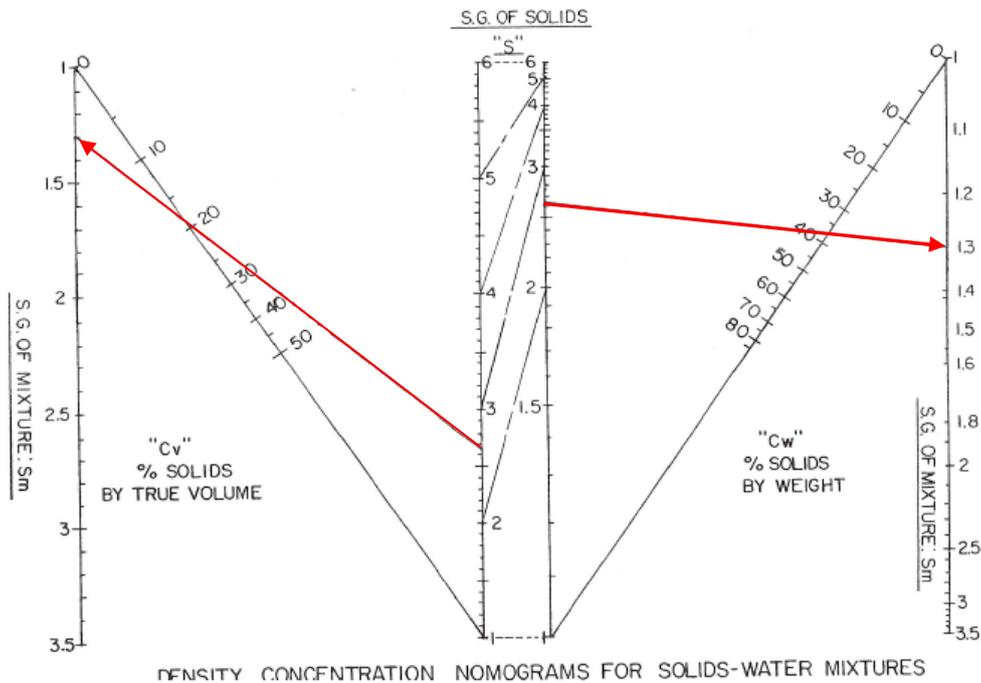


Figura 4.2. Normogramma della concentrazione di densità per miscele acqua-solidi

Questo valore può essere calcolato anche senza l'ausilio del grafico, a partire dalla seguente relazione:

$$S_m = 1 + \frac{C_v}{100}(S - 1) = \frac{1}{1 - \frac{C_w}{100} \left(\frac{S-1}{S} \right)} = \frac{100 - C_w}{100 - C_w} = \left(S \frac{C_v}{C_w} = S_m \right) \times$$

$$C_w = \frac{100S}{\frac{100}{C_v} + (S-1)}$$

stesso alla temperatura di 4°C . Poiché la densità dell'acqua è pari a $1 \text{ g}/\text{cm}^3$, la gravità specifica è numericamente uguale alla densità espressa in g/cm^3 .

dove: S = peso del solido; S_m = peso della miscela; C_w = % in peso di solido nella miscela; C_v = % in volume di solido nella miscela.

A questo punto bisogna stabilire la velocità media V_m della miscela in condotta. Utilizziamo il grafico di Figura 4.3 per calcolare questo valore. Vogliamo verificare i valori relativi al trasporto di 225 t/ora in una condotta del diametro di 8 pollici (circa 20 cm). Entriamo nel suddetto grafico col valore dell'ordinata pari alla portata di 225 t/ora, e proseguiamo orizzontalmente fino ad incrociare, su una retta a parametro SG , il valore del peso della sabbia, ossia gravità specifica $2,65 \text{ g/cm}^3$. Trovato il punto d'incrocio tra questi due valori, lo proiettiamo verticalmente fino ad intersecare la retta con parametro pari al valore della concentrazione scelta, pari a $C_v=18\%$, trovando così un nuovo punto d'incrocio, lo proiettiamo orizzontalmente fino ad incontrare la retta avente per parametro il valore del diametro della condotta, che nel caso in progetto è uguale a 8 pollici (1 in = 25,4 mm). Infine, a partire da questo punto, leggiamo in verticale sull'asse delle ascisse il valore corrispondente che sarà la velocità media della condotta espressa in ft/sec (piedi al secondo; 1 piede= 30,48 cm). Nel nostro caso la velocità media in condotta della miscela vale $V_m=12 \text{ ft/sec}$ (circa 3,65 m/s).

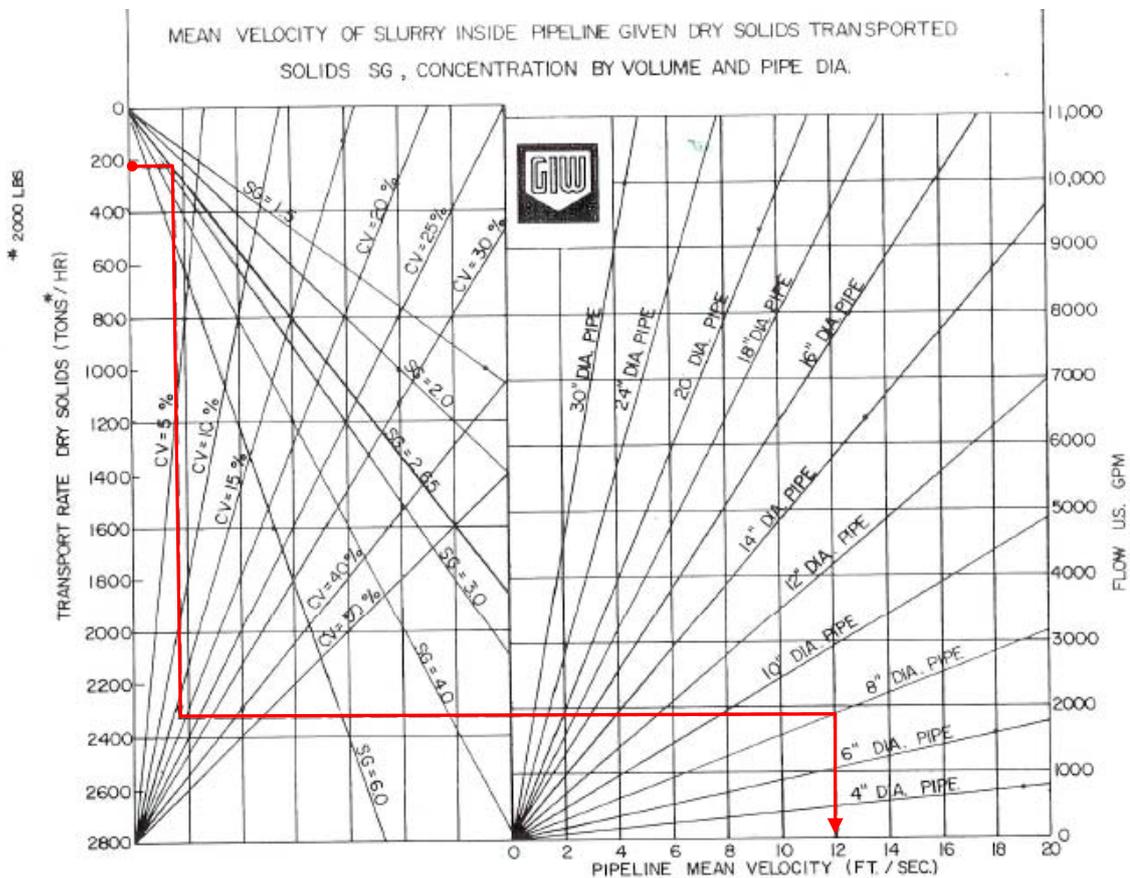


Figura 4.3. Grafico per la stima della velocità media della miscela nella condotta.

Attraverso il successivo grafico di Figura 4.4, possiamo valutare il valore di U'_u (velocità di agitazione, che contribuisce a tenere in sospensione il materiale solido) che è riferito alla sabbia pulita, ossia senza componenti di limo o argilla: il valore delle ascisse è il diametro di 240 μm (micrometri), che intersecato con la curva della granulometria ci restituisce il valore $U'_u = 3,35$ fps (ossia ft/s, quindi circa 1,02 m/s) corrispondente alla “sabbia per fonderia” (sabbia di quarzo).

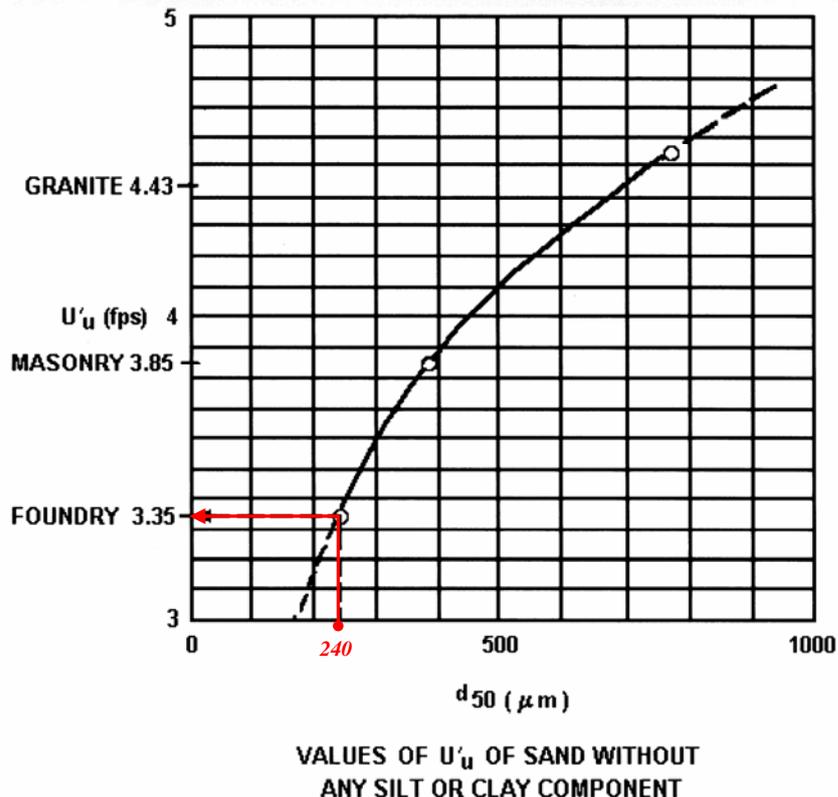


Figura 4.4. Valore di U'_u della sabbia senza alcun componente di argilla o limo

Il grafico rappresentato in Figura 4.5 serve per calcolare la velocità minima di pompaggio in condotta che non da luogo alla sedimentazione delle particelle solide. Avendo trovato il valore di U'_u , che nel nostro caso è 3,35 fps (circa 1,02 m/s), si entra con tale valore sull'asse delle ascisse, si proietta in verticale fino ad incontrare la curva di parametro corrispondente al valore del peso della miscela (gravità specifica pari a 1,3 g/cm^3); proseguendo in orizzontale si arriva ad incrociare la curva di parametro pari al valore del diametro della condotta (8 in) e, infine, si proietta il punto trovato in verticale ottenendo l'ascissa corrispondente al valore della minima velocità stabile di pompaggio, V_{\min} (ft/sec). Dal grafico essa risulta poco meno di 11 ft/sec (circa 3,35 m/s): considerando un certo margine di sicurezza, assumiamo V_{\min} pari a 12 ft/sec (circa 3,65 m/s).

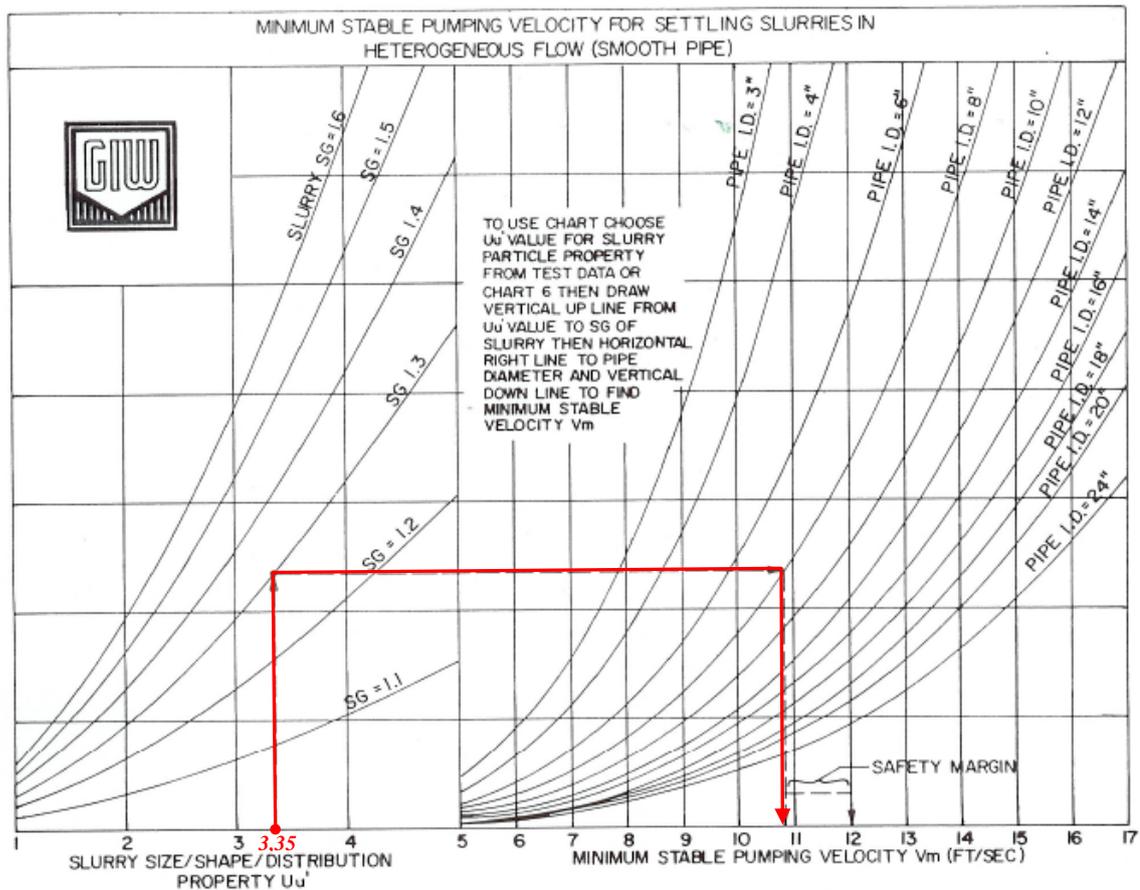


Figura 4.5. Velocità minima di pompaggio per miscele di sedimentazione in moto eterogeneo (tubo liscio)

Le perdite di carico in condotta le valuteremo calcolando separatamente quelle dovute alla portata del liquido (acqua di mare) e quelle dovute alla presenza del solido (sabbia). Infine, mediante un ulteriore grafico (Fig. 4.8) andremo a valutare le perdite di carico complessive della miscela.

Attraverso il grafico di Figura 4.6 possiamo calcolare la perdita di carico della condotta dovuta alla portata liquida. Entriamo in ascissa con il valore del diametro della condotta scelta, pari a 8", e intersechiamo in verticale la curva relativa ai tubi lisci; quindi ci spostiamo orizzontalmente fino a intercettare la retta avente come parametro il valore della velocità minima di pompaggio determinata prima, ossia 12 ft/sec; infine leggiamo il valore dell'ascissa corrispondente, $H_w = 4,4$ ft $H_2O/100'$ di tubo, che è proprio la cadente piezometrica J della condotta dovuta alla portata liquida e il cui valore è adimensionale, essendo un rapporto ft/ft, ed è diviso per cento (in questo caso risulta $J_w = 0,044$, cioè 4,4 m ogni 100 m di condotta).

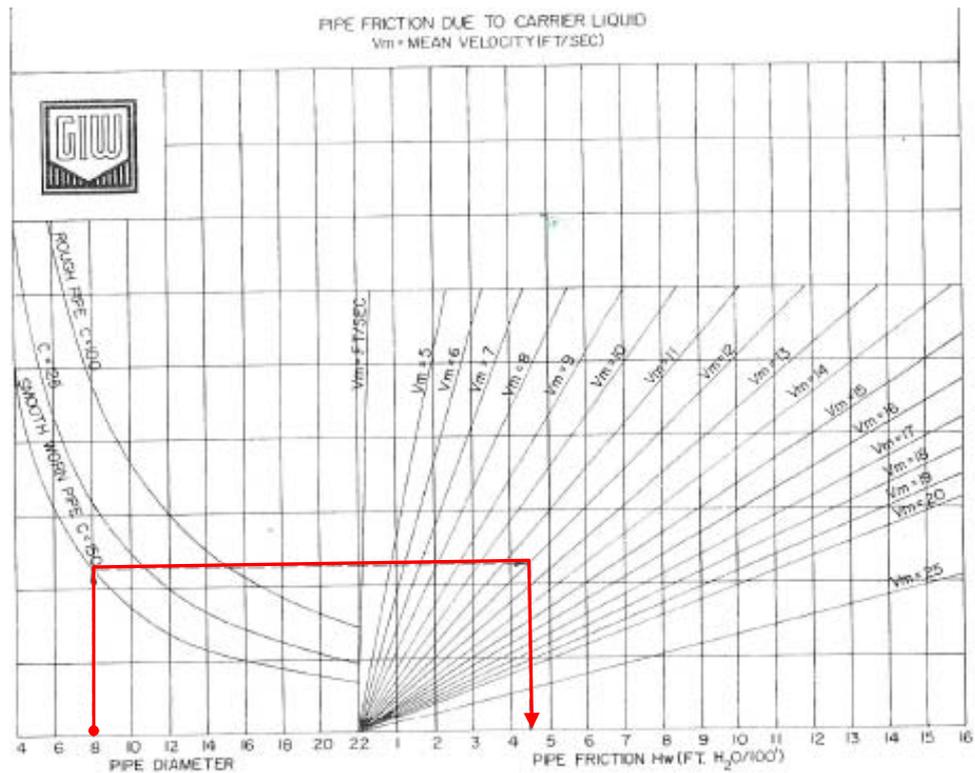


Figura 4.6. Attrito nella condotta dovuto al trasporto liquido.

Il grafico successivo di Figura 4.7 lo utilizziamo, invece, per calcolare la perdita di carico dovuta al trasporto del solido. Entriamo in ascissa con il valore di U'_u , che nel nostro caso è 3,35 fps (circa 1,02 m/s), lo incrociamo con la curva corrispondente al peso della miscela (gravità specifica pari a 1,3 g/cm³) e proseguiamo in orizzontale fino a intercettare la retta avente come parametro il valore della velocità minima di pompaggio determinata prima, ossia $V_{\min} = 12$ ft/sec: l'ascissa relativa rappresenta il valore di $H_{SE} = 3,6$ ft H₂O/100' di condotta, ossia la perdita di carico dovuta al solido trasportato $J_{SE} = 0,036$ (circa 3,6 m ogni 100 m di condotta).

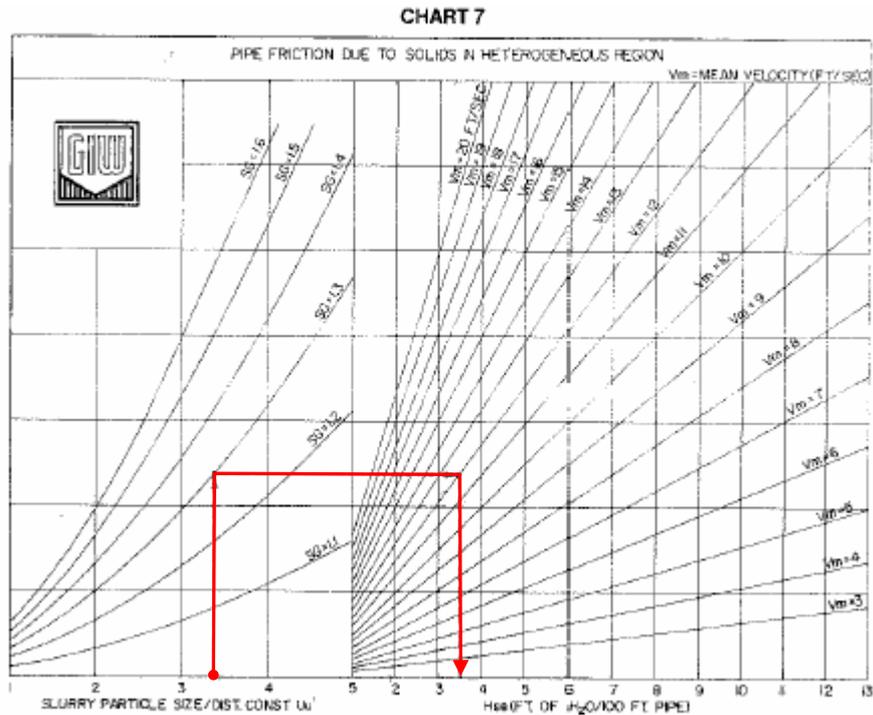


Figura 4.7. Attrito della condotta dovuto ai solidi nella regione eterogenea

I valori ottenuti dai grafici di Figura 4.6 e di Figura 4.7 vengono combinati e convertiti in perdite di carico totali. Nella parte superiore del grafico di Figura 4.8, si individua il valore dell'attrito dovuto al trasporto liquido calcolato prima ($H_w = 4,4$ ft H₂O/100' di condotta) e si unisce mediante una retta al valore dell'attrito dovuto al trasporto dei solidi ($H_{SE} = 3,6$ ft H₂O/100' di condotta) rappresentato nella parte inferiore del grafico: in totale abbiamo un valore pari ad 8 ft H₂O/100' di condotta (dato dalla somma dei due valori 4,4 e 3,6) che sarà individuato dall'intersezione di tale retta con l'asse delle ascisse nella parte centrale del grafico.

A partire da questo valore individuato (*total pipe friction*, pari ad 8), tracciamo la verticale fino ad intersecare la retta avente parametro il peso della miscela che stiamo considerando ($1,30 \text{ g/cm}^3$). Tracciando, infine, la proiezione orizzontale di questo punto si ottiene l'ordinata cercata, pari a 6,15 ft di miscela/100' di condotta, ossia il valore delle perdite di carico della miscela su 100 ft di condotta (circa 6,2 m ogni 100 m di condotta).

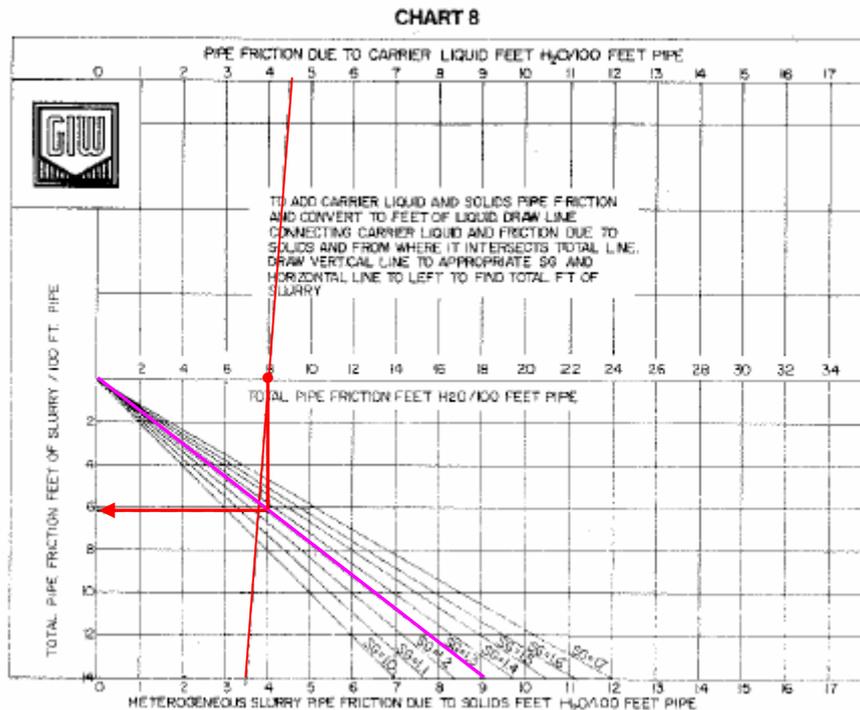


Figura 4.8. Perdite di carico totali in condotta.

4.2.2. Dimensionamento dell'impianto di sollevamento

A partire dalle perdite di carico totali valutate con il grafico di Figura 4.8, utilizziamo il grafico di Figura 4.9 per calcolare il consumo specifico di energia (SEC) in HP-hr/ton-mile, che esprime il rapporto tra la potenza (cavalli vapore ora) richiesta per superare le perdite di carico in una tubazione orizzontale e la massa dei solidi trasportati: essa è una misura dell'efficienza energetica (valore inverso).

Entriamo nelle ordinate con il valore delle perdite di carico totali J appena calcolate (6,15 ft/ft), fino ad intercettare la retta a parametro la gravità specifica dei solidi (2,65 g/cm^3), poi muovendoci in verticale intercettiamo la retta avente parametro la concentrazione in volume della miscela ($C_v = 18\%$) e, infine, muovendoci in orizzontale sull'altro asse delle ordinate leggiamo il valore della SEC. Nel nostro caso il suo valore è pari a 0,687 HP-hr/ton-mile.

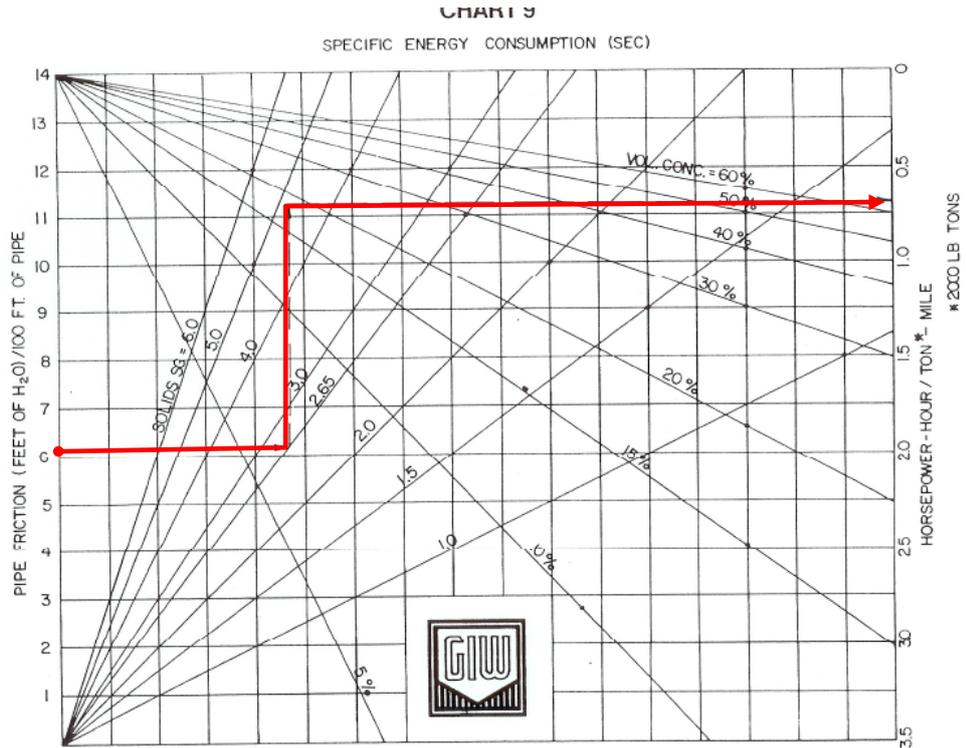


Figura 4.9. Consumo specifico di energia (HP-hr/ton-mile).

Questo è dunque il procedimento per calcolare le perdite di carico di una miscela e la potenza della pompa necessaria al trasporto della stessa.

Nel seguito sono ripetuti gli stessi calcoli, considerando diverse concentrazioni C_v in volume della miscela da trasportare, ricordando che:

- S_m = peso della miscela
- V_m = velocità media della miscela in condotta
- V_{min} = velocità minima di pompaggio
- U_u' = valore limite della velocità di sedimentazione
- H_w = perdite di carico relative solo all'acqua
- H_{se} = perdite di carico relative solo al solido
- J = perdite di carico totali della miscela (ft di miscela per ft di tubazione)

C_v %	U_u' ft/sec	V_{min} ft/sec	S_m g/cm ³	V_m ft/sec	H_w ftH ₂ O / 100' pipe	H_{SE} ftH ₂ O / 100' pipe	J ftmiscela/ 100' pipe	SEC HP-hr/ ton-mile	P kWh/ mile
15	3,35	10,15	1,2475	14,25	6,20	2,70	6,90	0,880	147,7
18	3,35	10,80	1,3000	12,00	4,40	3,60	6,15	0,687	115,3
20	3,35	11,25	1,3300	11,00	3,80	4,33	6,10	0,700	117,5
21	3,35	11,40	1,3465	9,00	3,20	6,33	7,10	0,680	114,1
25	3,35	11,75	1,4125	8,75	2,50	8,35	7,20	0,700	117,5

Come si vede dalla tabella, a parità di portata, facendo variare la concentrazione la velocità di sedimentazione U_u' non cambia perché il suo valore è legato alla grandezza dei sedimenti, mentre V_{\min} dipende da U_u' e dal DN. Pertanto, fissato il diametro della condotta, la precedente tabella resta valida al variare di portata e concentrazione di miscela. Le perdite di carico totali, invece, prima diminuiscono e poi aumentano, come mostrato di seguito, perché fintanto che le concentrazioni si mantengono basse, la miscela ha un comportamento più simile a quello dell'acqua.

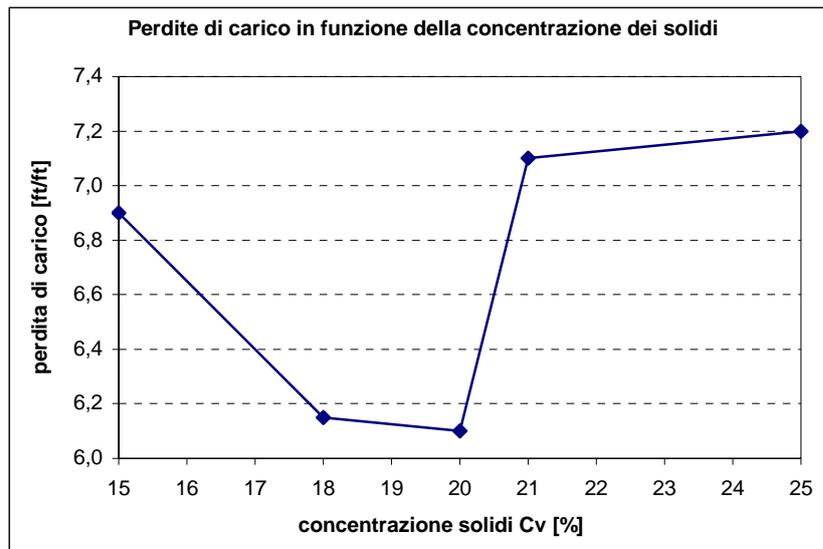


Figura 4.10. Andamento delle perdite di carico in funzione della concentrazione dei solidi.

Col diminuire della velocità diminuiscono le perdite di carico. Superata una certa concentrazione di solido nella miscela, le particelle influenzano il moto determinando un ulteriore abbassamento della velocità e un aumento delle perdite di carico totali.

Il valore della potenza specifica P (per miglio di tubazione) nell'ultima colonna della precedente tabella, è stato calcolato considerando il fattore di conversione da HP-hr a kWh ($1\text{kWh} = 0,7457\text{ HP-hr}$) e poi moltiplicando per la portata massica di progetto pari a 225 t/h. Il valore di 115,3 [kWh/miglio] corrisponde a circa 72 [kWh/km] (essendo 1 miglio = 1,609 km). Per il corretto dimensionamento della potenza della pompa occorre considerare il rendimento η del motore ad esso accoppiato e, inoltre, alle perdite di carico totali deve essere sommato il dislivello geodetico esistente che nel caso del porto di Gela è stimato pari a 3 m, rimandando al rilievo del progetto esecutivo una più precisa valutazione.

Conoscendo il diametro della condotta di progetto (DN=8 in = 0,2 m) e il valore della minima velocità stabile di pompaggio ($V_{\min} = 12 \text{ ft/s} = 3,66 \text{ m/s}$), possiamo calcolare la portata oraria volumetrica da trasportare in $414 \text{ m}^3/\text{h}$.

Avendo, quindi, determinato le perdite di carico totali per la tubazione DN200 ($J = 0,0615$), possiamo calcolare la potenza del motore accoppiato alla pompa mediante l'espressione seguente:

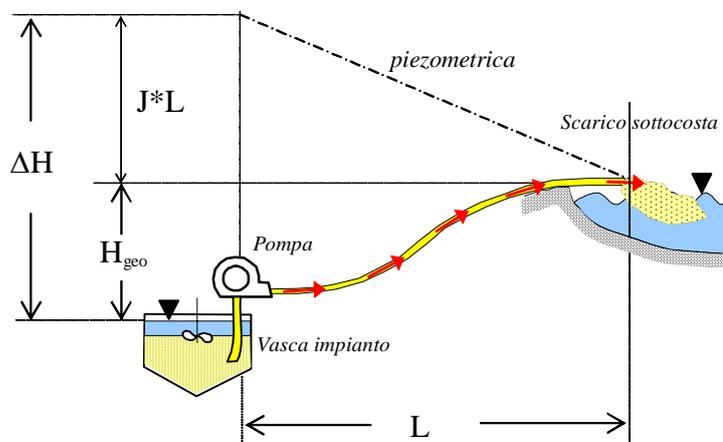
$$W = \frac{g * Q * \Delta H * \gamma}{\eta * 1000} \quad [kW]$$

dove:

- Q portata elevata [m^3/s];
- ΔH prevalenza totale da vincere [m];
- γ peso specifico della miscela [kg/m^3];
- η rendimento del motore accoppiato alla pompa [%];
- g accelerazione di gravità [m/s^2];

– la prevalenza totale, pari alla somma della prevalenza geodetica e delle perdite di carico come illustrato nello schema seguente:

$$\Delta H = H_{\text{geo}} + J * L$$



Per il corretto funzionamento della pompa, quindi, alle perdite di carico totali deve essere sommato il dislivello geodetico H_{geo} , che nel caso del porto di Gela è stimato pari a 3 m, rimandando al rilievo del progetto esecutivo una più precisa valutazione.

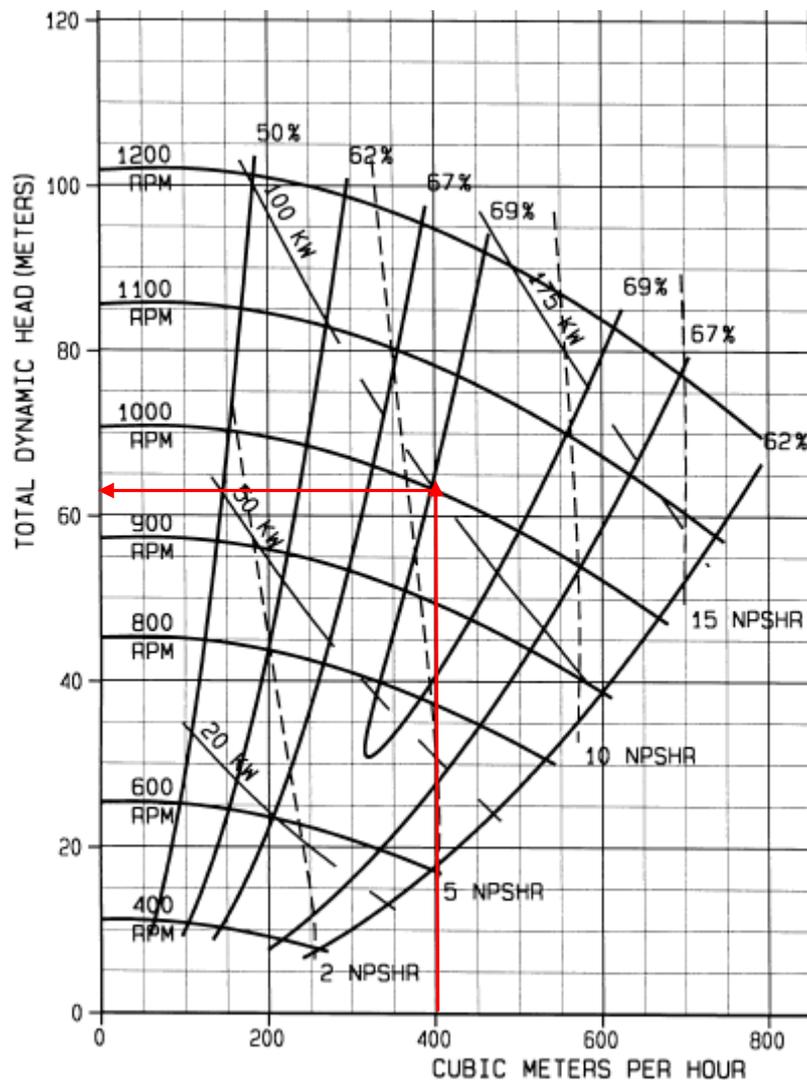
Ponendo la lunghezza della condotta pari a $L = 1.500 \text{ m}$, $J = 0,0615$, $\gamma = 1.030 \text{ kg}/\text{m}^3$, $Q = 0,115 \text{ m}^3/\text{s}$, $H_{\text{geo}} = 3 \text{ m}$, $\eta = 0,8$, $g = 9,81 \text{ m}/\text{s}^2$, risulta:

$$W = 138 \text{ kW}$$

Il valore unitario per km di percorso sarà dunque uguale a $W_u = 92,2 \text{ kW}/\text{km}$.

Si osserva che il suddetto valore W_u calcolato, ponendo il rendimento della pompa $\eta=1$ (teorico), dà luogo al medesimo risultato ottenuto prima graficamente ossia circa 72 kWh/km.

Come riferimento, per la scelta delle caratteristiche della pompa centrifuga, si può considerare il seguente grafico della GIW (modello *LSA S Series Slurry Pumps: SC 4 x6 LSA 25(HP) A H 4 / 4ME 3-15/16 9606D-00 E 44 -05 B 37 -05*) che mette in relazione la portata in m^3/h e il carico totale (m) consentendo di ottimizzare il funzionamento dell'impianto per il trasporto della miscela sabbiosa.



Nel nostro caso, essendo pari a 95 m la prevalenza totale da vincere e 414 m^3/h la portata oraria da sollevare, dal grafico della pompa della GIW si evince che sarà necessario utilizzare due pompe, installate in serie, con carico idraulico di 62,5 m ciascuna.

L'obiettivo del trasferimento della sabbia accumulatasi sopraflutto al porto è quello

di conseguire il ripristino del trasporto solido sottoflutto. A tal fine, la distanza idonea a cui rilasciare le sabbie sottoflutto sarebbe quella che consente di superare tutte le barriere frangiflutti esistenti, così da evitare un eventuale intrappolamento dei sedimenti proprio all'interno di tali opere, le quali, tuttavia, si presentano già riempite da sabbia. La distanza del sabbiodotto che consentirebbe di raggiungere tale finalità sarebbe almeno di 6 km, comportando un impiego di almeno 6 pompe in serie con le caratteristiche sopra descritte ed un impegno energetico elevato (circa 540 kW). Per tale motivo si è scelto di refluire le sabbie ad una distanza di 1,5 km, dalla stazione di sollevamento, tratto che consentirà di giungere appena al di là del molo di sottoflutto. In tal caso l'obiettivo del trasferimento della sabbia sarà quello di ricostituire il tratto di spiaggia, già fortemente eroso, subito prima delle barriere frangiflutti realizzate nel 1970 e nel 1992.

4.2.3. Dimensionamento della vasca di raccolta delle sabbie

Al fine di poter garantire la funzionalità dell'impianto di sollevamento, bisognerà fare ricorso ad una vasca di raccolta della miscela sabbiosa posta a monte della pompa centrifuga di sollevamento. Poiché risulta necessario, inoltre, garantire la concentrazione di solidi fissata nei calcoli di progetto, al fine di evitarne la sedimentazione in condotta, è opportuno ricorrere ad un sedimentatore ad effetto rapido.

Sarà quindi realizzato un dissabbiatore il quale consentirà sia l'accumulo delle sabbie da cui avviare il sollevamento sia, qualora necessario, l'addensamento della miscela acqua/sabbia fino alla concentrazione di progetto stabilita, ossia $C_v = 18\%$.

All'uscita del dissabbiatore, nella tubazione di scarico delle sabbie, saranno installati un misuratore di densità (del tipo "nucleare"⁸ oppure ad "effetto Coriolis") e un misuratore di portata elettromagnetico per il controllo della portata e della concentrazione dei solidi, al fine di raggiungere le condizioni di concentrazione ottimali ($C_v = 18\%$), ossia senza sedimentazione in condotta, e per il miglior funzionamento della pompa centrifuga che scaricherà le sabbie nei punti prestabiliti sottoflutto.

⁸ Una carica radioattiva racchiusa in un contenitore viene posizionata all'esterno di un tubo in posizione diametralmente opposta al ricevitore. Le radiazioni rilevate dal ricevitore variano in funzione del peso specifico del liquido: maggiore è la densità minore è la radiazione rilevata.

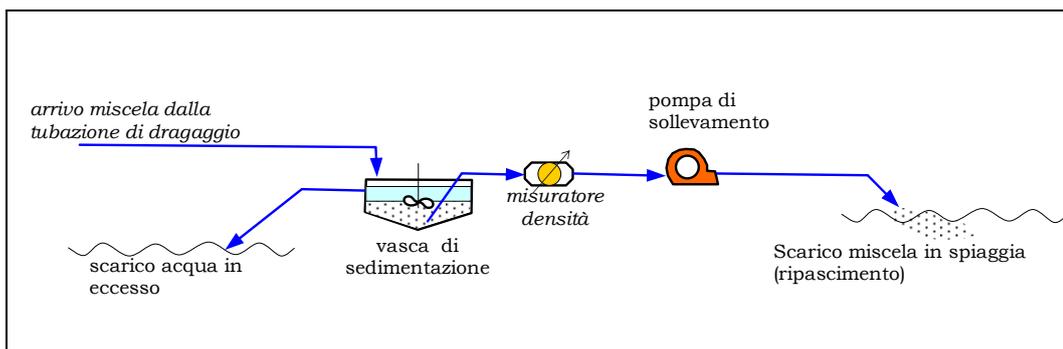
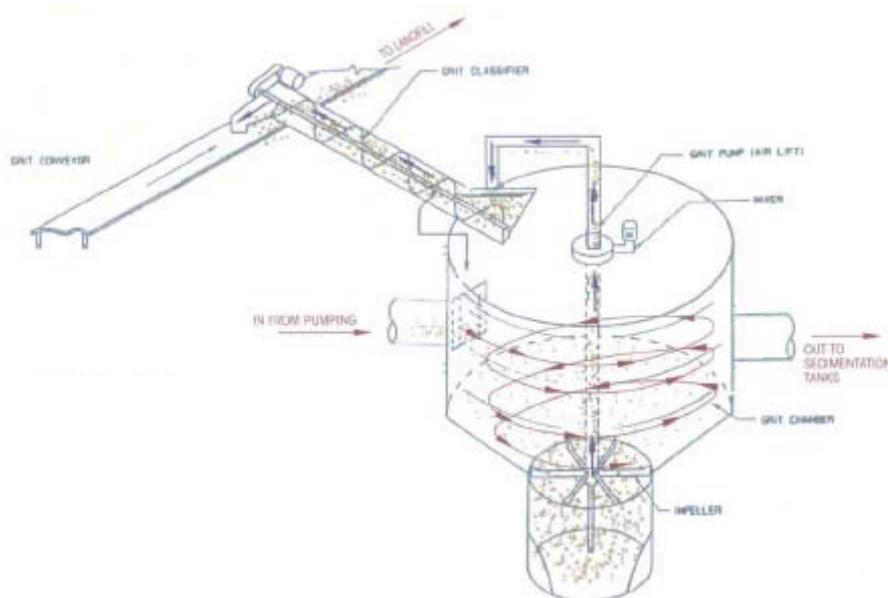


Figura 4.11 – Schema di impianto per la regolazione della concentrazione della miscela sabbiosa.

Il dissabbiatore che si utilizzerà è compatto del tipo centrifugo (c.d. pista), di forma mista cilindrica e tronco conica, al fine di ridurre le dimensioni di ingombro e di velocizzare la raccolta delle sabbie.



L'acqua entra nella vasca di dissabbiatura con moto tangenziale e delle pale, agitate da una turbina, mantengono nel liquido uno stato di agitazione per qualsiasi condizione di portata. Il flusso tangenziale ed il moto delle pale favorisce la sedimentazione delle particelle di sabbia sul fondo. La sabbia lanciata verso le zone periferiche viene frenata dalle pareti e si raccoglie sul fondo da dove viene estratta mediante una pompa tipo “mammut”, che sfrutta il principio dell’air-lift.

Il dimensionamento del dissabbiatore viene effettuato sulla base di tempi di ritenzione di 2-3 minuti, con potenze impegnate (per il sistema di agitazione) pari a 0,3-1,0 Wh/m³. Per il dimensionamento si è fatto ricorso alle tabelle di una casa costruttrice. In tali tabelle in funzione della portata massima in ingresso, sono riportati i valori del

diametro della vasca, portata minima di aria richiesta per l'estrazione della sabbia, altezza totale del dissabbiatore, volume del dissabbiatore, tempo di ritenzione.

Di seguito si riportano alcuni dati di progetto utilizzati per la scelta del dissabbiatore, evidenziando la soluzione tecnica scelta (A = 2,5 m, D = 0,65 m E = 1,1 m, F = 0,3 m, G = 1,1 m).

A mm	D mm	E mm	F mm	G mm	H mm	Portata m ³ /h	kW	DN PN10
2000	450	1000	300	1000	600	360/430	0,75	80
2500	650	1100	300	1100	700	650/800	0,75	80
3000	650	1200	450	1200	800	1050/1250	1,1	80
3500	650	1300	650	1350	800	1550/1900	1,1	80
4000	950	1400	650	1550	1000	2200/2700	1,1	100
5000	950	1600	900	1650	1150	3400/4200	1,1	100
6500	1000	2000	1300	2000	1400	4800/5850	2,5	100

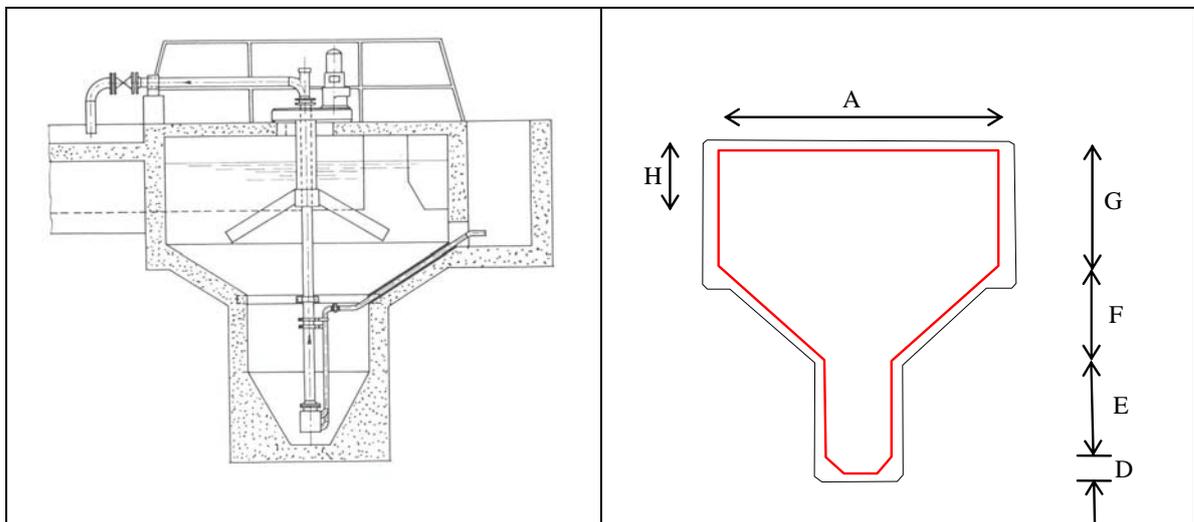


Fig.4.12- Dissabbiatore centrifugo della "Passavant Impianti" tipo "Pista".

Si riporta, infine, la voce di Capitolato suddivisa nelle due voci "apparecchiatura di rotazione" e "gruppo riduttore e idroestrattore".

APPARECCHIATURA DI ROTAZIONE E AIR LIFT PER DISSABBIATORE TIPO PISTA

- *Fornitura e posa in opera di gruppo riduttore e idroestrattore per dissabbiatore tipo Pista del diametro di 250 cm, costituito da gruppo di movimentazione con ralla dentata, pignone, motoriduttore con albero di trasmissione e tubo di uscita sabbie; Albero centrale di grosso spessore accoppiato con la ralla dentata, completo di pale agitatrici opportunamente sagomate. Il tutto realizzato in AISI 304; Air-Lift, tubazione di opportuno diametro, con attacchi da 1" ¼ per l'immissione dell'aria e dell'acqua, il tutto realizzato in AISI 304; Motoriduttore con vite coassiale, accoppiato all'albero centrale tramite pignone e ralla; motore elettrico. Completo di scatola di movimentazione realizzata in lamiera di AISI 304 al cui interno è alloggiato il gruppo di movimentazione ed il tubo uscita sabbie; Albero centrale completo di pale agitatrici opportunamente sagomate realizzato in AISI 304;*

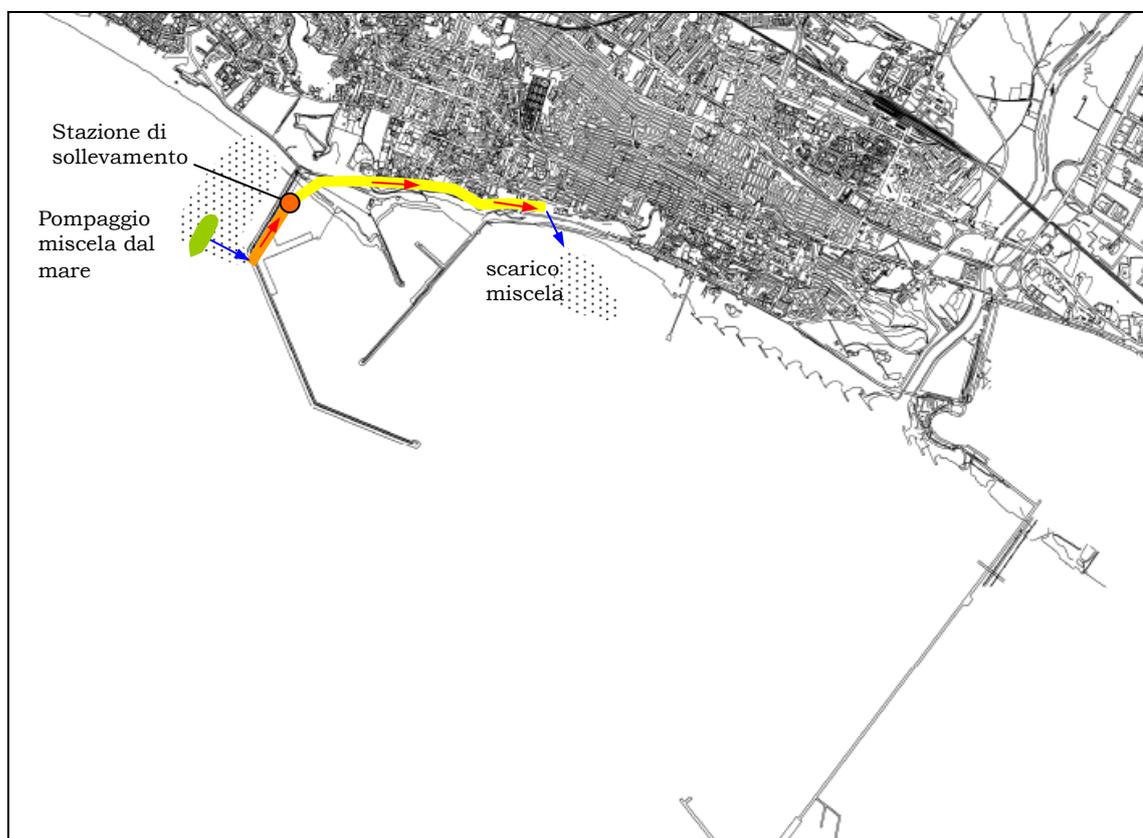
Air-Lift per l'estrazione delle sabbie compresi attacchi per immissione aria ed acqua il tutto in AISI 304; Riduttore a vite coassiale per movimentazione pale convogliatrici; Motore elettrico 1.1 kW, 220/380 Volt, 50 Hz trifase, protezione IP 55, isolato in classe F. A corredo, manuali e certificato di garanzia. il tutto con marchio CE - UNI EN ISO 9002. Il tutto conforme ai disegni di progetto e dato in opera perfettamente funzionante collegato alla rete idrica e alla adduzione dell'aria, e realizzato a regola d'arte.

- Gruppo riduttore e idroestrattore per dissabbiatore tipo Pista del diametro di 250 cm..

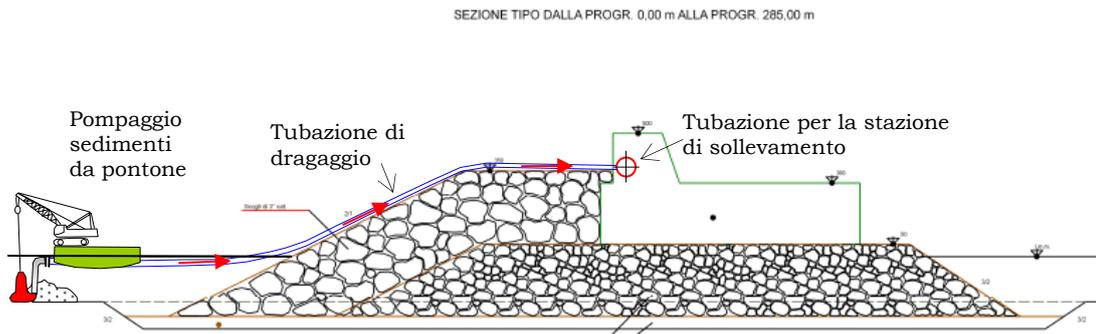
Si ribadisce, dunque, che tale tipo di soluzione impiantistica risulta utile per regolare la densità della miscela, al fine di evitare la sedimentazione in condotta delle sabbie e, quindi, l'ostruzione della stessa che causerebbe evidenti problemi di trasporto, alti costi di manutenzione e sprechi energetici nel sollevamento.

4.3. Modalità operative dell'impianto

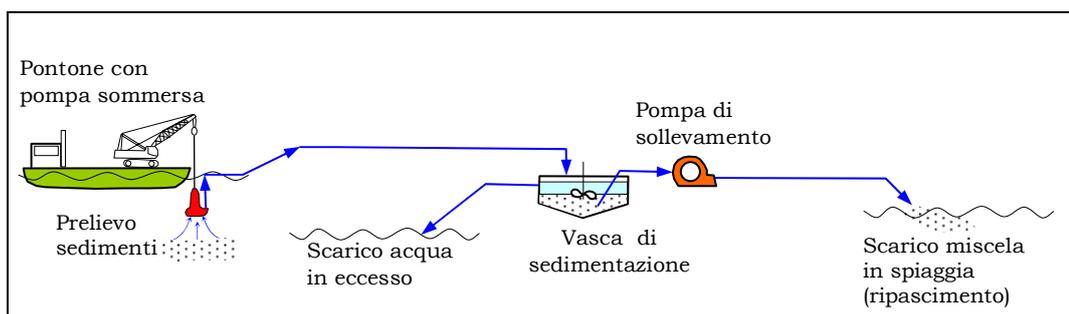
Per il trasferimento della sabbia sottoflutto al porto rifugio di Gela, la stazione di sollevamento sarà connessa ad una condotta in acciaio del DN 200 con tracciato che si sviluppa lungo la battigia, a partire dal locale tecnico, per una lunghezza di circa 1,5 km.



La condotta di alimentazione della stazione di sollevamento a terra potrà essere inglobata nel corpo di una parte del molo di sopraflutto, munita di valvole tra loro equidistanti per l'innesto della tubazione flessibile di dragaggio che sarà azionata da un mezzo marittimo (pontone) munito di pompa sommersa. Il mezzo marittimo, tramite ispezione visiva (con ecoscandaglio), posizionerà la pompa sommersa nei punti di maggior accumulo della sabbia a tergo del molo di sopraflutto, all'interno dell'area di "trappola dei sedimenti".



Le operazioni di dragaggio potranno essere distribuite in distinti periodi dell'anno, ossia quelli successivi alle mareggiate più significative (che hanno dato luogo ad un maggior deposito di sedimenti) ma sempre in condizioni meteorologiche favorevoli. Per l'estrazione del materiale sabbioso è consigliabile operativamente l'utilizzo di una pompa jet e l'impiego di una tubazione galleggiante per il trasferimento della miscela alla stazione di sollevamento a terra.



Il pontone munito di pompa compirà quindi il lavoro iniziale, inviando la miscela di acqua e sabbia ad una stazione di pompaggio, dotata a monte di vasca di sedimentazione per raggiungere la concentrazione voluta, che a sua volta invierà la miscela sabbiosa nella zona della costa sottoflutto, attraverso un sabbiodotto della lunghezza di circa

1.500 m. L'acqua in eccesso della sedimentazione sarà scaricata in mare o utilizzata per la successiva diluizione.

Supponendo che il sabbiodotto funzioni per 8 ore al giorno, in un totale di 85 giorni all'anno (circa 3 mesi), in tal caso la portata volumetrica complessiva (stimata in 414 m³/h) che riusciremo a trasportare in un anno è uguale a 281.292 m³, mentre soltanto quella solida (pari al 18% in volume) sarebbe di 50.633 m³, quindi molto prossima al valore di progetto posto pari a 50.000 m³/anno. Questa sarà dunque la regola gestionale di base per il funzionamento dell'impianto di bypass, che potrà comunque essere adattata alla situazione reale monitorata nel tempo tenendo presente il vincolo dell'equilibrio dei sedimenti accumulati sopraflutto ed erosi sottoflutto (non più di 50.000 m³/anno).

Il sabbiodotto terminerà a mare con un diffusore posto in prossimità della linea di costa. Vista l'ubicazione scelta e la flessibilità di gestione dell'impianto, sarà eventualmente possibile utilizzare l'impianto di bypass anche per il dragaggio dei fondali all'interno del porto di Gela.

4.4. Impatto ambientale del bypass

Gli interventi adottati per prevenire l'erosione dei litorali sono classificati come strutturali, come le scogliere frangiflutti che evitano l'allontanamento delle sabbie causato dal moto ondoso, e i bypass di sabbie (sabbiodotti), con i quali la sabbia erosa delle spiagge viene periodicamente rimpiazzata tramite una canalizzazione.

Per l'utilizzo dei bypass convenzionali, come quello che si intende realizzare a Gela, di solito viene fatto ricorso all'utilizzo di escavatori che raccolgono la sabbia da movimentare quando essa si trova al di sopra del livello del mare, o di pontoni per il dragaggio quando invece la sabbia si trova al di sotto del livello del mare. La sabbia viene dunque movimentata da un'area per il tramite di mezzi meccanici (escavatore o draga).

Ciò significa che è necessario un mezzo meccanico mobile per la raccolta della sabbia dalla costa e mezzi di trasporto, quali camion o imbarcazioni, sono indispensabili per portarla a destinazione, così come del personale addetto a tutte le operazioni.

Nel caso del porto di Gela, non sarà necessario ricorrere a escavatori e, quindi, a mezzi di trasporto su strada (camion) per trasferire le sabbie e ripristinare il flusso di sedimenti. Inoltre, non sarà necessario ricorrere al prelievo di materiale sabbioso dalle cave per eseguire tale ripristino.

Il progetto di bypass proposto consentirà quindi di evitare la produzione di inquinamento atmosferico dovuto ai mezzi di trasporto su strada (camion), non incrementerà il traffico veicolare e non richiederà il ricorso a materiale di cava, peraltro non sempre del tutto idoneo per eseguire i ripascimenti dei litorali.

Naturalmente, l'utilizzo di un'imbarcazione (pontone) per il posizionamento della pompa sommersa di estrazione delle sabbie, così come l'energia elettrica necessaria per il funzionamento dell'impianto di sollevamento delle sabbie fino ai luoghi di alimentazione, comporteranno un inquinamento atmosferico (seppur contenuto) sia diretto sia indiretto.

Tuttavia, si ritiene che il confronto con la soluzione del dragaggio delle sabbie dal bacino portuale e del loro trasporto tramite automezzi direttamente fino al luogo di refluento, operazione che comporta dei tempi di attivazione più lunghi dovuti alle autorizzazioni ambientali necessarie (caratterizzazione dei sedimenti, rilascio del provvedimento da parte delle autorità ambientali, ecc.), faccia preferire nel medio-lungo periodo la soluzione del bypass delle sabbie accumulate nell'area esterna al bacino portuale seppur più complessa nella gestione impiantistica.

Al fine di completare l'indagine di raffronto tra le soluzioni alternative discusse (dragaggio con escavatore e bypass con condotta), si riporta di seguito un confronto dei costi associati alla gestione delle due ipotesi di lavoro, rimandando all'analisi costi-benefici la più approfondita valutazione delle esternalità.

4.5. Stima dei costi

I costi che si intendono stimare e raffrontare sono quelli del dragaggio delle sabbie e trasporto a ripascimento del materiale con quelli del funzionamento del sabbiodotto prima progettato.

Nell'ipotesi di utilizzo di un escavatore che esegua lo scavo subacqueo delle sabbie, si può fare riferimento all'articolo 17.1 del Prezzario unico 2007 della Regione Siciliana per i Lavori Pubblici⁹, ossia:

“Scavo subacqueo eseguito senza impiego di esplosivi, fino alla profondità di 15 m. sotto il livello medio del mare, con mezzi meccanici idonei, eventualmente munite di disgregatore di idonea potenza.[...] Nel prezzo, inoltre, è compresa l'eventuale disgregazione subacquea dei materiali mediante adeguati mezzi meccanici, compresi il carico sui mezzi idonei ed il trasporto, a mezzo di betta, a rifiuto o a ripascimento

⁹ Decreto Presidenziale 11 luglio 2007. Suppl. ord. alla Gazzetta Ufficiale della Regione Siciliana (Parte I[^]) n. 32 del 20-7-2007 (n. 23).

delle materie di risulta in zone autorizzate, fino a 5 miglia marine dal cantiere o a terra in apposite aree nell'ambito del cantiere o vasche di decantazione, la cui realizzazione è da compensarsi a parte".

Secondo tale voce di Prezzario, scavando materiali incoerenti anche contenenti elementi lapidei di qualsiasi resistenza e per un volume non superiore a $0,5 \text{ m}^3$, il costo è di $6,30 \text{ €/m}^3$. Pertanto, nel caso di dragaggio di un volume di $50.000 \text{ m}^3/\text{anno}$ si avrebbe una spesa annua complessiva di $315.000,00 \text{ €}$ a cui va aggiunto il costo della caratterizzazione chimica, fisica e microbiologica dei sedimenti prelevati stimabile in $45.000,00 \text{ €/anno}$.

Per quanto riguarda la soluzione impiantistica del bypass delle sabbie, le spese da considerare sono essenzialmente quelle del nolo di un pontone semovente munito di autogrù e pompa per l'aspirazione delle sabbie accumulate sopraflutto, il consumo energetico dovuto al sollevamento delle sabbie fino al luogo di alimentazione, e quelle di manutenzione degli impianti e della condotta di mandata.

Avendo calcolato, dal progetto del bypass, una potenza complessiva necessaria per il sollevamento pari a 138 kW e supponendo che il sabbiodotto (lungo 1.500 m) funzioni per 8 ore al giorno, in un totale di 85 giorni all'anno, applicando un costo unitario di $0,20 \text{ €/kWh}$, le spese energetiche annue di sollevamento ammonterebbero a circa $18.800,00 \text{ €}$ (somma che include le spese di funzionamento del dissabbiatore).

La manutenzione della condotta può essere stimata in una percentuale dello $0,5\%$ del costo a nuovo della stessa tubazione (inclusa la posa in opera). Secondo il prezzario unico regionale del 2007, scegliendo una tubazione DN 200 in acciaio (PN 9 MPa) il costo unitario è pari a $77,70 \text{ €/m}$; quindi, essendo la tubazione in progetto lunga $1,5 \text{ km}$ essa ha un costo di $116.550,00 \text{ €}$, pertanto, la sua manutenzione ammonterebbe a circa $583,00 \text{ €/anno}$. Per quanto attiene la manutenzione dell'impianto di sollevamento (incluse le vasche e la relativa strumentazione di misura), a partire dal costo a nuovo d'impianto (preventivo GIW), quantificato in $90.000,00 \text{ €}$ applicando una percentuale dell' $1,5\%$ le spese annue di manutenzione ammonterebbero a circa $1.350,00 \text{ €}$

Altra spesa da aggiungere è quella dell'utilizzo del mezzo marittimo (pontone) per il prelievo della sabbia dai fondali mediante pompa sommersa che può essere stimato a partire dalla richiamata voce 17.1 del prezzario regionale, valutata prima in $315.000,00 \text{ €/anno}$, dalla quale si deve sottrarre il costo del carico e del trasporto a destinazione (al ripascimento) delle sabbie. Tale costo di trasporto si può stimare, in prima approssimazione, a partire dalla voce 1.2.5. del prezzario seppur riferita a scavi eseguiti a terra, che ha un valore unitario pari a $0,42 \text{ €/m}^3 \cdot \text{km}$: per il quantitativo di 50.000 m^3

di sabbie da movimentare in un anno e per una distanza di 1,5 km, essa da luogo ad un costo annuo di 31.500,00 € Si osserva, tuttavia, che tale costo potrebbe essere inferiore qualora il prelievo delle sabbie avvenisse utilizzando una jet pump (sistema jet flow) manovrata direttamente dalla spiaggia (senza far ricorso a mezzi marittimi) pescando i sedimenti direttamente dai fondali più vicini alla riva.

Pertanto, il funzionamento del bypass, inclusa la manutenzione della condotta e delle opere elettromeccaniche del sollevamento, comporterebbe una spesa complessiva di circa 304.000,00 €/anno. Come mostrato nella tabella che segue, il costo unitario di gestione del bypass risulta dunque di 6,08 €/m³ di sabbia movimentata, più conveniente rispetto al solo dragaggio e trasporto delle sabbie, anche in termini di avvio delle procedure ambientali autorizzative (tra cui la caratterizzazione dei sedimenti) e di operazioni di sistemazione sottoflutto del materiale dragato sopraflutto.

Dragaggio		Bypass	
Voce di costo	€/anno	Voce di costo	€/anno
Escavo e trasporto	315.000,00	Spese energetiche	18.800,36
Caratterizzazione	45.000,00	Manut. condotta	582,75
		Manut. sollevam.	1.350,00
		Dragaggio sabbie	283.500,00
Totale	360.000,00	totale	304.233,11
	€/m ³ = 7,20		€/m ³ = 6,08

Il costo complessivo dell'impianto, che include la condotta in acciaio, i pozzetti di scarico e di ispezione, la vasca di raccolta della miscela (dissabbiatore), la fornitura e il trasporto delle due pompe per il sollevamento e i quadri elettrici, è stimato in 300.000,00 €

4.6. Indicazioni per l'esecuzione di un ripascimento

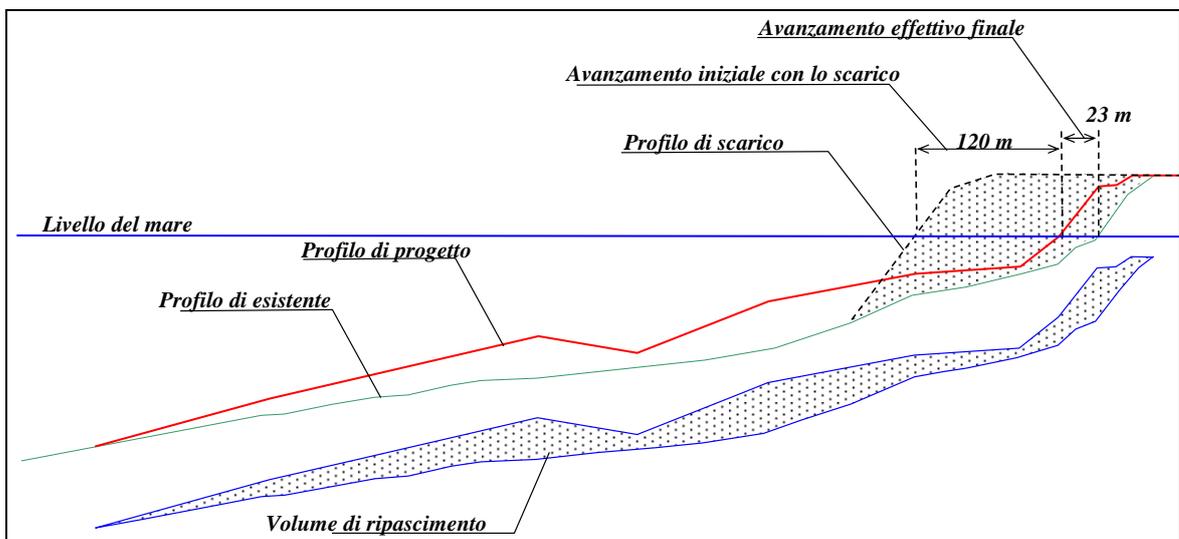
Sebbene l'obiettivo principale della movimentazione delle sabbie, tramite il bypass in progetto, non sia quello di ricostituire una particolare tratta di spiaggia, bensì quello di ripristinare l'equilibrio naturale dei sedimenti sottoflutto intercettati (sopraflutto) dalla diga foranea del porto di Gela, tuttavia appare opportuno esaminare anche la possibilità di eseguire un ripascimento di un tratto di litorale a levante del porto qualora sia necessario.

Generalmente, la posa in opera di un ripascimento artificiale di spiaggia richiede la conoscenza dei seguenti parametri:

- proprietà fisiche e granulometriche del materiale di ripascimento;
- pendenza della berma di progetto e profilo di equilibrio della spiaggia;

- altezza del vertice della pendenza rispetto alle maree ed alle onde;
- larghezza dell'eventuale berma;
- posizione e tipo di opere associati.

Le tecniche di valutazione delle quantità di sabbia necessarie per ricostruire le berme sono ancora oggetto di studio e questa circostanza condiziona in modo importante, anche in funzione delle caratteristiche granulometriche dei sedimenti, il calcolo dei volumi necessari ad ottenere una linea di avanzamento determinata del litorale. Tuttavia, note le caratteristiche granulometriche sia del materiale presente in situ, sia di quello da refluire, nonché l'avanzamento di progetto dell'arenile che garantisce per fissato tempo di ritorno della mareggiata la salvaguardia delle opere ubicate a tergo, il volume di ripascimento può essere stimato applicando la teoria del profilo di equilibrio sviluppato da Dean (1977). Determinato il volume di sedimenti da versare, si costruisce la sezione di versamento la quale interesserà principalmente la porzione emersa del profilo di spiaggia. Successivamente, nel corso della prima stagione dopo il ripascimento, si assiste ad un importante trasporto trasversale dei sedimenti: nel corso del processo, si osservano ritiri rapidi del tratto di costa da stimare in fase di progettazione, dovuti essenzialmente al trasferimento di sedimenti dalla parte emersa a quella sommersa connessi al processo di equilibrio del profilo di spiaggia. I sedimenti restano, comunque, all'interno della fascia attiva. Nel caso illustrato nella successiva figura, ad esempio, per uno specifico valore del diametro medio dei sedimenti in situ e di versamento, l'avanzamento atteso della linea di battigia di 23 m, richiede la messa in atto di una spiaggia di primo impianto con un avanzamento di 120 m.



Occorre, dunque, necessariamente rimandare ad una successiva fase di approfondimento il rilievo delle suddette informazioni tecniche, al fine di predisporre un piano operativo di ripascimento di spiaggia.

Vista, pertanto, la complessità dell'intervento da realizzare, particolare attenzione dovrà essere posta sul monitoraggio nel tempo delle operazioni di ricarica eseguite dal funzionamento del bypass e della posizione della linea di riva sopraflutto e sottoflutto al porto. L'esperienza registrata nei primi anni di esercizio del sabbiodotto sarà utile a tarare i successivi interventi, in modo da ottimizzare sia il periodo di funzionamento del bypass sia i punti di immissione delle sabbie sulla costa sottoflutto.

Come già richiamato per esteso in premessa, il compito della gestione e del monitoraggio dell'impianto di bypass potrà essere incaricato ad un'autorità di gestione portuale, da nominare ai sensi dell'art. 10 co.1 della L.R. 23 dicembre 2000, n. 32.

Bibliografia

- Assessorato Territorio e Ambiente, Regione Siciliana. - *“Piano regionale per la difesa del litorale marino”* - Bozza. “Bonifica S.p.A.”, Gruppo IRI-ITALSTAT (1981).
- Assessorato Territorio e Ambiente, Regione Siciliana - Servizio Difesa del Suolo. *Piano di Assetto Idrogeologico del bacino del Fiume Gela*. (Decreto n. 298/41 del 4 luglio 2000).
- Assessorato Territorio e Ambiente, Regione Siciliana. *“Studio di fattibilità per l’individuazione di un servizio integrato di interventi per la protezione delle coste, la difesa dei litorali dall’erosione ed il ripristino del trasporto solido fluviale litoraneo nel territorio della Regione Sicilia”* (2002).
- BeachMed – Project Phase A. *“Tecniche di progettazione per il recupero dei litorali e tecniche d’esecuzione dei dragaggi e dei ripascimenti”*. (2004)
- CNR (Consiglio Nazionale delle Ricerche). Atlante delle spiagge (1988).
- Dean, R. G. 1977, *“Equilibrium Beach Profiles: U.S. Atlantic and Gulf Coasts,” Ocean Engineering, Technical Report No. 12*, Department of Civil Engineering and College of Marine Studies, University of Delaware.
- Florida Institute of Phosphate Research. *“Centrifugal slurry pump concentration limit testing and evaluation – Phase I”*. GIW Industries, Inc. (2005).
- Gray S., 1981. The Ecology of Marine Sediments. *Cambridge Studies in Modern Biology*, 2: 185 pp.
- GreenStream. *“Progetto di realizzazione del metanodotto di importazione dalla Libia”*. SNAM S.p.A. – Greenstream S.p.A. (2003).
- Queensland Government. Environmental Protection Agency. *“World-wide sand bypassing systems: data report”*. P.K. Boswood and R.J. Murray. Conservation technical report No. 15. August 2001.