



SMART GAS Monfalcone, Italia

Distribuzione GNL in Regione Friuli-Venezia Giulia

Relativamente allo Studio Meteomarino preliminare – Bacino di Panzano

Doc. No. P0030812-1-H19 Rev. 0 - Febbraio 2023

Rev.	Descrizione	Preparato da	Controllato da	Approvato da	Data
0	Prima Emissione	M. Fruzzetti	E. Duchini	A. Lo Nigro	Febbraio 2023

Tutti i diritti, traduzione inclusa, sono riservati. Nessuna parte di questo documento può essere divulgata a terzi, per scopi diversi da quelli originali, senza il permesso scritto di RINA Consulting S.p.A.

INDICE

	Pag.
LISTA DELLE TABELLE	3
LISTA DELLE FIGURE	3
ABBREVIAZIONI E ACRONIMI	4
INTRODUZIONE	5
1 INTEGRAZIONE 2	6
1.1 PROPAGAZIONE DEI FRONTI D'ONDA ENTRO LA RADA DI MONFALCONE	9
1.2 GENERAZIONE DELLE ONDE DOVUTE AL VENTO - BACINO DI PANZANO E BANCHINA MOLINO CASILLO	9
1.3 CONSIDERAZIONI CIRCA LA POSSIBILE CONCORRENZA DI EVENTI METEOCLIMATICI ESTREMI, DI ALLUVIONAMENTO FLUVIALE (AREA A RISCHIO IDRAULICO ELEVATO R3) E FENOMENI DI C.D. ACQUA ALTA	9
REFERENZE	13

LISTA DELLE TABELLE

Tabella 1.1:	Valori Estremi Direzionali dell'Altezza d'Onda (m) per Periodi di Ritorno di 1, 10, 50 e 100 Anni nei punti A e B	9
Tabella 1.2:	Valori Estremi Direzionali dell'Altezza d'Onda (m) per Periodi di Ritorno di 1, 10, 50 e 100 Anni nei punti C e D	9

LISTA DELLE FIGURE

Figura 1.1:	Punti di Estrazione delle Serie Temporalı ERA5 di Vento	6
Figura 1.2:	Punti di Estrazione delle Serie Temporalı CMEMS di Onda e Corrente	6
Figura 1.3:	Esempio di Diagramma di Diffrazione [2]	8
Figura 1.4:	Posizione dei Punti in cui sono state Stimare Preliminarmente le Condizioni Ondose all'interno del Bacino Portuale	8
Figura 1.5:	Andamento Del Livello Medio Annuo a Trieste dal 1875 (Fonte CNR-ISMAR)	12

ABBREVIAZIONI E ACRONIMI

PROPONENTE	SMART GAS
PROGETTO	Distribuzione GNL in Regione Friuli-Venezia Giulia

D.Lgs	Decreto Legislativo
GNL	Gas Naturale Liquido
ISO	International Standard Organisation
VIA	Valutazione Impatto Ambientale

INTRODUZIONE

In relazione alla sottomissione del progetto “Distribuzione GNL in Regione Friuli Venezia Giulia” da parte del proponente Smart Gas S.p.A. a procedura di Assoggettabilità a VIA Nazionale, sono pervenute richieste di integrazioni da parte del Ministero dell’Ambiente e della Sicurezza Energetica e dei relativi Enti territorialmente competenti, tramite Nota Prot. N.0009132 del 23 Novembre 2022.

Lo scopo del seguente documento è quello di fornire risposta per quanto riguarda i seguenti aspetti:

“Condurre un’analisi preliminare sulla propagazione dei fronti d’onda entro la rada di Monfalcone e il bacino di Panzano e di stima delle altezze d’onda attese presso la Banchina Molino Casillo, considerata pure la possibile concorrenza di eventi meteo climatici estremi, di alluvionamento fluviale (area a Rischio idraulico Elevato R3) e fenomeni di c.d. acqua alta.”

1 INTEGRAZIONE 2

Per rispondere a questa integrazione è stata svolta un'analisi preliminare delle condizioni ondose che si possono verificare all'interno della Rada di Monfalcone, entro il bacino di Panzano e nei pressi della banchina di Molino Casillo.

Le analisi sono state svolte a partire dai dati di base contenuti nello Studio Metemarinò [1]. I dati di vento utilizzati derivano dal database ERA5, rilasciati da "European Centre for Medium-Range Weather Forecasts" e si riferiscono alla serie temporale estratta alle coordinate 13.5° E, 45.75°N (rappresentativo della Zona 2 e 3, Figura 1.1).

I dati di onda utilizzati derivano dal database CMEMS MEDSEA__MULTIYEAR_WAV_006_012, il database di hindcast del sistema di previsioni del Mar Mediterraneo basato sul modello WAM 4.5.4, e si riferiscono alla serie temporale estratta alle coordinate 13.67°E 45.65°N (che nel modello risulta a 15 m di profondità) ed è stato considerato rappresentativo della Zona 2 (Figura 1.2).

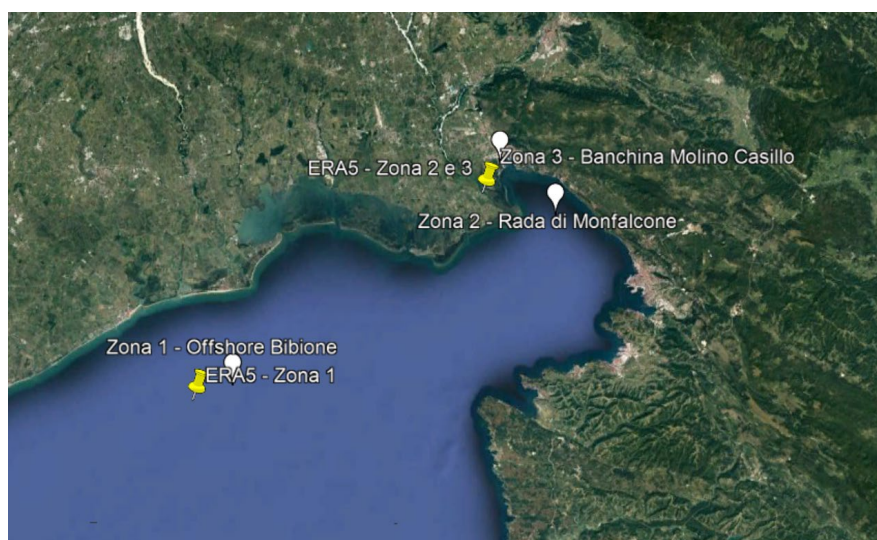


Figura 1.1: Punti di Estrazione delle Serie Temporalì ERA5 di Vento

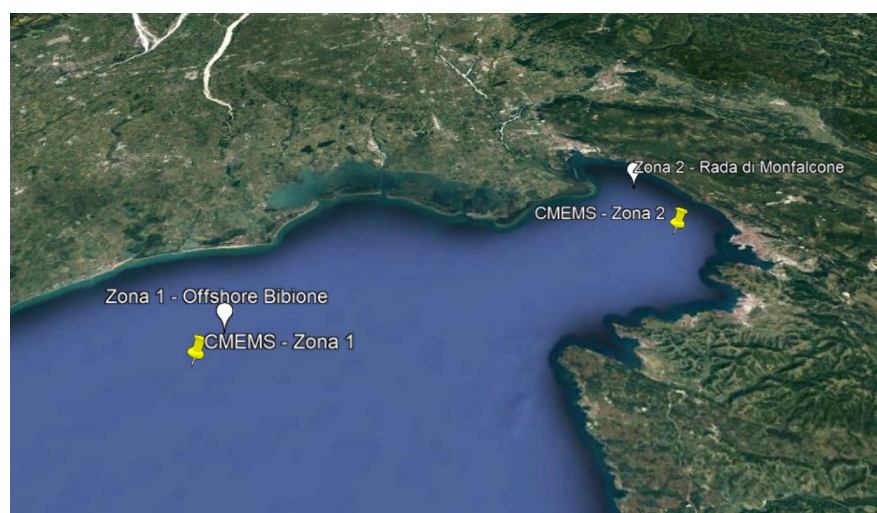


Figura 1.2: Punti di Estrazione delle Serie Temporalì CMEMS di Onda e Corrente

Le onde all'interno del bacino portuale sono state preliminarmente stimate secondo tre metodologie semplificate:

- ✓ la propagazione analitica delle onde dal punto denominato Zona 2 (Figura 1.2) all'imboccatura portuale;
- ✓ il calcolo delle possibili onde generate dal vento all'interno di bacini limitati da fetch ridotti;
- ✓ la diffrazione delle onde di largo attraverso strutture quali varchi portuali che possono penetrare all'interno del bacino interessato tramite l'uso di diagrammi dello Shore Protection Manual [2].

Il clima delle onde in corrispondenza dell'imboccatura portuale è stato stimato prendendo in considerazione:

- ✓ la generazione di onde di vento che si possono generare tra la costa compresa tra Marina Julia e Punta Spigolo e l'imboccatura portuale;
- ✓ la propagazione delle onde dal largo all'imboccatura portuale.

E' ben noto che nella propagazione dal largo verso acque meno profonde le onde subiscono delle trasformazioni dovute all'effetto del fondale (che inizia quando la profondità dell'acqua diventa circa metà della lunghezza d'onda).

Si hanno così i fenomeni di "rifrazione", cioè la rotazione dei fronti d'onda dovuta alla diminuzione della velocità delle onde con la profondità, di "shoaling", cioè un incremento o decremento dell'altezza d'onda legato alla concentrazione o dispersione dell'energia per effetto delle differenze tra velocità di fase dell'onda e velocità di gruppo (velocità con cui si propaga l'energia) causato dal fondale, di "attrito", cioè dalla dispersione di energia per effetto dell'attrito sul fondo che determina una riduzione dell'altezza dell'onda e di "diffrazione", cioè l'effetto indotto dall'interazione delle onde con le strutture.

Per propagare le onde da largo all'imboccatura, sono stati stimati analiticamente i processi di shoaling, rifrazione e attrito: in prima approssimazione, il fronte delle onde di acque profonde ruota continuamente la direzione, mentre progredisce verso le acque poco profonde della costa e le altezze delle onde cambiano secondo la seguente relazione:

$$H_i = H_0 * K_r * K_s * K_f \quad (1.1)$$

dove H_i è l'altezza d'onda modificata alle profondità delle acque poco profonde, H_0 l'altezza dell'onda delle acque profonde, K_r , K_s e K_f rispettivamente il coefficiente di rifrazione, shoaling e attrito.

Per valutare le onde generate dal vento, è stato applicato il metodo del Shore Protection Manual [2]: questo metodo può essere utilizzato per le onde di acque profonde, se la geometria del corpo idrico è relativamente semplice e se le condizioni delle onde sono limitate dal fetch o dalla durata. In condizioni limitate dal fetch, si considera che i venti possano soffiare costantemente abbastanza a lungo da raggiungere la massima condizione di mare completamente sviluppato. In condizioni di durata limitata, le altezze delle onde sono limitate dal tempo durante il quale il vento abbia soffiato costantemente in termini di direzione e intensità. Queste due condizioni rappresentano approssimazioni asintotiche al problema generale della generazione delle onde. Nella maggior parte dei casi il modello di crescita delle onde in un sito è una combinazione dei due casi.

Per il caso limitato dal fetch:

$$H_{m0} = 1.616 \cdot 10^2 U_A F^{\frac{1}{2}} \quad (1.2)$$

$$T_p = 6.238 \cdot 10^{-1} (U_A F)^{\frac{1}{3}} \quad (1.3)$$

$$t = 8.93 \cdot 10^{-1} \left(\frac{F^2}{U_A} \right)^{\frac{1}{3}} \quad (1.4)$$

Per il caso completamente sviluppato:

$$H_{m0} = 2.4821 \cdot 10^{-2} U_A^2 \quad (1.5)$$

$$T_p = 8.30 \cdot 10^{-1} U_A \quad (1.6)$$

$$t = 2.027 U_A \quad (1.7)$$

dove t è la durata in cui il vento ha soffiato in ore. L'altezza dell'onda spettrale H_{m0} e il periodo spettrale di picco T_p sono i parametri previsti. Si può presumere che la direzione dell'onda sia la stessa del vento.

Le formule di cui sopra sono state ottenute semplificando l'equazione utilizzata per sviluppare il modello parametrico [3] i parametri richiesti sono il fetch, F (in km) e il fattore di stress del vento U_A (velocità del vento corretta) che rappresenta un valore medio relativamente costante sul fetch:

$$U_A = 0.71 W^{1.23} \quad (1.8)$$

dove W è la velocità del vento a 10 m sul livello del mare in m/s.

Queste formule si riferiscono alle onde di acque profonde. A causa della fase preliminare del progetto, il clima ondoso e gli estremi sono da considerarsi conservativi. Le onde all'interno del bacino portuale stimate con questa metodologia sono localizzate nei pressi dei punti C e D riportati in Figura 1.4.

Sono stati infine stimati i valori delle altezze d'onda in due punti selezionati all'interno dell'imboccatura portuale (punti A e B in Figura 1.4) mediante l'applicazione di coefficienti di diffrazione estratti da nomogrammi di riferimento (Figura 1.3) per il solo 150°N (corrispondente alla direzione maggiormente critica).

Si sottolinea che si tratta di stime indicative, in quanto per una adeguata descrizione dell'agitazione ondosa all'interno di una rada portuale sarebbe necessaria l'applicazione di opportuna modellistica numerica le cui tempistiche di calcolo non sono compatibili con quelle di uno studio di fattibilità.

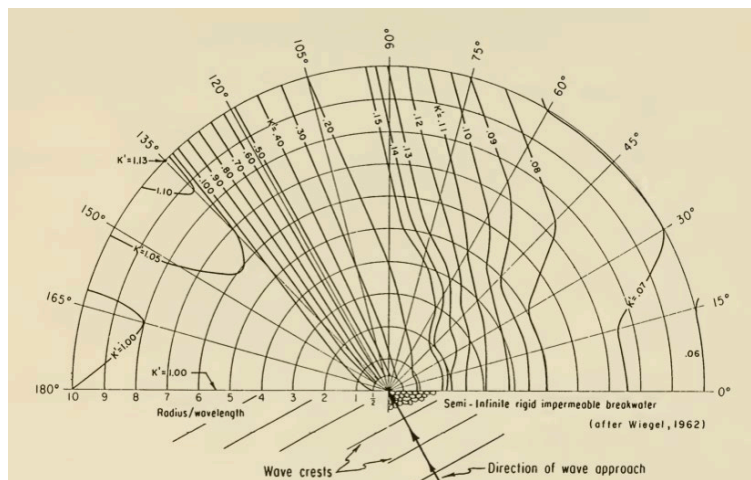


Figura 1.3: Esempio di Diagramma di Diffrazione [2]



Figura 1.4: Posizione dei Punti in cui sono state Stimate Preliminarmente le Condizioni Ondose all'interno del Bacino Portuale

1.1 PROPAGAZIONE DEI FRONTI D'ONDA ENTRO LA RADA DI MONFALCONE

La stima preliminare delle onde significative che si possono generare all'imboccatura del porto di Monfalcone è riportata in Tabella 1.1.

Si sottolinea che le presenti stime sono da considerarsi cautelative. Una stima di dettaglio delle condizioni ondose, che prenda in considerazione in modo opportuno la presenza dei due varchi portuali ravvicinati, la sovrapposizione degli effetti indotti dalle scogliere e la presenza, nel canale di accesso alla zona più interna del porto, di strutture (moli, scogliere) con differenti caratteristiche riflettive, necessita dell'utilizzo di sofisticata modellistica numerica.

Tabella 1.1: Valori Estremi Direzionali dell'Altezza d'Onda (m) per Periodi di Ritorno di 1, 10, 50 e 100 Anni nei punti A e B

Punto	Dir (°N)	Periodo di Ritorno (anni)							
		1		10		50		100	
		Hs (m)	Tm (s)	Hs (m)	Tm (s)	Hs (m)	Tm (s)	Hs (m)	Tm (s)
A	150	2.1	5.5	2.5	5.9	2.8	6.1	3.0	6.2
B	150	1.8	5.5	2.3	5.9	2.5	6.1	2.7	6.2

1.2 GENERAZIONE DELLE ONDE DOVUTE AL VENTO - BACINO DI PANZANO E BANCHINA MOLINO CASILLO

La stima preliminare delle onde significative massime che si possono generare all'interno del Bacino di Panzano e presso la banchina Molino Casillo è riportata in Tabella 1.2.

Si sottolinea che le presenti stime sono da considerarsi cautelative. La persistenza del vento dalle direzioni considerate, la geometria del bacino e le caratteristiche batimetriche influenzano la generazione delle onde da vento per cui sarebbe opportuno applicare opportuna modellistica numerica per la stima delle caratteristiche delle onde tipiche ed estreme all'interno del porto a partire dalle condizioni di vento.

Tabella 1.2: Valori Estremi Direzionali dell'Altezza d'Onda (m) per Periodi di Ritorno di 1, 10, 50 e 100 Anni nei punti C e D

Punto	Dir (°N)	Periodo di Ritorno (anni)							
		1		10		50		100	
		Hs (m)	Tm (s)	Hs (m)	Tm (s)	Hs (m)	Tm (s)	Hs (m)	Tm (s)
C	60	0.6	2.3	0.7	2.4	0.8	2.4	0.8	2.4
D	120	0.4	2.0	0.5	2.2	0.6	2.3	0.7	2.3

1.3 CONSIDERAZIONI CIRCA LA POSSIBILE CONCORRENZA DI EVENTI METEOCLIMATICI ESTREMI, DI ALLUVIONAMENTO FLUVIALE (AREA A RISCHIO IDRAULICO ELEVATO R3) E FENOMENI DI C.D. ACQUA ALTA

Di seguito si riporta una breve descrizione di tutti i fenomeni che possono comportare l'occorrenza di livelli estremi all'interno della rada di interesse.

Alle altezze d'onda preliminari riportate nei paragrafi precedenti è possibile sommare il valore di livello del mare associato a condizioni meteo-climatiche estreme. È possibile, pertanto, considerare che le altezze d'onda significative riportate in Tabella 1.2 possano verificarsi in condizioni di alta marea, setup estremo da vento, episodi di alluvionamento fluviale o di acqua alta.

Il valore ottenuto esprime il livello che l'acqua potrebbe raggiungere in questi casi, e si esprime come un'altezza di livello marino in cui si considerino i diversi contributi come:

livello medio mare (misurato rispetto al Chart Datum) + alta marea + setup da vento + alluvionamento + acqua alta + innalzamento dovuto alla presenza dell'onda.

Riguardo alla somma dei vari contributi all'innalzamento del livello marino, si ritiene doveroso sottolineare che la somma di tutte le componenti, quindi l'ipotesi di concomitanza di tutti i contributi, risulta generalmente cautelativa.

Marea Astronomica e Sopralzo da Vento

La genesi delle variazioni del livello marino è piuttosto complessa, poiché molteplici sono i fenomeni che possono generare o modificare il movimento delle masse d'acqua. Supponendo che ogni fenomeno causi un singolo effetto possiamo pensare al livello come una semplice sovrapposizione di più vettori del tipo:

$$V = \sum \eta_i \quad (1.9)$$

La serie temporale $\eta(t)$ del livello può essere considerata, ad ogni istante, il risultato della sovrapposizione lineare di due parti fra loro indipendenti, vale a dire la parte deterministica e la parte stocastica:

$$\eta(t) = \eta_T(t) + \eta_s(t) \quad (1.10)$$

La parte deterministica è costituita dall'oscillazione di marea, mentre la parte stocastica η_s è dovuta principalmente agli effetti indotti dal vento e dai gradienti barici.

La variazione del livello del mare in prossimità della costa, dovuta allo stress del vento che soffia sulla superficie del mare, può essere estesa ad una vasta area con dimensioni trasversali dell'ordine del "raggio di deformazione di Rossby" R . L'equazione che descrive l'equilibrio tra la sollecitazione del vento ortogonale alla costa e la pendenza della superficie del mare è:

$$\frac{\partial \eta}{\partial x} = \frac{\tau_w}{\rho_w d_R} \quad (1.11)$$

dove d_R è la profondità, ρ_w è la densità dell'acqua, τ_w è lo stress indotto dal vento che può essere calcolato come funzione della velocità del vento W in questo modo:

$$\tau_w \equiv \rho_{air} C_d W^2 \quad (1.12)$$

ed il coefficiente di resistenza C_d può essere calcolato come [10]:

$$C_d = 6.9 \cdot 10^{-4} + 7.5 \cdot 10^{-5} W \quad (1.13)$$

dove W è il vento medio dei 10 minuti a 10 metri sul livello del mare.

La variazione del livello del mare, espressa dall'equazione (1.11), si verifica sopra un'area delle dimensioni assunte uguali al "raggio di Rossby", definito come:

$$R = \frac{\sqrt{d_R}}{f} \quad (1.14)$$

dove $f = 2\omega \sin \varphi$ è il parametron di Coriolis, ω è la velocità di rotazione della Terra e φ la latitudine.

La variazione di livello del mare indotte al vento che soffi longitudinalmente alla costa, con questa alla destra rispetto alla direzione da cui soffia il vento, è descritta dalla seguente relazione:

$$\eta = \frac{t \tau_w}{\rho_{air} f R} e^{-x/R} \quad (1.15)$$

dove x è la distanza dalla costa e t è la durata del vento.

Per l'area in esame si è stimato il livello di alta marea astronomica pari a 0.4 m (riferito al livello medio del mare) a cui sommare i contributi di setup da vento variabili a seconda del periodo di ritorno: 1, 1.4, 1.7, 1.8 m rispettivamente per periodi di ritorno di 1, 10, 50 e 100 anni [1].

Alluvionamento Fluviale

Per quanto riguarda la questione del possibile alluvionamento fluviale legato alla presenza di un canale che sfocia nell'area adiacente a quella di progetto, si è osservato che:

- ✓ Nel caso in cui la piena del canale avvenga in condizioni ordinarie di livello marino all'interno della rada, la portata del canale può defluire liberamente all'interno del bacino e a seconda dell'entità della piena stessa si può avere un alluvionamento dell'area a terra;
- ✓ Nella situazione in cui la piena suddetta si verifichi in concomitanza della condizione di livello del mare "estremo" all'interno della rada, il deflusso della portata del fiume risulta ostacolato dall'aumento del livello marino, di conseguenza si può avere un evento di alluvionamento della parte a monte della foce più intenso di quello al punto precedente.

Non si ritiene quindi che la portata di piena causi un aumento del livello del mare e un conseguente alluvionamento dell'area interessata, ma che l'alluvionamento della parte a monte dello sbocco del canale possa essere più intensa in caso di aumento del livello del mare poiché quest'ultimo contribuisce ad ostacolare il libero deflusso della portata del canale.

Fenomeno dell'Acqua Alta

Per quanto riguarda il fenomeno dell'acqua alta si hanno a disposizione informazioni bibliografiche dal Piano Regolatore Portuale del Porto di Monfalcone – Variante localizzata [4]. Sono stati osservati per il Porto di Trieste valori estremi di livello che hanno portato alla tracimazione delle opere portuali: si ricorda il massimo di 360 cm 26 novembre 1969 (82 cm al di sopra del piano del Molo Sartorio) ed il minimo di 30 cm del 14 febbraio 1934 (248 cm al di sotto del piano del Molo Sartorio). Al fine di valutare il fenomeno dell'acqua alta a Monfalcone si suggerisce di svolgere analisi opportune e più approfondite nelle fasi successive di progetto.

Innalzamento dovuto alla presenza dell'Onda

Riguardo alla somma dell'altezza d'onda ai contributi di livello si ritiene necessario precisare che le onde sono formate da una cresta e un cavo, che in prima approssimazione possono essere considerate, a meno di onde in prossimità alla zona dei frangenti, uguali. Generalmente si considera quindi la metà dell'altezza d'onda massima (cresta dell'onda), ma dato che statisticamente l'onda significativa può essere considerata circa la metà dell'onda massima, in via preliminare è possibile sommare il contributo dell'altezza d'onda significativa ai valori di livello per ottenere il massimo livello raggiungibile, considerando le varie componenti di innalzamento del livello marino e il contributo del moto ondoso. Le altezze d'onda significative da considerare, al variare del periodo di ritorno, sono riportate in Tabella 1.2

Ulteriori considerazioni sull'Innalzamento del Livello Marino

Riguardo l'innalzamento del livello del mare legato agli effetti dei cambiamenti climatici si riportano delle informazioni bibliografiche presenti nel Piano Regolatore Portuale del Porto di Monfalcone – Variante localizzata [4].

Nel grafico in Figura 1.5 è illustrato l'andamento del livello medio annuo a Trieste dal 1875 insieme con le tendenze su vari periodi. Si noti la variabilità, e quindi la scarsa attendibilità, di queste ultime quando il periodo analizzato è breve. Il periodo dal 1992 è quello coperto dall'altimetria da satellite (<http://www.ts.ismar.cnr.it/node/36>). Secondo le proiezioni dell'IPCC per il XXI secolo il livello marino dovrebbe essere più alto di quello attuale (1980-1999) di circa 18 cm intorno al 2050 e 35 cm nel 2100.

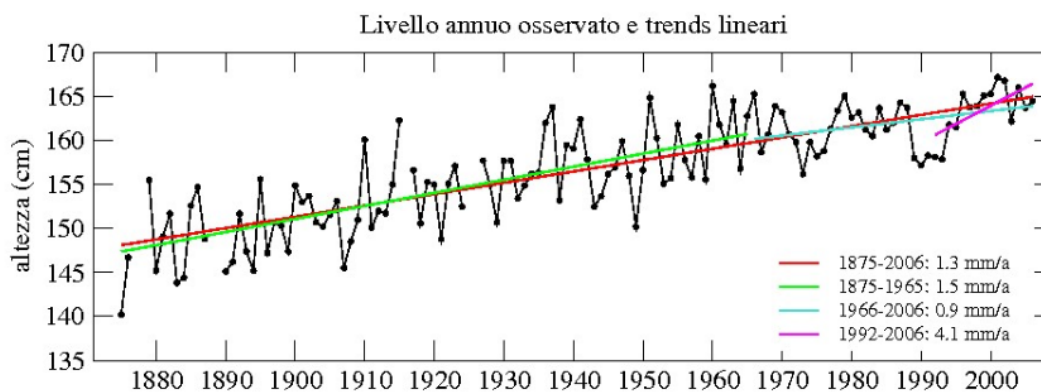


Figura 1.5: Andamento Del Livello Medio Annuo a Trieste dal 1875 (Fonte CNR-ISMAR)

REFERENZE

- [1] Distribuzione GNL in Regione Friuli Venezia Giulia, Studio Meteomarino Preliminare, P0030812-9-H4 Rev. 0, Luglio 2022.
- [2] Coastal Engineering Research Center, 1984, "Shore Protection Manual", US Government Printing Office, Washington, DC, 2 Volumes.
- [3] Hasselmann, K., D. B. Ross, P. Muller and W. Sell, 1976, "A Parametric Wave Prediction Model," Journal of Physical Oceanography, Vol. 6, pp. 200-228.
- [4] Piano Regolatore Portuale del Porto di Monfalcone – Variante Localizzata



RINA Consulting S.p.A. | Società soggetta a direzione e coordinamento amministrativo e finanziario del socio unico RINA S.p.A.
Via Cecchi, 6 - 16129 GENOVA | P. +39 010 31961 | rinaconsulting@rina.org | www.rina.org
C.F./P. IVA/R.I. Genova N. 03476550102 | Cap. Soc. € 20.000.000,00 i.v.