

FABIO TRINCARDI – SILVIA GRANDI

LA RISPOSTA DELL'OCEANO E DELLA CRIOSFERA ALL'IMPATTO DELL'UOMO SUL CLIMA

Premessa. – Approfondire il tema dell'Antropocene significa esplorare la sempre più evidente pervasività dell'azione antropica sulle risorse e sui servizi ecosistemici del pianeta. L'umanità, oggi, è il principale agente geologico di trasformazione; si pensi, ad esempio, che movimentata artificialmente il doppio dei sedimenti che tutti i fiumi muovono attraverso processi naturali, o che gli invasi artificiali trattengono sui continenti otto volte più acqua dolce di quanta ce ne sia tra laghi, fiumi, falde e ghiacciai temperati, o che la Foresta Amazzonica è ridotta a circa il 65% della sua superficie di un secolo fa. Negli ultimi 70 anni i trend socioeconomici di crescita economica e quelli di estrazione di materie non rinnovabili o di sfruttamento della biosfera hanno avuto generalmente andamenti esponenziali, tanto che questo fatto ha portato il gruppo guidato da Joan Rockstroem e Will Steffen a definire, nel 2015, questo processo “la grande accelerazione” e ad attualizzare il concetto di limiti dello sviluppo, definito inizialmente dal Club di Roma nel 1972, nel concetto di “limiti planetari” invalicabili. La conseguenza più nota del nostro rapporto con la Natura, presente ormai stabilmente sui media, è il cambiamento climatico che si osserva con chiarezza dall'avvento dell'industrializzazione diffusa, basata inizialmente sul carbone, poi sul petrolio/gas ed ora sull'elettrificazione in parte grazie a energia rinnovabile. Lo stesso andamento, anche se differito nel tempo di alcuni decenni, caratterizza anche gli indicatori del sistema marino e quelli della cosiddetta economia blu. Anche in questo caso le variabili mostrano la crescita esponenziale tipica della grande accelerazione: si pensi alla navigazione, allo sfruttamento delle georisorse sottomarine (petrolio, gas naturale, noduli polimetallici, etc.), alla desalinizzazione delle acque marine, agli impianti per la produzione di energia eolica, al turismo croceristico, alla pesca e all'acquacoltura, alle condotte e cavidotti sottomarini, etc..

La percezione pubblica degli effetti dell'attività antropica sugli oceani in relazione al cambiamento climatico, oltre che allo sfruttamento delle

risorse e dello spazio marittimo, è ancora non sufficientemente diffusa. I sistemi marini giocano un ruolo fondamentale nel contrastare la corsa del pianeta verso un nuovo e diverso equilibrio: trattengono enormi volumi di gas climalteranti (si stima che in assenza di oceano la CO₂ in atmosfera avrebbe già superato 600 ppm o che la temperatura media globale sarebbe già ampiamente oltre 2° Celsius sopra il valore pre-industriale). L'interazione con la criosfera diventa ulteriormente complessa rafforzando, in molti casi, i fenomeni di accelerazione che tendono ad avere andamenti a soglia (riduzione di albedo legata alla riduzione del ghiaccio marino; fusione del permafrost che può immettere gas serra in atmosfera in misura doppia rispetto a tutti i gas serra di origine antropica finora introdotti. Il sorpasso dei limiti planetari, entro i quali la società umana può comunque prosperare, porta a una serie di punti di non ritorno del sistema oceano-atmosfera-criosfera-biosfera, i cosiddetti *tipping elements*, sono punti di non ritorno irreversibili che, una volta oltrepassati, generano ulteriori amplificazioni che hanno effetti domino anche su altri elementi.

Cambiamento climatico e causazioni circolari cumulative dal punto di vista degli oceani. – Dal 1971 ad oggi, l'oceano ha assorbito il 93% del calore antropogenico proteggendo il pianeta da un cambiamento che sarebbe stato ancora più ampio e rapido di quello che stiamo vivendo. L'inerzia termica dell'acqua dei mari, sottraendo calore all'atmosfera, ne riduce la temperatura. Senza il ruolo degli oceani, infatti, si avrebbe un aumento ancora più rilevante della temperatura terrestre. Tuttavia, l'aumento di temperatura delle acque oceaniche causa un rilevante aumento sterico, ossia l'aumento di volume dell'acqua a causa dell'innalzamento della sua temperatura. Questo fenomeno, sommato ai nuovi volumi di acqua che derivano dalla fusione dei ghiacciai terrestri e delle calotte polari (soprattutto Groenlandia e West Antarctica), e raggiungono l'oceano, causano l'innalzamento medio del livello dei mari terrestri che si stima sia in accelerazione con un passaggio negli ultimi decenni da 2 a quasi 5 mm all'anno.

L'effetto degli oceani sul clima è anche quello di contribuire a ridurre la concentrazione di CO₂ in atmosfera. Circa un quarto della CO₂ presente nell'atmosfera, infatti, viene assorbita dalle acque marine dove si trasforma in acido carbonico (H₂CO₃). Grazie all'acidificazione dell'oceano, il sistema terrestre non ha raggiunto ancora le 600 ppm, ma “solo” le 416 ppm di CO₂. Il processo di continua acidificazione delle acque oceaniche,

abbassando il pH marino, tuttavia, influisce negativamente sugli ecosistemi e sulla catena alimentare, influisce sul lisocline e sulla profondità di compensazione dei carbonati, che porta ad una maggiore facilità di dissolvimento dei gusci calcarei delle conchiglie dei molluschi, del plancton calcareo, dei coralli. L'aumento della concentrazione di CO₂ disciolta porta anche crescita più vigorosa delle forme di vita vegetali cambiando gli habitat delle forme di vita animale che tendono ad allontanarsi dagli strati oceanici con eccessiva quantità di vegetazione.

Gli oceani hanno anche svolto un ruolo determinante per raccogliere, nascondere, assorbire e biodegradare, per quanto possibile, i reflui e gli scarti rifiuti dell'attività dell'uomo svolgendo un ruolo di vero o proprio "cassonetto dei rifiuti" per i residui di quell'economia lineare alla base modello dominante di crescita economica dell'era industriale e di un'economia dei consumi che ha prodotto nel solo 2018 oltre 2 miliardi di tonnellate di rifiuti. In questi ultimi due secoli, gli ecosistemi marini, quindi, sono serviti a chiudere i cicli del sistema socioeconomico di produzione e consumo lineare. Si avvera la profezia di Italo Calvino, ne "Le città invisibili" che scrisse nel 1972, dove descrive Leonia così: «Dove portino ogni giorno il loro carico gli spazzaturai nessuno se lo chiede: fuori dalla città, certo; ma ogni anno la città s'espande, e gli immondezzai devono arretrare più lontano; l'imponenza del gettito aumenta e le cataste s'innalzano, si stratificano, si dispiegano su un perimetro più vasto». E continua: «Aggiungi che più l'arte di Leonia eccelle nel fabbricare nuovi materiali, più la spazzatura migliora la sua sostanza, resiste al tempo, alle intemperie, a fermentazioni e combustioni. È una fortezza di rimasugli indistruttibili che circonda Leonia, la sovrasta da ogni lato come un acrocorno di montagne». Lo stesso può essere detto oggi per le "isole di plastica" alla superficie degli oceani o per la spazzatura sempre più diffusa sui loro fondali.

Tipping Points e l'amplificazione artica. – Il termine "tipping point" (punti di non ritorno), si riferisce comunemente a una soglia critica in cui una piccola perturbazione può alterare qualitativamente lo stato o lo sviluppo di un sistema climatico. Le dinamiche di percezione del rischio portano spesso alla tendenza ad attuare processi di rimozione o assumere che i rischi di crisi sostanziali, in questo caso dei sistemi marini siano di bassa probabilità e poco compresi. Al contrario, le analisi scientifiche stanno accumulando prove che questi eventi potrebbero essere più probabili di

quanto si pensi con un impatto elevato ed interconnesso, potenzialmente portando il mondo a cambiamenti irreversibili a lungo termine. Partendo dall'Europa, sono molti i *tipping points* che la interessano in maniera diretta, tra questi la scomparsa estiva del ghiaccio marino in artico, la fusione del permafrost, i cambiamenti nella circolazione termoalina dell'Atlantico, la destabilizzazione della calotta di ghiaccio in Groenlandia, l'indebolimento della *jet stream* atmosferica e l'atlantificazione delle acque dell'Artico. Questi sono essenzialmente i fattori che maggiormente costituiscono la cosiddetta “amplificazione artica”, il fatto che il riscaldamento globale scalda l'Artico molto al di sopra della media planetaria (che gli accordi di Parigi tentano di tenere sotto il valore di 1.5° Celsius) e a sua volta restituisce più calore al Pianeta nel suo insieme.

Uno dei “*tipping point*” del sistema oceanico più sensibili e più connesso è la circolazione globale termoalina, il movimento globale di masse d'acqua negli oceani regolata dalle differenze di densità dell'acqua, a loro volta influenzate da variazioni dalla salinità e di temperatura, con l'effetto complessivo di redistribuire l'eccesso di calore dall'equatore verso i poli. Una parte superficiale distribuisce calore e lo scambia con l'atmosfera, una parte profonda interessa la colonna d'acqua fino al fondo degli oceani e risale in zone di *upwelling* dove torna in superficie. Il punto cruciale, il tallone d'Achille del sistema, è la zona di formazione di acque profonde che si trova sotto la Groenlandia. Se in questo luogo si dovesse interrompere il rovesciamento dell'acqua “calda” che dal Mar dei Sargassi si sposta verso il Mare del Nord, l'interazione negativa porterebbe ad un raffreddamento dell'Europa e farebbe cambiare completamente la biologia e la produttività dell'ecosistema dell'artico attraverso il processo di “atlantificazione”. Alcuni recenti articoli mostrano come la velocità di questa circolazione non è mai stata così lenta negli ultimi mille anni. Si tratta di un *feedback loop* non a rinforzo ma a negazione sul riscaldamento dei poli, che evidenzia la complessità delle interazioni tra i potenziali punti di non ritorno.

Tra le minacce più probabili legate all'amplificazione artica vi è la totale perdita di ghiaccio marino estivo nell'Artico che probabilmente si verificherà molto prima del previsto insieme alla fusione della calotta glaciale della Groenlandia che, se si dovesse realizzare completamente, causerebbe l'innalzamento del livello medio dei mari del pianeta di circa 6 metri. L'effetto domino della perdita del ghiaccio marino estivo ha gravi conse-

guenze sul clima attraverso un cambiamento repentino del bilancio radiativo della Terra: il bianco riflette (albedo) dal 90 al 100% la luce del sole, mentre il blu dell'oceano ne riflette meno del 10%. L'aumento radicale dell'assorbimento di calore porta la zona artica da luogo di raffreddamento a potente fattore di rinforzato riscaldamento terrestre. Il riscaldamento nell'artico genera un ulteriore effetto domino amplificante: lo scioglimento del permafrost – il “gigante dormiente” – che è in grado di aumentare le emissioni di gas climalteranti di CO₂ e CH₄ del 500% rispetto a quelle già attuate dall'uomo, attraverso l'uso dei combustibili fossili, con evidenti ulteriori effetti destabilizzanti per il pianeta, la sua biosfera ma anche il sistema socio-economico dell'Antropocene. Anche per questo si osservano negli ultimi decenni significative attività e crescenti tensioni geoeconomiche e geopolitiche nell'Artico.

L'Ocean Decade. – Nel 2017 le Nazioni Unite hanno varato un piano decennale (2021-2030) di tutela e valorizzazione degli oceani, su iniziativa della Commissione Oceanografica Intergovernativa dell'UNESCO. Questo programma si inserisce in un contesto planetario drammatico e cerca di attirare l'attenzione del grande pubblico e dei decisori sul ruolo di mitigazione che l'oceano ha svolto finora ma che potrebbe interrompersi lasciando il campo ad un “oceano nemico” dove si susseguono eventi estremi di portata crescente e grande danno per le infrastrutture antropiche e per i sistemi socio-economici. La decade cerca di portare l'attenzione anche sul tema dello sfruttamento delle risorse biologiche e abiotiche e, per la prima volta, di attirare l'attenzione sullo stato dei fondali sottomarini che rappresentano oltre il 70% della superficie terrestre e che, pur essendo ancora poco conosciuti, sono pervasivamente impattati dagli scarti della nostra economia “lineare” produttrice di quantità crescenti di rifiuti.

The response of the ocean and cryosphere to human impact on climate

Consiglio Nazionale delle Ricerche, Dipartimento di Scienze del sistema terra e tecnologie per l'ambiente
fabio.trincardi@cnr.it

Università di Bologna, Dipartimento di Scienze Statistiche “P. Fortunati”
s.grandi@unibo.it