



L'UTILIZZO DI ACQUA DI MARE NEGLI IMPIANTI DI RIGASSIFICAZIONE DEL GNL.

DOCUMENTO DI APPROFONDIMENTO

Comitato Scientifico WWF Trieste – Livio Poldini – Marco Costantini – Maurizio Fermeglia - Carlo Franzosini – Fabio Gemiti - Michele Giani – Dario Predonzan

1. Abstract

L'Italia è interessata da un significativo numero di progetti per la realizzazione di impianti di rigassificazione del GNL, solitamente proposti nella configurazione “a circuito aperto” che prevede l'utilizzo dell'acqua di mare per il riscaldamento del gas liquefatto.

Le alternative tecnologiche, genericamente definite “a circuito chiuso”, richiedono un consumo energetico maggiore per non impattare l'ambiente acquatico. Viene qui proposta una valutazione del diverso impatto tra un maggior consumo di energia per la rigassificazione in “circuito chiuso” e l'utilizzo di acqua di mare per la modalità a “circuito aperto”.

Le due tecnologie comportano l'una la combustione di un'aliquota supplementare (0,87%) del GNL conferito in impianto, quindi una maggior emissione di CO₂ e NO_x, l'altra l'effetto cumulativo del raffreddamento dell'acqua di mare, della perdita dei servizi ecosistemici espletati dall'habitat marino, della distruzione di plancton e larve, della selezione operata a favore di specie batteriche resistenti, del rilascio di sostanze tossiche ivi compreso il cloro libero residuo. Tra le due forme di contaminazione, la seconda solleva elementi di maggior preoccupazione.

A prescindere da altri aspetti legati alla sicurezza, alla salute di popolazione e lavoratori, di tutela del paesaggio che la realizzazione di questi impianti potrebbe comportare e per qualsiasi tipologia di impianto di rigassificazione previsto, al fine di preservare gli habitat marini vanno precauzionalmente adottati schemi di funzionamento diversi da quelli a “circuito aperto” in tutti i mari italiani.

2. Introduzione

La disponibilità di energia rappresenta uno dei problemi più urgenti e di difficile soluzione che l'umanità e i Paesi dovranno sempre più fronteggiare; un problema complesso anche perché coinvolge altre emergenze su scala mondiale, quali la disponibilità di cibo, di acqua e la protezione dell'ecosistema. E' diventato, quindi, necessario affrontarlo con soluzioni tecnicamente percorribili ed economicamente convenienti sulle quali da anni la scienza si sta interrogando. La Commissione Europea ha raccomandato ai Paesi membri il rispetto di due priorità nel definire i piani energetici nazionali. La priorità è la produzione di energia e le raccomandazioni hanno come obiettivo il 20/20/20, ossia raggiungere il 20% di energia da fonti rinnovabili, il 20% di risparmio energetico, nel termine del 2020. Inoltre, si deve puntare a differenziare le forniture di energia tra vari Paesi. Consapevole che le fonti rinnovabili ed il risparmio energetico non sono sufficienti a garantire l'energia necessaria all'Europa, la Commissione raccomanda di essere pronti ad una risposta in caso di crisi di approvvigionamento di fonti fossili. Questa raccomandazione va letta quale diversificazione delle fonti fossili e possibilità di reagire prontamente in caso di mancata fornitura da parte di qualche Paese.

Per il petrolio la diversificazione è un problema facilmente risolvibile; per il gas è, invece, necessario prevedere l'installazione di rigassificatori utili anche come possibile risposta in caso di crisi. I costi di installazione sono compatibili con i tempi di ammortamento degli investimenti per la realizzazione degli impianti e anche i costi del *decommissioning* sono relativamente modesti, rispetto ad altre installazioni energetiche.

In linea generale, prima della valutazione dei progetti dei singoli impianti energetici, è indispensabile definire un Piano Energetico Nazionale, da sottoporre a procedura VAS, ai sensi della Direttiva 2001/42/CE, che confrontando scenari alternativi stabilisca:

- il fabbisogno di energia
- le modalità per soddisfarlo (peso relativo delle varie fonti, efficienza energetica inclusa)
- numero e tipologia delle infrastrutture energetiche necessarie (rigassificatori, centrali elettriche, elettrodotti, metanodotti, oleodotti, ecc.)
- localizzazione di massima delle infrastrutture, con indicazioni sulle tecnologie da adottare.

3. I progetti di impianti di rigassificazione

L'Adriatico è interessato dall'installazione di vari impianti di rigassificazione del GNL per una capacità totale pari a 108,6 Mld m³/anno¹:

- Rovigo – Edison - in esercizio - 8 Mld m³/anno - Offshore
- Falconara - Api Nòva Energia – compatibilità ambientale favorevole – 5 Mld m³/anno - FSRU
- Porto Recanati - GDF Suez – compatibilità ambientale favorevole – 5 Mld m³/anno - Nave
- Brindisi – British Gas – compatibilità ambientale favorevole – 8 Mld m³/anno - Onshore
- Golfo di Trieste – E.On – studio d'impatto ambientale in fase di aggiornamento – 8 Mld m³/anno - Offshore
- Zaule-Trieste - GasNatural – compatibilità ambientale favorevole – 8 Mld m³/anno - Onshore
- Koper (SLO) – TGE - 5 Mld m³/anno - Onshore
- Omisalj – Veglia (HR) - Plinacro - 6 Mld m³/anno – Nave
- Omisalj – Veglia (HR) - Adria Lng - 15 Mld m³/anno – Onshore
- Bar (MTG) – N.D. - 2,6 Mld m³/anno – N.D.
- Seman (ALB) – ASG Power - 30 Mld m³/anno – Onshore
- Levan (ALB) – Falcione Group - 8 Mld m³/anno – Onshore

Nel resto d'Italia ci potrebbero essere impianti per altri 55,75 Mld m³/anno:

- Panigaglia – GNL Italia - in esercizio - 3,5 Mld m³/anno - Onshore
- Livorno – E.On e Gruppo Iride – compatibilità ambientale favorevole – 3,75 Mld m³/anno - FSRU
- In istruttoria: altri 6 progetti per ulteriori 48,5 Mld m³/anno (potenziamento Panigaglia – 4,5; Taranto – 8; Augusta Priolo – 8; Porto Empedocle – 8; Rosignano – 8; Gioia Tauro – 12).

1 <http://www.autorita.energia.it/it/dati/infragas3.htm> (consultato il 13/09/2011)
<http://www.globalnginfo.com/World LNG Plants & Terminals.pdf> (consultato il 13/09/2011)
http://www.sempralng.com/Files/pdf/LNG_CardLrg102904.pdf (consultato il 13/09/2011)
<http://www.velikaplaza.info/gallery/brosure/Action-plan-2008-2012.pdf> (consultato il 13/09/2011)
http://en.wikipedia.org/wiki/List_of_LNG_terminals (consultato il 13/09/2011)

È probabile che non tutti gli impianti proposti andranno ad essere realizzati (ad esempio entrambi gli impianti che riguardano la zona di Trieste, oppure l'isola di Veglia o l'Albania), ma la mancanza di un quadro di riferimento programmatico (piano energetico) - avendo demandato di fatto la programmazione energetica alle industrie private - rende lo scenario attuale fortemente attraente per l'insediamento di tali impianti. In Italia questo scenario è reso ancor più appetibile in ragione delle delibere dell'Autorità per Energia Elettrica e Gas n. 178 del 2005 e n. 92 del 2008 che assicurano ai gestori degli impianti di introitare almeno il 71% delle *royalties* calcolate sulla capacità nominale di rigassificazione, per tutta la durata di vita dell'impianto, indifferentemente dalle quantità di LNG effettivamente conferite e processate. Anche se i rigassificatori rimanessero fermi, ad esempio per eccesso di domanda / mancanza di GNL da acquistare sul mercato, ai gestori sarebbe comunque sempre assicurato l'introito minimo prestabilito.

4. Il problema ambientale che si è manifestato a Porto Viro

Il terminal di rigassificazione off-shore di Porto Viro, entrato in funzione nel 2009, ha dato subito origine a problemi di tipo ambientale. Nella primavera del 2010 a Porto Viro sono stati segnalati vasti banchi di schiuma prodotta dagli scarichi dell'impianto di rigassificazione che, dal sito collocato a 15 km al largo giungevano sino a terra². Sulla base delle verifiche analitiche effettuate da ISPRA nel 2010, risulta che la formazione di schiume è correlata al rilascio di materiale intracellulare di microorganismi naturalmente presenti in mare, sottoposti a stress meccanico e shock termico nel processo di rigassificazione. Precedentemente, nel mese di novembre 2009, la Società Terminale GNL Adriatico ha chiesto un incontro a ISPRA per segnalare, in via preliminare, il fenomeno di formazione di schiume a seguito dello scarico in mare delle acque di scambio termico provenienti dal terminale GNL³. Più in dettaglio, con nota del 25.11.2010, ISPRA ha presentato i risultati analitici delle indagini eseguite nel settembre del 2010 per la caratterizzazione fisico-chimica ed eco tossicologica delle schiume, evidenziando analiticamente che:

2 <http://corrieredelveneto.corriere.it/veneto/notizie/cronaca/2011/26-luglio-2011/schiuma-al-rigassificatore-indagati-due-dirigenti-adriatic-Ing-1901177892295.shtml> (consultato il 13/09/2011)

3 http://www.consiglioveneto.it/crvportal/pdf/attisp/IRI/Anno_2010/IRI_0176/iri_0176.pdf (consultato il 13/09/2011)

- la schiuma generata dal Terminale di rigassificazione è una matrice di origine naturale con caratteristiche complesse, in quanto miscela polifasica principalmente caratterizzata da un elevato contenuto organico che favorisce la concentrazione di sostanze tra cui anche contaminanti organici ed inorganici originariamente presenti nelle acque a livelli non rilevabili. La formazione di schiume, pertanto, non sembra dovuta ad immissione nell'impianto di sostanze esogene all'ambiente marino quanto piuttosto all'azione meccanica dello stesso;
- la presenza di composti cloro organici è, con molta probabilità, dovuta all'impiego di cloro attivo, utilizzato come biocida nelle acque di scambio termico dell'impianto, e quindi riconducibile prevalentemente ad attività di tipo antropico;
- la particolare combinazione di tutti i componenti costituenti la miscela (fino ad ora individuati) è tale da indurre effetti biologici avversi riscontrabili anche ad elevate diluizioni riproducibili in laboratorio.

ISPRA precisa comunque che, essendo la caratterizzazione riferita ad un'unica campagna di indagine, essa prescinde da eventuali variazioni stagionali che possono modificare le caratteristiche fisico-chimiche della matrice di partenza (acqua di mare) in ingresso nell'impianto e, pertanto, per una maggiore chiarezza e comprensione del fenomeno, ritiene opportuno disporre di campioni di schiuma prelevati in periodi stagionali differenti. Questo impianto si colloca in uno dei mari temperati più produttivi e quindi ricchi di plancton. La posizione prescelta - collocata di fronte alla foce di uno dei maggiori fiumi del Mediterraneo - lo espone alle grandi quantità di materiale in sospensione trasportato dal Po.

La formazione di schiuma a seguito dell'impiego di acqua di mare prelevata in ambienti costieri ed utilizzata a fini industriali sono stati recentemente accertati anche a Trieste, ancorché in scala quantitativamente più ridotta. Il 7 settembre 2011 la Capitaneria di Porto ha segnalato all'Area Marina Protetta di Miramare che "il materiale oggetto di segnalazione è la schiuma che si forma nel mare allorquando lo scarico della centrale "Elettra", situato in prossimità del lato orientale della banchina dell'impianto di Servola, recapita a mare le acque di raffreddamento dell'impianto di produzione di energia elettrica. In determinate condizioni, la differenti temperature dei due corpi idrici che si mescolano, congiuntamente alla movimentazione e rimescolamento delle acque causate dallo scari-

co determinano la formazione di cospicue macchie di schiuma, che la società di gestione della centrale fa raccogliere o contenere da una delle società abilitate all'attività di antinquinamento nel porto di Trieste".

5. I rigassificatori: il "circuitto aperto" ed altre tecnologie

L'impiego di acqua di mare negli impianti di rigassificazione - solitamente proposti nella configurazione "a circuitto aperto" - ne comporta una sterilizzazione quasi totale. Si preleva acqua di mare per sottrarle il calore che serve a riportare allo stato gassoso il GNL (arrivato via nave in forma liquida, a -162°C), restituendola poi al mare più fredda e clorata. Si tratta di volumi notevoli, dell'ordine dei 636.000 m³ al giorno per singolo impianto (della capacità di 8 Mld m³/anno), sottoposti a shock meccanico e termico [a questi sono da imputare la formazione di schiume] e che vengono trattati con cloro attivo e conseguente rilascio di sostanze tossiche, i cloro-derivati organici.

Alternative esistono. Di tutti i progetti proposti in Adriatico, quello di Koper è l'unico progettato "a circuitto chiuso". Anche l'impianto di Panigaglia (1971) adottava questa modalità ⁴. I progettisti, consci dei problemi ambientali di questi litorali, non ricorrono all'impiego di acqua di mare ma ricavano il calore utile alla rigassificazione da altre fonti. Ad esempio, si può bruciare un'aliquota marginale del gas conferito in impianto: ne basta l' 1,3% per riportare tutto il metano dalla fase liquida a quella gassosa ⁵. I rigassificatori proposti in Adriatico sono comunque già predisposti per funzionare in questa modalità; in inverno l'acqua di mare è troppo fredda per il processo di rigassificazione unicamente a "circuitto aperto". A questo fine sono dotati di "vaporizzatori a fiamma sommersa" o di "vaporizzatori a fluido intermedio".

Il sistema a circuitto chiuso utilizza più combustibile rispetto al circuitto aperto, quindi ha lo svantaggio di peggiorare la qualità delle emissioni in aria: per il loro funzionamento, i sistemi a circuitto aperto necessitano di un terzo del combustibile necessario per quelli a circuitto chiuso ⁶. La seguente tabella visualizza la diversa resa tra le due tecnologie:

4 http://www.gnlitalia.it/italiano/impianto_panigaglia/impianto.-html (consultato il 14/09/2011)

5 http://www.minambiente.it/export/sites/default/archivio/allegati/ddVIA/2010/dva_via_20_10_2010_25280_parere_com_via.pdf (consultato il 14/09/2011)

6 http://www.giek.no/filarkiv/eia-rapporter/dubai_lng/chapter_4_alternatives_rev03_966.pdf/no (consultato il 14/09/2011)

Circuito chiuso		Circuito aperto	
GNL conferito	100,00%	GNL conferito	100,00%
Energia assorbita nel processo di rigassificazione	1,30%	Energia assorbita nel processo di rigassificazione	0,43%
GNL disponibile	98,70%	GNL disponibile	99,57%

Il sistema “a circuito chiuso” richiede un sacrificio supplementare del 0,87% di quanto conferito in impianto.

Altre tecnologie che non comportano utilizzo di acqua di mare sono ⁷:

- torri di riscaldamento per il trasferimento del calore atmosferico,
- generatori con turbina a gas e unità di recupero del calore residuo,
- generatori con turbina a vapore - ciclo Rankine,
- utilizzo in loco delle frigorifiche disponibili (cosiddetta “catena del freddo”) che possono essere raccolte e sfruttate a valle dell'impianto, impiegandole in produzioni industriali ed altro,
- utilizzo di acque industriali reflue provenienti da scarichi caldi di impianti posti nelle prossimità e dai depuratori.

6. La perdita dei servizi ecosistemici derivante dall'impiego di ingenti quantità di acqua di mare

L'acqua di mare impiegata nel processo di rigassificazione negli impianti “a circuito aperto” sarà restituita praticamente sterile, pertanto inutilizzabile per i servizi ecosistemici che la stessa rende all'ambiente: habitat per le comunità planctoniche e pelagiche, processi di autodepurazione, regolazione dei cicli biogeochimici di fosforo/azoto/carbonio, assorbimento di CO₂.

Si ha la perdita quasi totale delle forme di vita veicolate dalla stessa (uova, larve e avannotti, organismi planctonici) ⁸ e si induce artificialmente la selezione di quelle forme batteriche resistenti al processo di clorazione, formanti biofilm.

⁷ http://www.cbi.com/images/uploads/technical_articles/LNGjournalJulAug06.pdf (consultato il 14/09/2011)

⁸ http://www.lsu.edu/seagrantfish/pdfs/biloxi_07/JeffRester.pdf (consultato il 15/09/2011)

Il funzionamento “a circuito aperto” determina inoltre l'immissione in acqua dei composti di reazione che si formano a seguito dell'impiego del cloro [acido ipocloroso] quale agente antifouling. Il cloro attivo [ione ipocloroso], utilizzato in quantità massiccia (all'interno dell'impianto si hanno tenori dell'ordine di 2 mg/litro) viene poi abbattuto, neutralizzato dal bisolfito (reazione: si forma solfato), al fine di rientrare nei parametri di legge (max 0,2 mg/l allo scarico). La sostanza organica – presente nell'acqua in ingresso – viene degradata e combinata chimicamente al cloro ed altri alogeni, formando alo-derivati organici: sostanze tossiche, persistenti e mutagene (bromofornio e trialometani, clorammine, ecc.) ⁹.

Il “Marine Ecosystem Services Partnership (MESP)” ¹⁰ è un centro di documentazione sugli usi che l'uomo fa degli ecosistemi marini: l'insieme dei servizi ecosistemici - ed una quantificazione del loro valore economico - è stato ben documentato per gli Stati Uniti e per il Golfo del Messico in particolare ¹¹. Relativamente alla produzione primaria – che potrebbe essere ridotta a seguito dell'impiego di ingenti volumi di acqua di mare per gli impianti di rigassificazione – il valore calcolato è di 102.00 US\$ 2008 /per ha /per anno (Costanza R. et al, 1989) per le acque della Louisiana.

Gli Stati Uniti, per via dell'isolamento geografico e della lontananza dai siti d'approvvigionamento, sono tra le nazioni maggiormente interessate da progetti di impianti di rigassificazione ¹² e, stanti le conoscenze già disponibili sui servizi ecosistemici ed il loro valore, il dibattito tra le autorità ambientali (ad es. il “National Marine Fisheries Service” del NOAA) ed i proponenti degli impianti si focalizza sul confronto tra le due alternative “circuito aperto” - “circuito chiuso”. Da un lato si promuove la costruzione di impianti più redditizi (per via del minor consumo di energia necessaria per la rigassificazione), dall'altro si propende per la tutela degli habitat e del bene comune. Questo confronto porta a risultati conseguiti nel Massachusetts, dove la richiesta di licenza d'esercizio per l'impianto “Neptune LLC”, operante a 10 miglia al largo delle coste ¹³, riporta che :

⁹ <http://www.gomr.boemre.gov/PI/PDFImages/ESPIS/4/4235.pdf> (consultato il 16/09/2011)

¹⁰ <http://marineecosystems-services.org> (consultato il 15/09/2011)

¹¹ <http://www.gecoserv.org/> (consultato il 15/09/2011)

¹² <http://www.energy.ca.gov/lng/index.html> (consultato il 15/09/2011)

¹³ <http://www.suezenergyna.com/ourcompanies/lngna-neptune.shtml> (consultato il 15/09/2011)

*"benché i costi di gestione per l'intero ciclo di vita dell'impianto saranno superiori nella modalità a circuito chiuso, le considerazioni ambientali derivanti dall'impiego continuativo in modalità a circuito aperto assumono una rilevanza significativa e costituiscono il fattore discriminante fondamentale in questa analisi. Pertanto la modalità operativa a circuito chiuso viene considerata l'alternativa preferibile per la vaporizzazione del GNL".*¹⁴

In Europa ed in Italia, grazie alla direttiva quadro per la strategia marina 2008/56/CE, è stato recentemente promosso l'approccio ecosistemico alla gestione delle attività antropiche in mare (Giupponi C. et al., 2009)¹⁵. Tale approccio è finalizzato ad assicurare che la pressione delle attività sia mantenuta entro limiti compatibili, ovvero che venga mantenuto nel tempo un buono stato ecologico (sensu allegato 1 direttiva 2008/56/CE) e che la resilienza dell'ecosistema marino alle perturbazioni antropiche non sia compromessa, consentendo al tempo stesso l'uso sostenibile dei servizi ecosistemici ora e in futuro. La suddetta direttiva corrobora, inoltre, l'impegno - assunto dalla medesima CE nell'ambito della Convenzione per la Diversità Biologica - di arrestare la perdita di biodiversità marina, garantendone la conservazione ed un uso sostenibile.

Ma se ormai esistono precise indicazioni circa :

- il come quantificare la biodiversità marina in relazione al funzionamento degli ecosistemi,
 - il suo mantenerla nel tempo e nello spazio, nonché
 - sia stato anche chiaramente e largamente dichiarato lo stretto legame tra biodiversità marina e produzione di servizi ecosistemici,
- putroppo va detto che in Italia la valutazione dei servizi ecosistemici risulta, a tutt'oggi, estremamente complessa e ancora poco definibile.

7 - Cosa dovrebbe essere fatto prima di ottenere il decreto di VIA

Nel 2008 il "National Marine Fisheries Service" del NOAA (Johnson MR e al., 2008)¹⁶ raccomanda per gli impianti di GNL, (1) di svolgere analisi

¹⁴ <http://healthygulf.org/our-work/global-warming/liquified-natural-gas> (consultato il 15/09/2011)

¹⁵ http://94.86.40.85/export/sites/default/archivio/biblioteca/protezione_natura/dpn_tavolo7_servizi_ecosistemici.pdf (consultato il 15/09/2011)

¹⁶ <http://www.nefsc.noaa.gov/publications/tm/tm209/pdfs/ch3.pdf> (consultato il 15/09/2011)

biologiche preliminari (precedentemente alla realizzazione dell'impianto), in accordo con le agenzie ambientali, finalizzate a determinare la consistenza quali-quantitativa delle popolazioni biologiche o degli habitat nell'area potenzialmente impattata dal progetto.

Altre indicazioni pertinenti, dalla medesima fonte: (2) viene raccomandato l'uso di sistemi "a circuito chiuso" in quanto minimizzano il volume di acqua utilizzato per la rigassificazione rispetto a quelli "a ciclo aperto", in modo da ridurre il livello di impatto sulle risorse biologiche marine; (3) viene indicato di localizzare gli impianti che utilizzano acque di superficie per processi di raffreddamento e di rigassificazione lontano dalle zone di alta produttività biologica; (6) ove possibile, evitare l'uso di biocidi (ad esempio: alluminio, rame, composti del cloro) per contenere l'attecchimento di organismi incrostanti; deve essere adottato il sistema antifouling meno dannoso.

Il monitoraggio preventivo che - altrove - viene attuato prevede la valutazione della densità di larve di pesce nell'area di interesse¹⁷. La proiezione nel tempo di questi dati, riportati al volume di acqua processato dall'impianto, permette di ottenere l'equivalente di una resa stimata di pesca. La resa stimata di pesca è il parametro che, confrontato con gli altri tipi di pesca normalmente attuati nell'area, permette di valutare gli stress potenziali sulle popolazioni ittiche locali.

In linea con quanto sopra, il documento ISPRA (febbraio 2009) denominato "Controdeduzioni al rapporto sull'impatto transfrontaliero del terminale GNL di Zaule del Ministero dell'Ambiente e del Territorio della Repubblica di Slovenia", riporta che *"la sterilizzazione della massa d'acqua in ingresso determina l'eliminazione degli organismi costituenti lo zooplancton. Appare necessario, in uno studio di VIA, quantificare l'impatto di tale perdita degli organismi zooplanctonici in termini di effetti sulla produzione secondaria della Baia di Muggia e, in senso più ampio, dell'intero Golfo di Trieste"*. Ciononostante, nel luglio 2009 e senza che siano stati eseguiti gli studi raccomandati da ISPRA, il Ministri dell'Ambiente e dei Beni Culturali firmarono, per il progetto del terminale GNL proposta da Gas Natural a Trieste-Zaule, il decreto di VIA positivo con prescrizioni, rimandando il monitoraggio ambientale alle successive fasi di cantiere e di esercizio dell'impianto¹⁸.

¹⁷ <http://www.epa.gov/gmpo/cac/pdf/lng-in-the-gulf-of-mexico.pdf> (consultato il 15/09/2011)

¹⁸ http://www.dsa.minambiente.it/via/SchedaProgetto.aspx?ID_Progetto=143 (consultato il 16/09/2011)

La mistificazione che tutti gli Studi d'Impatto Ambientale vanno proponendo sulla partita dei rigassificatori in Italia è quella di considerare come potenziale danno ambientale i soli effetti del cloro attivo residuo presente allo scarico, limitato per legge a non più di 0,2 mg/litro. E' una concentrazione non pericolosa [comunque capace di sviluppare effetti biologici], uguale a quella dell'acqua di acquedotto potabile a norma di legge. Quindi lo scarico del rigassificatore è in apparenza innocuo "come bere un bicchier d'acqua". Però si omette di considerare la perdita di larve, la formazione di schiume, ecc.

Invece il cloro è utilizzato in quantità massiccia all'interno dell'impianto, sino a concentrazioni di 2 mg/litro, e reagisce con la sostanza organica formando alo-derivati organici. Prima di venir restituito all'ambiente, si provvede ad abbatterlo per via chimica al fine di rientrare nei parametri di legge. La differenza tra le 2 acque – pur con lo stesso tenore di cloro attivo – è che l'acqua in uscita dall'impianto è carica di sostanza organica degradata combinata chimicamente al cloro. Questo perché già in ingresso è ricca di per sé di sostanza organica da neutralizzare, contrariamente all'acqua di acquedotto, prelevata da sorgente, che possiamo bere a volontà ed in cui il cloro è aggiunto a basso dosaggio solo per un'azione preventiva antibatterica.

E' risaputo da ormai più di 30 anni che "...the toxicity of chlorinated seawater effluent is due primarily to various oxidant residuals produced by chlorination, rather than to residual chlorine itself" (Sung et al. 1978, in Shaw e Baggett 2006)¹⁹. È questo uno dei motivi per cui, con decreto del Ministero dell' Ambiente, la Regione Veneto ha ottenuto il divieto dal 2000 dell'utilizzo del cloro come "agente antifouling" nei circuiti industriali che scaricano in laguna di Venezia²⁰, in considerazione dei problemi che questa sostanza causa alle biocenosi di un habitat tanto delicato.

Il mare Mediterraneo è tutelato dalla "Convenzione per la protezione del Mar Mediterraneo dai rischi dell'inquinamento", o Convenzione di Barcellona, in vigore dal 1978. Questo trattato, sottoscritto da tutti i Paesi rivieraschi e dall'Italia, è lo strumento giuridico e operativo del Piano d'Azione delle Nazioni Unite per il Mediterraneo²¹. La Convenzione è attuata principalmente attraverso una serie di protocolli tecnici, tra cui:

19 <http://www.gomr.boemre.gov/PI/PDFImages/ESPIS/4/4235.pdf> (consultato il 16/09/2011)

20 <http://www.regione.veneto.it/NR/rdonlyres/7CA4603B-3869-452D-B4DA> (consultato il 16/09/2011)

21 <http://www.guidopicchetti.it/> (consultato il 16/09/2011)

- Protocollo sugli scarichi in mare (Dumping Protocol)²². Adottato il 10 Giugno 1995 (Barcellona), ancora non entrato in vigore.

Il primo gruppo di sostanze citate nella Tabella I (di cui cioè è vietato lo scarico nel Mediterraneo) è quello costituito da composti organoalogenati, come quelli che si formerebbero a seguito della reazione con l'ipoclorito utilizzato nei rigassificatori. Tuttavia le norme attuative in questo momento sono carenti, in quanto tale protocollo è stato recepito in Italia solo parzialmente, nella forma di divieto di sversamento limitato unicamente al cloruro di vinile monomero²³.

- Protocollo sull'inquinamento derivante da sorgenti e attività sulla terraferma (Land-Based Sources Protocol)²⁴. Emendato il 7 Marzo 1996 (Siracusa) ed entrato in vigore il 11 Maggio 2008.

Nell'annesso 1²⁵, le parti contraenti prendono in considerazione l'elenco di sostanze inquinanti potenzialmente pericolose, che comprende i *composti organoalogenati e sostanze che potrebbero portare alla formazione di questi composti nell'ambiente marino*, per vari settori di attività tra cui la produzione di energia. L'impegno sottoscritto, per le parti contraenti, è quello di eliminare l'inquinamento che deriva dalle sorgenti e dalle attività a terra, in particolare gli input delle sostanze tossiche, persistenti e bioaccumulabili per mezzo di piani d'azione nazionali da adottare entro un periodo di cinque anni dall'entrata in vigore del testo.

In definitiva, per gli impianti a "circuiti aperti" l'impatto sull'ambiente è dovuto all'effetto cumulativo del raffreddamento dell'acqua di mare, della perdita dei servizi ecosistemici espletati dall'habitat marino, della distruzione di plancton e larve [che nelle aree a più alta produttività si manifesta anche con la formazione di schiume], della selezione operata a favore di specie batteriche resistenti, del rilascio di sostanze tossiche ivi compreso il cloro libero residuo.

22 <http://www.greenpeace.it/inquinamento/convbarcellona.pdf> (consultato il 16/09/2011)

23 <http://www.comitati-cittadini.org/2011/05/> (consultato il 16/09/2011)

24 <http://www.unep.ch/regionalseas/main/med/mlbsp.html> (consultato il 16/09/2011)

25 http://www.cep.unep.org/pubs/legislation/lbsmp/final%20protocol/lbsmp_protocol_eng.html (consultato il 16/09/2011)

8. Le alternative: combustione di metano vs. utilizzo di acqua di mare

Una valutazione del diverso impatto ambientale tra maggior consumo di energia per la rigassificazione in “circuiti chiusi” e l'utilizzo di acqua di mare per la modalità a “circuiti aperti” può trovare spunto a partire dalle seguenti informazioni disponibili per un impianto del tipo più comune, capace di rigassificare di 8 Mld m³/anno :

- il sistema “a circuito chiuso” richiede un maggior consumo pari al 0,87% del metano rigassificato dall'impianto,
- il sistema “a circuito aperto” utilizza 636.000 m³ di acqua al giorno (impianto proposto a Zaule, TS).

Quindi, in maniera approssimativa per via della mancanza di informazioni più dettagliate quali quelle che si sarebbe dovuto fornire con i monitoraggi preliminari, si può solo imbastire una prima stima dei diversi impatti tra maggior produzione di CO₂ e NO_x da un lato, e l'utilizzo di acqua di mare dall'altro:

- all'anno, 69,6 milioni di m³ di metano vengono bruciati in più,
- all'anno, 232,14 milioni di m³ di acqua vengono consumati dall'impianto.

1 m³ standard di metano produce 1,96 kg di CO₂²⁶. Come tutte le **combustioni**, anche quella del metano provoca come reazione parallela l'ossidazione dell'azoto presente nell'aria e la formazione degli ossidi di azoto (NO_x). Il fattore di emissione, calcolato da GasNatural - supponendo che la concentrazione di NO_x nei fumi di combustione sia di 50 mg/m³ standard - è di 1,07 g di NO_x derivanti dalla combustione di 1 m³ standard di metano. Altri inquinanti presenti nei fumi di combustione dei vaporizzatori a fiamma sommersa sono l'ossido di carbonio e le polveri PM10.

L'ossido di carbonio verrebbe emesso – secondo GasNatural - in quantità simili a quelle degli ossidi di azoto e quindi le ricadute di questo inquinante sarebbero irrilevanti in relazione alle concentrazioni ammesse dalla normativa vigente per la qualità dell'aria.

Le quantità di polveri PM10 dovrebbero essere trascurabili anche perché i fumi gorgogliano attraverso l'acqua.

La combustione della maggior aliquota di metano porterà al rilascio di :

26 http://carbonfree.altervista.org/Indicazioni_agli_studenti.pdf (consultato il 18/09/2011)

- 136.416 tonnellate/anno di CO₂, peraltro compensabili con opportuni interventi (ad es. creazione/ripristino di aree boscate, ecc.), e di 74,5 tonnellate/anno di NO_x²⁷;
- non è invece possibile, in assenza di dati sperimentali, quantificare il danno ambientale in termini di conseguenze legate all'abbassamento della temperatura, distruzione di plancton e larve (resa stimata di pesca, minor produttività secondaria), modificazione della composizione specifica delle comunità planctoniche in genere e batteriche in particolare.

Per quanto riguarda la **perdita di servizi ecosistemici**, una quantificazione del danno ambientale può basarsi sull'approccio economico alle risorse naturali e ambientali: questo tipo di valutazione ha usualmente lo scopo di stimare i servizi ecosistemici (più precisamente, la varietà di servizi forniti dagli ecosistemi di un determinato habitat) in termini monetari (Millenium Ecosystem Assessment 2003²⁸). Tale approccio è già stato utilizzato per quantificare il valore economico totale dei servizi forniti dai diversi biomi della Terra in un dato momento (Costanza R. et al. 1997²⁹) e per simulare il valore dei servizi ecosistemici in un modello integrato del sistema terrestre (Boumans et al. 2002). I servizi ecosistemici resi dall'ambiente marino sono stati quantificati ed il parametro di riferimento potrebbe essere, in questo caso:

- valore medio per anno, per 1 ettaro di mare sovrastante la piattaforma continentale (Costanza R, 1997: The value of the world's ecosystem services and natural capital, in Marangon et al. 2008): € 1.431.

Per l'impianto di Zaule (TS), in 1 anno verrebbero resi inutilizzabili 232.140.000 metri cubi d'acqua di mare; sapendo che il golfo di Trieste ha una profondità media di 16 metri, verrebbero sottratti annualmente 1.451 ettari di habitat marino. La perdita economica annua sarebbe quindi quantificabile in € 2.076.381.

Nel caso del rigassificatore di tipo FSRU in progetto a Falconara, secondo quanto dichiarato nel

27 Le quantità di NO_x emesse annualmente in atmosfera da alcuni dei principali complessi industriali del Friuli Venezia Giulia sono le seguenti (rapporto INES 2006) :

Centrale termoelettrica di Monfalcone	4554	t/a
Cementificio Cementizillo (PN)	1470	t/a
Cementificio Italcementi (TS)	1104	t/a
Centrale termoelettrica Edison (UD)	373	t/a
Centrale termoelettrica Elettra (TS)	301	t/a

28 <http://www.maweb.org/en/index.aspx> (consultato il 26/09/2011)

29 http://www.uvm.edu/giee/publications/Nature_Paper.pdf (consultato il 19/09/2011)

SIA dove si limita inizialmente il funzionamento dell'impianto a 205 gg/anno, verrebbero resi inutilizzabili 80.688.800 metri cubi d'acqua di mare all'anno. Su una profondità media di 35 metri nella zona interessata dal rigassificatore, il volume d'acqua processato corrisponderebbe ad un ammanco (annuale) di 230,54 ettari di habitat marino. Qui la perdita economica annua sarebbe quantificabile in € 329.903.

Tali stime non sono mai menzionate negli studi di impatto ambientale, quindi non compaiono nelle "passività" del conto economico legato a questi progetti.

Per quanto riguarda la **produzione di alo-derivati organici**, in prima approssimazione si può considerare il tenore di Sostanza Organica Disciolta (DOM) in acque costiere non eutrofiche, che in Adriatico è 2 mg/litro. Per un impianto da 8 Mld m³/anno, la quantità di DOM che entrerebbe in contatto con il cloro attivo è di 464,28 tonnellate all'anno. Parallelamente, verrebbero rilasciate 193,45 tonnellate di solfati [a seguito dell'abbattimento del cloro attivo] ed ulteriori 46 tonnellate di cloro attivo libero [ione ipocloroso] rilasciato a concentrazione minore o uguale a quanto prescritto a norma di legge.

Alla DOM in ingresso con l'acqua prelevata dall'ambiente esterno va aggiunta la sostanza organica liberata dalle cellule planctoniche sottoposte a shock termico e stress meccanico all'interno dell'impianto. Il caso di Porto Viro segnala che³⁰: "La Società [Terminale GNL Adriatico] ha correlato la formazione di schiume alla presenza, nell'acqua di mare utilizzata nel circuito di scambio termico, di sostanze tensioattive di origine naturale, che deriverebbero dal rilascio di materiale intracellulare di microorganismi naturalmente presenti in mare, sottoposti a stress meccanico nel circuito di scambio termico".

Lo stesso documento riporta che:

- La prima campagna di analisi (2009) ha riscontrato, quale alo-derivato organico, la presenza di acido dicloroacetico;
- I risultati analitici della campagna 2010 indicano che la presenza di composti cloro-organici è, con molta probabilità, dovuta all'impiego di cloro attivo, utilizzato come biocida nelle acque di scambio termico dell'impianto, e quindi riconducibile prevalentemente ad attività di tipo antropico;
- Si segnala la tossicità del campione al saggio di tossicità cronica con *Dunaliella tertiolecta*.

30 http://www.consiglioveneto.it/crvportal/pdf/attisp/IRI/Anno_2010/IRI_0176/iri_0176.pdf (consultato il 19/09/2011)

Alla luce di quanto riportato, se pur vale la pena di far notare come il saggio di tossicità cronica con *D. tertiolecta*, tra le specie testate, sia quello.... dove il contatto campione-specie di riferimento, richiede un tempo ragionevolmente lungo tale da evidenziare effetti di tipo cronico, cioè determinati da basse concentrazioni di inquinanti, è pur vero che risulta difficile individuare senza un accurato e successivo monitoraggio le possibili cause di questa positività.

Si può quindi ipotizzare che il rilascio di questo tipo di contaminanti raggiunga, all'anno, tenori dell'ordine delle centinaia di tonnellate per ogni sito. La pericolosità delle sostanze in questione è documentata in vari studi bibliografici, tra cui quello allegato al SIA dell'impianto Offshore proposto al largo di Grado (Istituto Nazionale di Oceanografia e di Geofisica Sperimentale – OGS, 2006)³¹ dal quale rileviamo quanto segue: oltre a...., il cloro può reagire con il carbonio organico (reazione di sostituzione ed addizione) per dare vari prodotti di reazione del tipo organoclorurati. A causa della loro potenziale elevata tossicità, tali composti organoclorurati devono essere considerati e valutati attentamente quando si effettua un trattamento di clorazione (pag. 28).

I composti formati dalle reazioni tra cloro e sostanza organica fanno parte dei prodotti secondari di disinfezione (DBPs – disinfection by-products) ed includono i trialometani (THMs), gli aloacetoni (HANS), gli alochetoni (HKs), gli alofenoli (HPhs) la cloropicrina e gli acidi aloacetici (HAAs).

A causa dei loro effetti tossicologici e cancerogeni, i DBPs sono sottoposti a severe regolamentazioni da parte dell'organizzazione mondiale della salute e dell'Agenzia di Protezione dell'Ambiente che hanno stabilito i massimi livelli di contaminazione (MCLs) per alcuni dei sottoprodotti di disinfezione: 80 µg/L -1 per i THMs totali, 60 µg/L -1 per gli HAAs e 10 µg/L -1 per il bromato. Alcune di tali sostanze vengono inoltre indicate come sostanze inquinanti prioritarie dalla comunità europea (direttiva 2000/60/CE) e dalle leggi nazionali (DL 367/2003, DL 152/2006).

31 Istituto Nazionale di Oceanografia e di Geofisica Sperimentale – OGS, 2006. Relazione bibliografica critica sugli effetti della clorazione in mare. Appendice Q - Doc. No. 04-582-H9 - Rev. 0 – Novembre 2006. Terminali Alpi Adriatico S.r.l. - Terminale Offshore di Rigassificazione di GNL Alpi Adriatico – Golfo di Trieste. Chiarimenti ed Integrazioni allo Studio di Impatto Ambientale.

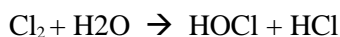
Sebbene esista un'ampia letteratura riguardo la formazione di DBPs nelle acque potabili (Jolley, 1976; Jolley, 1978; Benanou et al., 1998; Duong et al., 2003; Sorlini e Collivignarelli, 2005; Uyak e Toroz, 2006), poco si conosce relativamente all'analogia formazione di tali prodotti in acqua di mare, dove, a causa della matrice salina le reazioni con la sostanza sono molto più complesse in quanto ci sono maggiori reazioni di competizione con il cloro disponibile nell'acqua di mare (Dalvi et al., 2000; Talyor, 2006) (pag. 29).

Nel prosieguo dello stesso documento viene affermato quanto segue :

pag. 38	Effetti tossici acuti, verso gli organismi marini, sono stati osservati a concentrazioni di cloro residuo totale (TRC) $\geq 20 \mu\text{gL}^{-1}$ ed effetti di tossicità cronica sono evidenti anche a concentrazioni di TRC inferiori a $10 \mu\text{gL}^{-1}$ (Mattice e Zittel, 1976). Nonostante quindi, l'ampia capacità diluitiva del corpo d'acqua ricevente, lo scarico continuo di acque clorate ha il potenziale di causare impatti ecologici estremamente sfavorevoli (Erickson e Freeman, 1978; Abarnou e Miossec, 1992; Choi et al., 2002; Hoepner e Lattemann, 2003).
pag. 38	Miri e Chouikhi (2005) riportano che l'ipoclorito ed i suoi derivati possono facilmente uccidere gli organismi non "target" quali il fitoplancton, il meroplancton, l'olozoplancton e l'ittioplancton.
pag. 54	Zeng et al. (2005) nel loro recente lavoro di sintesi sull'effetto della clorazione sull'ambiente acquatico, sostengono che $0,2 \text{ mg L}^{-1}$ di cloro potrebbero uccidere sino al 60-80 % degli organismi autotrofi unicellulari. Secondo tali autori la biomassa fitoplanctonica potrebbe essere ristabilita in 3-5 giorni ma molto probabilmente la sua composizione in termini di specie ne risulterebbe alterata. Nonostante vi siano pochissimi studi volti ad una valutazione in situ delle conseguenze della clorazione sull'ecosistema acquatico, alcune osservazioni dirette hanno messo in evidenza che nelle acque in cui sono stati riversati scarichi "clorati" la biomassa e la biodiversità diminuiscono (Vanderhorst et al. 1983; Osborne, 1985).
pag. 58	...Questo perché la prevista immissione in mare di concentrazioni, anche controllate, di cloro determineranno nel tempo un accumulo di organoclorurati, che inevitabilmente incideranno sull'ecosistema. Nella letteratura scientifica, infatti, i composti organoclorurati sono da tem-

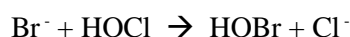
	po riconosciuti tossici e mutageni per i viventi, con vario grado di compromissione delle funzioni cellulari e delle attività metaboliche dell'intero organismo in relazione alle concentrazioni assunte. I composti organoclorurati, scarsamente biodegradabili, persistono nell'ambiente e <u>si accumulano negli organismi</u> , con cui vengono a contatto, concentrandosi nei fluidi e nei tessuti ricchi di grassi. In molti organismi, gli organoclorurati si comportano da distruttori endocrini (EED), cioè sostanze xenobiotiche che, anche presenti in basse concentrazioni e tali da non provocare effetti evidenti, possono interferire con l'attività del sistema endocrino alterando, con meccanismi di attivazione o inibizione, l'azione degli ormoni naturali e la conseguente regolazione di molti processi metabolici e fisiologici (Depledge e Billingham 1999)
pag. 59	A tutt'oggi sono troppo pochi gli studi volti ad affrontare gli effetti della clorazione a livello ecosistemico, quali l'alterazione del numero di specie presenti con il conseguente mutamento dei rapporti preda-predatore, o addirittura le modificazioni dei principali processi quali la produttività primaria e la respirazione. Mancano valutazioni approfondite sulla modificazione della biodiversità e sulla quantificazione della prevedibile diminuzione di biomassa.
pag. 59	E' necessario uno studio [preliminare], anche bibliografico, più approfondito, sui CBP (chlorinated by products) e sui loro effetti sugli organismi marini in quanto inducono mortalità in molte specie marine.
pag. 60	Troppo pochi sono gli studi sugli eventuali effetti sinergici e/o additivi sulla tossicità indotta dalla clorazione in presenza di altre significative alterazioni ambientali, quali ad esempio la diminuzione della temperatura

Più dettagliatamente, sappiamo che per ridurre il biofouling normalmente viene impiegata la clorazione dell'acqua marina con aggiunte espresse come Cl_2 da $0,5$ a $1,5-2 \text{ mg L}^{-1}$ che corrispondono ad un livello di ossidante residuo, dopo la riduzione dovuta alla richiesta di ossidante dell'acqua marina, a $0,1-0,2 \text{ mg L}^{-1}$ ³².

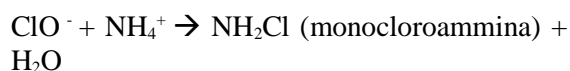


³² In alternativa, il procedimento di "elettroclorazione" prevede l'applicazione di una differenza di potenziale all'acqua di mare. Parte del cloruro di sodio in essa disciolto si trasforma in ipoclorito di sodio:
 $\text{NaCl} + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{NaOCl} + \text{H}_2$

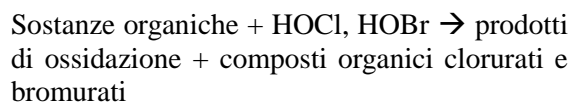
Gli acidi vengono istantaneamente neutralizzati dalla basicità dell'acqua dovuta principalmente al sistema carbonatico (CO_3^{2-} e HCO_3^-) formando i due corrispondenti anioni OCl^- e Cl^- . L'anione cloruro è presente in grande concentrazione e quindi ciò che deriva dalla clorazione è insignificante. Lo ione ipocloroso è la specie responsabile per la sterilizzazione e/o la disinfezione. Nella clorazione dell'acqua marina, differentemente da quella delle acque dolci, a causa della presenza di bromuro si forma bromo. Il bromo in seguito ad una rapida idrolisi forma l'acido ipobromoso (HOBr) che al pH normale è la specie ossidante prevalente nell'acqua marina (Taylor, 2006) :



La presenza di ammonio può portare inoltre alla formazione di bromoammine e cloroammine che possono a loro volta reagire con i composti organici naturalmente presenti in soluzione.



La sostanza organica presente nell'acqua marina reagisce rapidamente con gli ossidanti che si formano in seguito al processo di clorazione.



Pertanto sono i composti organici a contribuire principalmente alla richiesta di ossidante nelle reazioni di ossidazione che consumano la maggior parte del cloro aggiunto. La formazione di cloro-derivati organici può portare alla formazione di molte sostanze persistenti e pericolose.

Il tipo e la quantità relativa di sottoprodotti derivanti dalla clorazione dipende dal contenuto di sostanza organica ed anche dalla concentrazione di alcune specie inorganiche (quali ad esempio: NH_4^+ , Br^-). Una delle principali classi di sostanze organiche alogenate che si formano sono i trialometani (THMs) dei quali in ambiente marino il composto prevalente è il bromoformio (CHBr_3). Si formano anche altri THMs in minor quantità: il dibromoclorometano (CHBr_2Cl) e il diclorobromometano (CHBrCl_2).

Ulteriori classi di composti che si possono formare sono gli aloacetoni (in particolare il dibromoacetone), gli alofenoli e gli acidi aloacetici (Abarnou e Miossec, 1992; Allonier et al. 1999).

Sia il cloroformio che il bromoformio sono prodotti anche naturalmente dalle alghe, la clorazione dell'acqua marina però contribuisce ad aumentare la contaminazione da parte di questi composti nelle zone costiere.

Effetti della clorazione

Il cloro se presente nel mezzo acquoso in concentrazioni maggiori di 0.01-0.1 mg L⁻¹ produce effetti letali (Abarnou and Miossec, 1992). Effetti subletali, quali soprattutto riduzione della crescita o del potenziale riproduttivo, sono osservati a concentrazioni di cloro residuo o di prodotti ossidanti residui nel range 0.01-0.1 mg L⁻¹ (Abarnou and Miossec, 1992).

Quindi gli effetti ambientali diretti della clorazione dell'acqua marina si possono riassumere in effetti di mortalità, di riduzione della biomassa e della diversità specifica ed in risposte comportamentali nei pesci (Hose et al, 1983) e nei macroinvertebrati mobili che portano ad evitare le zone impattate dagli scarichi con acque clorate. Gli effetti della clorazione e dei prodotti ossidanti generati non persistono a lungo nelle acque marine in quanto i processi di diluizione e la richiesta di ossidanti da parte delle acque riceventi gli scarichi tendono a ridurre gli effetti biologici.

Effetti dei prodotti secondari della clorazione

I sottoprodotti clorurati rappresentano un pericolo per l'ambiente marino sia per la loro tossicità che per la loro persistenza e potenziale bioaccumulo. Essi si riscontrano in concentrazioni dell'ordine delle decine di microgrammi per litro, nel caso del bromoformio, dei microgrammi per litro per il dibromoacetone o inferiori per il 2,4,6 triclorofenolo (Jenner et al., 1997; Taylor, 2006; Sim et al., 2009).

La tossicità dei sottoprodotti della clorazione come il bromoformio, bromodichlorometano ed il cloroformio varia a seconda degli organismi marini considerati (molluschi, pesci, crostacei) da 0.15 mg L⁻¹ a 140 mg L⁻¹ (Jenner et al., 1997). Poiché i trialometani sono composti volatili non tendono a persistere a lungo nell'ambiente marino (Taylor; 2006) ma, rilasciati in atmosfera, svolgono un notevole effetto-serra³³.

33 Le emissioni dei gas alogenati, regolamentate da un trattato internazionale (Protocollo di Montreal, 1987) sono molto inferiori rispetto agli altri gas serra e la loro concentrazione nell'atmosfera è molto bassa, ma questi gas possono avere un tempo di vita molto lungo, anche fino a 400 anni, e un grande effetto come forzanti radioattivi, da 3.000 a 13.000 volte superiore dell'anidride carbonica. Il forzante radioattivo è la misura d'influenza di un fattore nell'equilibrio tra energia entrante ed energia in uscita nel sistema terra-atmosfera. Il Global Warming Potential calcola la misura in cui un gas serra contribuisce all'effetto serra.

Tra i sottoprodotti derivanti dalla clorazione quelli aromatici come gli alofenoli hanno i maggiori coefficienti di ripartizione ottanolo-acqua che sono un indice del loro potenziale bioaccumulo che aumenta con l'aumento dei gruppi bromurati. I fattori di bioconcentrazione stimati sono di 20, 24, 120, e 3100 per il 4-bromofenolo, 2,4-dibromofenolo, per il 2,4,6-tribromofenolo, e per il penta bromofenolo, rispettivamente (WHO, 2005). Per il 2,4,6 tribromofenolo sono stati misurati fattori di bioconcentrazione di 513 e 83 nel pesce zebra (*Brachydanio rerio*) e nel ciprinide *Pimephales promelas*, rispettivamente, suggerendo che il potenziale per la bioconcentrazione di questo composto negli organismi acquatici è da moderato ad elevato (WHO, 2005).

I fenoli bromurati non sono in genere facilmente biodegradabili e tendono a persistere nell'ambiente marino, tuttavia alcune comunità di batteri specializzati (come gli anaerobi o i solforiduttori) sono in grado di decomporli. Molte specie di alghe marine contengono e biosintetizzano fenoli bromurati (e.g.: Whitfield et al., 1999; Flodin et al., 1999) che si trovano anche in spugne ed altri animali marini bentonici (Ahn, 2003; WHO, 2005): Tra questi composti prodotti naturalmente vi sono: il 4-bromofenolo, il 2,4-dibromofenolo, il 2,6-dibromofenolo e il 2,4,6-tibromofenolo.

La produzione naturale di fenoli bromurati da parte del biota marino e di estuario preclude la possibilità di fare una valutazione del rischio nell'ambiente marino per questi composti.

In conclusione va richiamato un documento WWF del 2006, che auspicava una drastica e repentina riduzione dei contaminanti chimici persistenti e bioaccumulabili rilasciati in mare. Lo studio "*Chemical contamination in the Mediterranean: the case of Swordfish*"³⁴ (Alessi E. et al., 2006) constataba che :

La contaminazione della fauna Mediterranea è un motivo di seria preoccupazione. Molte sostanze chimiche persistenti e bioaccumulabili sono state collegate a possibili gravi effetti sulla salute della fauna, delle persone e di interi ecosistemi: alterano lo sviluppo sessuale e neurologico, il sistema riproduttivo e immunitario.

La ricerca ha dimostrato che i contaminanti persistenti e bioaccumulabili presenti all'interno della catena alimentare incidono sulle specie marine, alcune delle quali sono specie di interesse alimentare per l'uomo.

Se i contaminanti chimici persistenti e bioaccumulabili non vengono ridotti sensibilmente il loro peso sull'ambiente e di conseguenza sulla fauna marina continuerà ad aumentare, minacciando sia l'ecosistema che la salute umana.

Tra le due forme di contaminazione, vale a dire una maggior emissione di CO₂ e NO_x a fronte dell'immissione di un'ingente quantità di alo-derivati organici stimata nell'ordine di centinaia di tonnellate all'anno e per sito, la seconda solleva – in assenza di dati sperimentali e di monitoraggio specifici – elementi di maggior preoccupazione.

9. I mari costieri mediterranei: zone ecologicamente sensibili

L'Adriatico è un' area particolarmente sensibile al potenziale effetto cumulato della clorazione di elevati volumi d'acqua marina contenente rilevanti concentrazioni di organismi planctonici e di sostanza organica disciolta e particellata non vivente. L' Adriatico è una delle aree più produttive del Mediterraneo, sia per produzione primaria sia per produzione ittica e di molluschi (Caddy et al., 1995; Fonda, 1996), è attualmente soggetto nella parte settentrionale ad un processo di oligotrofizzazione (Solidoro et al., 2009; Mozetic et al., 2010) dovuto principalmente ad una diminuzione degli apporti di nutrienti trasportati dai fiumi e in particolare dei fosfati (Cozzi & Giani, 2011). Tali effetti sono più marcati nella zona orientale dove la riduzione degli apporti fluviali è arrivata al 33%. Nel golfo di Trieste dove sono stati previsti ben tre rigassificatori (due in Italia ed uno in Slovenia) nessuno studio di impatto ambientale ha tenuto in considerazione il potenziale effetto cumulato dello sversamento della acque utilizzate negli impianti sulla riduzione delle componenti planctoniche sia come effetto diretto (distruzione meccanica delle cellule, clorazione) sia indiretto tramite la tossicità dei vari composti cloroderivati conseguenti all'effetto della clorazione sulla sostanza organica disciolta nell'acqua di mare. Oltre alla formazione di schiume per la rottura di cellule fitoplanctoniche ed di organismi zooplanctonici, la riduzione della componente planctonica alla base della catena trofica avrà probabili effetti negativi sulla pesca.

Va poi tenuto in considerazione che questo decremento della base della catena trofica si sovrappone ad uno sovrasfruttamento delle risorse ittiche e ad una riduzione dei "top predators" (Fortibuoni et al., 2010; Coll et al., 2010) che rende particolarmente vulnerabili gli ecosistemi adriatici.

34 <http://wwf.fi/mediabank/1092.pdf> (consultato il 19/09/2011)

Nel suo complesso, il Mar Mediterraneo è uno degli ambienti più diversificati di quelli esistenti sulla Terra. E' riconosciuto come uno dei 25 *hotspot* del mondo per biodiversità. Occorre più di un secolo affinché le sue acque siano completamente rinnovate. Ciò lo rende estremamente vulnerabile alle attività umane, capaci di danneggiare gravemente gli habitat costieri e marini più fragili, come indicato nel rapporto del Programma Ambientale delle Nazioni Unite (UNEP) reso disponibile a Nagoya il 19 ottobre 2010 ³⁵.

La perdita, la frammentazione e il degrado degli habitat sono il risultato diretto o indiretto delle attività umane, e l'urbanizzazione, l'industrializzazione e lo sviluppo del turismo sono le principali minacce alle specie marine mediterranee. Altre pressioni ambientali cruciali nella regione includono l'inquinamento, le fioriture algali nocive, le specie invasive, lo sfruttamento eccessivo delle risorse marine, e l'impatto della pesca.

In precedenza (2006), nel documento "Priority issues in the Mediterranean environment" ³⁶ l'UNEP e l'EEA - Agenzia Europea per l'Ambiente, emisero una serie di raccomandazioni per una migliore gestione ambientale, tra cui quella sulla prevenzione dell'inquinamento.

La Direttiva Quadro sulle Acque ³⁷ in materia di qualità delle acque dolci e costiere, si prefigge di conseguire uno stato ecologico e chimico "buono" entro il 2015, anche per mezzo di una forte componente economica basata sul principio di chi inquina paga.

La Direttiva Quadro sulla Strategia Marina ³⁸, introdotta nel giugno 2008 per una più efficace protezione dell'ambiente marino europeo, mira a conseguire uno stato ambientale "buono" per le acque marine dell'UE entro il 2020 e per proteggere le risorse di base da cui dipendono le attività economiche e sociali riguardanti l'ambiente marino.

35 La relazione è uno dei 18 studi regionali presentati alla 10^a Assemblea dei Membri della Convenzione sulla Biodiversità a Nagoya, in Giappone. Le relazioni fanno parte della serie di documenti di valutazione e previsione della biodiversità marina elaborati dall'UNEP.

http://www.guidopicchetti.it/II%20CPPM%20di%20Pnt/News%202010/Studi%20su%20AP/UNEP-MAP/101122_RegSeas.htm (consultato il 18/09/2011)

36 http://www.eea.europa.eu/publications/eea_report_2006_4 (consultato il 16/09/2011)

37 http://ec.europa.eu/environment/water/water-framework/priority_substances.htm (consultato il 19/09/2011)

38 http://europa.eu/legislation_summaries/maritime_affairs_and_fisheries/fisheries_resources_and_environment/128164_it.htm

In quest'ambito nel 2010 la Commissione europea ha adottato la decisione che definisce i criteri necessari per ottenere un buono stato ecologico per i mari d'Europa, tra cui alcuni che riguardano direttamente l'inquinamento chimico. Tra questi il "Descrittore 8" prevede che le concentrazioni dei contaminanti compresi tra le sostanze prioritarie rimangano entro livelli che non diano origine a effetti inquinanti. Tra le sostanze prioritarie rientrano gli alo-derivati organici quali il diclorometano ed il cloroformio.

La Direttiva europea IPPC - "Prevenzione e Riduzione Integrate dell'Inquinamento" ³⁹ impone il rilascio di un'autorizzazione per le attività industriali che presentano un notevole potenziale inquinante. L'autorizzazione IPPC può essere concessa se vengono rispettate alcune condizioni, tra cui l'utilizzo di tutte le misure utili per combattere l'inquinamento, ed in particolare il ricorso alle migliori tecniche disponibili: quelle che producono minori quantitativi di rifiuti, che utilizzano le sostanze meno pericolose. L'autorizzazione IPPC per l'impianto di Porto Viro è stata rilasciata nel gennaio 2009 (la prima segnalazione di schiume è di novembre 2009): sarebbe stato certamente opportuno approfondire l'analisi dei requisiti "sull'utilizzo di tutte le misure utili per combattere l'inquinamento" richiamati dalla direttiva stessa prima di rilasciare l'autorizzazione in questione.

10. Conclusione

A prescindere dagli aspetti legati alla sicurezza, alla salute ed alla tutela del paesaggio che la realizzazione degli impianti di rigassificazione del GNL potrebbe comportare e qualsiasi sia la tipologia di impianto prevista (onshore, offshore, FSRU, nave rigassificatrice), al fine di preservare gli habitat marini vanno precauzionalmente adottati in tutta Italia schemi di funzionamento diversi da quelli a "circuito aperto".

Trieste, 04 Ottobre 2011

39 http://www.ambientediritto.it/dottrina/Politiche%20energetiche%20ambientali/politiche%20e.a/influence_of_regulation_napoli_portatadino_sileo.htm (consultato il 19/09/2011)

11. Bibliografia

- Abarnou, A., Miossec, L. 1992. Chlorinated waters discharged to the marine environment chemistry and environmental impact. An overview. *Science of the Total environment*, 126: 173-197.
- Ahn, Y.B., Rhee S.K., Fennell, D.E., Kerkhof, L.J., Hentschel, U., Häggblom, M.M., 2003. Reductive dehalogenation of brominated phenolic compounds by microorganisms associated with the marine sponge *Aplysina aerophoba*. *Applied and Environmental Microbiology*, 69(7):4159–4166.
- Alessi E., Tognon G., Sinesi M., Guerranti C., Perra G. and Focardi S., 2006. Chemical Contamination in the Mediterranean: the case of swordfish. WWF Technical report (edited by Alessi E. and Walker B. L.) -W WF Italia, pp 44
- Allonier, A.S., Khalanski, M., Camel, V., Bermond, A. 1999. Characterization of Chlorination By-products in Cooling Effluents of Coastal Nuclear Power Stations. *Marine Pollution Bulletin*, 38: 1232-1241.
- Caddy, J.F., Refk, R., Do-Chi T. 1995. Productivity estimates for the Mediterranean: evidence of accelerating ecological change. *Ocean & Coastal Management* 26, 1-18.
- Coll, M., Santojanni, A., Palomera, I., Arnesi, E. 2010. Ecosystem assessment of the North-Central Adriatic Sea: towards a multivariate reference framework. *Marine Ecology Progress Series*, 417, 193-210.
- Costanza R., D'Arge R., De Groot R., Farber S., Grasso M., Hannon B., Limburg K., Naeem S., O'Neill R., Paruelo J., Raskin R. G., Sutton P & Van Den Belt M. 1997. The value of the world's ecosystem services and natural capital. *Nature* 387, 253 - 260 (15 May 1997)
- Cozzi S., Giani M. 2011. River water and nutrient discharges in the Northern Adriatic Sea: current importance and long term changes, *Continental Shelf Research*, in press.
- Flodin C, Helidoniotis F, Whitfield FB (1999) Seasonal variation in bromophenol content and bromoperoxidase activity in *Ulva lactuca*. *Phytochemistry*, 51(1):135–138
- Fonda, S. 1996. Pelagic production and biomass in the Adriatic Sea. *Scientia Marina*, 60, 65-77.
- Fortibuoni, T., Libralato, S., Raicevich, S., Giovanardi, O., Solidoro, C. 2010. Coding Early Naturalists' Accounts into Long-term Fish Community Changes in the Adriatic Sea (1800-2000). *Plos One*, 5, 1-8
- Giupponi C., Galassi S., Pettenella D. (a cura di), 2009. Definizione del metodo per la classificazione e quantificazione dei servizi ecosistemici in Italia. Verso una strategia nazionale per la biodiversità: i contributi della conservazione ecoregionale, Ministero dell' Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare -W WF Italia, pp 34
- Hose, J.E., Hunt, W., Stoffel, R.J: 1983. Physiological Responses of a Marine Fish Exposed to Chlorinated Seawater at Concentrations Near Its Avoidance Threshold. *Marine Environmental Research*, 8: 241-254.
- Istituto Nazionale di Oceanografia e di Geofisica Sperimentale – OGS, 2006. Relazione bibliografica critica sugli effetti della clorazione in mare. Appendice Q - Doc. No. 04-582-H9 - Rev. 0 – Novembre 2006. Terminali Alpi Adriatico S.r.l. - Terminale Offshore di Rigassificazione di GNL Alpi Adriatico – Golfo di Trieste. Chiarimenti ed integrazioni allo Studio di Impatto Ambientale.
- Jenner, H.A., Taylor, C.J.L., van Donk, M., Khalanski, M. 1997. Chlorination By-Products in Chlorinated Cooling Water of some European Coastal Power Stations. *Marine Environmental research*, 43: 279-293.
- Johnson MR, Boelke C, Chiarella LA, Colosi PD, Greene K, Lellis K, Ludemann H, Ludwig M, McDermott S, Ortiz J, Rusanowsky D, Scott M, Smith J., 2008. Impacts to marine fisheries habitat from nonfishing activities in the Northeastern United States. NOAA Technical Memorandum NMFS-NE-209
- Marangon F., Spoto M. & Visintin F., 2008. An environmental accounting model for a natural reserve. In Schaltegger S., Bennett M., Burritt R. L., Jasch C., (eds.) (2008): *Environmental management accounting for cleaner production*. Springer Netherlands, vol. 24: 267-282.
- Mozetič, P., Solidoro, C., Cossarini, G., Socal, G., Precali, R., Francé, J., Bianchi, F., Vittor, C., Smolaka, N., Fonda Umani, S., 2010. Recent trends towards oligotrophication of the Northern Adriatic: evidence from Chlorophyll a time series. *Estuaries and Coasts* 33, 362-375.
- Shaw, R.F., Baggett K.W. 2006. Annotated bibliography of the potential environmental impacts of chlorination and disinfection byproducts relevant to offshore liquefied natural gas port facilities. U.S. Dept. of the Interior, Minerals Management Service, Gulf of Mexico OCS Region, New Orleans, LA. OCS Study MMS 2006-071. 112 pp.

Sim, W.-J., Lee, S.-H., In-Seok Lee, Choi S.-D., Oh, J.-E. 2009. Distribution and formation of chlorophenols and bromophenols in marine and riverine environment. *Chemosphere*, 77: 552-558.

Solidoro, C., M. Bastianini, V. Bandelj, R. Codermatz, G. Cossarini, D. Melaku Canu, E. Ravagnan, S. Salon, and S. Trevisani. 2009. Current state, scales of variability and decadal trends of biogeochemical properties in the Northern Adriatic Sea. *Journal of Geophysical Research*. doi:10.1029/2008JC004838.

Taylor, CJ. 2006. The effects of biological fouling control at coastal and estuarine power stations. *Marine Pollution Bulletin*, 53(1-4):30-48.

Vetter, W. 2006. Marine Halogenated Natural Products of Environmental and Food Relevance. *Rev: Environ. Contam. Toxicol.*, 188: 1-58.

Whitfield FB, Helidoniotis F, Shaw KJ, Svoronos D (1999) Distribution of bromophenols in species of marine algae from eastern Australia. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 47(6):2367–2373.

WHO, 2005. 2,4,6-Tribromophenol and other simple brominated phenols.
http://www.who.int/ipcs/publications/cicad/cicad_6_6_web_version.pdf

Componenti del Comitato Scientifico WWF Trieste :

Prof. em. Livio Poldini
Prof. Alfredo Altobelli
Prof. Pierluigi Barbieri
Dott. Bruno Bembi
Prof. Andrea Benedetti
Prof. Nadia Breda
Dott. Nicola Bressi
Dott. Marco Costantini
Prof. Maurizio Fermeglia
Dott. Carlo Franzosini
Dott. Fabio Gemitì
Prof. Carlo Genzo
Avv. Alessandro Giadrossi
Dott. Michele Giani
Prof. Filippo Giorgi
Dott. Bruno Grego
Ing. Giulio Gregori
Arch. Romana Kacic
Sig. Paolo Utmar
Prof. Francesco Vallerani
Prof. Mauro Varotto