



ANALISI E STUDI A SUPPORTO DEL PIANO REGOLATORE PORTUALE DI GIULIANOVA



QUALITA' DELLE ACQUE INTERNE

DATA:	APRILE 2003	
COMMESSA:	MED-177-GIULIANOVA	
FILE:	MED177-ALL 8.doc	
REDAZIONE:	ING. PAOLO ATZENI	
REVISIONE:	ING. MARCO GONELLA	
APPROVAZIONE:	ING. MARCO GONELLA	



INDICE

1.		Premessa	1
2.		Qualità delle acque interne	2
2	2.1	Descrizione del modulo AD del codice di calcolo MIKE 21	2
2	2.2	Applicazione del modulo Advection Dispersion del codice di calcolo MIKE21	11
	2.2.1	Griglia di calcolo	11
	2.2.2	Person Forzanti di input del modello	11
	2.2.3	8 Immissione degli inquinanti:	12
	2.2.4	Condizioni iniziali	13
2	2.3	Simulazioni con marea	14
2	2.4	Simulazioni con vento	21
3.		Conclusioni	31

1. PREMESSA

La presente relazione riguarda lo studio della dispersione e diffusione di un possibile inquinante all'interno del bacino portuale.

La verifica è stata fatta assumendo l'interno del porto sistemato come da Layout C. È stato quindi ipotizzato un inquinante immesso da differenti punti lungo le banchine. Dopo periodo di tempo ragionevole si è pertanto determinata una concentrazione di inquinante "a regime". A partire da questa condizione sono state applicate al sistema le forzanti che maggiormente intervengono a modificare la dispersione e la diffusione dell'inquinante.

Si è considerato il vento spirante in due direzioni principali e la marea che interviene come fenomeno pulsante. Le condizioni ondametriche sono state trascurate in quanto all'interno del porto si presume una agitazione residua ininfluente.

INTECNO-DHI

2. QUALITÀ DELLE ACQUE INTERNE

Attualmente il porto di Giulianova soffre di una scarsa circolazione interna delle acque. Ciò determina condizioni eccessive di eutrofizzazione che, soprattutto nei periodi estivi, causano la generazione di condizioni sfavorevoli alla qualità delle acque.

Per verificare come la nuova sistemazione interna e l'imboccatura, prevista nel progetto per il Piano Regolatore Portuale, è stato costruito un modello di dispersione e diffusione, basato sul codice di calcolo MIKE21 AD (Advection Dispersion) che permette di verificare le concentrazioni degli inquinanti all'interno del bacino portuale soggetti a determinate forzanti idrodinamiche.

2.1 Descrizione del modulo AD del codice di calcolo MIKE 21

IL modulo MIKE 21 AD risolve le equazioni di avvazione-dispersione di dissolvenza o di sostanze in sospensione nelle due dimensioni, in particolare risolve l'equazione di continuità della massa. Le componenti di portata e le concentrazioni di composti nei punti di immissione o di emissione sono impostati insieme al valore di decadimento.

$$\frac{\partial}{\partial t}(hc) + \frac{\partial}{\partial c}(uhC) + \frac{\partial}{\partial t}(vhC) = \frac{\partial}{\partial x}\left(h \cdot D_x \cdot \frac{\partial c}{\partial x}\right) + \frac{\partial}{\partial y}\left(h \cdot D_y \cdot \frac{\partial c}{\partial y}\right) - F \cdot h \cdot C + S$$
(1.4.1)

dove:

C = concentrazione del composto;

u,v = componenti della velocità orizzontale nelle direzioni x, y (in m/s),

h = profondità (in m);

 D_x , D_y = coefficienti di dispersione nelle direzioni x, y (m²/s);

F = coefficiente di decadimento lineare;

$$S = Q_s \times (C_s - C);$$

 Q_s = portata immessa/emunta (m³/s/m²);

C_s = concentrazione del composto nel punto di immissione/emungimento di portata;

Le componenti della velocità vengono calcolate con l'ausilio di Mike 21 HD

Lo schema di calcolo implementato nel codice è uno schema del terzo ordine alle differenze finite di tipo QUICKEST che risulta essere molto efficace dal punto di vista computazionale: evita i problemi di instabilità associati alla differenza centrale dei termini avvettivi.

Lo schema è di tipo Lax-Wendroff o Leith-like nel senso che elimina gli errori di troncamento dovuti alla differenza nel tempo sopra un certo ordine con l'uso stesso delle equazioni. Nel caso dello schema QUICKEST gli errori di troncamento vengono eliminati con ordini superiori al terzo e ciò grazie alle derivate nel tempo e nello spazio. Lo schema QUICKEST è stato originariamente sviluppato solamente per equazioni monodimensionali con qualche estensione per alcuni casi bidimensionali.

Stabilità dello schema di calcolo:

Per uno schema alle differenze finite è importante valutare la stabilità, in figura è riportato il risultato dell'applicazione dello codice per vari valori del numero di Courant e di coefficienti di diffusione adimensionali.



Figura 1: Diagrammi di stabilità. Con le campiture vengono indicate le regioni di stabilità dello schema (a) Γ_x = $\Gamma_y = 0$; (b) $\Gamma_x = \Gamma_y = 0.1$; (c) $\Gamma_x = \Gamma_y = 0.3$; (d) $C_x = C_y = 0.1$

come si può notare dalla figura nel caso di assenza di diffusione (a) la stabilità è limitata dal criterio di non far superare l'unità al numero di Courant. con l'aumento del coefficiente di diffusione aumenta la regione di stabilità. Quest'ultima, comunque, diminuisce appena la diffusione diventa dominante.

Lo schema è stato testato con i convenzionali test utilizzati usualmente per verificare la praticabilità.

Coefficiente di dispersione:

Un importante fattore che bisogna tenere in conto quando si applicano questo tipo di modelli fisicamente basati è il coefficiente di dispersione che può influenzare in maniera significativa la

veridicità dei risultati ottenuti. La dispersione è un termine usato di solito per indicare lo "sparpagliamento" delle particelle di fluido e dipende da processi aleatori come i moti turbolenti molecolari e da processi di scambio di quantità di moto. I processi diffusivi non possono essere risolti analiticamente essendo dei fenomeni indeterministici. Un tentativo di risoluzione venne fatto da Fick (1855) e da Taylor (1921) i quali impostarono dei parametri che potessero individuare i flussi di soluzione dovuti ai moti molecolari e turbolenti. I flussi dei soluti possono essere considerati proporzionali ai gradienti di concentrazione, tali coefficienti di proporzionalità vengono chiamati coefficiente di diffusione molecolare e coefficiente di diffusione turbolenta. Taylor estese questo concetto di proporzionalità anche ai fenomeni di scambio di flusso, l'effetto combinato di avvezione differenziale e di diffusione rappresentata è il cosiddetto coefficiente di dispersione. Il concetto della dispersione di massa di una sostanza in una soluzione o di una sospensione in un flusso può essere estesa ad altre proprietà del flusso. Considerando il principio di scambio di quantità di moto di Backmeteff si può dire che le pulsanti della velocità hanno l'effetto, nei fenomeni dispersivi, dello scambio di quantità di moto. I coefficienti che ne derivano sono chiamati coefficienti di viscosità.

In particolare i processi di dispersione, regolati dalle equazioni della quantità di moto, possono essere risolti sviluppando le stesse equazioni in tre modi diversi.

Scala 1:		
Filtraggio dei moti		Diffusione molecolare
casuali molecolari	\longrightarrow	Viscosità
Scala 2:		
Filtraggio dei moti turbolenti		Diffusione turbolenta
al di sotto di una data scala		Eddy Viscosity
Scala 3:		
Mediaggio della profondità		dispersione
per filtrare i profili verticali		sforzi tangenziali di fondo e di superficie
delle velocità (modelli 2-D)		sforzi tangenziali orizzontali
		shear viscosity

INTECNO-DHI

Il primo metodo corrisponde al filtraggio dei moti molecolari casuali basati sull'equazione di viscosità di Newton:

$$\tau_{zx} = \mu \frac{\partial u}{\partial z}$$

dove la viscosità μ determina la misura della resistenza del flusso alle deformazioni imposte dagli sforzi tangenziali τ i quali sono generati dallo scambio di quantità di moto dovuti alle fluttuazioni di velocità normali alla superficie corrispondente. Riferendosi alle equazioni di Navier-Stokes si considerano gli effetti casuali del fenomeno con i termini empirici:

$$v\left[\frac{\partial^2 u_i}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u_i}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 u_i}{\partial z^2}\right]; \quad i= 1, 2, 3$$
(2)

dove $v = \frac{\mu}{\rho}$ è la viscosità cinematica

Il moto casuale molecolare induce, inoltre, il trasferimento della massa delle sostanza dissolte o in sospensione nel fluido in accordo con le legge di Fick:

$$T_i = D^m \, \frac{\partial c}{\partial x_i}$$

dove *c* rappresenta la concentrazione del componente disciolto o in sospensione e D^m è il coefficiente di diffusione molecolare. Applicando il principio di conservazione delle masse ad un volume di controllo si può considerare il termine diffusivo molecolare da imporre nell'equazione di Navier-Stokes

$$D^{m}\left[\frac{\partial^{2} c}{\partial x^{2}} + \frac{\partial^{2} c}{\partial y^{2}} + \frac{\partial^{2} c}{\partial z^{2}}\right]$$

Essendo l'agitazione molecolare sempre presente anche per i fluidi in quiete, in condizioni di flusso, le particelle di fluido hanno dei moti molto più importanti percorrendo traiettorie molto irregolari e sinuose. Appare evidente, osservando il susseguirsi di velocità istantanee u¹, che il flusso è caratterizzato da fluttuazioni non stazionarie della velocità u' che si sommano alla velocità media uniforme u.

$$u'(x,t) = u(x,t) + u'(x,t)$$

con:

$$\overline{u'(x,y)} = \frac{1}{\Delta T} \int_{t-\Delta T}^{t} u'(x,t) dt = u(x,t)$$

$$\overline{u'(x,y)} = \frac{1}{\Delta T} \int_{t-\Delta T}^{t} u'(x,t) dt = 0$$

In queste condizioni è possibile scomporre le fluttuazioni in un periodo ΔT integrando le equazioni di Navier-Stokes nel periodo ΔT . Si ottiene il termine:

$$\frac{\partial}{\partial \mathbf{x}_{j}} \left[\rho \, \overline{\mathbf{u'}_{i} \, \mathbf{u'}_{j}} \right]$$

e similarmente per la conservazione della concentrazione risulta:

$$-\frac{\partial}{\partial x_{j}}\left[\rho \,\overline{u'_{i} \, c'}\right]$$

Nella teoria classica della turbolenza i termini - ρ , u'_i , u'_j chiamati sforzi di Reynolds sono empiricamente correlati tramite un coefficiente detto "eddy viscosity" :

$$-\rho \cdot \overline{\boldsymbol{u'}_{i} \, \boldsymbol{u'}_{j}} = \boldsymbol{v}^{\mathsf{T}} \, \frac{\partial \boldsymbol{u}_{i}}{\partial \boldsymbol{x}_{j}}$$

che permette di scrivere il novo termine nella seguente forma:

$$\frac{\partial}{\partial x} \left[v^{T} \frac{\partial u_{i}}{\partial x} \right] + \frac{\partial}{\partial y} \left[v^{T} \frac{\partial u_{i}}{\partial y} \right] + \frac{\partial}{\partial z} \left[v^{T} \frac{\partial u_{i}}{\partial z} \right]$$
(8)

Dove appare evidente che il termine v^{T} risulta dipendente dalle caratteristiche del moto. Per la determinazione della "eddy viscosity" sono stati sviluppati diversi metodi che corrispondono a diversi ti pi di turbolenza. La formulazione adottata dal *DHI* è la formulazione di Smagorinsky che considera un modello isotropico della turbolenza.

È ovvio che considerando la v^T costante si riduce la forma della equazione (2).Generalmente è possibile assumere il valore di v^T pari a:

$$v^{\tau} \approx \frac{1}{10} h \cdot u^{*}$$

dove h è la profondità e u* è la velocità d'attrito.

Introducendo l'analogia di Reynolds per i flussi turbolenti che esprimono il principio che i processi di trasferimento di soluti o sospensioni sono equivalenti ai processi di trasferimento della quantità di moto e di conseguenza considerando $D^T \approx v^T$ il nuovo termine dispersivo dell'equazione di conservazione diventa:

$$\frac{\partial}{\partial x} \left[D^{T} \frac{\partial c}{\partial x} \right] + \frac{\partial}{\partial y} \left[D^{T} \frac{\partial c}{\partial y} \right] + \frac{\partial}{\partial z} \left[D^{T} \frac{\partial c}{\partial z} \right]$$

In tante applicazioni di ingegneria costiera la profondità è molto minore delle dimensioni orizzontali del dominio in studio e i modelli bidimensionali sono particolarmente adeguati per descrivere i principali moti idraulici. Tuttavia l'integrazione lungo la profondità implica il filtraggio della velocità da una componente responsabile di un'ulteriore dispersione nella direzione del flusso.Tali flussi con gradienti di velocità sono chiamati anche "shear flows" cioè caratterizzati dal fenomeno discusso da Taylor noto come "shear effect". Per ovviare al problema della dispersione della velocità nei modelli bidimensionali è necessario pertanto considerare ulteriori parametri empirici.

Si consideri:

$$u = U + U'$$
$$\overline{U'} = \frac{1}{h} \int_{h}^{\xi} U' dz = 0$$
$$\overline{u} = \frac{1}{h} \int_{\xi}^{h} (U + U') dz = U$$

dove U rappresenta la velocità integrata lungo la verticale e U' la deviazione dal profilo della velocità media U ad una generica profondità z. Introducendo queste relazioni nelle equazioni di Reynolds (ovvero le equazioni di Navier-Stokes depurate dei termini turbolenti in un passo di tempo Δ T), è possibile dimostrare che i termini convettivi sono dati da:

$$\frac{\partial}{\partial x}\int_{-h}^{\zeta} uudz + \frac{\partial}{\partial y}\int_{-h}^{\zeta} vudz = \frac{\partial}{\partial x}(hUU) + \frac{\partial}{\partial x}(hVU)\frac{\partial}{\partial x}\int_{-h}^{\zeta} (u')^2 dz + \frac{\partial}{\partial y}\int_{-h}^{\zeta} (u'v')^2 dz$$

Gli ultimi due termini rappresentano il trasferimento di quantità di moto globale dovuto allo "shear effect". Usualmente si accetta la relazione tra le variabili dipendenti (integrate lungo la verticale).

$$\frac{1}{h}\int_{-h}^{\zeta} (U')^2 dz = -v_x^2 \frac{\partial U}{\partial x} \quad e \quad \frac{1}{h}\int_{-h}^{\zeta} (U'V')^2 dz = -v_y^2 \frac{\partial U}{\partial y}$$

Queste ultime assunzioni e l'analogia di Reynolds permettono di scrivere i termini per la conservazione della quantità di moto nella seguente forma:

$$\frac{\partial}{\partial x} \left[\mathbf{v}_{i}^{s} h \frac{\partial U_{i}}{\partial x} \right] + \frac{\partial}{\partial y} \left[\mathbf{v}_{i}^{s} h \frac{\partial U_{i}}{\partial y} \right] + \frac{\partial}{\partial z} \left[\mathbf{v}_{i}^{s} h \frac{\partial U_{i}}{\partial z} \right]$$

е

$$\frac{\partial}{\partial x} \left[D_i^s h \frac{\partial U_i}{\partial x} \right] + \frac{\partial}{\partial y} \left[D_i^s h \frac{\partial U_i}{\partial y} \right] + \frac{\partial}{\partial z} \left[D_i^s h \frac{\partial U_i}{\partial z} \right]$$

dove $v_i^s \approx D_i^s$ ed indicano rispettivamente gli sforzi tangenziali e la dispersione integrati lungo la verticale.

Il coefficiente v^s_i verrà chiamato d'ora in poi "shear viscosity"

Nel caso di un canale a moto uniforme lo shear viscosity può essere ricondotto nella forma:

$$\mathbf{v}_{i}^{s} = \mathbf{D}_{i}^{s} = \frac{\alpha - (\alpha')^{2}}{2} \mathbf{C}_{z} \mathbf{U} \mathbf{h}$$

con:

$$\alpha = \frac{\int_{-h}^{\zeta} u^3 dz}{U^3 h} \quad \mathbf{e} \quad \alpha' = \frac{\int_{-h}^{\zeta} u^2 dz}{U^2 h}$$

nelle quali C_z è il numero di Chézy adimensionale e U è la velocità mediata sul tirante d'acqua.

Per esempio, considerando un canale profondo 10m con una velocità media della corrente di 1 m/s ed un C_z pari a 18, il coefficiente di shear viscosity, che corrisponde ad una distribuzione esponenziale della velocità lungo la verticale data da K Z^{0.2}, vale v^s = 4 m/s

È facile intuire, dai risultati ottenuti, come lo scambio di quantità di moto è strettamente legata alle dimensioni delle grandezze in gioco, gli effetti molecolari e turbolenti diventano trascurabili in rapporto allo shear effect (da 10⁻⁶ a 10⁻¹ contro i 4 m/s).

A questo punto è importante mettere in evidenza che il concetto di viscosità e di diffusione hanno determinato la necessità di prendere in considerazione i moto non-risolti delle paticelle di fluido, ad esempio la diffusione e la dispersione sono il risultato dei processi di avvezione associati alle scale non risolte. Questo concetto è quello che realmente ha importanza quando le procedure di filtraggio sono lontanamente estese alle scale maggiori, come una conseguenza della necessità della discretizzazione spaziale nelle direzioni orizzontali delle equazioni integrate nella profondità. Questo implica che saranno necessarie una dispersione ed una viscosità aggiuntiva per le equazioni di ordine superiore non-risolte del moto, considerate per le grandi scale la cui grandezza dipende dalla dimensione della maglia della griglia computazionale. Pertanto è facile aspettarsi che con l'incremento della dimensione della maglia Δx , aumentino anche i coefficienti di dispersione.

Una delle maggiori difficoltà nella stime dei coefficienti di dispersione è la caratterizzazione delle nuove scale non risolte del moto che possono essere fortemente dipendenti da fattori come le configurazioni locali della batimetria, i gradienti di densità e l'attrito del vento sulla superficie. Oltremodo possono essere usate alcune formule generali per una stima preliminare, l'accuratezza del risultato sarà comunque dipendente da una buona taratura del modello e da una buona dose di esperienza del modellatore.

In conclusione, il fatto che la risoluzione numerica delle equazioni primitive deve considerare una discretizzazione aggiuntiva nello spazio e nel tempo (in genere non disponibili risoluzioni analitiche) rende necessario estendere il filtraggio a più larghe scale del moto che dipendono dalla risoluzione del modello, ovvero dalla dimensione della griglia: Δx . Quindi deve essere aggiunta una quarta scala:

Scala 4: Media sul modello Risoluzione Δx , Δt

dispersione aggiuntiva viscosità addizionale

II che implica una Dispersione Sub-griglia D^G ed una Viscosità Sub-Griglia v^G .

2.2 Applicazione del modulo Advection Dispersion del codice di calcolo MIKE21

2.2.1 Griglia di calcolo

La griglia di calcolo è basata sulla digitalizzazione della parte interna e dell'imboccatura del layout C. La griglia è costituita da maglie quadrate con lato di 10m, la batimetria considerata è quella prevista dal progetto, ovvero con profondità di –5 m nella zona di accesso e nella zona di evoluzione e di –4.5 m nella zona più interna atta all'ormeggio delle imbarcazioni.



Figura 2 – Batimetria costruita per l'applicazione del modello di diffusione-dispersione

2.2.2 Forzanti di input del modello

Le forzanti del modello sono prevalentemente due: la variazione del livello del mare, intesa come marea astronomica, e l'effetto di attrito del vento con la superficie dell'acqua.



La marea è stata considerata in due particolari condizioni, ovvero in condizioni di massima variazione del livello (marea sizigia) e in condizioni di minima variazione (marea di quadratura).

I livelli idrici implementati sono quelli ricostruiti sulla base delle componenti armoniche calcolati in fase di elaborazione dei dati mareometrici (rif. par. Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.).

Per quanto riguarda il vento si sono considerate due principali direzioni con un'intensità media desunta dalle registrazioni della stazione anemometrica di Pescara. In definitiva si è considerata la direzione del vento di Grecale (45°N) e del vento di Libeccio (225°N), che sono quelle che investono maggiormente il paraggio in oggetto.

In base alla direzione di provenienza rispetto alla giacitura del porto è possibile affermare che il vento di Grecale è il più critico in relazione alla fuoriuscita dal bacino delle acque stagnanti, mentre il Libeccio facilita la formazione di correnti in uscita.

La nuova configurazione del porto indicata come preferibile in base alle analisi fin qui condotte, in particolar modo a causa della geometria dell'imboccatura necessaria alla riduzione dell'agitazione interna, determina una maggiore chiusura rispetto alla configurazione attuale, pertanto una più difficile possibilità di scambio idrico con il mare aperto.

L'immissione di acque inquinate viene ipotizzata nei punti idraulicamente più distanti dalla zona di maggior scambio.

2.2.3 Immissione degli inquinanti:

Premesso che la normativa vigente in materia, non permette alcun tipo di scarico di acque reflue all'interno dei bacini portuali, e che tali scarichi sono da considerarsi esclusivamente casuali e incidentali, si ipotizza un inquinante come il BOD5 che risulta essere un ottimo elemento per la valutazione delle dispersioni e delle diffusioni all'interno di un bacino portuale.

Inoltre il BOD5 ha dei valori di decadimento molto bassi e pertanto le simulazioni fatte con tale componente tracciante possono essere prese come condizioni cautelative per lo studio delle qualità delle acque interne portuali Le concentrazioni immesse sono quelle relative ad uno scarico in mare di circa 125 g/giorno per barca. Considerando la possibilità di uno scarico contemporaneo di 300 barche (è una percentuale media rispetto al totale delle barche che possono essere presenti nel porto in condizioni di punta) si ha un carico di inquinante di circa 40 kg/giorno totali.

Tale carico inquinante è stato suddiviso in 11 punti di immissione distribuiti lungo la banchina per l'ormeggio dei pescherecci, lungo la banchina di riva, nella zona che attualmente è occupata dal diporto e lungo la banchina del molo meridionale. Dividendo 40 kg/giorno per 11 punti sorgente si ha uno scarico di inquinante nelle acque portuali di circa 3.5 kg/giorno, ovvero 45 mg/s per sorgente. Tale scarico viene veicolato da una portata di circa 1 l/s per una concentrazione totale di 40.5 mg/l.

La costante di decadimento è determinata in base ai diagrammi di decadimento del BOD5. Tale inquinante ha un decadimento che risulta essere mediamente, in condizioni come quelle in oggetto, il 68% della concentrazione iniziale dopo 5 giorni. Pertanto in base alla formula che regola il decadimento si ha:

$$\frac{C}{C_0} = e^{-kT}$$

dove C è la concentrazione al tempo T, C₀ è la concentrazione iniziale e al tempo T₀, T è l'istante in cui si rileva la concentrazione T e k è la costante di decadimento.

Considerando il BOD5, si ha che per T = 5 giorni, e C_0 = 100% si ha, in base alla definizione di BOD5 che C = 32%, pertanto:

$$k = \frac{-\ln \frac{C}{C_0}}{T} = \frac{-\ln 0.32}{5} = 0.22788 \ g^{-1} = 2.6375 \cdot 10^{-6} Hz$$

2.2.4 Condizioni iniziali

Al fine di portare il modello in condizioni di regime è state eseguita una simulazione iniziale senza nessun tipo di forzante meteorologica.

INTECNO-DHI

In questo modo è stato possibile determinare una concentrazione di inquinante, presente all'interno del porto, che viene messa in equilibrio tra il carico di inquinante immesso e il decadimento dello stesso. La simulazione di "avvio" interessa complessivamente 7 giorni alla fine dei quali si è instaurato un equilibrio tra la concentrazione immessa ed il decadimento.

In effetti questo tipo di situazione stazionaria è quella che si potrebbe verificare (sempre in linea teorica, supponendo quella quantità di carico inquinante all'interno del porto) in condizioni di particolare assenza di vento e di escursioni di marea molto modesta.





2.3 Simulazioni con marea

Le simulazioni con variazione del livello idrico imposto come forzante sono state eseguite sia per una marea di sizigia che per una di quadratura.

La marea simulata è rappresentata nella seguente figura. Essa è stata ricavata mediante la previsione ottenuta applicando le costanti dedotte dall'analisi armonica. La simulazione è stata condotta su un periodo che tiene conto delle massime e delle minime escursioni.





Figura 4 – Livello del mare imposto per l'applicazione del modello di diffusione-dispersione. Il periodo ricopre 11 giorni di simulazione in cui sono comprese le massime e le minime escursioni di marea (sizigia e quadratura)

Come si nota dalle due figure seguenti (Figura 5 e Figura 6) le differenze tra un campo di concentrazioni e l'altro non sono molto apprezzabili.

Ancor meno è apprezzabile lo scambio idrico durante le mimine escursioni di marea (quadratura) così come mostrano le seguenti Figura 7 e Figura 8.





Figura 5 – Campo delle concentrazioni di inquinante durante la fase di massimo riflusso di marea (elevazione pari a 17 cm al di sotto del livello medio del mare)



Figura 6 - Campo delle concentrazioni di inquinante durante la fase di massimo flusso di marea (elevazione pari a 22 cm al di sopra del livello medio del mare)





Figura 7 - Campo delle concentrazioni di inquinante durante la fase di minimo riflusso di marea (elevazione pari a -6 cm al di sotto del livello medio del mare)



Figura 8 - Campo delle concentrazioni di inquinante durante la fase di minimo flusso di marea (elevazione pari a 9 cm al di sopra del livello medio del mare)

Le massime escursioni di marea astronomica che si verificano nel paraggio sono quindi molto limitate, ovvero dell'ordine dei 40 cm e non sono in grado di movimentare tutta la massa d'acqua presente nel porto in modo tale da effettuare un efficace ricambio. Tuttavia le concentrazioni di inquinante sono molto modeste grazie al fatto che si ha a disposizione un'area portuale molto ampia.

Ad ogni modo, al fine di migliorare la qualità dell'acqua viene ipotizzata l'immissione di una portata di acqua pulita all'interno del porto.

La portata, immessa da pompe a bassa prevalenza, dislocate negli angoli nord e sud della banchina di riva, è stata calcolata in modo tale da permettere un totale ricambio delle acque portuali in 7 giorni. Considerando il volume d'acqua presente nel porto pari a circa 630.000 m³ è sufficiente una portata totale di circa 1 m³/s divisa in due pompe da 500 l/s.



Figura 9 - Concentrazione di BOD5 a regime prima dell'inserimento delle forzanti climatiche e punti di immissione dell'inquinante e dell'acqua di ricircolo

Con l'immissione di acqua pulita le concentrazioni, soprattutto in prossimità della banchina di riva, laddove le condizioni di ricambio sono molto ridotte, vengono ridotte decisamente. Le figure seguenti mostrano i valori e le distribuzioni del BOD5 all'interno del porto.

Si noti che la concentrazione di 0.16 mg/l presente in prossimità dell'angolo sud della banchina di riva rappresentata dell'isolinea osservabile nelle Figura 5 e Figura 6 viene ridotto a circa 0.12÷0.13 mg/l (vedi Figura 10 e Figura 11).

Lo stesso tipo di simulazione è stata eseguita con una marea di quadratura.

Anche in questo caso si nota che la massima concentrazione che si ha nei pressi dell'angolo sud della banchina di riva viene portata a circa 0.12 mg/l (Figura 12, Figura 13).

Si noti anche che le maggiori concentrazioni, sia con che senza immissione di portata di ricircolo, si verificano durante le massime alte maree quando si ha la massima ingressione di acqua dal mare aperto.



Figura 10 - Campo delle concentrazioni di inquinante durante la fase di massimo riflusso di marea (elevazione pari a 17 cm al di sotto del livello medio del mare) e immissione di una portata di ricircolo di 1m³/s





Figura 11 - Campo delle concentrazioni di inquinante durante la fase di massimo flusso di marea (elevazione pari a 22 cm al di sopra del livello medio del mare) e immissione di una portata di ricircolo di 1m³/s



Figura 12 - Campo delle concentrazioni di inquinante durante la fase di minimo riflusso di marea (elevazione pari a 6 cm al di sotto del livello medio del mare) e immissione di una portata di ricircolo di 1m³/s





Figura 13 - Campo delle concentrazioni di inquinante durante la fase di minimo flusso di marea (elevazione pari a 9 cm al di sopra del livello medio del mare) e immissione di una portata di ricircolo di 1m³/s

2.4 Simulazioni con vento

I venti presi in considerazione per le simulazioni con inquinante all'interno del porto sono, come detto sopra, due venti opposti che producono effetti molto diversi.

Uno infatti induce una corrente diretta verso la riva e pertanto impedisce la fuoriuscita dell'acqua e dell'inquinante in essa presente. Tale vento è stato impostato con una direzione media di 45°N (Grecale) ed una velocità di 8 m/s pari a circa a 15 nodi.

La seconda condizione anemometrica è stata scelta in modo tale che si abbia una forzante che permette la fuoriuscita dell'acqua, si è quindi impostato un vento di direzione di 225°N (Libeccio) sempre con una velocità di 8 m/s (15 nodi).

I risultati di queste simulazioni sono riportati nelle figure seguenti.





Figura 14 - Campo delle concentrazioni di inquinante con un vento di Grecale di 8 m/s



Figura 15 - Campo delle concentrazioni di inquinante con un vento di Libeccio di 8 m/s.

INTECNO-DHI

Come si vede dai risultati delle simulazioni il vento di Grecale tende a distribuire l'inquinante lungo quasi tutta la lunghezza della banchina di riva dove si rileva una concentrazione di circa 0.15 mg/l.

Il vento di Libeccio invece fa disporre tale concentrazione soprattutto nella zona dove attualmente trova luogo il diporto nautico.

Anche con queste forzanti di vento, così come fatto per le simulazioni con marea, è stato ipotizzato un ricircolo con acqua pulita attraverso due pompe da 500 l/s inserite all'estremità della banchina di riva.

Come si nota dalle figure seguenti, vi è una minore concentrazione di inquinante nella zona più critica di tutto il bacino con una distribuzione molto simile sia nel caso di vento di Grecale che nel caso di vento di Libeccio.



Figura 16 - Campo delle concentrazioni di inquinante con un vento di Grecale di 8 m/s e portata totale di ricircolo di 1 m³/s





Figura 17 - Campo delle concentrazioni di inquinante con un vento di Libeccio di 8 m/s e portata totale di ricircolo di 1 m³/s

Di seguito vengono riportati i risultati delle simulazioni effettuate con il layout C ma riadattate al layout definitivo scelto per il Piano Regolatore Portuale. Tale ultimo layout infatti non presenta variazioni nella sistemazione interna pertanto rimangono validi i risultati ottenuti con la configurazione progettuale C.





Figura 18 – Campo delle concentrazioni di inquinante durante la fase di massimo riflusso di marea (elevazione pari a 17 cm al di sotto del livello medio del mare)



Figura 19 - Campo delle concentrazioni di inquinante durante la fase di massimo flusso di marea (elevazione pari a 22 cm al di sopra del livello medio del mare)





Figura 20 - Campo delle concentrazioni di inquinante durante la fase di minimo riflusso di marea (elevazione pari a -6 cm al di sotto del livello medio del mare)



Figura 21 - Campo delle concentrazioni di inquinante durante la fase di minimo flusso di marea (elevazione pari a 9 cm al di sopra del livello medio del mare)





Figura 22 - Campo delle concentrazioni di inquinante durante la fase di massimo riflusso di marea (elevazione pari a 17 cm al di sotto del livello medio del mare) e immissione di una portata di ricircolo di $1m^3/s$



Figura 23 - Campo delle concentrazioni di inquinante durante la fase di massimo flusso di marea (elevazione pari a 22 cm al di sopra del livello medio del mare) e immissione di una portata di ricircolo di 1m³/s





Figura 24 - Campo delle concentrazioni di inquinante durante la fase di minimo riflusso di marea (elevazione pari a 6 cm al di sotto del livello medio del mare) e immissione di una portata di ricircolo di 1m³/s



Figura 25 - Campo delle concentrazioni di inquinante durante la fase di minimo flusso di marea (elevazione pari a 9 cm al di sopra del livello medio del mare) e immissione di una portata di ricircolo di 1m³/s





Figura 26 - Campo delle concentrazioni di inquinante con un vento di Grecale di 8 m/s



Figura 27 - Campo delle concentrazioni di inquinante con un vento di Libeccio di 8 m/s.





Figura 28 - Campo delle concentrazioni di inquinante con un vento di Grecale di 8 m/s e portata totale di ricircolo di 1 m³/s



Figura 29 - Campo delle concentrazioni di inquinante con un vento di Libeccio di 8 m/s e portata totale di ricircolo di 1 m³/s

3. CONCLUSIONI

Lo studio condotto a supporto del Piano Regolatore Portuale del Porto di Giulianova ha permesso di dare delle precise indicazioni per la redazione del suddetto Piano.

Lo studio della dispersione degli inquinanti ha messo alla luce come le forzanti meteomarine e la forma dell'imboccatura non siano in grado di far disperdere gli inquinanti al di fuori del porto. Questo fatto potrebbe essere interpretato in maniera negativa dal punto di vista della qualità interna delle acque. Tuttavia, l'altra faccia della medaglia è che tutto quello che rimane all'interno del porto non viene veicolato all'esterno per essere trasportato verso le spiagge. Quindi lungo le spiagge non si avranno concentrazioni di inquinante tali da comprometterne la balneazione.

Un possibile miglioramento della qualità delle acque interne, che è stato simulato con gli appositi modelli matematici, è quello di immettere una portata di acqua pulita all'interno del porto in due posizioni "strategiche". Questo permetterà di ridurre la concentrazione di inquinante grazie ad una migliore dispersione rendendone, oltremodo, praticamente trascurabile la fuoriuscita al di fuori dell'imboccatura.