

MONITORAGGIO *Corso Opera* Il Anno di Attività

Conclusioni



2021/22

Conclusioni

I risultati dell'attività di monitoraggio in Corso d'Opera, qui riportati e illustrati, costituiscono parte integrante del contratto di ricerca tra l'Autorità di Sistema Portuale del Mar Tirreno Centrale e la Stazione Zoologica Anton Dohrn di Napoli. I corposi risultati permettono nel loro complesso di formulare un quadro completo ed esaustivo relativamente allo stato di salute degli ecosistemi marine soggetti a impatti potenziali derivanti dalle operazioni di dragaggio trasporto e immersione in mare dei sedimenti del Porto di Salerno e del Canale d'ingresso.

In ulteriore sintesi le conclusioni finali definiranno, sulla base dell'elaborazione dei risultati delle attività di monitoraggio, se vi siano evidenti impatti sugli ecosistemi costieri e di largo del Golfo di Salerno imputabili alle attività condotte in Corso d'Opera.

Di seguito si riporta l'elenco degli elaborati che potranno essere consultati per avere un più esaustivo quadro delle misure e delle analisi effettuate durante le varie fasi di escavo, relativi al secondo anno di attività. Sono stati prodotti, a tal proposito, un report mare relativo alle attività svolte (0), uno riportante le metodologie utilizzate (1), singoli report relativi alle fasi inizio lavori, 10%, 25%, 50%, 75% e 100% per l'idrologia (da 2 a 7), un report relativo ai risultati delle analisi effettuate sui sedimenti relativi alle fasi 50% e 100% (8), compreso i rapporti di prova delle analisi effettuate (da 8.1 a 8.4) ed infine un report relativo ai rilievi morfo batimetrici effettuati (9, 9.1 e 9.2):

- 0 - Report_mare_corso_opera_2020-21.pdf
- 1 - Metodologie C.O.II.pdf
- 2 - Report Risultati Idrologia Inizio Lavori.pdf
- 3 - Report Risultati Idrologia 10%
- 4 - Report Risultati Idrologia 25%.pdf
- 5 - Report Risultati Idrologia 50%.pdf
- 6 - Report Risultati Idrologia 75%.pdf
- 7 - Report Risultati Idrologia 100% + Monitoraggio da boe + Monitoraggio satellitare.pdf
- 8 - Report Risultati Sedimenti.pdf
 - 8.1 Rapporto-prova-chimica-salerno-dicembre-2020.pdf
 - 8.2 Rapporto-prova-chimica-salerno-febbraio-2021.pdf
 - 8.3 Rapporto-prova-ecotossicologia-salerno-dicembre-2020.pdf
 - 8.4 Rapporto-prova-ecotossicologia-salerno-febbraio-2021.pdf
- 9 - Report morfo-batimetrico (Multibeam).pdf
 - 9.1 Allegato_1_DEM_Batimetrica_Salerno_A0.pdf
 - 9.2 Allegato_2_VISTE_Tridimensionali_A0.pdf

Le principali conclusioni, desumibili dall'analisi dei risultati per le singole componenti e attività, sono di seguito riportate in modo sintetico.

Colonna d'acqua

Il monitoraggio satellitare è l'unico sistema che ha il vantaggio di poter acquisire in modo sinottico i dati di concentrazione e la distribuzione di alcune variabili quale il TSM (solidi totali sospesi) e la Clorofilla *a* (biomassa fitoplanctonica) in tutto il Golfo di Salerno. Il TSM è un ottimo indicatore della torbidità in grado di indicare origine, distribuzione e concentrazione delle torbidità.

Il monitoraggio satellitare del periodo preso in esame dal 1° novembre 2020 al 28 febbraio 2021 e le elaborazioni delle immagini ad alta risoluzione hanno evidenziato le aree di origine del materiale in sospensione. In sintesi, l'analisi delle mappe di distribuzione e concentrazione di TSM evidenziano, chiaramente, che le maggiori concentrazioni si riscontrano nella parte centromeridionale del Golfo di Salerno e sono inequivocabilmente imputabili agli apporti fluviali e, in parte molto minore, nell'area antistante la città di Salerno. Il contesto meteorologico ha reso praticamente irrilevante l'impatto antropico imputabile all'attività di dragaggio del porto commerciale di Salerno e del canale d'ingresso, e del trasporto e immersione a mare dei sedimenti dragati (si riportano le credenziali di accesso alle immagini satellitari acquisite e tutt'ora in fase di acquisizione, disponibili mediante accesso al sito FTP: [ftp-gos.artov.isac.cnr.it](ftp://ftp-gos.artov.isac.cnr.it), username: `szn_salerno_user`, password: `sWrCuCdfqu3V`).

Tale aspetto è altresì confermato dai risultati del monitoraggio in continuo della torbidità attraverso sistemi di rilevamento orario (boe dotate di torbidimetri e correntometri) che confermano che i valori relativamente alti di torbidità sono confinati all'interno dell'area portuale e non interessano, se non marginalmente lo specchio d'acqua antistante l'area portuale.

L'analisi delle caratteristiche fisiche della colonna d'acqua effettuate attraverso l'utilizzo di sonda multiparametrica CTD ha evidenziato un chiaro ciclo stagionale caratterizzato prevalentemente dal completo rimescolamento invernale, all'iniziale stratificazione termica caratteristica del periodo primaverile. L'analisi delle mappe superficiali di Temperatura, Salinità, Densità, Torbidità e Fluorescenza in tutte le aree oggetto di intervento e di monitoraggio non mostrano anomalie nella distribuzione dei parametri. Solo all'interno dell'area sottoposta alle operazioni di dragaggio e solo per il parametro Torbidità si sono osservati valori più elevati nelle stazioni più interne, ed in parte in quelle prossime all'imboccatura, ma con gli stessi in diminuzione nell'area esterna al porto. Tali valori appaiono comunque in linea con quelli che si verificano in ambiente costiero durante fenomeni di risospensione naturale dei sedimenti, dovuti alla circolazione costiera delle masse d'acqua o per effetto di eventi meteorologici accompagnati da piovoschi o temporali. Per quanto riguarda la Fluorescenza (utilizzata come proxy delle concentrazioni di clorofilla e quindi di biomassa fitoplanctonica) i dati mostrano condizioni di oligotrofia (bassa concentrazione) praticamente ovunque, come già evidenziato nella relazione del primo anno. Valori superiori sono stati osservati in ambito costiero in aree caratterizzate da apporti terrigeni e con un evidente gradiente decrescente costa-largo.

Le campagne effettuate durante le attività del secondo anno corso d'opera hanno confermato il generale stato di oligotrofia-mesotrofia del Golfo di Salerno anche per quanto riguarda la concentrazione di nutrienti, così come osservato nel corso del monitoraggio *ante operam* e del monitoraggio primo anno corso d'opera. Durante il monitoraggio in corso d'opera sono stati riscontrati fenomeni di arricchimento da nutrienti a carattere locale in prossimità dell'area urbana di Salerno o della area in prossimità alla foce del Sele e quindi non riconducibili alle attività di escavo. In generale la concentrazione media dei nutrienti delle stazioni ubicate in prossimità della Costiera Amalfitana risulta essere più bassa rispetto alla media osservata nell'area antistante la piana alluvionale del Sele.

Le concentrazioni dei solidi sospesi (TSS) mostrano, come prevedibile, valori molto elevati durante i lavori di escavo. Tuttavia, le concentrazioni elevate sono state osservate soltanto nelle stazioni interne al Porto (A01-A05) mentre all'esterno (A06 e A07) e nell'area potenzialmente impattata dalle operazioni di dragaggio, i valori di TSS registrati sono decisamente più bassi e sempre molto inferiori al limite di intervento. Come osservato per i nutrienti, anche il TSS mostra differenze tra le acque costiere della Costiera Amalfitana, con concentrazione media più bassa, e la piana alluvionale del Sele, con concentrazione media leggermente più alta.

La caratterizzazione biologica delle acque del Golfo di Salerno nel corso del monitoraggio effettuato durante le diverse fasi di dragaggio ha evidenziato la presenza di una comunità fitoplanctonica che presenta una fisionomia tipica di acque tirreniche costiere oligotrofiche nel periodo invernale. Complessivamente, sono stati osservati valori di abbondanza fitoplanctonica relativamente bassi, compresi tra 10^5 e $3 \cdot 10^6$ cell. l⁻¹, con valori medi nell'ordine di $4 \cdot 10^5$ cell. l⁻¹ nelle prime quattro fasi e valori leggermente più elevati in corrispondenza del 75% e 100% di attività. I popolamenti risultano sempre fortemente dominati da forme flagellate di piccole dimensioni, con aumento occasionale delle diatomee in alcune stazioni, soprattutto costiere. Nell'ultima campagna si osservano fioriture della diatomea *Asterionellopsis glacialis* in varie stazioni. Le variazioni in abbondanza e composizione osservate nell'ultima campagna corrispondono all'evoluzione stagionale dei popolamenti fitoplanctonici in corrispondenza della maggiore disponibilità di energia luminosa nel periodo tardo invernale ed inizio primaverile. In generale, la distribuzione spaziale e temporale del fitoplancton nelle diverse aree studiate risulta poco variabile, senza evidenti gradienti costa-largo o lungo la colonna d'acqua.

Relativamente allo studio della comunità zooplanctonica, svolto nell'ambito del piano di monitoraggio ambientale relativo al secondo anno in corso d'opera, sono stati raccolti e analizzati 127 campioni di zooplancton.

L'analisi quali-quantitativa della comunità zooplanctonica, definita come numero di individui per unità di volume (ind.m⁻³) ha mostrato valori di abbondanza zooplanctonica molto variabili tra le varie stazioni

campionate (min. 189 ind.m-3 – max. 2500 ind.m-3).

La distribuzione spaziale della comunità zooplanctonica, durante l'attività del dragaggio, ha mostrato abbondanze medio alte ($709,8 \pm 304,1$ ind.m-3) rispetto a valori stagionali, nella sezione meridionale e occidentale del Golfo. Valori più elevati ($878,1 \pm 686,7$ ind.m-3) di abbondanza sono osservati nel versante orientale.

Nell'area di immersione sono state osservate abbondanze medie via via più elevate (da $507,6 \pm 91,7$ ind.m3 a $1280,6 \pm 444,8$ ind.m3).

La composizione della comunità zooplanctonica osservata nelle varie aree e durante il monitoraggio del corso d'opera, è dominata dai copepodi (oltre il 60%), prevalentemente degli ordini calanoida (con i generi *Acartia spp.*, *Clausocalanus spp.*, *Calocalanus spp.* e *Paracalanus spp.*) e cyclopoida (con i generi *Oithona spp.* ed *Oncaea spp.*). Oltre ai copepodi, il resto della comunità zooplantonica, è costituita maggiormente da tunicati (con particolare rilevanza della classe appendicularia), chaetognati, siphonophori e ostracodi. È stata osservata anche la presenza di larve di sviluppo (stadi nauplio e cipris) di cirripedi, larve di gastropodi e di echinodermi. I cladoceri, altro gruppo dominante nella comunità zooplanctonica soprattutto estiva, sono andati via via scomparendo.

Sedimenti, comunità bentoniche e meiofauna

I risultati delle analisi chimiche dei sedimenti sono stati elaborati utilizzando il tool Sediqualssoft 109.0® che, nei confronti dei riferimenti normativi nazionali (L1 e L2), elabora un indice di pericolo chimico basato sul numero dei contaminanti che eccedono il riferimento specifico, la pericolosità di tali parametri, e l'entità degli sforamenti misurati. Questi criteri di integrazione ponderata, recepiti all'interno del DM 173/2016, abbandonano la logica del mero superamento del valore tabellare, anche minimo e da parte di un unico parametro, come principio per la classificazione della qualità chimica dei sedimenti.

L'elaborazione dei dati relativi alla fase di dragaggio al 50% (campagna dicembre 2020) ha fornito una classe di pericolo chimico da Assente a Basso nei confronti di L1 (DM 173/2016) per i campioni di sedimento A22, A23, A11, A17, A72, A53 A59 e A62, un livello di pericolo Medio per i campioni A20, A21, A24, A74, A75, A76, A14, A47 ed A50, mentre il livello di pericolo chimico è risultato Molto Alto solamente per il campione A08.

Per quanto riguarda i campioni della fase di dragaggio al 100% (campagna febbraio 2021), l'elaborazione nei confronti di L1 (DM 173/2016) ha fornito una classe di pericolo chimico da Assente a Basso per i campioni delle aree potenzialmente impattate dalle operazioni di immersione, con l'eccezione del campione A62 che presenta un livello di pericolo Molto Alto. Nelle aree di immersione o potenzialmente impattate dalle operazioni di immersione, è stato elaborato un livello di pericolo chimico da Assente a Basso per i campioni A21, A22, A74, A11, A17 e A72 mentre il livello di pericolo chimico è risultato Medio per i campioni A20, A23 e A76 e A08, Alto per il campione A14 e Molto Alto per i campioni A24, A75 e A62.

Per entrambe le campagne, i composti che hanno fornito il contributo percentualmente superiore all'indice di pericolo chimico sono stati il TBT, Pb, Aldrin e Dieldrin.

Per quanto riguarda il livello di riferimento L2 (DM 173/2016), il livello di pericolo chimico elaborato è risultato sempre Assente per i campioni di dicembre 2020 (dragaggio 50%), mentre i campioni della campagna di febbraio 2021 (dragaggio 100%) hanno mostrato un livello di pericolo chimico da Assente a Basso nelle aree potenzialmente impattate dalle operazioni di dragaggio e nelle aree potenzialmente impattate dalle operazioni di immersione. L'area di immersione ha evidenziato un aumento del livello di pericolo chimico rispetto alla precedente campagna con un livello di pericolo Basso per quasi tutti i campioni ad eccezione di A20 e A24 che presentano una classe di pericolo chimico Medio principalmente a causa dei composti organostannici.

I criteri di integrazione ponderata del DM 173/2016 consentono di abbandonare il principio della classificazione ecotossicologica determinata dal risultato peggiore: il giudizio dipende dalla rilevanza tossicologica dell'endpoint misurato in ciascun saggio, dalla soglia di sensibilità della specie, dalla significatività statistica ed entità delle variazioni misurate, dalle condizioni di saggio.

La classe di pericolo ecotossicologico elaborata per i campioni di sedimento durante le operazioni di dragaggio al 50% (dicembre 2020) è risultata sempre Assente, ad eccezione dei campioni A23 dell'area di immersione e A14 proveniente dalle aree potenzialmente impattate dalle operazioni di dragaggio che hanno evidenziato una classe di pericolo ecotossicologico Medio. Per quanto riguarda i campioni relativi alla fase di dragaggio al 100% (febbraio 2021), si conferma un livello di pericolo ecotossicologico generalmente Assente per le aree potenzialmente impattate dalle operazioni di dragaggio o dalle operazioni di immersione, ad eccezione di un campione (A72) che presenta un livello Medio; tende ad aumentare la classe di pericolo ecotossicologico per i campioni di sedimento dell'area di immersione che è risultata Assente per i campioni A21 e A75, Bassa per A24, A74, e Media nei campioni A20, A21, A23 e A76.

In generale, i saggi con *C. gigas* e *V. fischeri* sono stati quelli che hanno contribuito maggiormente alla tossicità complessiva della batteria.

Per quanto riguarda l'analisi del biota, l'analisi dei valori dell'indice AMBI e M-AMBI sui 54 campioni di macrozoobenthos (18 stazioni per tre repliche ciascuno) non ha evidenziato particolari condizioni di stress nelle aree potenzialmente impattate dalle operazioni di dragaggio e le aree potenzialmente impattate dalle operazioni di immersione, compreso l'area d'immersione stesso, come emerso dai livelli di *Ecological Quality Status* (ECoQ) e i Rapporti di Qualità Ecologica (RQE) riscontrati. Tutte le stazioni presentano un ECoQ che riporta ad ambienti non disturbati o leggermente disturbati ed un RQE *Hight* (Blu) oppure un RQE *Good* (Verde). Inoltre, il confronto dei valori dell'AMBI e del M-AMBI attuali con quelli delle campagne precedenti Corso d'Opera maggio 2020 e Corso D'Opera dicembre 2020 mostra, nella campagna in Corso d'Opera

febbraio 2021, valori del tutto similari.

L'analisi strutturale ha altresì evidenziato in tutte le aree una buona diversità specifica. Il numero di individui è abbastanza elevato sia nell'area potenzialmente impattata dalle attività di dragaggio sia nelle aree potenzialmente impattate dall'attività di immissione dei sedimenti dragati. Il sito d'immersione dei sedimenti dragati presenta una ricchezza specifica ed abbondanze, come detto in precedenza, in linea con la tipologia di disturbo registrato, l'immissione di grandi quantitativi di sedimenti con classazione diversa rispetto al substrato precedente.

Nell'area potenzialmente impattata dalle attività di dragaggio in totale sono stati rinvenuti 123 taxa e 1243 individui (media 82,86 individui +/- 39,31 SD, n =15) con una densità pari a 828,67 individui al m². Nelle due aree potenzialmente impattate dall'attività di immissione dei sedimenti dragati sono stati rinvenuti un totale 116 taxa e 739 individui (media 82,11 individui +/- 34,67 SD, n =9) con una densità pari a 821,11 individui al m² nell'area prospiciente la Costiera Amalfitana, e un totale di 100 taxa e 1529 individui (media 254,83 individui +/- 144,59 SD, n =6) con una densità pari a 2548,33 individui al m² nell'area del Litorale della Piana del Sele. Nel sito d'immersione sono stati rinvenuti un totale di 55 taxa e 314 individui (media 13,083 individui +/- 9,69 SD, n =24) con una densità pari a 130,83 individui al m².

Per quanto riguarda le tre aree costiere (area potenzialmente impattata dalle attività di dragaggio ed area potenzialmente impattata dalle attività di immersione dei sedimenti, Costiera e Piana del Sele) il flusso di energia che sostiene la comunità bentonica di substrato mobile appare veicolato soprattutto dal detrito organogeno proveniente dalle biocenosi limitrofe delle alghe fotofile e dalle fanerogame marine, a cui si aggiungono, probabilmente, apporti alloctoni di particolato organico di origine terrigena per le stazioni a minore profondità. In queste tre aree il confronto con la precedente campagna Corso D'opera dicembre 2020 conferma la modifica dei popolamenti già verificata nel confronto con la campagna Corso D'Opera maggio 2020, imputabile principalmente alla stagionalità del prelievo.

Per quanto riguarda l'area di immersione dei sedimenti dragati il confronto con le precedenti campagne, Corso d'Opera maggio 2020 e dicembre 2020 mostra una modifica sostanziale del popolamento, già riscontrato a dicembre 2020, come era prevedibile ed in linea con la tipologia di disturbo arrecato. L'immissione di grandi quantitativi di sedimento dragato ha favorito la biomassa di detritivori, i quali hanno trovato un ambiente con elevato quantitativo di sostanza organica a causa dell'apporto del materiale dragato stesso. In letteratura è ben documentato che il disturbo fisico dell'ambiente sedimentario, come quello avvenuto nel sito di immersione dei sedimenti, determina l'espansione di specie opportuniste. Il substrato nell'area di immissione precedentemente era costituito esclusivamente da limo mentre attualmente è stata riscontrata la presenza di sedimento sabbioso/ghiaioso, che ha reso meno adatto l'habitat ai limivori favorendo gli organismi detritivori.

In riferimento alle attività svolte dalla Stazione Zoologica Anton Dohrn di Napoli, si evidenzia che durante le campagne di monitoraggio effettuate *ante operam* e corso d'opera primo e secondo anno nelle aree potenzialmente impattate dalle operazioni di dragaggio e immersione a mare, nella caratterizzazione delle biocenosi bentoniche, con analisi effettuate su campioni di fondale per la determinazione del macrozoobenthos nelle aree antistanti e circostanti al porto non si è mai riscontrata la presenza di *Cymodocea nodosa*, *Posidonia oceanica* o altre macrofite a elevato pregio naturalistico o protette (ASPIM). Questo a conferma dello studio sulla bionomia bentonica effettuato dall'Autorità Portuale di Salerno nell'ottobre 2013 allegato ai documenti di VIA. Si evidenzia che la Stazione Zoologica Anton Dohrn di Napoli, ha condotto nell'ambito del Progetto FEAMP, ulteriori analisi di censimento visivo, a integrazione di quanto fatto, proprio per confermare i risultati preliminari sopra evidenziati e ampliare a scale spaziali adeguate, lungo il litorale da Salerno verso Agropoli, coprendo un'area di 4913 ha.

Relativamente alla meiofauna, a partire dal primo tempo di campionamento (*ante operam* febbraio 2018) si è osservata una diminuzione dell'abbondanza, ed un suo successivo incremento negli ultimi due periodi analizzati (dicembre 2020 e febbraio 2021), in tutte le stazioni tranne che in A23 e A24.

La ricchezza di taxa ha un decremento importante tra il primo e il secondo tempo (febbraio 2018 e settembre 2020) di campionamento, negli ultimi due tempi (dicembre 2020 e febbraio 2021) però si osserva un recupero del numero di taxa, che in alcune stazioni supera anche quello registrato nel primo periodo (in particolare in A74, A75, A76).

In tutte le stazioni ed in tutti i tempi di campionamento il taxon dominante era quello dei nematodi, seguito dai copepodi. La dominanza dei nematodi è aumentata nel tempo, in tutte le stazioni, eccetto che nella A23. Andamento opposto si è osservato nei taxa rari, che sono diminuiti o addirittura scomparsi tra il primo e secondo tempo di campionamento, per poi ricomparire negli ultimi due tempi, con andamento diverso a seconda della stazione.

Bioaccumulo e Biomarkers

Diversamente da quanto osservato nei monitoraggi precedenti, le analisi dei biomarker, evidenziano un peggioramento dello stato di salute degli organismi durante le operazioni di dragaggio. Il pericolo elaborato per i biomarker è stato Medio per tutte le tre stazioni, ottenuto a causa prevalentemente dell'alterazione dei parametri immunitari, dei danni genotossici e della proliferazione perossisomiale.

L'eventuale biodisponibilità dei contaminanti chimici è stata verificata, invece, attraverso l'indagine del bioaccumulo nei tessuti dei mitili trapiantati nei siti oggetto di studio (MW1, MW2, MW3, MW4 e MW5). Gli esperimenti di traslocazione sono stati effettuati in tempi successivi, corrispondenti al 10%, al 25%, al 50% ed al 75% delle attività di dragaggio ed immersione in mare: i risultati del bioaccumulo in questi organismi sono stati confrontati con le concentrazioni tissutali di riferimento, cioè quelle misurate nei mitili prima dell'inizio delle operazioni (T=0).

Per quanto riguarda soprattutto gli elementi in traccia, è importante considerare che il confronto dei risultati ottenuti in tempi di traslocazione diversi e con quelli del tempo $T=0$, può essere influenzato dalle naturali fluttuazioni fisiologiche, prevalentemente legate al ciclo biologico e di sviluppo degli organismi utilizzati. A conferma di questo, il bioaccumulo dei metalli mostra nella maggior parte dei casi una spiccata variabilità tra i vari gruppi di mitili analizzati, ma non si osservano, se non in rari casi, specifici trend in funzione del sito di traslocazione (MW1, MW2, MW3, MW4 e MW5) o in funzione del tempo di campionamento (10%, 25%, 50% e 75% delle attività di dragaggio). In aggiunta, i risultati ottenuti mostrano nel loro complesso valori generalmente all'interno dei range di fluttuazione stagionale tipici per i mitili del Mediterraneo.