



CENTRO ALTI STUDI
PER LA DIFESA



ISTITUTO DI RICERCA E
ANALISI DELLA DIFESA

Simone Pasquazzi

I cambiamenti climatici e la capacità di adattamento delle Forze Armate. Come le Forze Armate del mondo dovranno affrontare questa sfida e costruire la resilienza. Una Difesa adeguatamente organizzata al cambiamento climatico sarà in grado di difendere meglio i propri cittadini e gli interessi Nazionali. Come potranno inoltre contribuire alla mitigazione del problema non riducendo la deterrenza e l'operatività?

(Codice AS-SMD-12)





ISTITUTO DI RICERCA E ANALISI DELLA DIFESA

L'Istituto di Ricerca e Analisi della Difesa (di seguito IRAD), per le esigenze del Ministero della Difesa, è responsabile di svolgere e coordinare attività di ricerca, alta formazione e analisi a carattere strategico sui fenomeni di natura politica, economica, sociale, culturale, militare e sull'effetto dell'introduzione di nuove tecnologie che determinano apprezzabili cambiamenti dello scenario di difesa e sicurezza, contribuendo allo sviluppo della cultura e della conoscenza a favore della collettività e dell'interesse nazionale.

L'IRAD, su indicazioni del Ministro della difesa, svolge attività di ricerca in accordo con la disciplina di Valutazione della Qualità della Ricerca e sulla base della Programma nazionale per la ricerca, sviluppandone le tematiche in coordinamento con la Direzione di Alta Formazione e Ricerca del CASD.

L'Istituto provvede all'attivazione e al supporto di dottorati di ricerca e contribuisce alle attività di Alta Formazione del CASD nelle materie d'interesse relative alle aree: Sviluppo Organizzativo; Strategia globale e sicurezza/Scienze Strategiche; Innovazione, dimensione digitale, tecnologie e cyber security; Giuridica.

L'Istituto opera in coordinamento con altri organismi della Difesa e in consorzio con Università, imprese e industria del settore difesa e sicurezza; inoltre, agisce in sinergia con le realtà pubbliche e private, in Italia e all'estero, che operano nel campo della ricerca scientifica, dell'analisi e dello studio.

L'Istituto, avvalendosi del supporto consultivo del Comitato scientifico, è responsabile della programmazione, consulenza e supervisione scientifica delle attività accademiche, di ricerca e pubblicistiche.

L'IRAD si avvale altresì per le attività d'istituto di personale qualificato "ricercatore della Difesa, oltre a ricercatori a contratto e assistenti di ricerca, dottorandi e ricercatori post-dottorato.

L'IRAD, situato presso Palazzo Salviati a Roma, è posto alle dipendenze del Presidente del CASD ed è retto da un Ufficiale Generale di Brigata o grado equivalente che svolge il ruolo di Direttore.

Il Ministro della Difesa, sentiti il Capo di Stato Maggiore della Difesa, d'intesa con il Segretario Generale della Difesa/Direttore Nazionale degli Armamenti, per gli argomenti di rispettivo interesse, emana le direttive in merito alle attività di ricerca strategica, stabilendo le linee guida per l'attività di analisi e di collaborazione con le istituzioni omologhe e definendo i temi di studio da assegnare all'IRAD.

I ricercatori sono lasciati liberi di esprimere il proprio pensiero sugli argomenti trattati: il contenuto degli studi pubblicati riflette quindi esclusivamente il pensiero dei singoli autori e non quello del Ministero della Difesa né delle eventuali Istituzioni militari e/o civili alle quali i Ricercatori stessi appartengono.



CENTRO ALTI STUDI
PER LA DIFESA



ISTITUTO DI RICERCA E
ANALISI DELLA DIFESA

Simone Pasquazzi

I cambiamenti climatici e la capacità di adattamento delle Forze Armate. Come le Forze Armate del mondo dovranno affrontare questa sfida e costruire la resilienza. Una Difesa adeguatamente organizzata al cambiamento climatico sarà in grado di difendere meglio i propri cittadini e gli interessi Nazionali. Come potranno inoltre contribuire alla mitigazione del problema non riducendo la deterrenza e l'operatività?

(Codice AS-SMD-12)

I cambiamenti climatici e la capacità di adattamento delle Forze Armate. Come le Forze Armate del mondo dovranno affrontare questa sfida e costruire la resilienza. Una Difesa adeguatamente organizzata al cambiamento climatico sarà in grado di difendere meglio i propri cittadini e gli interessi Nazionali. Come potranno inoltre contribuire alla mitigazione del problema non riducendo la deterrenza e l'operatività?



NOTA DI SALVAGUARDIA

Quanto contenuto in questo volume riflette esclusivamente il pensiero dell'autore, e non quello del Ministero della Difesa né delle eventuali Istituzioni militari e/o civili alle quali l'autore stesso appartiene.

NOTE

Le analisi sono sviluppate utilizzando informazioni disponibili su fonti aperte.

Questo volume è stato curato dall'**Ufficio Studi, Analisi e Innovazione dell'IRAD**.

Direttore

Gen. B. Gualtierio Iacono

Capo dell'Ufficio Studi, Analisi e Innovazione

Col. AArn PIl. Loris Tabacchi

Progetto grafico

1° Mar. Massimo Lanfranco – C° 2ª cl. Gianluca Bisanti – Serg. Manuel Santaniello

Revisione e coordinamento

**C.A. Massimo GARDINI – S.Ten. Elena Picchi – Funz. Amm. Aurora Buttinelli –
Ass. Amm. Anna Rita Marra**

Autore

Simone Pasquazzi

Stampato dalla Tipografia del Centro Alti Studi per la Difesa

Istituto di Ricerca e Analisi della Difesa

Ufficio Studi, Analisi e Innovazione

Palazzo Salviati

Piazza della Rovere, 83 - 00165 – Roma

tel. 06 4691 3205

e-mail: irad.usai.capo@casd.difesa.it

chiusa a settembre 2024

ISBN 979-12-5515-081-7

INDICE

Nota preliminare.....	6
SOMMARIO.....	7
ABSTRACT.....	9
INTRODUZIONE.....	11
1. CLIMATE CHANGE, TRANSIZIONE ECOLOGICA E SICUREZZA.....	16
1.1 MUTAMENTO CLIMATICO, CRISI E CONFLITTI.....	16
1.2 TRANSIZIONE ENERGETICA E CONFLITTUALITA'.....	21
2. PROGRAMMI / INIZIATIVE PER UNA DIFESA ECOSOSTENIBILE.....	32
2.1 REVIEW SUL PANORAMA INTERNAZIONALE.....	32
2.2 RIFERIMENTI AL QUADRO ITALIANO.....	39
3. MUTAMENTO CLIMATICO E FORZE ARMATE.....	45
3.1 IMPATTI DEI FENOMENI CLIMATICI ESTREMI PER IL SETTORE MILITARE.....	45
3.2 IMPLICAZIONI E POSSIBILI MISURE DI ADATTAMENTO.....	63
3.3 APPROVVIGIONAMENTO ENERGETICO E SCENARI OPERATIVI.....	81
4. ENERGIE ALTERNATIVE E COMPARTO MILITARE.....	88
4.1 ENERGIA IDROELETTRICA E MOTO ONDOSI.....	89
4.2 ENERGIA SOLARE.....	94
4.3 SISTEMI EOLICI.....	100
4.4 GEOTERMIA.....	105
4.5 IDROGENO.....	106
4.6 BIO-ENERGIA, CARBURANTI ALTERNATIVI / MOBILITA' ELETTRICA.....	111
4.7 REATTORI NUCLEARI.....	129
5. SINTESI DI POLICY PER IL SETTORE DELLA DIFESA.....	139
CONCLUSIONI.....	155
BIBLIOGRAFIA.....	157
NOTA SULL'I.R.A.D. e NOTA SULL'AUTORE.....	182

Nota preliminare e ringraziamenti

La ricerca è stata svolta tra la primavera e l'autunno del 2023. Le fonti consultate sono eterogenee tanto dal punto di vista bibliografico che sul piano tematico-disciplinare, e indicate nelle note a piè pagina e/o nel corpo del testo (e in ogni caso sempre citate integralmente nella bibliografia finale, mentre i relativi siti web, laddove disponibili, sono riportati in forma estesa, così da velocizzare eventuali riscontri o approfondimenti da parte del lettore).

La letteratura presa in esame non è soltanto di tipo teorico, informativo o dottrinale, ma anche di taglio policy oriented. In ogni caso si è cercato di privilegiare i contributi nazionali e internazionali più recenti, nonché studi e ricerche includenti anche interviste a personale civile e militare impegnato in attività correlate al cambiamento climatico e alla sicurezza energetica.

Per quanto senza l'ausilio di modelli formalizzati, l'elaborato include proiezioni e riflessioni in chiave predittiva, orientate non solo al breve e medio termine ma, ove opportuno, anche al lungo periodo. Quando possibile, l'analisi qualitativa è stata compensata e supportata, sul piano empirico, con la presenza di dati quantitativi, talvolta espressi in forma tabellare, talaltra mediante grafici comparativi o di tendenza. Inoltre, a corredo info-esplicativo della narrativa presentata nel corpo del testo, la ricerca presenta mappe di settore, immagini fotografiche, focus box tematici, nonché note a piè pagina utilizzate, oltre che per richiami e riferimenti bibliografici, a fini di disambiguazione e/o approfondimento.

Il Col. Loris Tabacchi, il C.F. Carlo Scigliuzzo e il C.F. Francesco Pepe hanno fornito spunti riflessivi molto utili per lo sviluppo del framework di ricerca. Attraverso una puntuale lettura del testo, il Ten. Col. Daniele Grano ha segnalato alcuni passaggi meritevoli di chiarimenti. L'autore si è avvalso di consigli, indicazioni bibliografiche, confronti e scambi di idee provenienti anche da Nora Jebber, Daniele Grassi, Gianluca Scialdone, Giulia Loffredi, Giulia Ponzini, Adriano Savarino Morelli e Simone Nella. Per il supporto in merito agli aspetti amministrativi correlati allo svolgimento dell'incarico si ringrazia il personale del Servizio Amministrativo del CASD.

Ciò detto, l'autore resta il solo e unico responsabile delle opinioni espresse in questo studio, così come di ogni eventuale errore o imprecisione di carattere fattuale.

SOMMARIO

La ricerca si interroga su *perché* e *come* il cambiamento climatico impatti sul ruolo delle Forze Armate, nonché su come esse possano da una parte adattarsi al fenomeno in questione, dall'altra contribuire alla sua diminuzione. Dopo aver introdotto l'argomento con alcuni dati generali su *global warming* e *climate change*, e non senza riferimenti empirici al contributo dello stesso settore militare all'inquinamento legato ai mutamenti climatici, nel primo capitolo si mette in luce come questi possano favorire l'instabilità e l'insicurezza internazionale, ovvero essere correlati all'origine e alla dinamica di conflitti e violenza sociale (e, di conseguenza, all'impiego delle stesse Forze Armate come attore di stabilizzazione e pacificazione). In chiave complementare a tale prospettiva, il primo capitolo presenta anche un'indagine relativa alle implicazioni geopolitiche della transizione ecologica verso risorse di energia meno inquinanti delle fonti fossili, ovvero la principale soluzione individuata su scala europea e globale per attenuare i rischi climatico-ambientali (non senza che questo processo possa a sua volta comportare rischi di destabilizzazione, competizione e conflitto). Nel secondo capitolo, a scopo informativo ma anche per comprenderne limiti e punti di forza, si passano in rassegna alcune delle principali iniziative già intraprese dalle Forze Armate, sia italiane che di altri Paesi, per attenuare gli effetti del *climate change*. Nel terzo capitolo vengono affrontate le sfide poste dai mutamenti climatici in termini operativi, fornendo un quadro info-esplicativo dell'impatto, su ambienti fisici e cibernetici, quindi su infrastrutture, mezzi, personale e teatri di operazione, di fenomeni quali caldo e freddo estremi, siccità, vasti incendi, inondazioni, piogge alluvionali, tempeste di vento, neve o sabbia, etc. In questa parte dello studio vengono anche presentate specifiche indicazioni su come le Forze Armate possano aumentare il proprio adattamento a scenari operativi caratterizzati, in via crescente, da tali fenomeni – ad es. in termini di scelte e comportamenti pertinenti infrastrutture, materiali, attività, equipaggiamenti, dotazioni, pianificazione operativo-energetica, etc. Nel quarto capitolo, per agevolare la comprensione di come il comparto militare possa contribuire a mitigare il cambiamento climatico, cioè a ridurre strutturalmente le cause, la trattazione verte sui possibili impieghi delle energie alternative alle fonti fossili da parte delle Forze Armate – mostrando come l'uso di tali risorse probabilmente potrà aumentare, pur gradualmente e non abbandonando del tutto (o peggio anzitempo) gli idrocarburi, senza comprometterne le capacità operative (*ergo* anche quelle di deterrenza). L'ultimo capitolo offre una sintesi delle evidenze dello studio e una serie di indicazioni di *policy* per il comparto della Difesa, sia a livello interno che circa i rapporti delle Forze Armate con altri attori, in ottica nazionale e sul piano internazionale (ovvero con primario ma non

esclusivo riferimento agli ambiti NATO ed UE). La principale conclusione raggiunta è che, pur non essendo breve, né tanto meno agevole, il processo di adattamento e mitigazione delle Forze Armate rispetto al *climate change* potrà comportare, se pianificato e gestito in modo attento e pragmatico, vantaggi strategici e operativi non indifferenti, grazie ai quali la componente militare potrà conseguire, nei prossimi lustri, una maggiore capacità di tutela dell'interesse nazionale.

ABSTRACT

This research deals with how and why climate change impacts on the role of the military, therefore on how contemporary armed forces can adapt to *climate hazards*, as well as contribute to their decrease. After introducing the topic with some facts and figures on global warming and climate change, including empirical evidence on the nexus between military activities and pollution, the first chapter highlights how climate change can contribute to international instability and insecurity, i.e., be related to the origin and dynamics of conflicts and social violence (and consequently to the activities played by the armed forces for preventing, managing and solving violent disputes). In a complementary key to this perspective, the first chapter also analyses the geopolitical implications of the ecological transition towards energy sources which are less polluting than fossil fuels, that is the main solution proposed at the EU and global levels to mitigate climate-environmental risks (even if this process in turn does involve risks of destabilization, competition and conflict). For information purposes, but also to understand their strengths and weaknesses, the second chapter focuses on some of the main initiatives already undertaken by the armed forces, both in Italy and other countries, to contain the effects of climate change. The third chapter deals with the challenges posed by climate change in military terms, providing an explanatory framework about the impact of extreme heat and cold, drought, fires, floods, gales, heavy rain, snowfalls and sandstorms, etc., on the physical sphere as well as the cyber domain, therefore on infrastructures, means of transport and combat, personnel and theaters of operation. This part of the study also presents specific guidelines on how the armed forces can increase their adaptation to scenarios increasingly affected by such phenomena – in terms of choices, initiatives and behavior concerning infrastructures, materials, activities, equipment, supplies, operational-energy planning, etc. In order to understand how the military can contribute to mitigate climate change, that is to structurally reduce its causes, the fourth chapter discusses alternative sources of energy, evaluating whether, how and when the armed forces can use them while keeping their operational (and deterrence) capabilities. The last chapter provides the reader with a summary of the main findings of the study, as well policy recommendations for the Defense sector. The latter concern both social interactions within the armed forces and the relations of the military with other players, at the national and international levels as well (i.e., with primary but not exclusive reference to NATO and the EU). Although neither short nor easy, the process of adaptation and mitigation of the armed forces to climate change could bring relevant strategic and operational advantages; if systematically planned and managed with a

pragmatic approach, such process will increase the ability of the military in protecting the national interest in the coming decades.

INTRODUZIONE

Sebbene in merito vi possano ancora essere, fra le opinioni pubbliche dei diversi continenti, visioni almeno parzialmente contrarie [Ipsos, 2022]¹, sembra vi siano ormai pochi dubbi, nella comunità scientifica internazionale, sul nesso causale fra attività economico-produttive, riscaldamento globale e mutamento climatico. Quindi sulle responsabilità dell'uomo nell'alimentare gravi problemi d'inquinamento attraverso l'uso massivo di fonti fossili di energia (carbone, petrolio, gas), ovvero la formazione di eccessive emissioni di anidride carbonica (CO₂) e altre sostanze gassose potenzialmente "climalteranti", dannose per l'ambiente e la salute umana². Per dirla, limitandosi ad un solo esempio, con l'Intergovernmental Panel on Climate Change [2021, p. 4], risulta ormai «unequivocal that human influence has warmed the atmosphere, ocean and land», contribuendo così ad una porzione significativa degli ormai ben noti cambiamenti climatici in corso, molti dei quali non avrebbero precedenti storici, nemmeno risalendo alle ultime centinaia di migliaia di anni [M. Galeotti, 2022, 69]. Peraltro proprio l'Italia è stata vittima, fra la primavera e la tarda estate dell'anno in corso, di fenomeni particolarmente insidiosi associabili, almeno in parte e pur in differente misura, al cambiamento climatico, ovvero alluvioni da intensa pioggia torrentizia, verificatesi in particolare in Emilia-Romagna (e meno intensamente nelle Marche e altre regioni), vasti incendi boschivi (sopr. Sicilia, Calabria e Sardegna) e, in diverse aree del Paese, ondate di calore alternate a forti precipitazioni e maltempo³. Così, con i Protocolli di Kyoto (1997), l'Agenda 2030 sullo Sviluppo Sostenibile (2015), l'Accordo di Parigi (2015) e le successive Conferenze ONU delle Parti sul Clima – la più recente delle quali tenutasi in Egitto nel 2022 (COP27) –, nonché altri vertici mondiali, sono state adottate iniziative internazionali e strategie nazionali per decarbonizzare il pianeta e limitarne il riscaldamento globale, entro il 2050, a +1.5 gradi Celsius rispetto all'era preindustriale, in modo da conseguire l'obiettivo della "neutralità climatica"⁴ (la cui impellenza è stata ribadita, ad es. nell'estate 2023, anche dall'attuale Pontefice e, con particolare riferimento all'area del Mediterraneo, dall'Italia e altri Paesi UE riuniti nel Gruppo di Arrailos).

¹ Ipsos (2022), *Climate change: a growing skepticism*, International Observatory on Climate and Public Opinion - EDF (Electricité de France), <https://www.ipsos.com/en/obscop-2022>

² È appena il caso di ricordare che i termini *climate change* e *global warming*, benché simili, non sono sinonimi. Ovvero, semplificando, il primo non dipende solo da fenomeni di inquinamento (ma anche da cause naturali), pur generandosi anche a causa del surriscaldamento globale contemporaneo, invece primariamente legato ad inquinamento da attività antropiche.

³ La forte pioggia in questione, caduta fra il 17 e il 18 maggio, sarebbe equivalsa, sul piano quantitativo, a quasi la metà di quella ricevuta in un anno, portando così all'esondazione di diversi corsi d'acqua. <https://www.cimafoundation.org/news/le-alluvioni-di-maggio-2023-una-analisi-scientifica/>

⁴ "Decarbonizzazione" indica la riduzione del rapporto carbonio-idrogeno nelle fonti energetiche, "neutralità climatica" la capacità di "zero emissioni nette" climalteranti, ovvero una situazione per cui per ogni tonnellata di CO₂ equivalente immessa nell'atmosfera se ne può rimuovere/assorbire altrettanta.

Un obiettivo che rispetto al *climate change* richiede tanto strategie di ‘adattamento’, cioè l’adozione di comportamenti e architetture più ecosostenibili per combattere il *climate change* sul piano dei pericoli sociali (es. evitare sprechi alimentari, edificare/modificare infrastrutture contro l’innalzamento del livello del mare e dei corsi d’acqua, etc.), quanto vasti programmi di ‘mitigazione’ per contrastarlo a livello ecologico, ovvero una serie di azioni funzionali al calo delle emissioni di CO₂ e al contestuale aumento dell’uso di risorse energetiche alternative alle fonti fossili, meno inquinanti e meno dannose per la salute dell’uomo e del pianeta⁵. Di qui la spinta verso un processo di transizione ecologica che permetta di approdare, entro metà secolo, ad un sistema energetico dove il rapporto fra l’uso di combustibili fossili e quello di fonti alternative di energia, in particolare “rinnovabili”, sia pressoché inverso a quello attuale⁶. Tale dinamica, stimolata e fortemente sostenuta fra gli altri attori dall’Unione Europea⁷, ed evidente ormai anche nelle trasformazioni riguardanti il settore privato e le compagnie energetiche⁸, è stata favorita anche dalla crescente constatazione che i mutamenti climatici possano diminuire la stabilità e la sicurezza internazionale. Difatti, sebbene *global warming* e *climate change* siano stati studiati, inizialmente, quasi esclusivamente o primariamente in relazione ai loro effetti ambientali (es. scioglimento dei ghiacci polari, degradazione dei suoli, innalzamento del livello dei mari, alterazione delle precipitazioni, perdita di biodiversità negli ecosistemi, siccità e incendi, etc.), già da alcuni anni essi sono analizzati anche in rapporto alle loro conseguenze economiche, sociali, culturali e di sicurezza, cioè come ‘moltiplicatori di minaccia’⁹. Del resto,

⁵ Su mitigazione e adattamento rispetto al *climate change* si veda anche l’articolo di M. Di Paola al seguente link: <https://www.carabinieri.it/media---comunicazione/natura/la-rivista/home/tematiche/ambiente/cambiamento-climatico-e-teoria-politica>

⁶ Pur meno inquinanti delle fonti fossili o idrocarburiche, non tutte le energie alternative sono rinnovabili (per es. l’energia nucleare), mentre non tutte le rinnovabili sono anche “pulite” (es. biocarburanti e geotermia possono generare alcune quantità di CO₂), laddove sono rinnovabili e pulite idroelettrico, solare (termico e fotovoltaico), eolico e moto ondoso. Fornendo ancora le fonti fossili, nell’ordine con petrolio, carbone e gas e sommando i vari usi (elettricità, trasporti, termico, etc.), oltre l’80% dei consumi energetici mondiali – a fronte di meno del 15% offerto dalle rinnovabili e di circa il 5% dal nucleare – [IEA World Energy Outlook, 2022, p. 46], il 47% delle emissioni antropogeniche non viene assorbito (es. da bacini oceanici e forestali), ma permane in atmosfera (anche perché in proporzione le possibilità di cattura/rimozione tecnologica della CO₂ sono limitate). Cfr. M. Galeotti (2022), “Clima e transizione energetica”, in A. Colombo - P. Magri. (eds.), *La Grande Transizione. Rapporto ISPI 2022*, pp. 69-81.

⁷ Fra le iniziative lanciate in tal senso dall’UE negli ultimi anni ci limitiamo a ricordare il programma *Green Deal* (2019), la *Climate Law* (2021), il Pacchetto *Fit for 55* (2021), il piano *RePower EU* (2022), le *Renewable Energy Directives* (la 3^a e più recente negoziata nella primavera 2023); in vista del target della neutralità climatica al 2050, entro il 2030 l’Unione ambisce a ridurre le sue emissioni climalteranti del 55% (rispetto ai livelli del 1990), ad aumentare la sua efficienza energetica (di oltre il 35%) e a portare fra il 42.5 e il 45% la quota di consumo energetico da fonti rinnovabili (alzandola dall’attuale 22%).

⁸ Per es. negli ultimi lustri sono sorte, su scala internazionale, *green energy companies* e *clean energy majors*, mentre diversi grandi operatori del settore *oil&gas* stanno orientando parte del loro business verso le rinnovabili, riconoscendole profittevoli (pur con margini non di rado ancora inferiori a petrolio e gas) e incrementandone le quote nei loro portafogli. *British Petroleum*, limitandoci a un solo esempio, ha annunciato nel 2020 un programma decennale di riduzione di quasi il 40% dell’output *oil&gas* e un contestuale piano di investimenti in *green energy* – seppure l’aumento di domanda globale di gas legato alla guerra russo-ucraina stia rischiando di rallentarli. Cfr. N. Edser, D. Thomas, N. Nanji (2023), *BP scales back climate targets as profits hit record*, BBC: <https://www.bbc.com/news/business-64544110>

⁹ Tanto che più o meno tutti i manuali di *security studies* presentano oggi almeno un capitolo generalista sui nessi fra clima, ambiente e sicurezza. Cfr. ad es. M. McDonald, S. Dalby (2023), “Environmental Change”, in P.D. Williams, M. McDonald, eds., *Security Studies. An introduction*, Routledge.

sortendo impatti negativi sulla disponibilità di spazi fisici e risorse utili al sostentamento, i mutamenti climatici possono contribuire non solo a disastri e catastrofi naturali, ma anche a migrazioni forzate di massa, crisi economiche, forti proteste politico-sociali e aumento della violenza, potendo financo associarsi causalmente, pur se con altre variabili o in modo indiretto, alla genesi e alla dinamica di veri e propri conflitti armati – ancorché tale relazione possa non essere di tipo lineare, riguardare i conflitti interni più che le guerre fra Stati e sebbene i conflitti stessi possano contribuire, almeno se abbastanza duraturi e intensi, a fenomeni di inquinamento in grado di alimentare il *climate change*¹⁰. Tutto ciò assume rilevanza anche per le Forze Armate, istituzionalmente preposte, quanto meno nella maggior parte dei Paesi del mondo, a dare un contributo fattivo alla prevenzione e alla risoluzione di crisi e conflitti di varia natura. Per questo, ed anche per aver constatato come vedremo che *global warming* e *climate change* possano comportare effetti dannosi per i loro stessi apparati, negli ultimi lustri l'interesse delle Forze Armate per tali fenomeni è cresciuto in misura sensibile. Ciò peraltro si deve, tuttavia, anche alla piena consapevolezza, da parte degli attori della Difesa di diversi Stati, di contribuire loro stessi, in quanto fruitori di sistemi energetici in larga maggioranza di tipo fossile, alle emissioni climalteranti prodotte dai vari settori di azione antropica¹¹. Per far fronte al mutamento climatico, anche le Forze Armate di diversi Paesi del mondo hanno dunque deciso di elaborare e implementare strategie di adattamento e mitigazione che possano, diminuendo gli effetti del primo, aumentare di riflesso la sicurezza e la stabilità internazionale – così contribuendo, più in generale, alla transizione ecologica-energetica avviata per contrastare l'inquinamento planetario e, come vedremo, al miglioramento delle loro stesse condizioni operative e di sicurezza (sebbene tale processo non si prefiguri certo privo di difficoltà). Obiettivo di questa ricerca è proprio di

¹⁰ D. Helman, B.F. Zaitchik, Chris Funk (2020), *Climate has contrasting direct and indirect effects on armed conflicts*, «Environmental Research Letters», vol. 15, n. 10: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1748-9326/aba97d> - E. Darbyshire (2021), *How does war contribute to climate change?*, Conflicts and Environment Observatory: <https://ceobs.org/how-does-war-contribute-to-climate-change/>

¹¹ Considerando nello specifico le attività delle FFAA, sembra che il contributo emissivo maggiore sia legato alla sfera aerea. Ad es. l'aviazione militare della Finlandia, pur una delle meno impattanti sull'ambiente fra quelle dei Paesi avanzati, contenebbe per circa il 65% delle emissioni militari nazionali: <https://yle.fi/a/3-12678773>. Tendenze simili riguarderebbero anche Paesi come USA (<https://stay-grounded.org/military-aviation-in-climate-policies-a-tradition-of-camouflage/>) e, presumibilmente, Francia (https://ceobs.org/wp-content/uploads/2021/02/Under-the-radar_the-carbon-footprint-of-the-EUs-military-sectors.pdf, p. 24). Esulando dagli scopi di questa ricerca, un'indagine sul nesso fra attività militari e contributo antropico al *climate change* è rinviata ad altra sede. In ogni caso, rimandiamo chi volesse approcciarsi al tema alle seguenti fonti (invitando tuttavia ad una certa cautela nel recepirne i dati, trattandosi comunque di analisi che andrebbero confrontate con altri studi): M. Akkerman et al. (2022), *Climate Collateral. How military spending accelerates climate breakdown*, Transnational Institute: <https://www.tni.org/en/publication/climate-collateral>; A. Rajaeifar et al. (2022), *Decarbonize the military – mandate emissions reporting*, «Nature», 611, pp. 29-32: <https://www.nature.com/articles/d41586-022-03444-7>; S. Parkinson – L. Cottrel (2021), *Under the Radar. The EU military sector's carbon footprint*: https://ceobs.org/wp-content/uploads/2021/02/Under-the-radar_the-carbon-footprint-of-the-EUs-military-sectors.pdf In particolare sul caso USA si veda invece lo studio elaborato da N. Crawford e pubblicato dalla Brown University (2019): <https://watson.brown.edu/costsofwar/files/cow/imce/papers/Pentagon%20Fuel%20Use%2C%20Climate%20Change%20and%20the%20Costs%20of%20War%20Revised%20November%202019%20Crawford.pdf>

fornire alcuni dati e riflessioni di interesse perché il settore militare possa proseguire nell'assolvimento di questo non facile ma improrogabile compito. Nel primo capitolo ci concentreremo, senza pretesa di esaustività, dapprima sul nesso fra mutamento climatico e fenomeni di crisi e conflitto, al fine di contribuire a chiarire *come, in quali aree e perché* il primo possa essere correlato all'origine e alla dinamica dei secondi, quindi, in seguito, sul rapporto fra transizione energetica e conflittualità (ancorché, come vedremo, non esattamente univoco o lineare)¹². Successivamente, a scopo informativo ma anche per comprenderne limiti e punti di forza, passeremo in rassegna alcune delle principali iniziative già intraprese dalle Forze Armate, sia italiane che di altri Paesi, per attenuare gli effetti di *global warming e climate change*. Nel terzo capitolo analizzeremo le più rilevanti sfide poste dai cambiamenti climatici in termini di mutamenti di scenario operativo, fornendo di conseguenza un quadro info-esplicativo dell'impatto di tali fenomeni sugli ambienti fisici e cibernetici e sui teatri di operazione, nonché alcuni spunti auspicabilmente utili per comprendere come può adattarsi il ruolo della componente militare rispetto a questi scenari (ad es. in termini di scelte, iniziative e comportamenti pertinenti infrastrutture, materiali, attività, equipaggiamenti, dotazioni, pianificazione operativo-energetica, etc.). Nel quarto capitolo, al fine di agevolare la comprensione di come il comparto della Difesa possa contribuire a mitigare il cambiamento climatico, ci concentreremo soprattutto sulle energie alternative alle fonti fossili, onde valutare *se e come* queste possano rispondere ad impieghi da parte delle Forze Armate senza comprometterne le capacità operative (*ergo* anche quelle di deterrenza)¹³.

Infine, nel quinto capitolo, presenteremo una sintesi delle principali evidenze emerse nella ricerca, cercando altresì di sviluppare alcune conseguenti indicazioni di policy per il comparto militare italiano, sia a livello interno che rispetto ai rapporti delle Forze Armate con altri attori – istituzionali e non –, in ottica nazionale e sul piano internazionale (secondo una prospettiva che potrà andare oltre i pur prioritari riferimenti euro-atlantici e mediterranei).

¹² Per un inquadramento generale sulla transizione energetica in corso, la terza della Storia dopo quelle indotte da carbone e petrolio rispettivamente nei due secoli precedenti, si vedano: A. Colombo – P. Magri (a cura di), *La Grande Transizione*, cit.; V. Termini (2020), *Energia. La Grande Trasformazione*, Laterza. Fra gli altri, tratto distintivo di questa transizione è proprio di essere resa particolarmente urgente e rapida dai mutamenti climatici.

¹³ La trattazione non escluderà tecnologie riguardanti impianti di rilevanti dimensioni e impegno finanziario (magari più di interesse per il territorio nazionale), benché verrà dedicata particolare attenzione a quelli di dimensione più contenute, ovvero maggiormente fruibili, almeno in teoria, nei teatri di operazione esteri (laddove si gioca, nell'attuale sistema internazionale, la maggior parte della credibilità operativa delle Forze Armate).

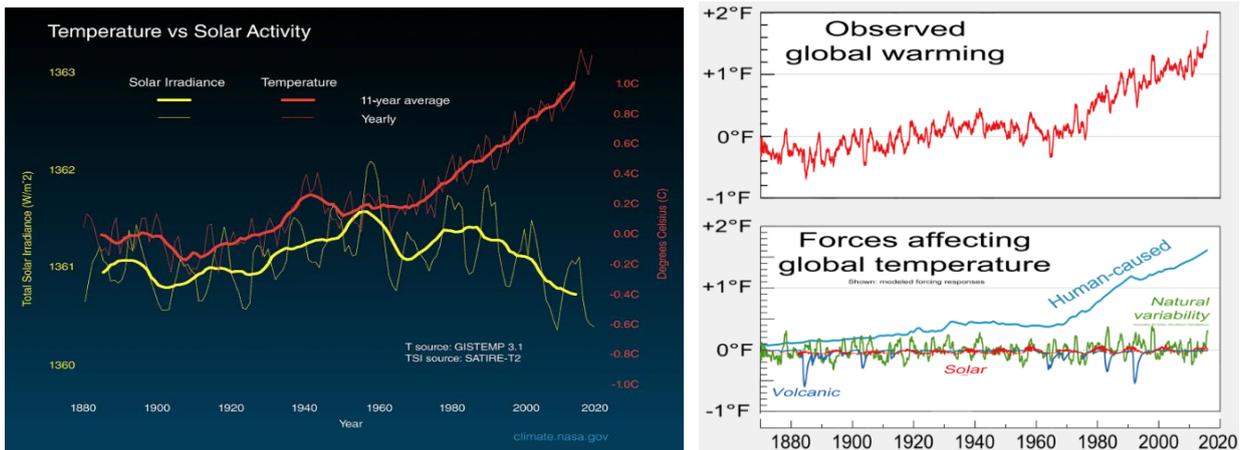


Fig. 1 – Irradiazione solare, riscaldamento globale e incidenza attività antropiche, 1880-2020
 Fonti: NASA (2021) / US Global Change Research Program (2018)¹⁴

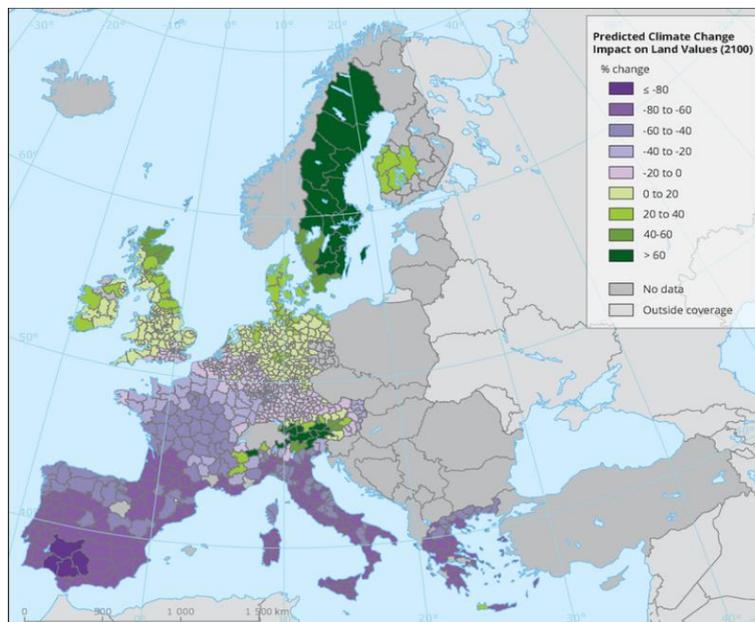


Fig. 2 – Scenario impatto del *climate change* sul valore terreni agricoli di alcuni Stati europei al 2100
 (in assenza di significative riduzioni di emissioni climalteranti)
 Fonte: European Union Environment Agency (2019)

¹⁴ https://climate.nasa.gov/climate_resources/189/graphic-temperature-vs-solar-activity/
https://nca2018.globalchange.gov/downloads/NCA4_2018_FullReport.pdf

CAPITOLO 1

CLIMATE CHANGE, TRANSIZIONE ECOLOGICA E SICUREZZA¹⁵

1.1 Mutamento climatico, crisi e conflitti

Fra la fine del ventesimo secolo e il periodo attuale antropologi, etnografi, scienziati sociali e gruppi di riflessione interdisciplinare hanno iniziato a osservare più da vicino l'impatto del *climate change* sulle comunità umane, soprattutto indigene. Ne sono nati diversi studi, ad esempio sulla condizione delle tribù indigene in Brasile, influenzate dalla contrazione della foresta amazzonica, oppure circa le comunità Sami (pastori di renne in Finlandia, Svezia e Norvegia), o ancora su quelle dell'Africa sub-sahariana, della Malesia o del Bangladesh, con diversi dei loro insediamenti costieri a rischio inondazione [cfr. ad es. R. S. Abate, E. A. Kronk, 2013a, 2013b]. Tali ricerche hanno evidenziato che **i cambiamenti climatici possono comportare, peggiorando fra l'altro la disponibilità di risorse naturali, seri rischi tanto per stili di vita e tradizioni quanto per il sostentamento materiale di determinate popolazioni**. Ciò ha contribuito non poco all'interesse per gli effetti geopolitici del cambiamento climatico. Sebbene fra gli studiosi esistano visioni divergenti rispetto a come e fino a che punto i **mutamenti climatici incidano sull'origine e la dinamica dei conflitti**, la maggior parte di essi sembra comunque ritenere che tra i primi e i secondi sussista una correlazione statistica positiva – ancorché questa possa dipendere anche da altre variabili e non essere esattamente lineare [Helman et al., 2020], riguardare i conflitti interni più che le guerre fra Stati e sebbene i conflitti stessi possano contribuire, quanto meno quando molto duraturi e intensi, a fenomeni di inquinamento in grado di alimentare il *climate change* [E. Darbyshire, 2021]. La tesi di una connessione fra clima e conflitti è rintracciabile in letteratura almeno dall'ultima decade dello scorso secolo, quando alcune istituzioni di ricerca europee, africane e asiatiche svilupparono l'*Environment and Conflicts Project* [K. R. Spillmann, G. Bachler, eds., 1995]. In seguito essa venne ribadita in altri studi, fra cui un noto volume specificamente dedicato al nesso fra clima e sicurezza [J. Mazo, 2009], quindi in una serie di pubblicazioni successive da parte di accademici e ricercatori appartenenti a *think-tanks* attivi nella *conflict analysis*, tra cui la Brookings Institution. In uno dei suoi diversi contributi sul tema quest'ultima ha stimato che per ogni punto percentuale di aumento delle temperature medie e diminuzione della piovosità media, crescano del 4% le possibilità di conflitto violento tra Stati contigui, mentre tra gruppi all'interno di uno Stato il relativo tasso salirebbe al 14% [L. Browning, 2015]. Uno

¹⁵ In forma di articolo, una precedente e meno aggiornata e completa versione di questo capitolo è stata pubblicata dall'autore in «Rivista Italiana di Conflittologia», n. 46 (2023), pp. 172-205.

studio internazionale coordinato dalla Stanford University ha invece sostenuto che nel ventesimo secolo siccità, inondazioni, disastri naturali e altri fenomeni correlati ai cambiamenti climatici abbiano influito sul rischio di conflitti armati pesando fra un minimo del 3% ed un massimo del 20%, laddove nel prossimo futuro gli estremi di questo *range* potrebbero crescere [K. J. Mach, C.M. Kraan, W.N. Adger, et al., 2019]. Anche sulla scia di una serie di pubblicazioni riguardanti le diverse pressioni al suo ecosistema [cfr. ad es. E. Jeffries, S. Campogianni, 2021], di recente alcune ricerche hanno messo in evidenza un **chiaro nesso fra *climate change* e (in)sicurezza nella regione del Mediterraneo Allargato** [A. Dessì, F. Fusco, 2022; A.A. Mbaye, L. Signé, 2022a, 2022b]. Ciò assume evidentemente particolare rilevanza per diversi Paesi europei, fra cui **l'Italia, legata all'area in questione da molteplici e nevralgici interessi** di natura politica, economica, energetica e culturale [Ministero della Difesa, 2022c]. **Fra le aree più a rischio** è stata segnalata **in particolare quella saheliana**, interessata da una significativa associazione fra mutamenti climatici e fenomeni di conflittualità e instabilità. Ad es. in Niger, dove dal 1996 ad oggi si sono verificati almeno 4 colpi di stato (il più recente a luglio 2023), e più ancora in **Mali**, dove la forte contrapposizione fra forze governative e ribelli tuareg sarebbe stata alimentata, fra gli altri fattori, da siccità e scarsità di acqua ed erba per le mandrie. Del resto, secondo autorevole letteratura, a meno di una netta riduzione dei problemi di *governance* che la interessano, larga parte dell'**Africa subsahariana** potrebbe subire nei prossimi decenni un aumento della conflittualità intrastatale indotto da pressione demografica e mutamenti climatico-ambientali, legati soprattutto alla crescita delle temperature [F. Witmer et al., 2017]. Provocando **diffuse perdite di raccolto**, e **migrazioni di massa** di famiglie rurali verso i centri urbani, fenomeni di **siccità e carenza idrica** avrebbero contribuito anche alla genesi e alla dinamica della guerra civile in **Siria** [L. Eklund, O.M. Theisen, M. Baumann, 2022; P. Schwartzstein, W. Zwijnenburg, 2022], oltre che alle violente proteste sociali esplose nel 2021 nella **regione iraniana del Khuzestan** [E. Rossi, 2021]. Nell'ottobre 2021, l'*Office of the Director of National Intelligence Council* ha pubblicato il report *Intelligence Estimate on Climate Change*, incentrato sul rapporto tra cambiamenti climatici e sicurezza, sottolineando una evidente connessione fra i primi e la seconda. Secondo il rapporto, che riprende e approfondisce alcuni punti già espressi nei *Global Trends 2040* pubblicati nel marzo precedente [U.S. National Intelligence Council, 2021b], **nei prossimi anni diversi Paesi**, fra cui Afghanistan, India, Pakistan, Corea del Nord e Iraq, **saranno interessati da una probabile diminuzione della sicurezza anche per effetto diretto o indiretto del *climate change***. Questa tendenza potrebbe divenire particolarmente evidente a partire dal 2030, quando in alcune aree del mondo, fra cui il **Medio Oriente**, potrebbero verificarsi con

maggiore intensità e ricorrenza fenomeni come caldo estremo e fasi di forte siccità [U.S. National Intelligence Council, 2021a, 7-11]. D'altra parte **nell'area mediorientale, ed anche in Nord Africa, sono già evidenti forti tendenze al rialzo delle temperature medie**, non di rado superiori ai 30 gradi celsius (laddove già a 35 gradi possono profilarsi rischi per la salute umana); il fenomeno riguarda anche alcune aree marine, con calore e umidità in aumento ogni anno almeno dal 1979 (si stima che le acque poco profonde del litorale del Golfo Arabico-Persico supereranno regolarmente i 35°C entro il 2075, e che Mar Arabico e Mar Rosso potrebbero sperimentare simili avanzamenti di temperatura). **Il sensibile aumento delle temperature può di riflesso diminuire non poco la frequenza delle piogge ordinarie, ma aumentare la ricorrenza delle precipitazioni molto intense e concentrate**; nel luglio 2019, la **Penisola Arabica sud-orientale e l'Iran** hanno subito la peggiore inondazione degli ultimi 70 anni, con decine di morti e centinaia di feriti [B. Stanley, 2021]. D'altra parte, una correlazione positiva fra cambiamento climatico e fenomeni di insicurezza (ad es. in campo alimentare ed economico) riguarderebbe anche aree avanzate dell'emisfero settentrionale, fra cui **Nord America ed Europa** [M. M. Vogel et al., 2019]. Tra il 1980 e il 2020, nei 32 paesi dello **Spazio economico europeo**, le perdite economiche totali dovute a eventi meteorologici e climatici sono state stimate tra i 450 e 520 miliardi di euro [AGEEI, 2023]. La stessa pioggia alluvionale che nel maggio 2023 ha colpito **alcune regioni d'Italia**, e l'Emilia-Romagna in particolare, sarebbe stata correlata al cambiamento climatico [A. Di Noto, 2023], così come i tornado e le forti grandinate del luglio successivo in Lombardia (mentre in altre aree del Paese la temperature raggiungevano, in linea del resto con un trend di carattere planetario, livelli di calore pressoché senza precedenti)¹⁶. Non si può escludere che sullo stesso continente europeo una futura recrudescenza di questi fenomeni possa portare, se non ad un conflitto armato come quello fra Mosca e Kiev (2022/23), ad un aumento della competizione internazionale e delle dispute diplomatiche. **Nell'area artica**, lo scioglimento dei ghiacci della calotta polare legato al *global warming* sta favorendo non solo squilibri ecosistemici ma, di pari passo alla crescita delle attività economico-produttive e di navigazione, con ritorni positivi nei settori estrattivo, energetico, ittico, turistico e infrastrutturale (e ricadute negative in termini d'inquinamento), anche un aumento della competizione geoeconomica e delle tensioni politico-militari, soprattutto fra la Russia, da una parte, e gli USA e altri Paesi artici della NATO, dall'altra [Pasquazzi, 2022, 100 –132].

¹⁶ I picchi di caldo, in alcune località del centro-sud, hanno oltrepassato i 40°C.
https://www.ilsecoloxix.it/italia/2023/07/21/news/maltempo_milano_tornado-12958352/
<https://www.meteoeradar.it/notizie-meteo/clima-e-ambiente-luglio-2023-il-mese-piu-caldo-di-sempre-5zQfRKP1vs2S9hBShez9W1>

Negli **Stati Uniti**, dall'inizio dell'amministrazione Biden (2021), in linea con un percorso già iniziato con la fase Obama (ancorché interrotto durante l'amministrazione Trump), sarebbero stati pubblicati almeno 23 report di agenzie federali che hanno preso in esame le implicazioni geopolitiche e di sicurezza del cambiamento climatico [G. Scarmagnani, 2022]. Fra questi si può annoverare anche la *National Security Strategy* (2022) della Casa Bianca, che identifica il **climate change come una sfida di tipo 'esistenziale'**. In seno agli ambienti politico-militari statunitensi si sostiene, sebbene in merito vi siano sensibilità diverse, che il mutamento climatico rappresenti un rischio per la sicurezza almeno dal 2014, quando l'allora Segretario alla Difesa Chuck Hagel lo definì «un moltiplicatore di minacce», in grado di accrescere la diffusione di malattie infettive e le insurrezioni armate [C. Hagel, 2014]. La visione del *climate change* come *threat multiplier* è stata poi adottata espressamente anche dal *North Atlantic Council*, ad esempio nei suoi vertici di Bruxelles (2021) e Madrid (2022). Nello spazio euro-atlantico il nesso fra clima, ambiente e sicurezza è risultato, negli ultimi 5 o 6 anni, uno dei temi più comuni alle pubblicazioni predittive delle unità di analisi strategica nazionali e internazionali. Pur in diversa misura, tutte queste pubblicazioni associano a crescenti dinamiche di mutamento climatico un aumento dell'instabilità e dei conflitti [cfr. ad es.: NATO, 2017; Ministry of Defense of the UK, 2018; European Commission, 2021; Stato Maggiore della Difesa, 2021]. Del resto uno dei documenti ufficiali più recenti e indicativi sul nesso fra *climate change* e conflitti è un report del Pentagono [U.S. Department of Defense, 2021], il quale sottolinea come la sussistenza di uno o più **climate hazard**, ovvero una condizione che può danneggiare o compromettere la salute umana, gli esseri viventi o le risorse naturali, come un drastico aumento delle temperature o un cambiamento radicale nel **livello delle precipitazioni**, rischiano di aggravare i fenomeni dannosi per la sicurezza come in una sorta di effetto domino. Ovvero secondo il report il cambiamento nel livello delle precipitazioni potrà causare, soprattutto nell'emisfero meridionale, fenomeni di **siccità** sempre più frequenti e intensi. Dunque, un primo impatto della siccità potrebbe includere una riduzione della disponibilità di acqua. Un secondo effetto potrà essere una **riduzione dei campi coltivabili** che, in alcuni casi, sarà in grado di contribuire a fenomeni di carenza di cibo e **migrazione forzata delle popolazioni**. Più siccità potrà significare anche più **incendi boschivi**, il che a sua volta potrebbe portare a più inondazioni e a conseguenti danni critici alle infrastrutture. Una diminuzione di risorse correlata a tali eventi potrà comportare un aumento delle dinamiche competitive, una maggiore richiesta di assistenza sanitaria e una crescita di tensioni sociali e politiche, con determinati attori (statuali e non) che potrebbero tentare di sfruttare a proprio vantaggio eventuali situazioni di crisi/instabilità, strumentalizzandole per finalità (geo)politiche. Ancor più di recente concetti simili sono stati

espressi nel *World Water Development Report*, che prevede, fra il periodo attuale e il 2050, il rischio di nuovi focolai di conflitto per un eccesso generalizzato di attività produttive e consumi che, agevolando fenomeni di *climate change* e *global warming*, possa favorire **importanti carenze (quantitative e qualitative) nella disponibilità d'acqua** – sia in aree da questo punto di vista già vulnerabili, come **Sahel e Medio Oriente**, sia in regioni ancora poco esposte a rischi di *water scarcity*, fra cui l’Africa centrale e alcune zone dell’Asia orientale e dell’America Latina [UNESCO, 2023, 16]. D'altra parte che il cambiamento climatico possa rappresentare una seria minaccia alla sicurezza è ormai riconosciuto ufficialmente anche da Paesi dimostratisi sinora, sul tema, meno sensibili dell’UE o degli USA, fa cui la Russia e (forse in misura minore) la Cina (Stoetman et al., 2023).

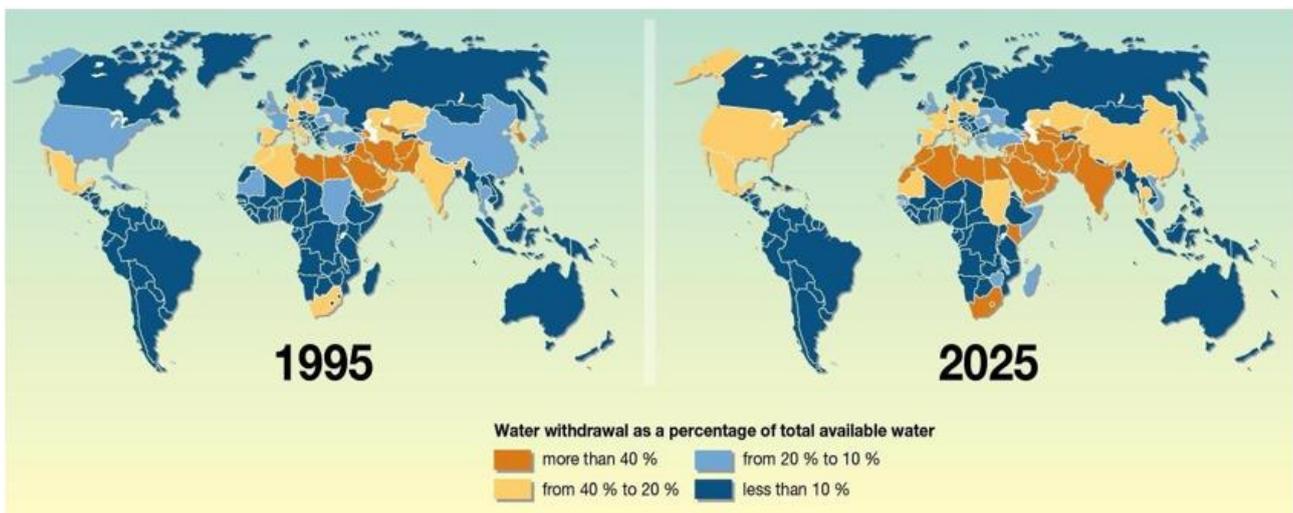


Fig. 3 – Diminuzione della disponibilità d'acqua nei Paesi, 1995 – 2025
Fonte: Scherr (2021)

In altri termini, quando gli “azzardi climatici” convergono o peggiorano, possono inasprirsi conflitti già in corso, o financo insorgere nuovi focolai di crisi, *ergo* crearsi per governi ed organizzazioni internazionali (governative e non) problemi multiformi e di complessa gestione (v. anche fig. sottostante), che nei casi più seri possono richiedere interventi multilaterali basati, seppur magari non in via esclusiva, sull’uso della forza, con tutte le conseguenze inattese o indesiderate che da ciò possono derivare. D'altronde, in **anni recenti, rispetto ai Paesi con la maggior presenza di personale militare internazionale dispiegato a vario titolo in operazioni di sicurezza e stabilizzazione, solo uno (cioè il Libano) avrebbe presentato una limitata esposizione al cambiamento climatico** (cfr. figura 5). Un dato questo piuttosto sintomatico, anche in termini di possibili implicazioni di tipo operativo-militare.

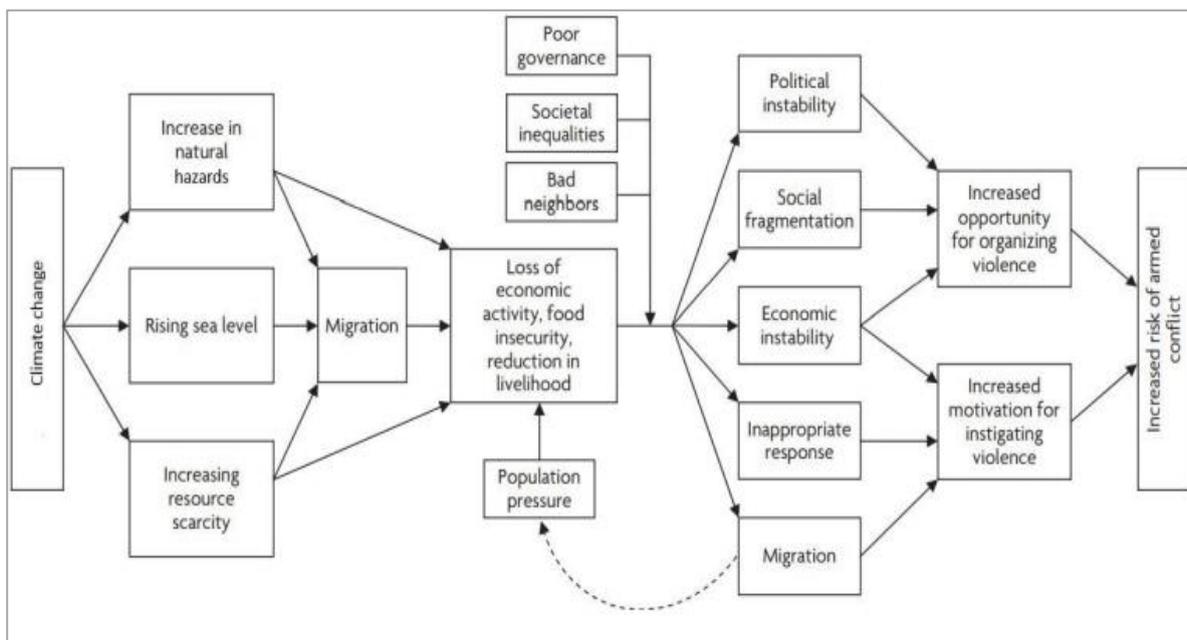


Fig. 4 – Mutamento climatico, insicurezza e conflitti: possibili dinamiche causali (fonte: European Commission Joint Research Centre, 2021, p. 14)¹⁷

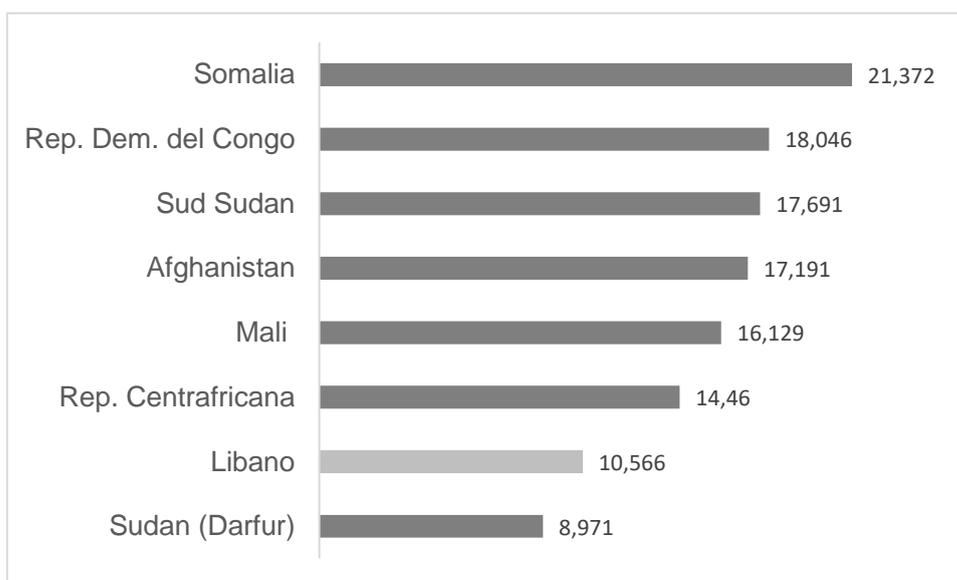


Fig. 5 – Presenza militare internazionale (*migliaia*) in alcuni Paesi esposti al *climate change* (Ibidem, 2021, p.15)

1.2 Transizione ecologica e conflittualità

La relazione fra cambiamento climatico e conflitti contribuisce a spiegare perché la transizione energetica sia divenuta un obiettivo prioritario tanto nell'agenda delle principali organizzazioni internazionali, con in testa ONU ed UE, quanto uno dei perni fondamentali delle agende politiche di diversi dei principali Paesi del mondo (tanto da entrare, come osservato, anche fra gli obiettivi a lungo termine delle compagnie private e nei programmi

¹⁷ <https://publications.jrc.ec.europa.eu/repository/handle/JRC126315>

di politica militare di governi e forze armate). Difatti, in linea di principio, **la transizione verso un sistema energetico basato assai meno sulle fonti fossili e molto di più sulle fonti rinnovabili (o più in generale “alternative”), sensibilmente meno concentrate e più “pulite” delle prime, dovrebbe garantire per sua natura non solo una riduzione dell’inquinamento e delle problematiche ambientali** (tanto che la transizione energetica è non di rado associata al più generale concetto di transizione ecologica), **ma anche una diminuzione della competizione tra Stati e al loro interno**. Come più volte enfatizzato, nella letteratura politologico-internazionalista, dal filone teorico del realismo, quest’ultima del resto sarebbe strutturalmente e almeno in parte dipendente, come mostrato negli ultimi 6 o 7 decenni da non poche dispute internazionali riguardanti per es. il Nord Africa e il Medio Oriente, proprio dalla lotta per il controllo di risorse strategiche come petrolio e gas naturale (lotta pressoché inevitabile in un mondo “anarchico” di risorse limitate e attori con interessi divergenti o contrapposti)¹⁸. Queste risorse incentiverebbero non solo la genesi di dispute fra Stati, ma, secondo il principio *resource curse* (“maledizione delle risorse”) e le teorie dell’ecoviolenza, anche fenomeni di conflitto entro quei Paesi (e aree regionali) che ne presentino quantità tendenzialmente abbondanti, contribuendo peraltro ad incrementare intensità e durata dei conflitti [Trento, 2021; Fearon, 2004]. Ovvero gli Stati e le aree con più ampie disponibilità di risorse naturali (come appunto le fonti fossili) e minerali maturerebbero più bassi livelli di sviluppo economico, di democrazia e di pace, essenzialmente perché le rendite da esportazione di materie prime disincentiverebbero, soprattutto a certe condizioni interne e internazionali, una distribuzione interna della ricchezza sufficientemente equa e bilanciata, così alimentando forti squilibri economici e socio-politici, *ergo* il più o meno periodico insorgere di conflitti intrastatali – il caso libico è stato più volte citato in letteratura come esempio di questa dinamica [cfr. ad es. Al-Gayed, 2016].

Tuttavia, pur non negando la plausibilità teorica dell’argomentazione secondo cui ridurre l’uso di fonti fossili aumenterebbe la sicurezza, peraltro almeno parzialmente suffragata anche sul piano empirico [cfr. es. Cevik, 2022]¹⁹, negli ultimi anni diverse analisi hanno evidenziato come la relazione statistica fra transizione

¹⁸ Secondo altre visioni teoriche la variabile energetica può costituire, di contro, un fattore attorno al quale si possono sviluppare, come dimostrerebbe in parte lo stesso processo d’integrazione europeo o, più di recente, la nascita dell’East Mediterranean Gas Forum (2019), rilevanti fenomeni di cooperazione (fra Stati come al loro interno, peraltro con distensivi effetti di *spill over* in altri settori). Ciò non solo, come sostenuto da alcune varianti del liberalismo, per una basilare convergenza di interessi fra i principali attori in gioco, agevolata eventualmente da tipi di regime politico simili e/o dalla presenza di istituzioni in grado di offrire percorsi e soluzioni più o meno mutuamente soddisfacenti per i vari *players*, ma anche per l’influenza che possono esercitare idee, linguaggi e narrative nei processi di interazione e negoziazione riguardanti l’ambito energetico (facilitando magari, come d’altra parte evidenziato da taluni approcci ‘costruttivisti’, dinamiche di consapevolezza e armonizzazione delle preferenze tutt’altro che certe o scontate). Per una introduzione al dibattito teorico sul nesso fra energia e relazioni internazionali si veda ad es. N. K. Mohopatra [2017].

¹⁹ Nel caso specifico lo studio riguarda 39 Stati nel periodo 1980-2019; l’analisi si basa su un modello multivariato che utilizza, oltre al mix energetico nazionale come variabile indipendente, fattori di controllo legati alla sfera economica, demografica e istituzionale.

ecologica-energetica e conflittualità possa essere tutt'altro che lineare e negativa, specie nel breve e medio termine [Kalantzakos, 2021, 2020; A. Martiìn, 2020; G. Pitron e O. Chirizzi, 2019; IASD, 2022]. La stessa *International Energy Agency* [IEA, 2021a e 2021b] ha associato alla transizione energetica possibili nuove dinamiche di competizione e instabilità internazionale (nel nord come nel sud del mondo). Queste potrebbero essere legate al *know how*, alle tecnologie e ai materiali necessari nel settore della *green energy*, ambiti rispetto ai quali il sistema internazionale presenta varie asimmetrie. Ci riferiamo in tal senso a **terre rare e altri minerali critici, ovvero materie prime strategiche indispensabili per la realizzazione di pannelli solari, turbine eoliche e altri impianti e componenti legati allo sfruttamento di energie rinnovabili, di batterie, e di un sistema energetico globale più elettrificato e digitalizzato** – si pensi anche a **semiconduttori e chip per computer, smartphone, etc**²⁰. Oltre a non essere essa stessa scevra da rischi per uomo e ambiente, fra cui il paradossale effetto di poter rivitalizzare il lavoro in miniera (almeno in parte superato con il passaggio dal carbone al petrolio), l'estrazione planetaria delle materie prime in questione risulta, nell'insieme, piuttosto concentrata [V. Termini, 2020]. Ad esempio la produzione di litio, terre rare e cobalto, complessivamente considerati, si deve soprattutto ad Australia, Repubblica Democratica del Congo e Cina, che insieme ne detengono all'incirca il 75% dell'offerta. Del resto nel comparto minerario in diversi casi uno o pochi Paesi possono essere responsabili, da soli, della metà o oltre dell'estrazione complessiva di un dato minerale, laddove non tutti i giacimenti risultano sempre economicamente convenienti rispetto alle tecnologie disponibili (e quindi effettivamente sfruttabili)²¹. Molti depositi si trovano poi in siti soggetti a **rischi climatici**, che più o meno periodicamente possono diminuirne la regolarità produttiva. Più della metà della produzione complessiva di litio e rame tenderebbe a concentrarsi in aree con alti livelli di stress idrico, mentre alcune delle principali zone di estrazione sarebbero soggette a forti ondate di calore e inondazioni, ad esempio in Africa, Cina e Australia. Quest'ultima peraltro concorre,

²⁰ Le terre rare (in inglese *rare-earth elements* o *rare-earth metals*) sono un gruppo di 17 elementi chimici della tavola periodica, precisamente scandio, ittrio e 15 'lantanoidi' (i primi due generalmente si trovano negli stessi depositi minerali dei secondi e hanno proprietà chimiche simili). Si distinguono da altri minerali c.d. critici (es. vanadio, cobalto, tungsteno, silicio, niobio, fosforo, litio, nickel, manganese, grafite, etc.) per via della loro più difficile identificazione, oltretutto per la maggiore complessità dei processi di estrazione e separazione del minerale puro (nel tempo aumentati, pur a fronte di impatti ambientali non indifferenti, grazie a cambiamenti intervenuti nelle tecniche e tecnologie estrattive). In base al peso atomico, le terre rare si dividono in leggere (LREE), medie (MREE) e pesanti (HREE).

²¹ Nel gergo geologico ciò distingue le 'riserve' dalle 'isorse'. Le prime tendono a essere associate al concetto di giacimento tecnicamente ed economicamente coltivabile, che oltre delle possibilità tecnologiche tiene conto di parametri quali la redditività minima attesa, il tempo di ammortamento degli investimenti, la fluttuazione dei prezzi (laddove quindi non tutte le riserve tecnicamente estraibili sono anche economicamente redditizie). Le riserve sono classificate in 'accertate' (o 'certe'), 'probabili' e 'possibili', in base a un grado di incertezza crescente, determinato dalla probabilità che con le tecnologie disponibili l'estrazione effettiva non sia inferiore alla stima: questo livello in genere è del 90%, del 50% e del 10% rispettivamente (*ergo* le ultime due categorie di riserve, specie l'ultima, risultano più vicine al concetto geologico di risorsa, almeno finché certi cambiamenti naturali e/o economico-tecnologici non ne rendano più conveniente l'estrazione).

insieme al *lithium triangle* sudamericano, al grosso dell'import UE di litio²², laddove l'Unione, pur disponendo di giacimenti di diversi materiali strategici (ad es. dello stesso litio), non risulta a riguardo fra le regioni strutturalmente più favorite – specie nel settore delle terre rare, con un'elevata esposizione inoltre, nell'import di questi elementi e più in generale di materie prime critiche, nei confronti della Cina, che detiene il 66% dell'offerta totale di *critical raw materials* [C. Brunori, 2021]²³. Secondo la IEA il processo di decarbonizzazione potrebbe comportare, già entro il 2030, sensibili squilibri nel rapporto fra domanda e offerta di questi elementi, laddove i meccanismi per la sicurezza energetica internazionale sono impostati per rispondere a rischi di interruzione o di picchi nei prezzi degli idrocarburi, ma non (ancora) per affrontare volatilità nei prezzi di minerali critici o forti cali nella loro fornitura [2021a; 2021b, 247, 272].

Inoltre, cali radicali o repentini nei consumi mondiali di fonti fossili potrebbero ridurre significativamente l'import idrocarburico da diversi Paesi dove i sistemi economico-produttivi sono ancora largamente dipendenti dal comparto degli idrocarburi, e dove, pur presente, il settore *renewable energy* è comparativamente meno sviluppato che in regioni come Europa e Nord America. Ovvero aree quali, fra le altre, **Asia Centrale, Nord Africa e Medio Oriente**, verso cui cali significativi della domanda di petrolio e gas potrebbero favorire, se non affiancati da adeguate strategie di diversificazione o misure compensative, serie ripercussioni economico-finanziarie e politico-sociali. Difatti, se da una parte come osservato un'elevata rendita idrocarburica può contribuire ad incentivare forti diseguità economico-sociali e financo fenomeni di violenza sociopolitica, dall'altra è anche vero che, come già argomentato dalla teoria dei *rentier states* [H. Beblawi, 1987], tramite una redistribuzione mirata e selettiva (interna e internazionale) di questa stessa rendita gli Stati idrocarburici possono mantenere la loro stabilità di regime e il loro status politico-diplomatico [R.F. Tusalem, 2015, 10-11]²⁴. **Eventuali destabilizzazioni e conflitti in questi Paesi, indotti da intense pressioni allo *status quo* più o meno legate alla transizione energetica, potrebbero avere ripercussioni negative per la stessa Europa (Italia**

²² Il *triangolo del litio* è una fascia orientale dell'America del Sud riguardante alcuni territori di Argentina, Bolivia e Cile.

²³ Precedendo Sud Africa (9%), Repubblica Democratica del Congo (5%), USA (3%), Australia (3%) e altri 7 Paesi (tutti al 2%, con la Russia che ha significative quantità di nichel, alluminio e palladio). A ciò si aggiunga che nel caso di crisi internazionali il mercato minerario-metallifero può essere negativamente condizionato anche da fenomeni percettivi, laddove cioè forti rialzi nei prezzi possono verificarsi pur a fronte di cali produttivi inferiori alle aspettative – come per es. accaduto almeno in parte ad alluminio, nichel e palladio nelle fasi iniziali del conflitto russo-ucraino. Inoltre con riferimento all'UE si deve osservare che, rispetto ai giacimenti non esauriti, le stesse *policies* e normative di sfruttamento non di rado risultano, per ragioni ambientali, meno permissive che in altri contesti.

²⁴ Sebbene in modo non sempre continuo e costante, un'alta rendita idrocarburica consentirebbe la possibilità di sussidi statali e basse tasse, mantenendo (laddove la democrazia non abbia preceduto la scoperta di vasti giacimenti fossili) poco intense o diffuse, magari in concorso con altri fattori (es. culturali) e fin quando gli apparati di sicurezza appoggino gli esecutivi, le richieste di apertura del sistema politico con riforme di stampo democratico, e più in generale le pressioni di *regime change*. Oltre a calmierare una parte dei potenziali oppositori interni, i *rentier states* non di rado userebbero la rendita per comprare la lealtà politica di Stati più o meno limitrofi, condividendone una parte con questi ultimi (sotto forma di aiuti economici o come cooperazione militare e di sicurezza, etc.).

inclusa), essendo quest'ultima, oltre che un attore geograficamente prossimo, un loro importante partner economico-commerciale²⁵.

D'altra parte, al di là dei suoi aspetti tecnologici, la transizione pone evidenti e delicate problematiche economico-produttive e sociooccupazionali anche nei Paesi più avanzati, dove pure tanto gli attori istituzionali quanto le compagnie private stanno facendo già da diversi anni significativi sforzi, con risultati importanti ma ancora insufficienti, e non privi di incoerenze e contraddizioni, in direzione della decarbonizzazione e della neutralità climatica²⁶. D'altronde, la transizione ecologica-energetica planetaria deve misurarsi anche con notevoli fattori di "divario energetico", a breve-medio termine non facilmente colmabili, stante l'attuale sistema *fossil based* e la crescente domanda globale di energia, con una forte riduzione di emissioni climalteranti e di contestuale aumento di energia rinnovabile – con quasi un miliardo di persone ancora privo di accesso all'elettricità, la metà del mondo senza consumi energetici sufficienti e molti Paesi in via di sviluppo con un consumo pro-capite elettrico annuo inferiore ai 1000 KW/ora, un valore 5 volte inferiore a quello di Stati avanzati come l'Italia [E. Testa, 2021]. **Rispetto ai Paesi in via di sviluppo si deve anche considerare che i programmi di transizione energetica si devono misurare non di rado con problematiche di *governance* e situazioni interne particolarmente complesse e delicate, che potrebbero non solo ostacolarne l'implementazione (ad es. per via di carenze normativo-istituzionali), ma financo essere a loro volta aggravate dai primi.** Evidenze di quest'ultima dinamica sono già emerse nella **Repubblica Democratica del Congo**, dove l'aumento nell'estrazione di cobalto sta influenzando negativamente sul rispetto dei diritti umani e sui rapporti fra grandi aziende estrattive e gruppi di minatori artigianali su

²⁵ Basti ricordare che i principali introiti del Nord Africa vengono da esportazioni di gas naturale e petrolio in Europa – che nel 2020 assorbiva all'incirca l'80% e il 60% delle rispettive produzioni complessive [Lombardini, 2020].

²⁶ Approfondire tali aspetti esula dagli scopi di questo articolo. Si rifletta però solo un attimo, in tal senso, sul fatto che quasi il 60% dei consumi energetici europei ancora derivi da fonti fossili [J. Wettengel, 2023], la maggior parte delle quali peraltro importate, e che per la gran parte dei Paesi membri i cali di emissioni attesi al 2030 (– 55% rispetto al 1990) appaiono estremamente sfidanti; per es. quelle dell'Italia, che pure negli ultimi 2 decenni ha fatto progressi sensibili nelle rinnovabili e nel ridurre le emissioni, dovrebbero attestarsi entro quella data a quasi 230 milioni di tonnellate di CO₂ equivalente (MtCO₂eq), calando di 147 MtCO₂eq, ovvero più che dal 1990 al 2020, quando sono scese di 142 MtCO₂eq [F. Suman, 2021]. Del resto, a riprova del (quanto meno potenziale) ritardo del mondo lungo la via della transizione, basti pensare che dal 2000 al 2020 le emissioni di CO₂ sarebbero aumentate, laddove l'International Energy Agency [2021b, 33], da quasi 25 a poco meno di 35 Gigatonnellate (Gt), mentre per raggiungere nel 2050 la neutralità climatica dovrebbero calare di oltre 30 Gt (cioè di una media decennale pari al doppio di come sono cresciute in media nei decenni fra 2000 e 2020). A seguito della guerra russo-ucraina l'UE ha calato di molto le sue importazioni di gas dalla Russia, ma non quelle di gas e altri combustibili fossili in assoluto, peraltro in complessivo aumento [Eurostat, 2022], mentre i vari Paesi europei si stanno muovendo con velocità diverse, e non senza rallentamenti rispetto a quanto programmato a livello nazionale, rispetto allo stesso *phase out* del carbone (risorsa che in alcuni Stati come la Germania ha dovuto compensare le rinnovabili a seguito dell'abbandono del nucleare), laddove alcune economie avanzate come USA e Australia si sono più limitatamente impegnate a rallentarne produzione e consumo (*phase down*), peraltro, così come Cina o India, solo rispetto al carbone *unabated* (cioè senza sistemi di contestuale cattura di emissioni di CO₂). Del resto già nell'autunno 2021 la stessa UE, indotta da vari fattori di crisi (fra cui il COVID-19) sui mercati del petrolio ma soprattutto del gas naturale, aveva piuttosto repentinamente aumentato la domanda di carbone ad alcuni dei suoi fornitori, Russia *in primis*, cogliendoli però parzialmente impreparati sul lato dell'offerta, da questi rimodulata non solo per i cali di domanda energetica legati alla pandemia, ma anche per i programmi europei di decarbonizzazione [A. Shiryaevskaya, Y. Fedorinova, 2021].

piccola scala (o “di sussistenza”), così come in **Kenya e Marocco/Sahara Occidentale**, dove anche per dinamiche decisionali poco inclusive, se non discriminatorie (ad es. rispetto ai territori su cui ubicare parchi eolici e solari), alcuni progetti di *green energy* stanno avendo luogo non senza esacerbare preesistenti contrasti tra diverse comunità locali, o fra queste ultime, da una parte, e governi centrali e compagnie di settore, dall'altra [P. Ateyo, 2022].

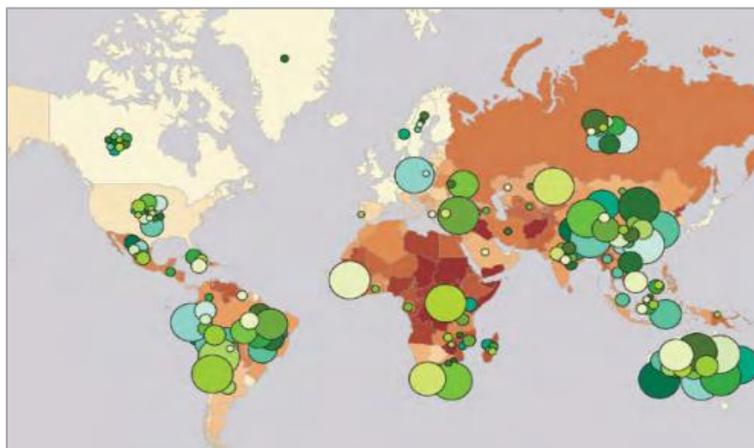


Fig. 6 – Correlazione fra presenza di minerali critici (cerchi) e fragilità statale e corruzione dei Paesi che li detengono
Fonte: International Institute for Sustainable Development (2019)

Le stesse energie rinnovabili, anche se teoricamente illimitate, non sono esenti da rischi strutturali, legati alla loro **discontinuità/intermittenza ovvero non programmabilità** (pure a fronte degli obiettivi progressi fatti rispetto alle possibilità di stoccaggio e ai costi di produzione), al loro non facile trasporto, o al fatto che la loro intensità può presentare significative asimmetrie sul piano geografico/territoriale. Secondo alcuni analisti, a livello geopolitico proprio queste asimmetrie potrebbero e dovrebbero incentivare una maggiore cooperazione energetica intraregionale e fra regioni più o meno contigue²⁷, ma d'altra parte è anche vero che esse potrebbero indurre, specie in assenza di una *governance* internazionale sufficientemente efficace, **dinamiche di espansionismo/confronto in aree ritenute particolarmente appetibili per il loro sfruttamento** [L. Franza, M. Bianchi, L. Bergamaschi, 2021]. Si pensi, come potenziale bacino di energia solare ma anche eolica in determinate aree (specie costiere), alla rilevanza dell'**Africa**, notoriamente oggetto di interesse, fra gli altri attori, della **Cina**, che già da diversi anni ne sta penetrando economicamente non poche aree (e che nel solare – e

²⁷ È quanto è stato ipotizzato per esempio, anche sulla scia di progetti di cooperazione internazionale già avviati, in scenari di lungo termine riguardanti tanto i Paesi UE quanto una piena futura integrazione energetica dell'Europa, in particolare in campo elettrico, con Nord Africa e Penisola Araba, la quale dovrebbe essere basata, pure al netto di un primo periodo non scevro dallo sfruttamento di petrolio e soprattutto gas naturale (il meno inquinante fra i combustibili fossili), principalmente su solare, eolico e idrogeno: per eventuali approfondimenti cfr. M. Alverà [2020] e V. Travisani [2022].

non solo – ha fatto progressi e investimenti estremamente notevoli, pur essendo ancora in parte legata a tecnologie e infrastrutture di Paesi OCSE per la produzione di pannelli solari ad alta intensità di manodopera).

La stessa regionalizzazione energetica potenzialmente favorita da fonti poco concentrate potrebbe doversi misurare, in alcuni scenari, con **fenomeni nazionalistico-sovrani e carenze di concertazione intergovernativa, con i primi che peraltro potrebbero interessare la stessa Europa**. Ove d'altra parte, fermi restando i comuni *green targets* fissati nel campo delle politiche energetiche, i singoli Stati membri ancora si riservano, anche per motivi di politica interna, non poca autonomia sia nelle scelte d'investimento che rispetto alle politiche di approvvigionamento esterno.

Come mostrato, per esempio e pur a fronte dei segnali emersi verso un maggior coordinamento energetico prima e soprattutto a seguito della guerra russo-ucraina, dalla netta differenza di vedute espressa circa la decisione presa dalla Commissione europea (2022) di considerare ecosostenibili, pur solo quando rispettino precisi parametri tecnologici e ambientali, attività economiche pertinenti il gas naturale e l'energia nucleare²⁸; e dove oltre a forti proteste ambientaliste e contrasti sociali su nuove infrastrutture legate al comparto *oil&gas* potrebbero non mancare, alimentate da dinamiche NIMBY (*not in my backyard*) e NYMTO (*not in my terms of office*), forti opposizioni a sfondo estetico-paesaggistico (tipico in tal senso l'esempio delle pale eoliche) verso l'edificazione di nuove infrastrutture per l'energia rinnovabile [Laboratorio REF Ricerche, 2022; B.K. Sovacool et al., 2022].

Inoltre, una maggiore diffusione delle fonti rinnovabili potrebbe comportare un aumento dell'insicurezza cibernetica. Difatti, anche in conseguenza di una maggiore spinta verso rinnovabili e altre energie alternative alle fonti fossili, il settore *energy* sta attraversando, in Europa come al di fuori, una fase di evidente digitalizzazione, con l'introduzione di dispositivi tecnologici (*smart grids*, *smart meters*, internet delle cose) basati su crescenti connessioni a sistemi elettrici distribuiti, reti informatiche e interoperabilità con

²⁸ Fra 2021 e 2022, il processo d'inserimento di alcune tecnologie e impianti per lo sfruttamento di gas naturale e nucleare (fortemente auspicato da Francia, Finlandia e diversi membri est-europei) nella tassonomia europea sulle attività economiche ecosostenibili ha visto, specie rispetto al nucleare, l'aperta opposizione politica di Germania, Spagna, Irlanda, Danimarca, Portogallo, Austria e Lussemburgo, con gli ultimi 2 Paesi che nell'ottobre 2022 hanno financo deciso di ricorrere legalmente presso la Corte di Giustizia dell'UE, auspicando una futura revisione del provvedimento (divenuto poi effettivo al principio del 2023). Cfr. ad es. L. Leca [2022], Hodgson C. [2022].

altri sistemi, collegamenti eterogenei, *operational technologies* e impianti controllati prevalentemente in remoto²⁹.

Ciò può portare benefici ambientali ed economici, inclusa una migliore efficienza nei consumi energetici, ma anche maggiore esposizione al rischio di *cyber attacks*, con infrastrutture energetiche legate a reti e tecnologie informatiche in misura anche superiore che nei comparti fossile e nucleare [S. Linares, M. Molinaro, K. Timmermans, 2020; Pasquazzi, 2023; IEA, 2021c]³⁰.

Infine, i principali attori dell'area internazionale si stanno muovendo lungo il percorso della transizione in modo differente, ovvero con approcci e velocità diverse sia nell'aumentare la produzione e il consumo di energie rinnovabili sia, soprattutto, nel ridurre le emissioni climalteranti legate all'uso delle fonti idrocarburiche – ad esempio India, Brasile, Cina, Sud Africa, Arabia Saudita, Russia e Turchia stanno conseguendo, rispetto ad aree quali Nord America ed UE o a Paesi come Corea del Sud, Australia e Giappone, risultati meno coerenti con gli obiettivi della decarbonizzazione e della neutralità climatica³¹. In alcuni casi questa differenza, per sua natura del resto difficilmente evitabile, può contribuire ad un aumento delle divergenze diplomatiche e comportare attriti fra le nazioni. Laddove per esempio potenze come Cina e Russia, e diversi Paesi asiatici e africani, hanno talvolta lamentato, pur condividendo la necessità di un sistema energetico

²⁹ I sistemi energetici distribuiti si basano su più unità di produzione di piccole dimensioni, disperse o localizzate in più punti del territorio e allacciate direttamente alle utenze, mentre il modello centralizzato si basa invece su una generazione energetica concentrata in grandi centrali elettriche e collegata ad un'estesa rete di cavi (ove tipicamente le linee di 'trasmissione', bidirezionali e su grandi distanze e tensioni elevate, portano energia dalle centrali alle 'sottostazioni', da dove poi le linee di 'distribuzione', unidirezionali e su distanze più brevi e tensioni più basse, trasportano energia agli utenti finali in modo passivo, ovvero senza essere gestite attivamente da operatori o programmi informatici). Avvicinando più centrali (fra loro interconnesse) ai luoghi di consumo, i sistemi distribuiti tendono ad abbassare alcuni costi tipici delle lunghe reti centralizzate in termini di perdita di energia, costruzione e manutenzione, nonché i rischi di interruzioni e *blackout*. Tali sistemi richiedono di tramutare le reti da passive ad attive e intelligenti (*smart grid*), ovvero capaci di gestire e regolare più flussi, anche discontinui (es. da rinnovabili) e bidirezionali, da cui la necessità di dispositivi di protezione, di interconnessione e di controllo dei carichi elettrici. Una *microgrid* o microrete è un sistema di distribuzione locale che interconnette carichi e fonti di generazione distribuita e ha la capacità di operare sia in connessione a reti elettriche nazionali che autonomamente (nella modalità cosiddetta 'ad isola'). Al giorno d'oggi, per via di spinte alla sostenibilità ambientale, di diminuzioni nei costi e dello sviluppo di 'reti intelligenti' che permettono una gestione attiva e bidirezionale nella distribuzione dei flussi energetici, nonché della diffusione di 'comunità energetiche rinnovabili' sui territori, si stanno sempre più diffondendo *microgrid* che integrano impianti di generazione da fonti rinnovabili (es. impianti fotovoltaici) e sistemi di accumulo elettrico (es. batterie). In tali contesti, gli attacchi che compromettono la disponibilità e l'integrità dei sistemi possono avere impatti maggiori di azioni contro la riservatezza dei dati, tendendo la *security priority* a spostarsi, nei sistemi in questione, sul terzo dei fattori CIA (ovvero *confidentiality, integrity, availability*).

³⁰ Il legame fra sicurezza energetica e *cyber security* è stato peraltro ben evidenziato, di recente, dalla pandemia prima e dalla guerra russo-ucraina dopo, essendo il settore energetico fra quelli più interessati dall'aumento dei *cyber attacks* correlato ai due eventi in questione [World Economic Forum, 2023, 23-24].

³¹ In merito, uno degli indicatori più espliciti è che alcuni di questi Stati hanno dichiarato di poter divenire *carbon neutral* non nel 2050, ma piuttosto entro il 2060 (Cina, Russia e Arabia Saudita) o il 2070 (India). Del resto, questi Paesi possono avere, rispetto all'UE o altre economie avanzate, maggiori difficoltà economico-strutturali e/o politiche sia nel ridurre le emissioni climalteranti che nel rendere comparativamente superiore la percentuale di energia rinnovabile nei rispettivi mix energetici. Si pensi che la sola Cina, che pure è assunta a una posizione di leadership internazionale nel settore delle energie rinnovabili, è responsabile di quasi un terzo delle emissioni mondiali di CO₂. Pechino d'altra parte non solo importa quote ingenti di petrolio e gas naturale (da Golfo Persico, Africa, Russia e Asia Centrale, con il progetto infrastrutturale della Nuova Via della Seta in parte funzionale alla movimentazione di tali risorse), ma basa ancora quasi la metà del suo consumo energetico sul carbone, di cui è la prima produttrice mondiale.

mondiale più ecosostenibile, eccessive ingerenze da parte occidentale rispetto alle loro politiche su energia e ambiente, criticando peraltro alcuni aspetti dell'architettura economico-finanziaria della transizione (per es. ritenendo insufficienti i relativi aiuti americani e occidentali ai Paesi in via di Sviluppo) e rivendicando maggiori spazi di autonomia politica, anche in chiave regionale. Come mostrato fra le altre cose da una emblematica dichiarazione cinese del novembre 2022, riguardante la necessità di un pieno allineamento, in accordo al principio della *One China Policy*, nelle politiche climatiche di Taiwan e Pechino [J. Dellatte, 2022].

Tale logica sembra anche spiegare, d'altro canto, perché Mosca nell'autunno del 2021, ben prima dello scoppio della guerra con l'Ucraina, abbia espresso forti riserve sulla politica europea per la **Regione Artica**, che fra le altre cose auspica una sensibile riduzione complessiva dell'estrazione delle fonti fossili nell'area, viceversa ritenute da Mosca, in un'ottica di medio-lungo termine, uno dei suoi asset geoeconomici principali, tanto per l'approvvigionamento energetico interno quanto, se non soprattutto, per il suo commercio estero, ovvero per le sue stesse capacità di leva diplomatica³².

Giunti **alla fine di questo capitolo**, si può dunque asserire che provocando gravi danni ambientali riguardanti la dimensione atmosferica, la superficie terrestre e le acque del pianeta, riscaldamento globale e mutamento climatico possono nuocere in modo molto significativo alla salute e al benessere delle comunità umane. Sortendo impatti negativi sulla disponibilità di spazi fisici e risorse naturali utili al sostentamento, tali fenomeni possono anche rendere più competitive e conflittuali le relazioni fra Stati e al loro interno, *ergo* essere correlati positivamente con l'aumento della violenza sociale. Per questo **la transizione ecologica e quella energetica sono ritenute un percorso valido ed auspicabile per disinnescare non solo riscaldamento globale e inquinamento ma, almeno in parte, anche fenomeni di conflitto geopolitico. Tale visione oggi è diffusa e più o meno condivisa all'interno della comunità scientifica e fra i decisori politici nazionali e internazionali, nel mondo economico-finanziario e financo negli ambienti militari (quanto meno in quelli dell'area euro-atlantica). Tuttavia, al percorso in questione possono essere anche associate, soprattutto nel breve e medio periodo, dinamiche di instabilità, insicurezza e conflittualità. Questo sia per il diverso approccio adottato dai vari Paesi rispetto alla transizione energetica, sia per gli squilibri economico-produttivi e sociopolitici che possono accompagnarla in diverse aree del pianeta. In**

³² La critica di Mosca è stata diretta in particolare alla dichiarazione *Joint Communication on a stronger EU engagement for a peaceful, sustainable and prosperous Arctic* (2021), elaborata dall'Alto Rappresentante per la PESC e dalla Commissione. In Russia il comparto idrocarburico pesava, prima dello scoppio della guerra con l'Ucraina, per circa il 20% del PIL, per il 40% delle entrate statali e per oltre il 50% dell'export. Cfr. S. Pasquazzi [2022, 59 ss.].

particolare, da una parte la transizione sembra implicare non solo un possibile aumento delle tensioni economico-politiche a livello internazionale e dentro singoli Stati, ma anche rischi di competizione e conflitto per il **know how, le tecnologie e i materiali critici** necessari allo sviluppo di impianti e infrastrutture per lo sfruttamento delle energie pulite. Così, paradossalmente, di qui ai prossimi lustri la competizione mondiale per il possesso o il controllo degli idrocarburi potrebbe essere sostituita, più che da una generale distensione dei rapporti internazionali indotta dal progressivo abbandono di fonti energetiche sensibilmente concentrate in favore di risorse meno inquinanti e più diffuse, dalla lotta per l'approvvigionamento di materie prime indispensabili per l'effettivo sfruttamento delle seconde. Dall'altra, la decrescita nella produzione e nei consumi di fonti fossili potrebbe ripercuotersi negativamente su diversi Paesi la cui stabilità economica, e in qualche misura anche quella sociopolitica, sono ancora sensibilmente dipendenti dal comparto idrocarburico. Infine, anche perché correlato ad una crescente digitalizzazione, il potenziamento della *green energy* associato alla transizione ecologica può favorire un aumento del **rischio cibernetico**. In altri termini, la transizione ecologica-energetica sembra poter risultare non solo meno rapida, ma anche meno lineare, coerente e pacifica di come auspicabile in base ai programmi di ONU ed UE, presentando delicate asimmetrie e potenziali conseguenze inattese e indesiderate sia a livello globale che entro i singoli Stati. Da parte di chi scrive, pertanto, l'auspicio di una *policy* che la comunità internazionale, anche tramite le prossime Conferenze delle Parti sul Clima³³, non trascuri tutto questo e predisponga azioni specifiche per farvi fronte, se necessario adattando o contemperando gli stessi principi cardine della transizione. D'altronde, se non fare abbastanza per questo processo potrebbe comprometterne gli scopi di lungo periodo, attuarlo con insufficiente pragmatismo strategico potrebbe avere effetti deleteri già nel breve e medio termine. **Tale monito assume rilievo evidentemente anche per le Forze Armate, per le quali un approccio pragmatico nei confronti della transizione energetica si lega, come vedremo, anche ad esigenze di carattere operativo.**

³³ La prossima, ovvero la COP 28, è prevista nel tardo autunno 2023, nell'Emirato di Dubai.

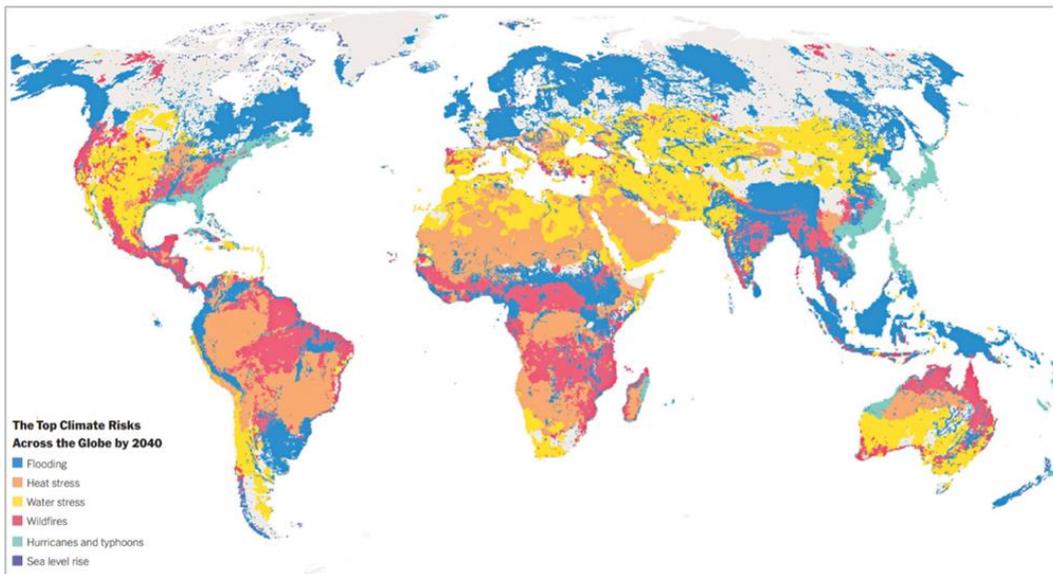


Fig. 7 – Diffusione mondiale principali rischi climatici entro il 2040 (a meno di cali emissivi radicali)
<https://www.nytimes.com/2021/03/25/learning/whats-going-on-in-this-graph-global-climate-risks.html>

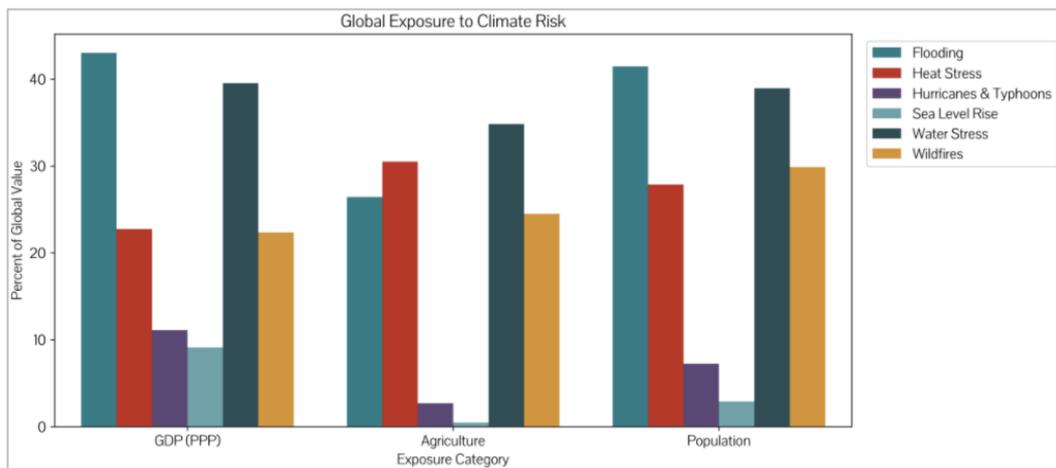


Fig. 8 – Alcuni impatti economico-sociali del rischio climatico (scala globale)
<https://www.nytimes.com/2021/03/25/learning/whats-going-on-in-this-graph-global-climate-risks.html>

CAPITOLO 2

PROGRAMMI / INIZIATIVE PER UNA DIFESA ECOSOSTENIBILE

A questo punto si deve osservare, peraltro a riprova di come le questioni ecologico-energetiche abbiano ormai ampiamente travalicato i confini di movimenti ambientalisti, partiti verdi e relative comunità epistemiche – tanto che oggi anche il mondo bancario-finanziario parla di *climate risk* [Basel Committee, 2022] –, come i comparti della Difesa (soprattutto ma non solo negli USA e in Europa) stiano già da qualche anno attenzionando i problemi climatici in varie aree del pianeta **non solo per “mappare” le aree più soggette ai rischi climatici, ergo per finalità di intelligence e *conflict prevention & management*, ma anche per tentare di giocare loro stessi un ruolo attivo in chiave di adattamento e mitigazione rispetto al *climate change***. Del resto, pur essendo vero che la transizione energetica come osservato non rappresenti una panacea per eliminare la conflittualità, potendo talvolta financo alimentarla (in regioni che detengono fonti fossili ma anche in aree con materie prime utili alla transizione stessa), sembra altrettanto vero che il processo in questione nel lungo periodo possa attenuare sensibilmente il cambiamento climatico, *ergo* la genesi o l’acuirsi di conflitti legati ai suoi effetti.

2.1 Review sul panorama internazionale

Al fine di contribuire loro stesse alla transizione ecologica, le **Forze Armate di diversi Stati** stanno non solo tentando di efficientare i loro consumi energetici (con primario riferimento a quelli legati all’uso delle fonti fossili di energia) e di concepire apparati infrastrutturali più ecocompatibili, ma anche attenzionando in via crescente le energie ‘alternative’³⁴. Dopo tutto, nel lungo termine, un sistema internazionale basato su risorse energetiche meno inquinanti delle fonti fossili dovrebbe rivelarsi, almeno a patto di poter disporre di sufficienti minerali critici e terre rare per il loro sfruttamento, non solo complessivamente più sicuro, ma anche meno vincolante per le stesse politiche estere, commerciali e militari nazionali (la guerra russo-ucraina sembra rappresentare, in tal senso e almeno in ottica europea, un esempio particolarmente recente ed emblematico dei

³⁴ Cfr. anche S. Pasquazzi (2023), *La sicurezza energetica nazionale. La strategia italiana di approvvigionamento dei prossimi 20 anni. Le aree di possibile sviluppo, esplorazione ed opportunità energetiche per il Paese. Missione e compiti della politica estera Nazionale e della Difesa per mitigare la vulnerabilità energetica. Confronto tra gli interessi nazionali, quelli dell’UE e degli altri partner europei*, IRAD, CASD. Testo disponibile al sito: https://www.difesa.it/SMD_/CASD/IM/CeMiSS/DocumentiVis/Ricerche_da_pubblicare/Pubblicate_nel_2023/Pasquazzi_AR_SMD_01.pdf

possibili impatti negativi di un'eccessiva dipendenza energetico-idrocarburica esterna). Inoltre, come vedremo nel prossimo capitolo, il comparto militare sta sviluppando strategie di adattamento e mitigazione verso il *climate change* anche per ragioni operative, potendo il fenomeno in questione incidere non poco sugli scenari d'intervento delle Forze Armate, contribuendo a plasmarne alcune caratteristiche. In questo quadro il settore militare fra le altre cose sta ripensando alcuni suoi assetti strutturali e vagliando con attenzione un possibile aumento nell'uso di energie alternative alle fonti fossili non solo in Patria, ma anche nei vari teatri di operazione oltreconfine (ovvero come componenti fondamentali del concetto di 'energia operativa').

Fu il già citato esponente politico **americano** Chuk Hagel, nel **2014** (*supra*), uno dei primi a sostenere che il *climate change* fosse un fattore a cui le stesse forze militari avrebbero dovuto adeguarsi in termini di mezzi, installazioni e operazioni. Ad es. riducendo alcune esercitazioni all'aperto per via delle ondate di calore, usando meno fonti fossili di energia, rendendo le dotazioni più resistenti a polvere e calore, etc. Ciò sia per attenuare riscaldamento globale e fenomeni climatici estremi, *ergo* alcune delle stesse cause dell'insicurezza contemporanea, sia per prepararsi a teatri di battaglia maggiormente caratterizzati da aree desertiche, luoghi alluvionati, temperature più alte, acque marittime più acidificate, come alla possibilità di studiare nuovi sistemi di protezione/alimentazione per basi e strutture militari ubicate in aree esposte a rischi di inondazioni, tempeste, siccità, carenze energetiche, etc. Alcuni analisti americani hanno poi ripreso tale punto di vista, sviluppando considerazioni simili ed estendendole a tutto il dispositivo politico-militare dell'**Alleanza Atlantica** [T. Lyppert, 2019], mentre nel **2021** il ***Climate Adaptation Plan del Pentagono*** ha sostenuto la necessità di notevoli sforzi e risorse da dedicare ad attività di studio, analisi, ricerca e sviluppo per migliorare la resilienza delle Forze Armate agli effetti di riscaldamento globale e *climate change* (ad es. in termini di ingegneria ambientale per le opere militari, di materiali e design per strutture e mezzi, di pratiche di acclimatazione a temperature elevate per il personale, di simulazione di scenari operativi e *wargaming*, etc.)³⁵. Negli **USA** d'altro canto **piani strategici per il clima** sono stati adottati **anche a livello di singola forza armata**³⁶, mentre la Difesa ha anche potenziato le capacità della *Air Force Weather Agency*, *inter alia* tramite sistemi super-computazionali in grado di

³⁵ <https://www.sustainability.gov/pdfs/dod-2021-cap.pdf>

³⁶ Si vedano, rispettivamente, i documenti scaricabili ai seguenti link:

https://www.army.mil/e2/downloads/rv7/about/2022_Army_Climate_Strategy_Implementation_Plan_FY23-FY27.pdf

<https://www.navy.mil/Portals/1/Documents/Department%20of%20the%20Navy%20Climate%20Action%202030.pdf>

https://www.safie.hq.af.mil/Portals/78/documents/Climate/DAF%20Climate%20Action%20Plan.pdf?ver=YcQAZsGM_Xom3DkNP_fL3g%3d%3d

mettere dati e aggiornamenti di settore direttamente nelle mani di *specialized combat weather teams* (CWTs) operanti sul campo, a loro volta in grado di trasmettere informazioni a unità meteorologiche operative presso gli USA (come il *MENA Operational Weather Squadron, South Carolina Air Force Base*). Il *McKinley Climatic Laboratory* (MCL) presso la base aeronautica di Eglin in Florida, una delle principali strutture del mondo nel suo settore, consente di testare aeromobili e attrezzature militari in tutte le condizioni climatiche, al fine di scoprire dove e come quest'ultime possano essere alla base di guasti e disfunzioni³⁷.

Sulla scia del summit di Chicago (2012), la NATO già nel 2014 avviava, attraverso il **Green Defense Framework**, una revisione in chiave climatico-ambientale dei suoi consumi energetici e delle sue *operational capabilities*, riconoscendo apertamente, pur nell'esigenza di mantenere inalterate le proprie capacità operative, la necessità di ridurre le sue emissioni inquinanti e di integrare in misura crescente le energie sostenibili nei consumi energetici dei suoi mezzi e delle sue attività e strutture. Tra le azioni più concrete realizzate successivamente in sede NATO vi sono la mobilitazione di una **Energy Security Task Force**³⁸, la creazione di una piattaforma di dialogo e scambio di conoscenze tra Alleati e il coinvolgimento delle industrie del settore per lo sviluppo di nuove tecnologie ecosostenibili che siano *dual-use*, ergo utilizzabili sul piano militare ma anche su quello civile. In ambito atlantico modelli per una Difesa 'ecosostenibile' sono stati poi avviati dal **Regno Unito** (2014) e dal **Canada** (2018), mentre al di fuori dell'atlantico, dall'**Australia** (2016)³⁹. Del resto, come sancito dal *North Atlantic Council* durante i summit di Bruxelles (2021) e Madrid (2022), la **NATO** riconosce ormai espressamente il **climate change come threat multiplier**, affermando la necessità di ridurre l'uso di fonti fossili e di potenziare l'integrazione delle energie sostenibili nei consumi energetici di mezzi, attività e strutture dell'Alleanza⁴⁰. Quest'ultimo principio è ribadito, sul piano operativo-programmatico, nel **Climate Change and Security Action Plan** del 2021 [P. Barberini, 2022], quindi nel più

³⁷ <https://orientxxi.info/magazine/us-military-destabilised-by-climate-change-in-the-middle-east,4885>

³⁸ https://enseccoe.org/data/public/uploads/2021/10/d1_military-aspects-of-energy-security.pdf; già nel Concetto Strategico dell'Alleanza Atlantica del 2010 erano stati evidenziati problemi di sicurezza legati agli approvvigionamenti energetici. Successivamente, nel 2012, nel corso del vertice NATO svoltosi a Chicago, era stata unanimemente condivisa l'importanza di incrementare l'efficienza energetica delle forze militari, creando nuove opportunità con soluzioni innovative, sfruttando tecnologie sostenibili e rispettose dell'ambiente, come l'impiego di pannelli solari, lo sfruttamento dell'energia eolica e l'utilizzazione di carburanti alternativi.

³⁹ Pur con sfumature e ottiche temporali diverse, i piani citati prevedono *inter alia* la riduzione della dipendenza dai combustibili fossili, l'aumento dell'efficienza energetica e la diminuzione dell'impatto ambientale causato dallo smaltimento dei rifiuti e da un eccessivo uso dell'acqua, quindi una serie di misure e azioni politiche finalizzate a ridurre l'impronta carbonica delle infrastrutture militari, dell'industria di settore, del *procurement*, dell'addestramento e dispiegamento delle forze. Si vedano, rispettivamente, i documenti scaricabili ai seguenti link:

<https://www.gov.uk/government/collections/sustainable-development-mod>

<https://www.canada.ca/en/department-national-defence/services/greening-defence.html>

<https://defence.gov.au/EstateManagement/governance/policy/environment/Policy/EnvironmentStrategy2016.PDF>

⁴⁰ https://www.nato.int/cps/en/natohq/news_185000.htm?selectedLocale=en

recente **NATO Strategic Concept**, datato giugno 2022⁴¹. Così come il Pentagono, la NATO riconosce oggi che i fenomeni di *climate change*, fra cui *in primis* le condizioni meteo estreme, possono influenzare missioni, piani e capacità di manovra e combattimento. In seno ad ambienti euro-atlantici, o comunque filooccidentali, ciò è condiviso non solo a livello ufficiale, ma anche sul piano delle organizzazioni non governative e dei *think-tanks* specializzati in ambito militare. Ad esempio il **Consiglio Militare Internazionale sul Clima e la Sicurezza (IMCCS)**, gruppo che riunisce esperti militari e civili provenienti fra gli altri da vari Paesi NATO (inclusa l'Italia), ha pubblicato a partire dal 2019 diversi rapporti dove è stata evidenziata la necessità di prestare maggiore attenzione (analitica e operativa) non solo alle implicazioni di sicurezza dei rischi climatici (sul piano generale e rispetto a diversi scenari regionali), ma anche al ruolo delle Forze Armate nella risposta a tali rischi⁴².

D'altra parte un processo simile è stato adottato anche in seno a strutture e programmi politico-militari dell'**Unione Europea**. Ciò almeno a partire dal programma **Military Green** e dal **Forum Consultivo sull'Energia Sostenibile**, avviati, rispettivamente nel 2012 e 2015, in seno alla *European Defense Agency*⁴³. Una sensibilità 'green' è poi presente all'interno della Cooperazione Strutturata Permanente europea, avviata nel 2018 (**PESCO**) per realizzare una maggiore integrazione strutturale delle forze armate europee⁴⁴. Difatti la PESCO prevede, fra le altre cose, di sviluppare nuovi e più ecosostenibili sistemi di approvvigionamento energetico per le installazioni militari nell'ambito di operazioni congiunte⁴⁵. Nel **2022**, il Servizio Europeo per l'Azione Esterna ha poi elaborato, insieme a Commissione e *European Defence Agency*, la **EU's Climate Change and Defence Roadmap**, secondo cui aumenti nella spesa militare, pur mantenendo un alto livello di operatività, non dovrebbero portare a un aumento delle emissioni climalteranti [cfr. S. Bunse et al., 2022]⁴⁶. Ciò si dovrebbe fare, peraltro in coerenza con alcuni aspetti programmatici della recente **Bussola Strategica dell'UE pubblicata nel 2022** (che *inter alia* richiede agli

⁴¹ <https://www.nato.int/strategic-concept/>

⁴² <https://imccs.org/publications/>

⁴³ Il documento *Military Green* mira a favorire l'aumento del livello di responsabilità degli Stati membri in ambito energetico e ambientale durante tutto il ciclo di vita di una operazione militare (anche nelle relative basi logistiche). Secondo il documento, essendo il settore Difesa il principale consumatore di energia nei Paesi europei, questo dovrebbe aumentare in modo rimarchevole l'uso di fonti rinnovabili (tra cui in particolare le tecnologie fotovoltaiche).
<https://eda.europa.eu/docs/default-source/news/military-green-leaflet.pdf>

⁴⁴ Prevista dal Trattato di Lisbona del 2009 (art. 42.6 e protocollo 10), istituita nel 2017 e iniziata nel 2018 con il primo di una serie di gruppi di progetti, la *Permanent Structured Cooperation* (PESCO), partecipata attualmente da circa 25 Stati membri e con oltre 60 progetti all'attivo, è un'iniziativa della Politica di Sicurezza e di Difesa Comune volta a una maggiore integrazione strutturale delle forze armate europee. Essa si basa su una sorta di cooperazione rafforzata, poiché per funzionare non richiede l'adesione di tutti gli Stati membri, mentre i suoi progetti sono vincolanti per quei Paesi che accettino di parteciparvi. La funzione di segretariato della PESCO è svolta congiuntamente dal Servizio Europeo per l'Azione Esterna e dall'Agenzia Europea per la Difesa.

⁴⁵ https://www.difesa.it/Content/Struttura_progetto_energia/Documents/Piano_SED_2019.pdf

⁴⁶ V. anche: https://www.eeas.europa.eu/eeas/eu-climate-change-and-defence-roadmap_en

Stati membri di sviluppare strategie per preparare le Forze Armate al cambiamento climatico entro il 2023), destinando contestualmente una parte della spesa per la difesa ad investimenti in azioni e tecnologie che riducano le emissioni, come l'elettrificazione e l'uso di combustibili poco o per nulla inquinanti (d'altronde già il programma di lavoro del Fondo Europeo per la Difesa aveva stanziato, per il 2021, 133 milioni di euro per azioni relative ad efficienza energetica e innovazione nello sviluppo di prodotti e tecnologie per la difesa⁴⁷); un'ulteriore azione proposta dalla *roadmap*, per comprendere come modulare l'uso di uomini e mezzi conciliando esigenze operative e necessità ambientali, è di sviluppare degli *assessment* circa l'impatto delle tendenze climatiche sulle missioni di difesa e sicurezza, la cui pianificazione e implementazione dovrà tenere conto in modo organico di aspetti climatico-ambientali, anche mediante l'impiego di ***Environmental advisors***⁴⁸.

Operational dimension		Integrate existing early warning and forecast systems, and conflict and mission analyses, to improve situational awareness and understanding, and develop strategic foresight on climate change and environmental implications.
		Mainstream climate change and environmental considerations into planning, implementation and reporting.
		Review the Military Concept to make sure that implementation is monitored.
		Improve civilian-military humanitarian cooperation, including preparedness and response to disasters.
	Short Term	Examine the possibility to fund projects through the European Peace Facility, in support of climate change and environmental considerations.
	Mid Term	Develop operational guidelines and standard operating procedures for climate and environmental implications. Deploy environmental advisors. Collect data and best practices.
N/A	Improve knowledge sharing on resource security (including energy and water) and environmental best practices (including conservation of biodiversity on military land).	

Tab.1 – Azioni obiettivo previste dalla *EU's Climate change & Defence Roadmap* (2022)

⁴⁷ <https://www.welcomeurope.com/en/the-list-of-our-calls-projects/european-defence-fund-energy-efficiency-and-energy-management-2021/>

⁴⁸ Lo stesso Alto Rappresentante della PESC, in un discorso al Parlamento Europeo del giugno 2022, aveva riportato un esempio in merito all'impatto delle alte temperature su strumenti e attività militari, ovvero di elicotteri impossibilitati a volare perché l'apparato elettronico può non funzionare con temperature superiori ai 40°: https://www.eeas.europa.eu/eeas/climate-change-and-defence-roadmap-speech-high-representativevice-president-josep-borrell-ep_en

Capability planning and development	Short Term	Integrate climate change and environmental considerations into training and exercises.
		Understand the impact of EU energy-related directives on military installations, including green procurement.
	Mid Term	Improve scenarios and strategic planning assumptions by integrating climate risk.
		Fund R&D of new technologies to strengthen resilience and operational efficiency, taking into account circular economy considerations.
		Implement dual-use transport infrastructure projects.
		Study the feasibility of an EU platform for sharing knowledge on energy matters in defence.
	N/A	Study the impacts of climate change on European defence infrastructure and on the resilience of critical energy infrastructure to hybrid threats.
		Integrate climate and environmental considerations in procurement, building and renovation, and staff awareness.
		Monitor the implementation of energy efficiency.
		Establish climate-related objectives.
Multilateralism and partnerships	Short Term	Develop technologies to strengthen resilience and operational efficiency via Permanent Structured Cooperation, and support climate and defence projects from the European Defence Fund.
		Integrate climate and environmental considerations in procurement, building and renovation, and staff awareness.
		Monitor the implementation of energy efficiency.
		Establish climate-related objectives.
	Mid Term	Address the links between climate change, environmental aspects and security.
		Exchange experience and best practices with the UN on climate, energy and environmental aspects.
		Explore cooperation with NATO on climate and defence.
		Explore cooperation with the African Union on climate and environmental aspects in training and awareness raising.
	Long Term	Strengthen response to disasters and civil protection in African partner countries.
		Include climate change and environmental aspects in the UN-EU partnership on peace operations and crisis management.
Mid Term	Include climate change and environmental aspects in security and defence policy dialogues with third countries.	
	Include defence and CSDP considerations in climate security, adaptation and mitigation efforts.	
	Increase the understanding of the impacts of climate change and environmental degradation on defence and crisis management.	
Long Term	Maintain leadership in climate and environmental policy.	

Fonte: Tavares da Costa R. et al., JRC – EC, 2023, p. 37⁴⁹

Operazioni, quelle previste dalla *EU's Climate change & Defence Roadmap*, certamente non facili, specie a breve termine e anche per motivi di bilancio, ma forse non impossibili (e semmai integrabili e migliorabili⁵⁰), se si considera inoltre che l'UE tramite Parlamento e Consiglio si è dotata nel giugno 2021 anche di un nuovo strumento finanziario

⁴⁹ Si veda questa stessa fonte anche per una proposta di ampliamento e rafforzamento delle misure in questione (pp. 77-78).

⁵⁰ Si veda in tal senso la tabella riportata a pag. 77 del report disponibile al seguente link: <https://publications.jrc.ec.europa.eu/repository/handle/JRC126315>

a sostegno della sua azione esterna, ovvero il NDICI-Europa globale⁵¹. Difatti tra le sue voci potrebbe essere potenziata l'azione per l'ambiente, assicurando che il 30% del suo bilancio settennale di 80 miliardi di euro sostenga ulteriormente gli interventi a favore del clima, in un contesto di gestione delle crisi e di prevenzione dei conflitti⁵².

Sulla scia degli sviluppi maturati in sede USA, NATO ed UE, non pochi Stati stanno legando in misura crescente le proprie strategie climatico-ambientali al ruolo della componente militare. Ad aprile 2022, il **Ministero della Difesa di Francia** ha pubblicato la sua ***Climate and Defence Strategy***, nella quale si prefigura *inter alia* la possibilità di un aumento della domanda di risorse militari per sostenere le operazioni nazionali di soccorso in caso di calamità climatico-naturali, sottolineando la necessità di ulteriori studi per sviluppare processi interministeriali di gestione dei dispositivi da schierarvi⁵³. Prevedendone revisioni annuali e aggiornamenti integrali ogni cinque anni, due anni prima erano state invece le **Forze Armate Svedesi** a elaborare un **piano di adattamento e mitigazione nei confronti del cambiamento climatico**, contenente indicazioni specifiche e mirate tanto per singoli comparti della Difesa quanto per le diverse aree geografiche (nazionali e non) di interesse del Paese⁵⁴. Il fenomeno travalica comunque la comunità euro-atlantica. Ad es. nell'agosto 2022 anche il Dicastero della **Difesa giapponese** ha pubblicato la sua prima ***Strategy on Climate Change***, evidenziando la necessità di rafforzare le Forze Armate nipponiche dotandole di strutture e mezzi anti-tifone, nonché di equipaggiamenti per resistere al caldo estremo⁵⁵. Pur in misura e con sensibilità diverse, anche le due principali potenze militari esterne alla sfera euro-atlantica, ovvero **Cina** e **Russia**, stanno attenzionando in modo specifico i possibili effetti del cambiamento climatico in termini di sicurezza, ovvero come fenomeno potenzialmente impattante tanto sulle loro popolazioni quanto rispetto al ruolo e alle capacità dei loro comparti militari⁵⁶.

⁵¹ <https://www.consilium.europa.eu/it/press/press-releases/2021/06/09/ndici-global-europe-final-green-light-for-the-new-financial-instrument-to-support-the-eu-s-external-action/#:-:text=L%27NDICI-Europa%20globale%20%C3%A8%20il%20principale%20strumento%20finanziario%20per,della%20pandemia%20di%20COVID-19%20in%20tutto%20il%20mondo>

⁵² Vds. M. Bonaccorso (2022), *Il cambiamento climatico e la difesa europea: effetti e azioni*, Istituto Analisi Relazioni Internazionali (IARI): <https://iari.site/2022/07/04/il-cambiamento-climatico-e-la-difesa-europea-effetti-e-azioni/>

⁵³ <https://www.defense.gouv.fr/sites/default/files/ministere-armees/Presentation%20Climate%20ans%20defence%20strategy.pdf>

Cfr. anche: <https://rusi.org/explore-our-research/publications/commentary/climate-change-and-french-armed-forces>

⁵⁴ Cfr. R. Soder, *Climate change, security and military organizations: changing notions in the Swedish Armed Forces*, «Earth System Governance», 15, 2023:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S258981162300006X#bib32>

⁵⁵ https://www.mod.go.jp/j/approach/agenda/meeting/kikouhendou/pdf/taishosenryaku_202208_e.pdf

⁵⁶ Per una rassegna comparativa circa il rapporto fra cambiamento climatico e Forze Armate riguardante Stati Uniti, Cina e Russia, cfr. A. Stoetman et al., *Military capabilities affected by climate change*, Clingendael Institute of International Relations, the Netherlands, 2023:

https://www.clingendael.org/sites/default/files/2023-01/Military_capabilities_affected_by_climate_change.pdf

2.2 Riferimenti al quadro italiano

Per quanto riguarda la **Difesa italiana**, essa sta dedicando, già da alcuni anni, particolare attenzione alla sostenibilità ambientale. Ne è riprova fra l'altro la **SED**, ovvero **Strategia Energetica della Difesa** (Stato Maggiore Difesa, 2019) – cui è legato peraltro uno specifico *Energy Working Center* all'interno di SMD⁵⁷ –, sebbene questa non sia specificamente dedicata al *climate change*. Le linee di indirizzo della SED sembrano considerare seriamente, pur con l'obiettivo di non diminuirne le capacità operative, tanto la possibilità che le Forze Armate si adattino al cambiamento climatico, quanto quella, in ottica di mitigazione, che riducano le emissioni climalteranti legate all'uso di fonti fossili⁵⁸. La SED individua tre priorità da seguire: 1) diffusione della cultura dell'efficienza energetica e adeguamento della *governance*; 2) infrastrutture, ovvero implementazione dell'efficienza energetica, diffusione delle rinnovabili e sistemi di *energy management*; 3) decarbonizzazione delle flotte (a partire dai veicoli di derivazione commerciale). Inoltre, essa indica di incrementare l'efficienza, l'efficacia e la resilienza delle infrastrutture e dei mezzi militari; di ridurre i consumi energetici, di promuovere l'impiego delle energie rinnovabili e di mantenere l'interoperabilità delle forze, anche sotto gli aspetti energetici, con i partner delle coalizioni internazionali in ambito NATO e UE; di diminuire l'onere e la vulnerabilità delle catene logistiche, con particolare attenzione ai teatri operativi (anche per aumentare la sicurezza del personale impiegato); di migliorare la resilienza energetica della Difesa, e di contribuire al raggiungimento degli obiettivi nazionali in linea con quanto previsto dalla Strategia Energetica Nazionale (pubblicata periodicamente dal Ministero dell'Ambiente e della Sicurezza Energetica⁵⁹). Un passo avanti verso una *Green Defence* autoctona è stato poi compiuto nel febbraio 2021, tramite un **accordo tra il Ministero della Difesa e l'ENEA** (Agenzia nazionale per le nuove tecnologie, l'energia e lo sviluppo economico sostenibile). Attraverso razionalizzazione dei consumi, sviluppo di fonti di energia rinnovabile (grazie anche al rinnovamento "smart" delle infrastrutture) e attività di ricerca e sviluppo, anche per tecnologie volte a produzione di idrogeno per trasporti e robotica, l'accordo prevede di aumentare in modo significativo, in linea con la SED, la sostenibilità e l'efficientamento

⁵⁷ https://www.difesa.it/SMD_/CASD/IM/CeMiSS/Pubblicazioni/ricerche/Pagine/Ricerca_AO_SMD_11.aspx

⁵⁸ Il testo della Strategia Energetica della Difesa (SED), pubblicata dal Ministero della Difesa, dotato altresì di una Task force specifica per i temi ambientali ed energetici, è liberamente accessibile al link seguente: https://www.difesa.it/Content/Struttura_progetto_energia/Pagine/default.aspx

⁵⁹ Al settembre 2023 l'edizione più recente della SEN, da non confondersi con la 'Situazione' Energetica Nazionale, è quella del 2017: <https://www.mimit.gov.it/images/stories/documenti/Testo-integrale-SEN-2017.pdf>

dell'intero comparto Difesa⁶⁰. Testimoniamo inoltre l'attenzione della Difesa italiana per il *climate change* e i suoi impatti le molteplici **attività condotte dalla Task Force Valorizzazione Immobili, Energia e Ambiente** (TF VIEA), istituita nel 2021, quindi alcuni documenti ufficiali, fra cui la **Direttiva per la Politica Militare Nazionale** (2022a, in partic. allegato Green Defence e Infrastrutture). Esempi rilevanti dell'attenzione in questione si hanno poi a livello di singola Forza Armata. Un caso è rappresentato ad es. dal programma **"Flotta verde"** avviato già dal 2013 dalla **Marina Militare**, che prevede nuove tecnologie ai fini di un trasporto marittimo meno inquinante (la Marina del resto vede il monitoraggio e la salvaguardia ambientale, in particolare dell'ambiente marittimo ed anche in base a specifici programmi UE, fra i suoi stessi compiti istituzionali⁶¹). Il progetto è articolato in tre misure specifiche: l'utilizzo di combustibili alternativi, l'implementazione di misure di *energy saving* e lo sviluppo di tecnologie di *eco-design*. In particolare, a seguito di un accordo siglato tra la Marina Militare e la società ENI, quest'ultima ha sviluppato il **Green Diesel**, un biocombustibile le cui emissioni di anidride carbonica sono circa la metà rispetto ai combustibili tradizionali (v. anche *infra*, cap. 4).

Anche l'**Aeronautica Militare** è impegnata nel rendere meno energivore le proprie attività ed infrastrutture (lavorando sull'implementazione di tecnologie e materiali di ultima generazione) e, nello stesso tempo, nel cercare di tradurre in chiave operativa il concetto di 'autonomia energetica' delle proprie basi, in particolare con la progettazione di parchi fotovoltaici volti a ridurre la dipendenza da fonti esterne. A tal fine la Forza Armata, in coordinamento con la Task Force per la Valorizzazione Immobili, l'Energia e l'Ambiente del Ministero della Difesa – nel quadro delle risorse accessibili del PNRR (Piano Nazionale di Ripresa e Resilienza) e del decreto interministeriale cosiddetto 'Bollette 2022' –, ha avviato un piano di produzione energetica da fonti rinnovabili finalizzato a massimizzare l'autoconsumo. Sul piano dell'adattamento infrastrutturale, è stato concepito il programma c.d. **'Aeroporti Azzurri'**, che insieme a 'Caserme Verdi' dell'Esercito Italiano e **'Basi Blu'** della **Marina Militare**, è componente fondamentale dei **Grandi Progetti Infrastrutturali della Difesa**, ovvero un'iniziativa che dovrebbe realizzare – da qui ai prossimi anni – un vasto piano di ammodernamento ed efficientamento delle infrastrutture strategiche delle Forze Armate. In tale contesto l'Aeronautica, sensibile e attiva rispetto al contrasto al

⁶⁰ Cfr. anche A.G. Dibenedetto (2021), *La svolta green della Difesa*, in «Natura»: <https://www.carabinieri.it/media---comunicazione/natura/la-rivista/home/tematiche/ambiente/la-svolta-green-della-difesa>; sulle iniziative intraprese dalla Difesa italiana per la transizione ecologica di strutture e mezzi militari cfr. anche: <https://temi.camera.it/leg18/temi/la-transizione-ecologica-della-difesa.html>

⁶¹ https://www.marina.difesa.it/cosa-facciamo/per-ambiente/Pagine/strategia_ambientale.aspx

cambiamento climatico anche tramite iniziative nazionali e internazionali che coinvolgono il suo Servizio Meteorologico⁶², sta cercando non solo di adeguarsi in generale agli standard ambientali previsti a livello nazionale ed europeo, ma anche di adattarsi in modo specifico e crescente in termini di standard tecnologici e infrastrutturali dei sistemi d'arma. Come in altri Paesi, uno degli ambiti in cui la forza aerea sta approfondendo sforzi significativi è quello dei carburanti alternativi a quelli fossili per l'alimentazione dei propri mezzi, in particolare nel settore dei biocarburanti (cfr. *infra*, cap. 4)⁶³.

L'**Esercito** è impegnato sul tema delle politiche ambientali almeno dal 2016⁶⁴. Anche attraverso una specifica *policy* interna di 'sviluppo conoscitivo'⁶⁵, esso mira, rispetto ad edifici e strutture, sia ad interventi di efficientamento e risparmio energetico, sia ad installare impianti di produzione di energia da fonti rinnovabili, sfruttando in particolar modo l'energia solare. La Forza Armata sembra attribuire particolare rilievo alla realizzazione del progetto '**Grandi Infrastrutture – Caserme Verdi per l'Esercito**', che prevede l'individuazione di una nuova tipologia costruttiva specifica, secondo principi di *green economy*, risparmio energetico e tutela ambientale. Il programma, sostenuto anche dall'avvio di diversi specifici progetti pilota, dovrebbe svilupparsi in un arco temporale ventennale, per un investimento complessivo di circa 1.5 miliardi di euro. In linea con documenti quali la Strategia Energetica della Difesa (2019) e il Documento programmatico previsionale della Difesa per il triennio 2020-2023, l'Esercito intende anche realizzare basi di nuova generazione che risultino efficienti, funzionali, rispondenti alle normative vigenti e ispirate a nuovi standard e criteri costruttivi (innovativi in termini di modularità, materiali, rapidità di costruzione, basso impatto ambientale e ridotti costi di manutenzione)⁶⁶. Centrale, all'interno di questa visione, il concetto di **smart military district** (distretti energetici intelligenti), nei quali sia

⁶² Cfr. ad es. le notizie riportate ai seguenti link: <https://www.meteoam.it/it/centro-meteorologia-climatologia-aerospaziale>
<https://www.aeronautica.difesa.it/2023/03/23/servizio-meteorologico-laeronautica-militare-celebra-la-giornata-meteorologica-mondiale-incontrando-i-ragazzi-delle-scuole/>
<https://www.aeronautica.difesa.it/2023/03/23/comunicato-stampa-16-2023/>
<https://www.meteoam.it/it/centro-meteorologia-climatologia-aerospaziale>

⁶³ Si veda l'articolo di L. Schinzano (2023) al seguente link: <https://www.ambienteambienti.com/aeronautica-militare-quando-lazzurro-si-veste-di-green/>

⁶⁴ Cfr. es. https://www.esercito.difesa.it/comunicazione/pagine/l-esercito-in-difesa-dell-ambiente_160422.aspx

⁶⁵ Tale *policy* ha l'obiettivo di diffondere una coscienza "energetica" nel personale, rendendolo consapevole circa i comportamenti da attuare nella routine quotidiana all'interno dei singoli compendi. A tal fine sono state anche istituite due figure di supporto: l'Energy Referent (a supporto degli enti) e l'Energy Manager (a supporto degli Organi Tecnici/ovvero di Enti particolarmente energivori), la cui formazione viene assicurata grazie anche ad una collaborazione avviata con ENEA.

⁶⁶ A tali concetti si può ricondurre anche il progetto M.I.R.R.A.A.L., ovvero 'Moduli Infrastrutturali per la Rapida Realizzazione di Alloggi e Ambienti di Lavoro, che prevede la realizzazione di strutture ed edifici coerenti con criteri antisismici, a ridotta impronta ecologica (c.d. nearly zero energy building) e ad elevate prestazioni energetiche. Cfr. es. <https://www.esercito.difesa.it/comunicazione/Pagine/Esercito-Progetto-MIRRAL-si-parte201005.aspx> antisismici, a ridotta impronta ecologica (c.d. nearly zero energy building) e ad elevate prestazioni energetiche. Cfr. es. <https://www.esercito.difesa.it/comunicazione/Pagine/Esercito-Progetto-MIRRAL-si-parte201005.aspx>

massimizzato il ricorso all'autoconsumo, e la gestione dei flussi energetici avvenga in tempo reale e in piena sicurezza, laddove questi possano essere integrabili ed interoperabili rispetto ai territori di insediamento (così da favorire lo sviluppo tecnologico delle aree interessate, anche attraendo investimenti utili a migliorarne le condizioni socio-economiche)⁶⁷. D'altra parte il **mutamento climatico** viene riconosciuto espressamente **come un elemento di minaccia all'ambiente e alla sicurezza** in diverse pubblicazioni ufficiali dell'Esercito⁶⁸, da qualche anno attento anche alla possibilità di un maggiore utilizzo delle fonti energetiche rinnovabili per le sue operazioni in Patria e all'estero⁶⁹, nonché ad aderire a iniziative nazionali e internazionali di sensibilizzazione verso la rilevanza della lotta al cambiamento climatico⁷⁰.

Infine i temi ambientali e climatici sono all'attenzione dell'**Arma dei Carabinieri**, anche perché quest'ultima è istituzionalmente preposta ad operare nei confronti di diversi fenomeni correlati con la sicurezza e la salute dell'ecosistema (ambiti verso i quali i Carabinieri negli ultimi anni hanno aumentato anche le iniziative editoriali, come mostrato ad es. da '#Natura', rivista online specifica per ambiente e territorio curata dall'Arma). Ci si riferisce per es. alle attività svolte in tal senso dalle diverse articolazioni del **CUFA** (Comando Unità Forestali, Ambientali e Agroalimentari), che opera per la tutela di foreste, biodiversità, parchi naturali, transizione ecologica e patrimonio agro-alimentare⁷¹.

Proprio la struttura in questione fra le altre cose ha avviato, di recente (maggio 2023), un **partenariato con le Nazioni Unite** per sviluppare congiuntamente programmi formativi in tema di tutela ambientale. In particolare, i Carabinieri e il Dipartimento di Supporto Operativo della Nazioni Unite (DOS) dovrebbero esplorare opportunità di collaborazione in materia di formazione, sviluppo di capacità, scambio di conoscenze, individuazione di risorse e sviluppo di iniziative di finanziamento per promuovere obiettivi comuni nei settori

⁶⁷ Sulle attività dell'Esercito in tema di contrasto al *climate change* e in favore della transizione ecologica-energetica si veda per es. il *Rapporto Esercito 2022*, in particolare alle pp. 98-105 (il documento è liberamente visionabile al link: https://www.esercito.difesa.it/Rapporto-Esercito/Documents/2022/RE22_COMPLETEO_ONLINE_A3.pdf)

⁶⁸ Cfr. ad es. lo studio dello Stato Maggiore Esercito intitolato *Future Operating Environment post 2035 – Implicazioni per lo strumento militare terrestre*, 2020, passim, liberamente scaricabile al sito: <https://www.esercito.difesa.it/comunicazione/Le-5-Sfide/Documents/FOE%20POST%202035%20-%20versione%20italiana.pdf>

⁶⁹ A riprova di questo trend ci limitiamo a citare lo studio *Le fonti energetiche alternative in supporto al comparto della Difesa. Considerazioni su come lo strumento militare terrestre possa sfruttare nuove fonti di energia nella pianificazione, condotta e gestione delle operazioni militari terrestri*, realizzato nel 2020 presso il Centro Alti Studi per la Difesa (Gruppo di lavoro 71^a sessione di Studio dell'Istituto Alti Studi per la Difesa), a favore dello Stato Maggiore dell'Esercito.

⁷⁰ <https://www.energiaenergetica.enea.it/vi-segnaliamo/italia-in-classe-a-opinion-leader-fondazione-ente-editoriale-dell-esercito-e-agenzia-nazionale-per-l-efficienza-energetica-dell-enea-insieme-per-promozione-sostenibilita-energetica-dedicata-a-nuove-generazioni.html>

⁷¹ https://www.carabinieri.it/docs/default-source/carabinieri-forestali/carabinieri-per-l-ambiente-e-la-sostenibilit%C3%A0.pdf?sfvrsn=bc421923_8

della gestione e protezione dell'ambiente⁷². Nel maggio 2023, nell'ambito delle iniziative di diplomazia finalizzate a promuovere l'impegno dell'Italia per la tutela dell'ambiente, l'Arma dei Carabinieri, sotto l'egida del Ministero della Difesa e del Ministero dell'Ambiente e della Sicurezza Energetica, con il coordinamento della Rappresentanza Permanente d'Italia presso le Nazioni Unite, la partecipazione dell'Aeronautica Militare e in collaborazione con le **aziende Leonardo e Telespazio**, ha promosso una mostra presso la sede ONU di New York sulle attività di protezione e conservazione della natura⁷³.

Anche per armonizzare ed espandere le varie iniziative in corso nel settore del cambiamento climatico, **nel 2023 la Difesa italiana ha inoltre iniziato a lavorare ad un documento di livello politico/militare specificamente dedicato al rapporto fra Forze Armate e fenomeni connessi al *climate change***. Tale documento, che dovrebbe poi essere periodicamente integrato/aggiornato ed ulteriormente declinato, dovrebbe essere funzionale tanto al mantenimento dell'efficacia operativa della componente militare nel lungo periodo, quanto a contribuire al raggiungimento dei più generali obiettivi climatici nazionali e internazionali⁷⁴. L'iniziativa in questione sembra di particolare rilievo, non solo in considerazione di quanto già fatto di analogo da altri Paesi (cfr. *supra*), ma anche perché rispetto al mutamento climatico-ambientale il comparto militare italiano, pur a fronte di progressi considerevoli, sia come settore **Difesa tout court** che come singole Forze Armate (sebbene nell'insieme più nell'efficientamento energetico del parco infrastrutturale che nello sviluppo capacitivo delle varie componenti militari), sembrerebbe aver **bisogno di un approccio più sistematico**, ad iniziare proprio dai documenti di livello strategico. Diversi di questi includono riferimenti più o meno ampi e specifici al cambiamento climatico, come ad esempio il Concetto Strategico del Capo di SMD (nell'edizione più recente del 2022 ma

⁷² <https://www.carabinieri.it/in-vostro-aiuto/informazioni/comunicati-stampa/nazioni-unite-e-arma-dei-carabinieri-collaboreranno-per-la-tutela-dell-ambiente>

⁷³ La mostra, intitolata 'Italian Biodiversity Keepers', curata e prodotta dalla società Micromegas Comunicazione dietro mandato dell'Arma, ha riguardato l'impegno dei Carabinieri nella protezione e nella conservazione della Natura, ad es. attraverso attività di sorveglianza del territorio agro-forestale del Paese, di contrasto dei reati in materia di incendi boschivi, danno ambientale, inquinamento e gestione illegale di rifiuti, commercio illegale di specie protette di flora e fauna e maltrattamento animale, nonché di gestione di 150 riserve naturali statali e aree demaniali e alla sorveglianza dei Parchi nazionali italiani. Nell'esposizione è stata presentata anche una sezione dedicata alle attività di monitoraggio e previsione delle condizioni meteo-climatiche da parte del Servizio Meteorologico dell'Aeronautica Militare. Si veda il comunicato stampa al seguente link:
<https://www.carabinieri.it/in-vostro-aiuto/informazioni/comunicati-stampa/carabinieri-italian-biodiversity-keepers>

⁷⁴ Intervista rilasciata all'autore dal Capitano di Fregata Francesco Pepe, in forza all'Ufficio Generale Innovazione Difesa (Stato Maggiore della Difesa):
https://www.difesa.it/SMD_/Staff/Sottocapo/UGID/Pagine/Centro_Innovazione_Difesa.aspx

anche in alcune delle precedenti)⁷⁵; altri viceversa, anche recenti, di pregevole fattura e di rilievo molto sostanziale, potrebbero essere considerati ancora troppo poco direttamente sensibili al *climate change* come fenomeno pregnante per la sicurezza, e più in generale alle tematiche ambientali⁷⁶. I tempi parrebbero maturi quindi per uno sforzo concettuale e operativo maggiore, più approfondito, che proprio o anche tramite il documento citato potrebbe condurre all'applicazione di una **Strategia della Difesa Italiana rispetto al Cambiamento Climatico**, ovvero all'attuazione di un quadro programmatico specifico, che vada oltre le previsioni di settore contenute nella Strategia Energetica della Difesa (SED, 2019) – peraltro forse già suscettibile di aggiornamento – e i riferimenti tematici inclusi in altri testi ufficiali.

⁷⁵ Per differenti esempi sull'impostazione delle Forze Armate italiane si possono vedere il *Libro Bianco della Difesa* (2015), il *Concetto Strategico del Capo di Stato Maggiore della Difesa* (2020, 2022), il *Documento Programmatico Pluriennale per la Difesa (2021-2023)*, *Le Linee di indirizzo strategico 2019-2034 della Marina Militare, Spazio* (dell'Aeronautica Militare), nonché il *Concetto Operativo dell'Esercito Italiano 2020 – 2035* (e *Future operating environment post 2035 – Implicazioni per lo strumento militare terrestre e Prepariamo insieme le sfide di domani*). I documenti sono liberamente accessibili tramite i seguenti siti:

https://www.difesa.it/Primo_Piano/Documents/2015/04_Aprile/LB_2015.pdf

<https://www.difesa.it/Content/Documents/20210804%20DPP%202021-2023%20-ult.pdf>

https://www.difesa.it/SMD_/CaSMD/concetto_strategico_casmd/Pagine/default.aspx

https://www.marina.difesa.it/media-cultura/editoria/marivista/Documents/supplementi/Linee_indirizzo_strategico_2019_2034.pdf

<https://www.centrostudiesercito.it/doc/CONCETTO%20OPERATIVO%20DELL'ESERCITO.pdf>

<https://www.aeronautica.difesa.it/missione/versofuturo/Pagine/AeronauticaMilitareefuturo.aspx>

<https://www.esercito.difesa.it/comunicazione/Le-5-Sfide/Pagine/default.aspx>

⁷⁶ Si pensa, fra gli altri, al documento *Esercito 4.0. Proiettati nel futuro*, curato dal rispettivo Stato Maggiore (2022), il cui unico riferimento diretto alla tematica ambientale riguarda la salvaguardia ecologica, da parte della forza armata, delle aree di ubicazione dei poligoni di tiro utilizzati per le esercitazioni (un tema indubbiamente importante, ma che avrebbe magari potuto essere contestualizzato o valorizzato in misura ulteriore se fosse stato inserito in un discorso un poco più ampio, per es. con riferimenti ad una possibile correlazione virtuosa – o quanto meno non dannosa – fra i sistemi d'arma e i mezzi di trasporto e combattimento presentati e la questione climatica (ancorché essa non costituisse certo il focus del documento). Il file in questione è al link:

<https://www.esercito.difesa.it/comunicazione/editoria/Rivista-Militare/Documents/2022/Esercito%204.0.pdf>

CAPITOLO 3

MUTAMENTO CLIMATICO E FORZE ARMATE

È bene sottolineare, in questo capitolo, come l'adattamento dello strumento militare al cambiamento climatico non sia solo un contributo di tipo etico-politico al processo di transizione ecologica-energetica in corso su scala globale, o un'azione finalizzata alla riduzione delle cause di conflitto, ma **anche un'esigenza divenuta improrogabile per finalità più squisitamente militari**. In merito occorre notare come **condizioni climatiche sempre più delicate e problemi di inquinamento**, nelle sue diverse forme, modificheranno sensibilmente **ambienti fisici e teatri operativi, in genere comportandone una complessiva degradazione**. Difatti la possibile diminuzione di fonti di sostentamento alimentare e idrico, unitamente a fenomeni di desertificazione e inaridimento, pandemie, disastri naturali, così come la progressiva scomparsa della fauna e della flora e la riduzione delle riserve di energia, potranno causare, fra le altre cose, un mutamento significativo delle operazioni militari.

3.1 IMPATTI DEI FENOMENI CLIMATICI ESTREMI PER IL SETTORE MILITARE

Eventi come **caldo estremo e ondate di calore** possono essere nocivi a più livelli per la condotta delle operazioni, potendo peggiorare in primo luogo le **performance operative** dei **militari** e metterne a rischio la stessa salute (ovvero le loro possibilità d'impiego in alcune zone e/o fasce orarie, andando così a influire non poco sulla dimensione tattica dei conflitti). Questo d'altra parte è un dato già mostrato da concrete esperienze operative in alcuni teatri di crisi, come ad es. quello iracheno. Durante la battaglia di Najaf nell'agosto 2004, i *marines* statunitensi hanno combattuto nei tunnel e in cima ai mausolei nel cimitero di Wadi al Salaam ad una temperatura di quasi 50°C, che aumentava di 10 o 15 gradi quando si stipavano nei loro veicoli da combattimento per proteggersi, con conseguenti casi di disidratazione, perdita di conoscenza ed elevato stress psico-fisico da calore intenso. **La combinazione tra sforzo fisico (dovuto al combattimento e all'attrezzatura trasportata) e temperature estreme** in alcuni casi sarebbe stata letale. Durante l'estate del 2003, almeno il 5% del personale militare americano schierato in Iraq avrebbe riportato, anche a causa del caldo, danni e disfunzioni di varia natura; tra i soldati britannici, il 15% di tutti i ricoveri sarebbero stati riconducibili ad effetti del calore⁷⁷. Negli ultimi anni una

⁷⁷ Per il quale si sarebbero avuti, fra le truppe del Regno Unito dislocate in Iraq, anche 800 decessi.

combinazione particolarmente insidiosa fra affaticamento e fenomeni di disidratazione si sarebbe verificata, nei mesi estivi, anche presso la base militare di Incirlik (Turchia), utilizzata *inter alia* come snodo logistico per alcune operazioni americane nell'area del Medio Oriente Allargato. Anche in questo caso, la causa principale delle disfunzioni subite dai soldati sarebbe imputabile al caldo estremo (che peraltro nell'area si manifesterebbe, all'interno di una medesima giornata, in maniera intermittente, talvolta arrivando, in lassi di tempo molto ristretti, ad oltre 35° gradi Celsius, rappresentando così un fattore di non facile gestione per le stesse procedure di acclimatazione studiate per il personale). Problematiche relative a temperature di caldo estremo sono emerse anche da evidenze riguardanti situazioni di **addestramento**, relative ad es. a militari cinesi, ma anche alle **Forze Armate statunitensi**, alcuni membri delle quali colpiti da malori, in alcuni casi financo letali, correlati ad **esercitazioni svolte con temperature elevate**⁷⁸. Non sembra casuale del resto che negli Stati Uniti Richard Kidd, alto funzionario del Pentagono responsabile per l'adattamento militare al mutamento climatico, abbia sostenuto nell'estate 2022 che i soldati americani dovranno essere presto dotati di equipaggiamenti refrigeranti in grado di consentirgli di operare anche con caldo estremo – sia durante le operazioni vere e proprie che in addestramento, dove d'altra parte esigenze di risparmio energetico non consentiranno, se non marginalmente, di addestrarsi al chiuso con aria condizionata (oltre al fatto che, per quanto avanzate, le tecnologie di simulazione e virtualizzazione non sempre possono sostituire esercitazioni in spazi aperti)⁷⁹. Del resto essere sprovvisti di tali dotazioni potrebbe significare non solo mettere a repentaglio la salute dei militari, ma anche perdere potenziali vantaggi tattici rispetto a forze avversarie meno adeguatamente preparate a temperature molto elevate. Il ragionamento in questione non vale solo per possibili missioni all'estero, registrandosi negli **USA**, oltre che una frequenza crescente della "Categoria 5" di calore (il livello più alto del relativo sistema di misurazione militare) in diversi siti di addestramento dell'Esercito, anche un **aumento di domanda di personale**, da parte della Guardia Nazionale, **per combattere gli incendi**. Tutto ciò aiuta a comprendere perché il Pentagono abbia chiesto, per il **2023**, investimenti per 3.1 miliardi di dollari da dedicare agli effetti del *climate change*, compresi finanziamenti per rendere equipaggiamenti e strutture più resistenti allo stress climatico (le possibili soluzioni al vaglio dei militari statunitensi

⁷⁸ In merito si veda ad es. J. Madera (2020), *Heatwaves are more than an Inconvenience – they're a National Security Risk*, in «American Security Project»: <https://www.americansecurityproject.org/heatwaves-are-more-than-an-inconvenience-theyre-a-national-security-risk/> ; cfr. anche l'articolo scientifico di Xuren Wang et al. (2021), al seguente link: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC8267788/>

⁷⁹ Si veda l'intervista a Richard Kidd al seguente link: <https://www.defenseone.com/threats/2022/08/we-need-own-heat-way-we-now-own-night-pentagon-says/376260/>

riguardano per es. vestiti e supporti in grado di sostenere il fisico umano contro umidità e calore estremi)⁸⁰.

Altro effetto nocivo delle **temperature calde estreme**, specie se perduranti, riguarda i dispositivi elettronici. Difatti temperature molto calde possono degradare **non solo le capacità di attacco e di manovra in combattimento**, ma anche la **resilienza attraverso lo spettro elettromagnetico (EMS)**. Temperature molto alte possono **incidere negativamente su comunicazioni vocali e trasmissione di immagini, accesso al cloud, intercettazione di comunicazioni nemiche, trasmissione di dati di *targeting*, tracciamento di sensori terrestri e spaziali, controllo di sciame di droni, sistemi di comando e controllo e precisione dei sistemi d'arma**. D'altra parte il caldo molto elevato può risultare deleterio provocando danni a livello di **hardware**. L'aria condizionata, i sistemi antincendio e l'elettronica dei veicoli possono risentire di malfunzionamenti. A causa di **forte caldo e salinità elevata**, i **carrier strikes groups** schierati nelle acque del Golfo Persico dalla V flotta della US Navy avrebbero subito **fenomeni di corrosione delle apparecchiature, problemi nell'ingegneria elettronica delle navi e guasti alle turbine**, mentre condizioni di caldo estremo possono diminuire anche l'affidabilità generale dei caccia **F-35** (incidendo negativamente sia sul piano delle prestazioni di volo che su quelle relative al combattimento)⁸¹.



Fig.9 - Nave portaerei Reagan, quinta flotta navale USA (2021)

Fonte: <https://www.navy.mil>

⁸⁰ <https://climateandsecurity.org/2022/05/unpacking-the-pentagons-3-1-billion-climate-request/>

⁸¹ Cfr. B. Stanley, *US Military Destabilised by Climate Change in the Middle East*, in «OrientXXI», 2021: <https://orientxxi.info/magazine/us-military-destabilised-by-climate-change-in-the-middle-east,4885>

Altri effetti deleteri delle temperature molto elevate in ambito militare sono stati evidenziati dalle **Forze Armate francesi** [*Climate and Defence Strategy*, 2022, 15]. In particolare, provocando una **maggiore evaporazione dell'acqua**, aumenti della temperatura possono comportare **coperture nuvolose più consistenti e frequenti**, con maggiori rischi di formazione di ghiaccio in quota e conseguenti problemi per la **sicurezza del volo** – il che ha sollecitato l'Agencia francese per l'Innovazione della Difesa (AID) a sostenere progetti di ricerca per lo **sviluppo di sistemi antighiaccio alternativi** e più efficienti rispetto a quelli attuali, che non potendo essere installati su velivoli leggeri di frequente utilizzo (es. UAV e *light helicopters*) possono limitarne o inibirne completamente l'impiego in determinati contesti atmosferici. D'altra parte al *global warming* sarebbe riconducibile anche un **aumento delle turbolenze in assenza di nubi o in aria limpida** (c.d. *clear air turbulence*), rilevato in particolare nei cieli fra Nord America ed Europa e, in minor misura, fra Nord America e Asia⁸². Inoltre, in **campo marittimo**, le **acque calde** contribuirebbero in modo significativo al **problema dell'accumulazione di microrganismi sugli scafi** delle imbarcazioni, potendo rallentare di conseguenza la velocità di navigazione – cosa che sta sollecitando lo studio di **nuove vernici** ad alte prestazioni in grado di rendere meno aderenti i microrganismi pur rispettando le normative europee sui biocidi per prevenire gli impatti sugli ecosistemi. In **campo terrestre**, da parte dei militari francesi è stato rilevato come caldo elevato e ambienti molto polverosi (es. Sahel) possano sottoporre alcune dotazioni a maggiori sollecitazioni in termini di usura e invecchiamento, ad esempio rispetto alle **unità di potenza ausiliaria** di alcuni veicoli, rispetto alle quali il *Ministère des Armées* starebbe vagliando sistemi alternativo-compensativi basati su **batterie a ioni di litio e meccanismi di raffreddamento** per la temperatura di stoccaggio⁸³.

Altri fenomeni legati a *global warming* e *climate change* in grado di condizionare le operazioni militari sono le **tempeste di sabbia e polvere** (SDS-Sand and Dust Storms) – riguardanti, fra le altre, la regione **MENA** (Medio Oriente e Nord Africa). Un esempio dei loro

⁸² Su scala globale, il tempo cumulativo di turbolenze durante i voli sarebbe cresciuto del 55% negli ultimi 4 decenni, e questo sarebbe in buona parte dovuto al riscaldamento globale e al cambiamento delle correnti a getto, influenzate dalla temperatura dell'aria. Semplificando, il fenomeno delle turbolenze in aria limpida (più difficilmente rilevabili e prevedibili di quelle con presenza di nubi e nuvole) sarebbe causato, in particolare, dall'incontro fra masse d'aria in movimento a velocità diverse. Oltre a potenziali danni fisico-strutturali e all'aumento nell'usura degli aeromobili, con conseguenti rischi per la sicurezza e le prestazioni di volo, le turbolenze possono comportare un maggior dispendio di carburante, con impatti negativi sul piano economico e su quello ambientale. Cfr. M.C. Prosser, P.D. Williams, G.J. Marlton, R.G. Harrison (2023), *Evidence for large increases in clear-air turbulence over the past four decades*, «Geophysical Research Letters», 50, e2023GL103814. <https://doi.org/10.1029/2023GL103814>

⁸³ Le unità di potenza ausiliaria (in inglese Auxiliary Power Units, abbrev. APUs) sono installate a bordo di veicoli militari e civili di vario tipo (convenzionali, ibridi, etc.) per la produzione di energia non direttamente utilizzata a scopo propulsivo (es. avviamento/alimentazione o compensazione dei motori principali o dei sistemi di condizionamento e/o refrigerazione o altre utenze elettriche quando il mezzo è fermo, etc.). Oltre che nel trasporto terrestre, le applicazioni delle APUs riguardano gli ambiti aereo, spaziale e navale.

effetti sui combattimenti si sono avuti in **Iraq**, quando *marines* statunitensi in manovra verso Baghdad nel marzo 2003 furono colpiti da un'enorme tempesta di polvere durata tre giorni, riducendo **la visibilità** a 10 metri e penetrando nelle parti meccaniche dei sistemi d'arma, mentre diversi elicotteri furono costretti ad atterrare (sebbene velivoli della US Air Force furono comunque in grado di operare da quote superiori). Oltre che in Iraq, le SDS hanno prodotto problemi di **malfunzionamento e inceppamento** ad **armi** come fucili M16 e carabine M4 anche in **Afghanistan**, sebbene di recente la vulnerabilità di queste armi (ed altre) a sabbia e polvere sia stata ridotta (con apposite correzioni di adattamento e riprogettazione). L'esposizione alla polvere del resto può risultare dannosa, nel lungo periodo, anche per i **motori degli aerei**, laddove in alcuni casi forti tempeste di sabbia e pulviscolo possono comunque ridurre anche la visibilità durante il volo, condizionando le rotte e la capacità di intercettare e/o colpire i bersagli, specie se in movimento (tutto questo senza contare che le tempeste in questione possono provocare non trascurabili rischi alla salute umana, come significativi traumi asmatico-polmonari)⁸⁴.

D'altra parte il **calore estremo e i suoi effetti sembrano aver amplificato la loro portata geografica ben al di là delle aree climaticamente più calde**, talvolta **riverberandosi direttamente su strutture militari**. Per es. nel luglio 2022 una forte ondata di caldo ha provocato un serio danneggiamento al manto di una pista della *Royal Air Force* nel **Regno Unito**, e contribuito a causare **incendi** che hanno interrotto attività di addestramento militare in diverse aree del Paese. Nell'agosto dello stesso anno una struttura di addestramento militare statunitense è andata in fiamme in **Germania**, probabilmente anche a causa della siccità⁸⁵. **Inoltre, senza necessariamente causare danni a persone, mezzi o strutture, temperature particolarmente elevate**, come quelle sperimentate anche in Italia nell'estate 2023, possono **comunque incidere negativamente sull'efficienza del personale in servizio e delle rispettive sedi** (fra le altre cose potendo comportare maggiori consumi di aria condizionata, di acqua, etc.).

Viceversa, fenomeni come **forti piogge e inondazioni d'acqua** in alcuni territori possono distruggere, oltre che terreni, fabbricati e raccolti, anche importanti vie di trasporto. Senza bisogno di riflettere su scenari oltreconfine, un esempio recente dei **gravi e complessi effetti dell'acqua** lo si è avuto in **Italia**, a seguito dell'alluvione accaduta in **Emilia-Romagna** nel maggio **2023**, con l'inagibilità completa o parziale di arterie di

⁸⁴ <https://orientxxi.info/magazine/us-military-destabilised-by-climate-change-in-the-middle-east,4885>

⁸⁵ <https://foreignpolicy.com/2022/09/22/militaries-climate-change-security-threats-strategy-floods-fires/>
<https://www.stripes.com/theaters/europe/2022-08-10/baumholder-wildfire-rekindles-6940872.html>

collegamento principali e secondarie (sia in ambienti urbani che in zone rurali). Chiamato insieme ad altri attori istituzionali a fronteggiare l'emergenza, l'Esercito italiano ha operato, per la rimozione di fango ed acqua e il recupero di civili rimasti isolati/intrappolati in edifici e veicoli, con propri battelli pneumatici, elicotteri e vari mezzi ruotati⁸⁶.



Fig. 10 - Mezzi e militari dell'Esercito italiano in Emilia-Romagna per l'alluvione del maggio 2023

Fonte: esercito.difesa.it

Alle difficoltà legate a queste attività si è aggiunto anche **un aumento del rischio sanitario**, legato alla possibile contaminazione delle acque stagnanti da parte di sostanze chimiche, rifiuti agricoli e industriali o reflui di tipo fognario, tanto da indurre le autorità sanitarie al rilascio di appositi vademecum circa attrezzature (es. guanti e stivali), vaccinazioni (es. antitetanica) e comportamenti (es. gestione rifiuti e contatti tattili) per ridurre i pericoli di contagio⁸⁷. **Si pensi inoltre ad uno scenario simile in un territorio più o meno lontano dalla madrepatria e già interessato da un conflitto**, laddove il ripristino della viabilità e delle comunicazioni lungo linee di collegamento e rifornimento, con il probabile e contestuale salvataggio di popolazione civile, potrebbe doversi sovrapporre ad azioni di stabilizzazione più squisitamente militari, incluse attività di carattere *combat*. In una situazione di questo tipo è molto probabile che la prontezza al combattimento sarebbe sensibilmente condizionata, potendo **forti precipitazioni e inondazioni degradare tanto le capacità di difesa quanto quelle di attacco, oltre che le capacità di manovra**. D'altra parte, un esempio di quanto possa essere condizionante un'esondazione per le attività militari è stato offerto, di recente (e sebbene si sia trattato nel caso specifico degli effetti di

⁸⁶ <https://www.esercito.difesa.it/comunicazione/Pagine/L%E2%80%99Esercito-interviene-per-l%E2%80%99emergenza-maltempo-in-Emilia-Romagna.aspx>

⁸⁷ <https://www.today.it/attualita/infezioni-vaccini-acqua-stagnante-alluvione-emilia-romagna.html>

Il rischio sanitario d'altro canto è un fenomeno associato non solo alle alluvioni, ma al cambiamento climatico più in generale, come mostrato anche dalla letteratura medico-scientifica in ambito di sanità militare: cfr. Y. Robinson et al., *Does climate change transform military medicine and defense medical support?*, in «Frontiers in Public Health», 11, 4 May 2023, 13 pp.: <https://doi.org/10.3389/fpubh.2023.1099031>

un sabotaggio intenzionale), dalla rottura della diga ucraina di Nova Kakhovka, avvenuta nel giugno 2023 nel contesto del conflitto russo-ucraino⁸⁸. Peraltro è appena il caso di ricordare come le **inondazioni possano rappresentare un pericolo anche per basi e strutture militari**. Si pensi in **particolare a quelle edificate in prossimità di aree costiere molto ventilate**. Il fenomeno assume rilevanza, quanto meno nel **lungo/lunghissimo periodo**, anche alla luce del fatto che **in non poche aree del globo il cambiamento climatico sta contribuendo ad un significativo innalzamento nel livello dei mari**. Questo riguarda **anche diverse zone del Mar Mediterraneo, incluse le coste italiane**. L'*International Panel on Climate Change* dell'ONU ha valutato che nei prossimi 80/100 anni le acque del Mediterraneo potrebbero innalzarsi, a causa principalmente del cambiamento climatico, di oltre 90 cm (con l'innalzamento del mare a livello mondiale stimato fra 60 e 95 cm), laddove negli ultimi 10 secoli il livello del Mediterraneo è salito da un minimo di 6 ad un massimo di 33 cm. Quest'ultimo dato comparativo è stato messo chiaramente in evidenza da una ricerca internazionale coordinata dall'Agenzia Nazionale per le Nuove Tecnologie, l'Energia e lo Sviluppo Economico Sostenibile (ENEA), che mostra come l'accelerazione nell'innalzamento del livello del mare sia riconducibile in larga misura al cambiamento climatico legato all'aumento della concentrazione di CO₂ in atmosfera, che negli ultimi anni avrebbe superato in modo stabile il valore di 400 ppm (un livello mai toccato negli ultimi 23 milioni di anni)⁸⁹. Lo studio dell'ENEA, pubblicato nel 2017 dalla rivista scientifica «Quaternary International» dell'editore Elsevier, è stato realizzato insieme a ricercatori dell'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia e delle Università di Roma 'La Sapienza', Bari 'Aldo Moro', Lecce, Catania, Haifa (Israele), Parigi e Marsiglia (Francia)⁹⁰.

⁸⁸ Non sembra casuale che già nel 6° libro del *Vom Kriege* l'allagamento intenzionale di territorio venisse presentato come uno dei più validi espedienti tattici per ottenere vantaggi sul piano spazio-temporale (K. Von Clausewitz, 1832, trad.it. 2000). Gli esempi non mancano: dall'allagamento belga del proprio territorio durante la Battaglia dell'Yser del 1914, alla seconda guerra sino-giapponese (1937-45), quando le forze di Chiang Kai-Shek ruppero gli argini del Fiume Giallo per tentare di bloccare l'avanzata nipponica, arrivando al conflitto tra Iran e Iraq del 1980.

⁸⁹ Una *parte per milione* (ppm) indica che per ogni milione di parti di aria, una parte è costituita da anidride carbonica. Nel 2022 la concentrazione di CO₂ in atmosfera è stata pari a 417.2 ppm, 2.1 ppm in più rispetto al 2021. [https://ollum.it/blog/emissioni/co2-ppm-atmosfera-perche-misurare-parti-per-milione/#:~:text=Una%20parte%20per%20milione%20\(ppm,in%20pi%C3%B9%20rispetto%20al%202021.](https://ollum.it/blog/emissioni/co2-ppm-atmosfera-perche-misurare-parti-per-milione/#:~:text=Una%20parte%20per%20milione%20(ppm,in%20pi%C3%B9%20rispetto%20al%202021.)

⁹⁰ Per studiare le variazioni del livello del Mediterraneo, il team di ricerca ha preso in esame 13 siti archeologici sulle coste di Italia, Spagna, Francia, Grecia e Israele, in luoghi dove venivano estratte le mole olearie, cioè le grosse pietre utilizzate per la macinazione delle olive. L'aumento più elevato è stato riscontrato in Grecia a Nea Peramos sul golfo Saronico vicino ad Atene, mentre il valore più basso è stato misurato nell'isola spagnola di Maiorca. "Questo studio – sottolinea Antonioli – è stato realizzato in aree stabili da un punto di vista tettonico, alcune anche parzialmente sommerse, coniugando scienza e archeologia". In Italia l'indagine si è concentrata in tre aree del sud – Scario (Salerno), Torre Santa Sabina, vicino Otranto (Lecce) e Punta Penne (Brindisi) – dove il livello del mare si è innalzato di circa 15 cm negli ultimi mille anni. Cfr. <https://www.today.it/ambiente/innalzamento-livello-mare-italia.html>
<https://www.enea.it/it/Stampa/news/ambiente-studio-enea-nel-mediterraneo-dimostra-netta-accelerazione-dellinnalzamento-dei-mari-nei-prossimi-100-anni>

Secondo le proiezioni ENEA diffuse successivamente (2019), in assenza di interventi di mitigazione e adattamento, entro il 2100 migliaia di chilometri quadrati di aree costiere italiane potrebbero risultare variamente sommerse. Difatti, secondo l'Agenzia, **verso la fine del secolo** l'innalzamento del mare lungo le coste italiane varierà tra 0.94 e 1.035 metri (modello cautelativo) o tra 1.31 metri e 1.45 metri (su base meno prudentiale). A questi valori bisogna aggiungere il cosiddetto **storm surge**, ossia la coesistenza di bassa pressione, onde e vento, variabile da zona a zona e che in particolari condizioni potrà determinare un ulteriore aumento (circa 1 mt) del livello del mare rispetto al litorale. Il fenomeno **dell'innalzamento del Mediterraneo** interessa tutte le **regioni italiane** bagnate dal mare, con un rischio di inondazione riguardante **fra le 3 e le 4 decine di aree costiere** (dato che d'altronde trova riscontro, almeno in parte, anche in documenti correlati al *climate change* prodotti a livello di singole regioni italiane⁹¹). In particolare, secondo l'ENEA, nei **prossimi decenni potrebbero essere esposte al rischio**: una vasta area nord-adriatica tra Trieste, Venezia e Ravenna; la foce del Pescara, del Sangro e del Tronto in Abruzzo; l'area di Lesina (Foggia) e di Taranto in Puglia; La Spezia in Liguria, tratti della Versilia, Cecina, Follonica, Piombino, Marina di Campo sull'Isola d'Elba e le aree di Grosseto e di Albinia in Toscana. Andando al Centro-Sud, ad essere minacciate risultano la piana Pontina, di Fondi e la foce del Tevere nel Lazio; la piana del Volturno e del Sele in Campania; le aree di Cagliari, Oristano, Fertilia, Orosei, Colostrai (Muravera) e di Nodigheddu, Pilo, Platamona e Valledoria (Sassari), di Porto Pollo e di Lido del Sole (Olbia), in Sardegna; Metaponto in Basilicata; Granelli (Siracusa), Noto (Siracusa), Pantano Longarini (Ragusa) e le aree di Trapani e Marsala, in Sicilia; Gioia Tauro (Reggio Calabria) e Santa Eufemia (Catanzaro), in Calabria. Sommando la superficie di 15 zone costiere fra quelle elencate (v. fig. *infra*), si arriva ad un'estensione totale del rischio di circa 5.686 chilometri quadrati, cioè una regione come la Liguria. **In assenza di misure adattive, tutto questo nel lungo periodo potrebbe iniziare ad avere ripercussioni anche su non poche aree portuali italiane, diverse delle quali peraltro utilizzate dalla Marina Militare della Repubblica.** Per l'ENEA, entro l'anno 2100 il livello del mare, nei porti del nostro Paese, sarà cresciuto di circa un metro. Con ogni probabilità, i picchi si avranno a Venezia (+1.064 metri), Napoli (+1.040 mt), Cagliari (+1.033 mt), Palermo (+1.028 mt) e Brindisi (+1.028 mt).

⁹¹ Si veda ad es. la *Strategia di Gestione Integrata per la Difesa e l'Adattamento della Costa ai Cambiamenti Climatici* (GIDAC), pubblicata nel 2022 da Regione Emilia-Romagna: https://ambiente.regione.emilia-romagna.it/it/suolo-bacino/argomenti/difesa-della-costa/gidac/gidac-dicembre-2022/strategiagidac_documento_dic22.pdf

Allagamenti e inondazioni assumono rilevanza anche rispetto a **siti ubicati in zone soggette al rischio di forti precipitazioni**. Nell'estate 2022 il Dipartimento della Difesa degli Stati Uniti ha rilasciato alcuni *warnings* circa rischi di inondazioni per il proprio personale e strutture a Seoul, quando la **Corea del Sud** ha subito le precipitazioni più intense degli ultimi 80 anni⁹². Nel settembre 2019 il porto di Duqm e la base aerea di Masirah, in **Oman**, utilizzati dalla marina e dall'aeronautica degli Stati Uniti, hanno subito inondazioni da 116 mm di pioggia e mareggiate a causa del ciclone tropicale Hikaa. La già citata base aerea **turca** di Incirlik è stata colpita nel dicembre 2019 da inondazioni improvvise che hanno lasciato il suo impianto di trattamento delle acque sotto 5 piedi d'acqua. Nel gennaio 2020 la base aerea **israeliana** di Hatzor, che ospita aerei da combattimento F-16 e collabora in esercitazioni congiunte con le forze USA di stanza nelle basi di Al Udeid e Al Dhafra (Emirati Arabi Uniti), ha avuto otto velivoli quasi sommersi da forte acqua piovana. Bisogna considerare d'altra parte che **nonostante la guerra in Ucraina**, con miliardi di dollari di aiuti militari che arrivavano a Kiev dai suoi alleati e partner, i governi di questi ultimi (e non solo) sono impegnati anche a **dispiegare le loro Forze Armate proprio per far fronte a situazioni più o meno gravi correlate agli effetti del climate change**.



Fig. 11 – Aree costiere e porti a rischio allagamento al 2100 (Fonte: ENEA, 2019)

Oltre che in Italia nel 2023, di recente, ovvero nel 2022, gravi **inondazioni** con **conseguenti interventi della componente militare** si sono avute anche in **Cina, India, Iran, Pakistan, Uganda, Emirati Arabi Uniti e USA**. Nello stesso anno, in **Polonia**, truppe militari sono state impiegate, sulle rive del fiume Oder, per smaltire migliaia di pesci morti a causa dell'aumento della temperatura dell'acqua e dell'inquinamento; in **Messico**, dopo settimane di siccità, aeroplani militari hanno cercato di **stimolare**, in modo simile a come

⁹² https://www.stripes.com/theaters/asia_pacific/2022-08-09/rains-south-korea-seoul-roads-rivers-7-dead-6924828.html

già accaduto anche negli E.A.U. e cioè con metodi ispirati alla **geoingegneria climatica** (nello specifico inseminando nuvole con ioduro d'argento e acetone), **precipitazioni piovose**⁹³; in **Svizzera**, l'esercito ha portato acqua a bestiame assetato in aridi pascoli di montagna⁹⁴. Negli ultimi dieci anni in Paesi quali **USA, Giappone, Filippine, Cina e Taiwan** il comparto militare è non di rado intervenuto in occasione di forti **tempeste di pioggia e vento associate a tifoni** – fenomeni che possono arrecare peraltro **gravi danni** a cose e persone **non solo direttamente**, ma anche indirettamente, **ovvero colpendo fisicamente**, ergo potendo comunque diminuirne le capacità di funzionamento e difesa, **infrastrutture informatiche** (civili e militari) più o meno nevralgiche per i contesti sociali⁹⁵. Nell'**agosto 2023** un **tifone (Khanun)** si è abbattuto sul **Giappone** sud-occidentale (interessando anche alcune aree di Russia e Corea del Sud), mentre in settembre un **ciclone** ('Daniel'), dopo aver attraversato con conseguenze minori Bulgaria, Turchia e Grecia, ha **colpito molto duramente un'ampia fascia costiera della Cirenaica (Libia)**, causando gravi inondazioni e migliaia di vittime (e portando l'Italia, fra gli altri Paesi, ad offrire alla Libia aiuti umanitari anche tramite il dispiegamento di mezzi militari)⁹⁶. **Fenomeni tempestosi** del resto nel **luglio precedente** hanno interessato, **pur in forma meno grave, la stessa Italia**, in particolare la Lombardia e il Veneto (con annessi un tornado, precipitazioni con chicchi di grandine dal diametro anche superiore a 8-10cm e molte migliaia di fulmini)⁹⁷.

Focus box 1 – *Cicloni, uragani e tornado*

Per '**ciclone**' si intende un violento movimento rotatorio di masse d'aria, combinato con un moto di traslazione, intorno a un centro di bassa pressione: il senso di rotazione è antiorario nell'emisfero nord e orario in quello sud, per effetto della rotazione terrestre. Il ciclone è provocato da un complesso di fenomeni atmosferici determinati dalle alte

⁹³ Con questo termine si indicano, molto in generale, i sistemi tecnologici che tentano di alterare, possibilmente su vasta scala, le condizioni meteo-climatiche, per es. iniettando determinate sostanze nelle acque o nell'atmosfera al fine di ridurre la concentrazione e gli effetti dei gas serra, o sviluppando sistemi di cattura/rimozione/trasformazione delle emissioni climalteranti in eccesso. Ancorché siano in corso su scala mondiale diversi progetti in questo settore, esso è considerato, da una parte della comunità scientifica e dell'opinione pubblica internazionale, almeno parzialmente controverso, se non controproducente (il timore è che tali tecnologie, non eliminando a monte le emissioni inquinanti, ritardino le strategie di mitigazione, potendo financo rivelarsi a loro volta nocive). Cfr. es. anche: <https://www.swissinfo.ch/ita/economia/geoingegneria-climatica-radiazione-solare-governance/47994448>

<https://www.dailystar.co.uk/news/world-news/military-jet-bombs-clouds-stimulate-27531148>

⁹⁴ Si veda l'articolo di E. Sikorsky (2022) al seguente link:

<https://foreignpolicy.com/2022/09/22/militaries-climate-change-security-threats-strategy-floods-fires/>

⁹⁵ Cfr. anche <https://www.techtarget.com/searchsecurity/feature/Where-climate-change-and-cyber-attacks-intersect>

⁹⁶ <https://www.ilmeridianone.it/2023/09/la-ribellione-della-natura-stragi-in-libia-e-marocco-oltre-5mila-vittime-dopo-inondazioni-e-terremoto/>

<https://www.protezionecivile.gov.it/comunicato-stampa/alluvione-libia-arrivata-derna-nave-san-marco/>

⁹⁷ https://www.arpalombardia.it/media/p5qpjndr/rapporto_evento_arpa_temporali_luglio_2023_web.pdf

temperature equatoriali che, in certe zone, creano centri di minima pressione e, quindi, di aspirazione. Verso tali centri convergono i venti, seguendo un moto a spirale che determina un vortice. I cicloni si distinguono in tropicali ed extra-tropicali. I **cicloni tropicali** (ai quali spetta propriamente l'appellativo di 'cicloni') sono di minore durata di quelli extratropicali, ma sono caratterizzati da **venti molto più intensi**. Gli **uragani** sono cicloni tropicali che presentano un diametro di centinaia di chilometri e si formano sugli oceani a cavallo dell'equatore. A seconda delle aree costiere dove si dirigono, prendono nomi diversi: uragano (hurricane) negli USA (da hurican o huracan, voce caraibica che designa il dio del male), tifone (typhoon) in Asia (altre possibili denominazioni sono willy-willy per l'Australia e baguyo nelle Filippine). Gli **uragani sono associati a manifestazioni ventose di eccezionale intensità**, superiori ai 119 Km/h (finché i venti si mantengono sotto tale soglia si parla difatti di 'tempeste tropicali'); la **Scala Saffir-Simpson**, dal cognome dei due scienziati statunitensi che la misero a punto nel 1969, distingue gli uragani in 5 categorie o livelli.

Cat./Liv.	Velocità m/s	Velocità nodi	Velocità Km/h	Uragani: effetti e misure di evacuazione
1 minimo	33-42.5	64-82	119-153	Danni limitati a barche, alberi, strutture mobili, insegne, tetti. Possono osservarsi limitate inondazioni nelle zone costiere, con risalite non oltre l'altezza di un metro e mezzo.
2 moderato	42.7-49.1	83-95	154-177	Danni di una certa rilevanza ad alberi e strutture mobili; impatti di lieve entità anche agli immobili (finestre, antenne, tetti); le barche rompono gli ormeggi. Nelle zone costiere si possono osservare, a partire da 2-4 ore prima del <i>landfall</i> , inondazioni con acque fino a 2.5 metri oltre il livello medio. Può richiedersi l'evacuazione dei residenti delle zone costiere più basse.
3 forte	49.4-57.7	97-112	178-208	Grandi alberi abbattuti, distruzione di strutture mobili, danni di una certa rilevanza alle case. Le basse zone costiere vengono interessate, 3/5 ore prima dell'approssimarsi del centro del ciclone, da inondazioni con acqua fino a 4 metri oltre il normale livello. Richiede l'evacuazione di residenti delle zone costiere.
4 fortissimo	58-69.7	113-136	209-251	Gravi danni agli edifici (tetto e muri portanti); alberi, cespugli, insegne e cartelli stradali vengono abbattuti. Le inondazioni delle aree costiere possono presentarsi anche 5 ore prima del <i>landfall</i> del centro del ciclone, raggiungendo altezze prossime a 6 metri oltre il livello medio. Evacuazioni dei residenti delle zone costiere.

5 disastroso	> 70	> 137	> 252	Danni gravissimi agli edifici, che possono anche portare al loro abbattimento; completa distruzione di tutte le strutture mobili e completo abbattimento di alberi, insegne, cartelli stradali. Estese inondazioni nelle zone costiere, che possono superare l'altezza di 6 metri oltre il livello normale; si richiede perciò l'evacuazione massiva di tutti i residenti delle zone costiere.
-----------------	------	-------	-------	--

Con il termine **tornado** si intende invece una perturbazione atmosferica del tipo delle **trombe d'aria**, ovvero fenomeni ventosi dal moto rotatorio che possono formarsi, semplificando, da particolari interazioni fra aria umida e calda al suolo con aria più fredda in alta quota e venti con direzioni e velocità diverse⁹⁸. Caratteristica distintiva dei **tornado** è, oltre all'intensità del vento, la **ristrettezza dell'area ventosa in rotazione**, di qualche decina o al massimo di qualche centinaio di metri quadrati (sebbene il loro raggio d'azione, in termini di spostamento ed effetti, possa essere di alcuni chilometri, con una pressione sugli oggetti a terra fino ad una tonnellata per metro quadro). I tornado presentano una velocità media di circa 50 km/h (seppure alcune trombe d'aria abbiano registrato venti di alcune centinaia di chilometri orari); la durata del passaggio in genere è nell'ordine di pochi secondi. Essi sono relativamente frequenti, fra le altre aree geografiche, nell'America centrale e settentrionale, ad est delle Montagne Rocciose, e, pur con minore intensità, nella stessa **Italia**. Le trombe d'aria possono verificarsi anche sui mari, per cui si parla in tal caso di **trombe marine**; esse tendono a presentare, pur con possibili eccezioni, una violenza inferiore rispetto a quelle sulla terraferma. **In Italia** il fenomeno dei **tornado** può verificarsi in particolare in Lombardia, Veneto, Friuli-Venezia Giulia, Emilia-Romagna, Puglia, Sicilia e, forse con maggior frequenza e minore intensità, lungo

⁹⁸ In sostanza l'aria calda dei venti di bassa quota sale verso l'alto mentre l'aria fredda dei venti di alta quota scende, creando un cilindro d'aria rotante parallelo al suolo. Le correnti calde ascendenti, il cui moto rotatorio è accentuato da venti laterali, tendono a spingere verso l'alto un'estremità del cilindro, che sollevandosi continua a ruotare con l'asse perpendicolare al suolo. In Italia, i venti caldi e umidi provenienti da sud scorrono, negli strati bassi dell'atmosfera (cioè tra 0 e 1.000 m), al di sotto di venti freddi e secchi presenti in quota (fino a 5.000 metri) e provenienti da nord, nord-ovest.

le coste tirreniche (sebbene in ognuna di queste aree il rischio tenda a cambiare con il variare delle stagioni)⁹⁹.

Tra 2021 e 2023, in diverse nazioni europee, le **Forze Armate** sono state dispiegate, insieme ad attori come Protezione Civile e Vigili del Fuoco, per **combattere intensi ed estesi incendi** (nell'insieme correlati, è appena il caso di ricordarlo, non solo a roghi colposi o dolosi, ma anche a siccità e caldo estremo). Tali fenomeni del resto erano stati già piuttosto frequenti negli anni precedenti, arrivando a rappresentare, fra 2007 e 2020, il 70% degli eventi emergenziali civili affrontati in modo congiunto da Paesi UE – precedendo, in ordine, alluvioni (10%), incidenti tecnologici (9%), eventi meteo estremi (7%) e terremoti (4%)¹⁰⁰. In Grecia, nell'estate 2022, l'Hellenic Air Force ha dovuto contribuire a spegnere incendi sei volte più grandi di quelli accaduti nel Paese nell'ultimo decennio; la medesima estate e quella successiva il fenomeno degli incendi ha colpito anche **Francia e Italia**, laddove i due Paesi hanno visto anche l'intervento di mezzi militari (aerei nel primo caso ed elicotteri nel secondo) con specifiche dotazioni ad acqua¹⁰¹ (in Italia nell'estate 2023 risorse militari sono state impiegate anche per agevolare il ripristino delle operazioni di volo in aeroporti civili danneggiati da incendi¹⁰²). Rileva peraltro che, durante le estati del 2022 e 2023, alcuni Stati europei abbiano visto **coesistere emergenze dovute ai roghi con situazioni critiche connesse a forti precipitazioni e maltempo** – come la stessa Italia nel luglio 2023, dove questi ultimi fenomeni inducevano a valutare l'adozione dello stato di

⁹⁹ La Lombardia sarebbe a rischio nel periodo che va da giugno a ottobre, con un picco ad agosto; il Friuli e il Veneto da giugno a novembre con un picco a settembre; l'Emilia-Romagna da aprile ad agosto; in Puglia il massimo del rischio sarebbe a ottobre; in Sicilia a novembre. Infine, sulla costa del basso Tirreno la massima probabilità di tornado si avrebbe in ottobre e novembre, mentre nell'alta Toscana e in Liguria da giugno a dicembre. Le differenze tra regione e regione sono determinate dalle diverse condizioni in cui si formano i tornado; sul versante tirrenico le infiltrazioni di aria in quota non sono abbastanza secche e dunque i tornado sono più deboli. Nelle altre zone invece le trombe d'aria si formano quando i venti freddi dell'arco alpino si scontrano con le correnti calde che si sono arricchite di umidità scorrendo lungo l'Adriatico. In Sicilia e in Calabria le correnti calde arrivano invece dall'Africa e quelle fredde da nord-ovest, e il contrasto nella temperatura e nell'umidità tra i venti è massimo. V. gli articoli ai siti:
<https://www.focus.it/ambiente/natura/che-differenza-ce-tra-ciclone-uragano-e-tornado>
<https://www.focus.it/ambiente/natura/tromba-d-aria-sul-veneto>
<https://www.focus.it/ambiente/natura/tornado-e-trombe-d-aria-in-italia>

¹⁰⁰ R. Tavares da Costa – E. Krausmann (2021), p. 8.

¹⁰¹ Per la stagione estiva 2022, la flotta antincendio italiana nel suo massimo impiego è stata composta da 34 aeromobili – di cui 24 del Corpo Nazionale dei Vigili del Fuoco (15 Canadair, 4 elicotteri Erickson S64F e 5 elicotteri AB-412) e 10 elicotteri delle Forze Armate (5 elicotteri AB412 EI, 2 elicotteri HH139 AM, 1 elicottero AB212 MM, 2 elicotteri NH-500 dell'Arma dei Carabinieri). Nell'estate 2023 gli elicotteri delle FFAA italiane impiegati in funzione antincendio sul territorio nazionale (in particolare centro-sud e isole) sono arrivati a 12 (6 dell'Esercito, 3 dell'Aeronautica, 1 della Marina e 2 dei Carabinieri).

<https://www.protezionecivile.gov.it/en/comunicato-stampa/incendi-boschivi-conclusa-la-campagna-estiva-2022/>
https://www.difesa.it/SMD_/Eventi/Pagine/Difesa_elicotteri_delle_Forze_Armate_per_l_emergenza_incendi.aspx

¹⁰² <https://www.wetravel.biz/2023/07/28/la-soluzione-che-poteva-evitare-il-caos-a-catania/>

emergenza in Abruzzo, Emilia-Romagna, Lombardia, Marche e Molise, mentre in Sicilia, Calabria e Sardegna divampavano forti incendi¹⁰³.



Fig. 12 – Vasto incendio in Italia - area di Vicari (PA), agosto 2021 -(fonte: Aeronautica Militare italiana)¹⁰⁴

A più riprese nel 2022 Janez Lenarčič, Commissario europeo per la gestione delle crisi, ha osservato come il **rischio di incendi possa mettere a dura prova le capacità di risposta dell'UE** anche per possibili richieste di supporto simultaneo da più membri dell'Unione (con alcuni Paesi che possono dover richiedere aiuti mentre li stanno già offrendo ad altri); anche per questo il Commissario ha auspicato, al principio del 2023 e in previsione dell'estate successiva, una duplicazione della **flotta aerea antincendio** (civile e militare) a disposizione dell'UE – laddove come osservato altri gravi ed estesi incendi si sarebbero poi puntualmente verificati nell'estate 2023, quando la flotta in questione ha raggiunto i 28 velivoli¹⁰⁵. Impatti molto pesanti, incluse evacuazioni di massa, si sono avuti, fra le altre, in diverse località greche (fra cui Rodi e Corfù), con interventi e/o mezzi antincendio a supporto di Atene provenienti da Francia, Bulgaria, Croazia, Malta, Italia, Polonia, Romania, Slovacchia e Repubblica Ceca, nonché dalla vicina **Turchia** – a sua volta

¹⁰³ https://www.tgcom24.mediaset.it/cronaca/sicilia-incendi-palermo-catania-taormina-morti-sfollati_67619760-202302k.shtml?refresh_cens https://www.ansa.it/sardegna/notizie/2023/07/22/incendio-in-campagne-serri-arrivano-anche-due-canadair_1020567e-0972-48d1-9767-4408237fd6f0.html

¹⁰⁴ Immagine scattata dall'equipaggio di un elicottero HH-139B dell'82° Centro C.S.A.R. (Trapani) dell'Aeronautica Militare, intervenuto (in collaborazione con aerei della Protezione Civile e due elicotteri privati) in funzione antincendio (effettuando 8 ore di volo e 51 scarichi di acqua, per oltre 40.000 litri sganciati). L'82° Centro Combat Search and Rescue è uno dei Reparti del 15° Stormo dell'Aeronautica Militare per la ricerca e il soccorso degli equipaggi di volo in difficoltà, concorrendo, inoltre, ad attività di pubblica utilità quali la ricerca di dispersi in mare o in montagna, il trasporto sanitario d'urgenza di ammalati in pericolo di vita ed il soccorso di traumatizzati gravi, operando anche in condizioni meteorologiche estreme. Dal 2018, il Reparto ha acquisito la capacità AIB (Antincendi Boschivi). https://www.difesa.it/OperazioniMilitari/NazionaliInCorso/news/notizie/Pagine/AIB_2021_Elicottero_dell_Aeronautica_Militare_interviene_per_domare_incendio_a_Vicari.aspx

¹⁰⁵ <https://it.euronews.com/my-europe/2023/01/11/prevenire-e-meglio-che-curare-leuropa-si-prepara-agli-incendi-del-2023> - <https://www.cdt.ch/news/mondo/incendi-boschivi-in-europa-lestate-2023-tra-calamita-e-solidarieta-323303>

interessata nel 2023 da **diverse scosse sismiche** e conseguenti interventi da parte di forze militari nazionali ed estere, incluse quelle italiane¹⁰⁶. Nell'estate 2022 gravi incendi, con conseguente mobilitazione della componente militare, si sono avuti anche in **Algeria**, mentre in **Inghilterra**, nello stesso periodo, l'aumento delle temperature sarebbe stato corresponsabile di una quadruplicazione nel numero di roghi (rispetto all'estate 2021)¹⁰⁷.

La tabella riportata di seguito, basata su evidenze raccolte in una recente ricerca pubblicata dalla Commissione Europea, riguarda specifici casi studio circa **danni diretti e indiretti subiti** negli ultimi decenni **dalle Forze Armate a causa del *climate change***¹⁰⁸.

Temper. estreme	Inon. costiere	Esond. fluviali	Siccità	Cicloni	Allag. improv.	Fulmini	Frane per pioggia	Sciogl. permafrost
Cipro, Iraq (caldo) USA (freddo)	USA	USA	USA	USA	Egitto	USA	Vietnam	Russia

Tab. 2 – *Country case studies* su danni subiti dal settore militare per il *climate change*
(Fonte: elabor. autore da R. Tavares da Costa – E. Krausmann, 2021)

Tali danni hanno riguardato strutture, armi ed equipaggiamenti, ma in diverse circostanze anche la stessa incolumità del personale. Pur in diversa misura, le **conseguenze** sono state **molto significative**, oltre che sul **livello di operatività** delle strutture interessate (con rallentamenti e/o riduzioni delle attività), sotto il profilo dei **costi** economici. **Elemento comune**, in quasi tutti i casi considerati, non solo l'origine naturale dei fenomeni alla base degli eventi critici, ma anche il concorso del fattore umano, ovvero l'assenza di adeguate misure preventive, nonché di piani reazione e contrasto sufficientemente specifici ed efficaci. In altri termini, **mancando un adeguato assessment del rischio climatico, sarebbero mancate di conseguenza le misure necessarie per mitigare, governare e gestire** i suoi potenziali effetti¹⁰⁹.

¹⁰⁶ Al 24 luglio 2023 in Grecia risultavano attivi più di 80 incendi, oltre 60 dei quali iniziati il giorno precedente, uno dei più caldi dell'estate. <https://tg24.sky.it/mondo/2023/07/24/incendi-rodii-corfu-grecia>
Cfr. anche https://www.difesa.it/Primo_Piano/Pagine/Terremoto-arrivata-in-Turchia-Nave-San-Marco.aspx

¹⁰⁷ <https://it.euronews.com/2022/08/18/gli-incendi-boschivi-in-algeria-hanno-causato-decine-di-vittime>
<https://www.telegraph.co.uk/news/2022/12/30/summer-wildfires-england-almost-quadrupled-2022/>

¹⁰⁸ Per approfondimenti cfr. Tavares da Costa R., Krausmann E. (2021), *Impacts of Natural Hazards and Climate Change on EU Security and Defence*, European Commission Joint Research Centre, pp. 34-63. Disponibile al sito: <https://publications.jrc.ec.europa.eu/repository/handle/JRC126315>

¹⁰⁹ *Ibidem*.



Fig. 13 – Container di armi in base navale NATO a Cipro ed effetti del caldo* (2011) (Ibidem, p. 34)

Una settimana dopo lo scatto fotografico soprastante, risalente al luglio 2011, alcuni container di armi ubicati nella base presero fuoco ed esplosero a causa di processi di *self-ignition* legati a reazioni chimiche connesse con rapidi aumenti di temperatura atmosferica e alta umidità, ma favoriti in modo decisivo da errori umani relativi al posizionamento e alla gestione dei depositi (es. lentezza/inadeguatezza nello smaltimento di sostanze pericolose, sovraesposizione di determinati materiali ai raggi solari - con carenze di ventilazione/refrigerazione -, sottostima indicatori di allarme relativi ad effetti fisici del calore, etc.). Oltre ad un ingente costo umano (13 morti e 62 feriti fra il personale della base), l'incidente sortì effetti anche su vicine infrastrutture non militari, per costi totali stimati in 3 miliardi di dollari (e conseguenze anche in termini di tagli alla spesa pubblica, proteste sociali, ripercussioni politiche, etc.)



Fig. 14 – Immagini satellitari comparative fiume statunitense Platte e base aerea di Offutt (Ibidem, p. 46) [condizioni normali (2018) vs. stato di esondazione (2019)]

Nel 2019 l'esondazione del fiume Missouri, in particolare del suo affluente Platte, provocò danni ingenti ad alcune installazioni militari nello stato del Nebraska, fra cui la base aerea di Offutt (la cui area sudorientale fu pressoché integralmente inondata dall'acqua, sebbene le procedure di evacuazione di uomini e mezzi e le barriere erette contestualmente a difesa del perimetro della base riuscirono, pur solo in parte, a limitare i danni (i cui costi si aggirarono intorno ai 650 milioni di dollari).



Fig. 15 – US Marines, Camp Pendelton Base, California (Ibidem, p. 51)

La base nel corso degli anni ha dovuto far fronte a periodi di siccità e carenze idriche che hanno impattato su varie attività, per poi indurre nuovi sistemi di conservazione dell'acqua e nuovi canali di rifornimento



Fig. 16 – Laughlin US Air Force Base (Nevada) [Tavares da Costa et al. (2023, p. 29)]

Maltempo, freddo e neve possono limitare, o financo bloccare, le attività di volo da e per le basi aeree, impattando su velivoli, piste di decollo/atterraggio e sui vari sistemi/dispositivi di supporto al traffico e alla navigazione aerea.

Altri fenomeni legati al cambiamento climatico che nei prossimi lustri potrebbero verificarsi con maggiore frequenza, o ampliare il loro spettro geografico, sono i **terremoti**, le **eruzioni vulcaniche**, gli **tsunami** e gli **eventi metereologici spaziali** (tempeste geomagnetiche, tempeste di radiazioni solari ed emissioni radio). Sebbene come gli uragani tali fenomeni nell'insieme possano considerarsi, se paragonati a caldo estremo, incendi, piogge alluvionali o siccità, **meno frequenti** e con una **correlazione empirica al *climate change* meno evidente** (v. anche figura sotto), e comunque meno diffusi sul piano territoriale/planetario, è evidente come i loro **effetti possano essere particolarmente distruttivi**, sia in generale che rispetto agli stessi apparati militari. Ciò non solo per il loro possibile impatto fisico o diretto su infrastrutture, mezzi e personale, ma anche per lo sforzo economico e organizzativo che richiederebbero alle Forze Armate in chiave di interventi operativo-emergenziali a favore della collettività (come già sperimentato d'altro canto dagli stessi militari italiani durante i fenomeni sismici del Centro Italia nel 2009 e 2016-2017, e

come ipotizzato del resto in con lo scenario nel contesto dell'esercitazione 'Sisma dello Stretto 2022'¹¹⁰).

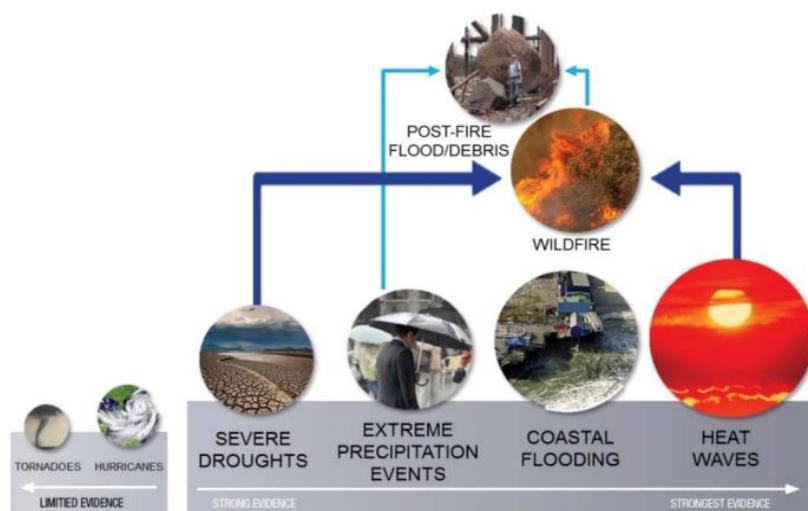


Fig. 17 – Relaz. *climate change*-fenomeni meteo estremi: tipi ordinati di evidenza empirica - (Fonte: R. Tavares da Costa – E. Krausmann, 2021, p. 7)

Esempi particolarmente emblematici di fenomeni di questo tipo si sono verificati, colpendo le stesse Forze Armate e/o richiedendone l'intervento a sostegno della popolazione civile, ai danni di Paesi quali gli Stati Uniti e il Marocco (terremoti), le Filippine (gravi eruzioni vulcaniche), l'India (tsunami) e il Vietnam (tempeste solari)¹¹¹.

3.2 IMPLICAZIONI E POSSIBILI MISURE DI ADATTAMENTO

Il quadro soprastante contribuisce a spiegare perché nell'ambito delle Forze Armate di diversi Paesi, negli ultimi anni, non siano mancate riflessioni più o meno specifiche sulla necessità di *policies* e comportamenti più sostenibili, ovvero di una *governance* ambientale-energetica ispirata da strategie di **adattamento e mitigazione** dello strumento militare verso alcuni dei principali effetti legati a *global warming* e *climate change*. Tuttavia, in considerazione della gravità dei fenomeni e della loro vasta portata geografica, sembrerebbe necessario potenziare ulteriormente le iniziative in questione, anche per salvaguardare le stesse Forze Armate dagli effetti dei mutamenti climatici. Come ben

¹¹⁰ Si è tenuta nel novembre 2022 con la guida del Dipartimento della Protezione Civile e con anche la partecipazione di assetti e personale delle FFAA e altri enti dello Stato, al fine di simulare uno scenario di reazione a evento sismico fra Calabria e Sicilia (area notoriamente interessata dal rischio terremoti, dove nel gennaio 1975 si verificò un evento sismico di magnitudo 4.7ML).
https://www.difesa.it/SMD/_Eventi/Pagine/Difesa_Forza_Armate_partecipano_esercitazione_Sisma_dello_Stretto_2022.aspx

¹¹¹ Per approfondimenti cfr. Ibidem, pp. 64 – 71 (il terremoto statunitense cui si fa riferimento è quello del 2019 in California); sul terremoto del settembre 2023 in Marocco: <https://www.ilmeridianonews.it/2023/09/la-ribellione-della-natura-stragi-in-libia-e-marocco-oltre-5mila-vittime-dopo-inondazioni-e-terremoto/>

evidenziato da un recente studio della RAND Corporation (2023), per quanto **il comparto militare non sarà il solo attore a dover far fronte alle minacce climatiche, e pur dovendo evitare il rischio, sul piano operativo, di una sovraesposizione** che distolga risorse necessarie ad altre attività, o che rischi di sortire effetti controproducenti in termini di stabilità e sicurezza¹¹², è **molto probabile che nei prossimi lustri gli effetti del *climate change* comporteranno un aumento delle operazioni di tipo HADR (Humanitarian Assistance and Disaster Relief) e MACA (Military Aid to Civilian Authorities)**. Tale incremento, che evidentemente causerà pressioni significative sia in termini di risorse umane che di mezzi e logistica, potrà riguardare, in modo particolare, le Forze Armate di quei Paesi ad alta proiezione geopolitico-economica, ovvero non solo essi stessi variamente ubicati, sul piano territoriale, in aree soggette a rischi climatici, ma anche caratterizzati da alti livelli di interdipendenza politica ed economico-commerciale con Stati più o meno vicini e verso cui potrebbero rendersi necessarie attività di supporto contro disastri naturali o fenomeni ambientali estremi. Si pensi in tal senso **alla stessa Italia**, i cui rapporti diplomatici e geoeconomici vanno ben al di là dell'ambito europeo, con profonde estensioni verso la sponda meridionale dell'intera area del **Mediterraneo Allargato**, e il cui territorio negli ultimi due decenni sarebbe stato interessato da un aumento del rischio di eventi naturali estremi del 9%, laddove il Paese del resto non è certo immune da fenomeni potenzialmente connessi al cambiamento climatico – si deve pensare soprattutto a variazioni di temperatura (in particolare a rialzo), alterazioni delle precipitazioni (diminuzione di frequenza ma aumento dell'intensità), dissesto idrogeologico, incendi boschivi, possibili carenze idriche (quantitative e qualitative e specie in estate) e innalzamento nel livello dei mari, quindi a tutte le possibili conseguenze sul tessuto socio-economico nazionale, con rischi complessivi ancora superiori nelle aree agricole e rurali e nel centro-sud, ma con una esposizione significativa anche delle aree urbane e del centro-nord¹¹³.

¹¹² Può essere il caso di interventi in zone dove la percezione di determinate Forze Armate da parte di certe popolazioni locali sarebbe in ogni caso molto negativa, o in aree più o meno *contested* (si pensi a es. all'Artico) e già caratterizzate da una significativa densità militare internazionale (laddove potrebbe essere più prudente e opportuno inviare dotazioni/risorse civili, o eventualmente mezzi militari dal potenziale marziale limitato, come a es. talune unità delle Guardie Costiere).

¹¹³ Recenti stime del futuro costo del *climate change* sul PIL pro-capite italiano variano da un minimo dello 0.5% ad un massimo del 7.5%, laddove la temperatura media annua del Paese sarebbe salita, negli ultimi 100 anni e accelerando soprattutto negli ultimi 50, di 1°C (poco più della rispettiva media mondiale, quando di qui al 2100 potrebbe crescere ancora). Per approfondimenti sugli effetti del *climate change* in Italia cfr. i report ai siti:
https://www.cmcc.it/wp-content/uploads/2020/09/en_EXECUTIVE_SUMMARY_CMCC_climate_RISK_in_ITALY.pdf
<https://www.iea.org/articles/italy-climate-resilience-policy-indicator>

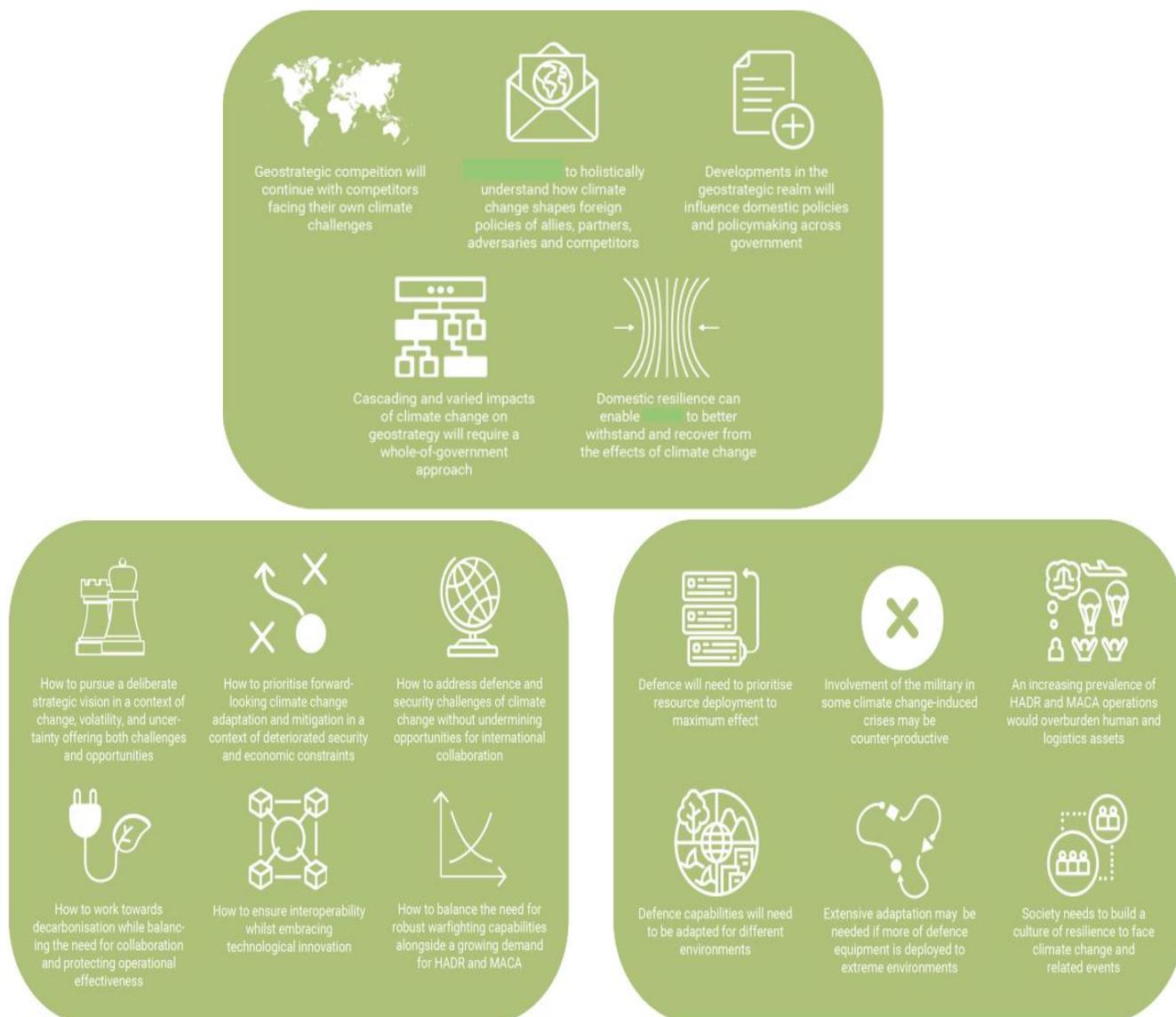


Fig. 18 – Alcune implicazioni strategiche e militari del *climate change* - [ad. da Bellasio et al., RAND (2023)]

Le tesi in questione d'altronde sembrano coerenti con quanto evidenziato da **recenti studi pubblicati dal Joint Research Centre della Commissione Europea (2021, 2023)** e dall'Agencia Europea per la difesa. Questa letteratura, basata soprattutto ma non solo su casi empirici riguardanti Stati Uniti ed Europa negli ultimi decenni, mette in evidenza come **il cambiamento climatico minacci a più livelli le risorse, le capacità e le operazioni militari** (sovente sovrapponendosi a vari tipi di minacce ibride¹¹⁴). In particolare il comparto militare può essere colpito dagli effetti del *climate change* sia **in modo diretto**, ad es. tramite disastri naturali che colpiscono sue basi e strutture, sia in **via indiretta, ovvero a causa**

¹¹⁴ Sull'inquadramento delle minacce ibride in chiave UE si vedano gli studi pubblicati dal Joint Research Centre, reperibili al sito: <https://publications.jrc.ec.europa.eu/repository/search?query=hybrid%20threats&sort=relevance>

della sua dipendenza operativa da attori e/o strutture esterne alla Difesa – come aziende ed altre entità civili, a loro volta non di rado non adeguatamente protette dai rischi climatici. Proprio quest'ultima fattispecie si mostra, secondo gli studi in questione, **particolarmente insidiosa**, giacché sovente riguarda mezzi e infrastrutture critico-strategiche fondamentali (in generale e per il settore militare), legate all'approvvigionamento idrico, alle forniture energetiche, ai trasporti e alle comunicazioni, ovvero ambiti rispetto ai quali le Forze Armate tendono a non avere, sul loro stesso territorio nazionale come all'esterno, né piena autonomia né pieno controllo (e rispetto ai quali i danni legati al *climate change* potrebbero, nello spazio UE, decuplicarsi entro la fine del secolo). Ovvero i rischi climatici possono colpire anche entità civili/infrastrutture critiche che forniscono energia o altri beni essenziali ai militari (ad esempio l'elettricità per alimentare i sistemi o il carburante per il trasporto, indispensabili per mantenere la prontezza e l'efficacia operativa). Fra tutti i settori critici **sarebbe particolarmente a rischio quello relativo alla produzione e distribuzione di energia**, minacciato, fra gli altri fattori, dalla siccità (che a es. colpisce l'energia idroelettrica e l'acqua di raffreddamento per le centrali termiche), dal rischio di gravi incendi e da tempeste atmosferiche e marittime (ovvero fenomeni che nel loro insieme possono risultare lesivi per le infrastrutture energetiche sia a livello on-shore che sul piano off-shore). In ottica di **lungo e lunghissimo periodo la minaccia riguarda soprattutto gli impianti e le reti basati sullo sfruttamento delle energie rinnovabili, ma nel breve e medio periodo essa sarebbe impellente anche – se non soprattutto – per le strutture relative ai combustibili fossili** (tanto da arrivare a riguardare, su scala globale, circa il 40% dell'equivalente delle riserve di petrolio e gas). Quest'ultimo dato sembra assumere rilievo non solo perché la maggior parte dell'approvvigionamento energetico di carattere militare è ancora fondato su fonti idrocarburiche, ma anche perché, come già osservato, su queste stesse fonti si basa tuttora la larga maggior parte dei consumi energetici mondiali (laddove le Forze Armate sono peraltro non di rado deputate, come nel caso italiano rispetto a vari scenari mediterranei, alla salvaguardia e protezione di strutture produttive e linee di rifornimento già interessate da minacce antropiche legate a fattori quali conflitti armati, terrorismo, violenza politica, traffici criminali, etc.). **In prospettiva tali considerazioni valgono per il petrolio ma soprattutto per il gas naturale**, dato che nei prossimi lustri e fino a metà secolo il secondo dovrebbe calare, secondo le varie stime e i programmi nazionali e internazionali di transizione energetica, di meno e con minor velocità rispetto al primo (per certi versi ancora più flessibile e versatile, ma indubabilmente più inquinante), mentre **in non pochi Paesi fra i consumatori connessi ad una rete distributiva di gas**

vi è non di rado una struttura militare, e laddove esso in diversi Stati del mondo – fra cui l'Italia dal 2017– ha già sorpassato da alcuni anni il petrolio come principale voce del mix energetico nazionale¹¹⁵.

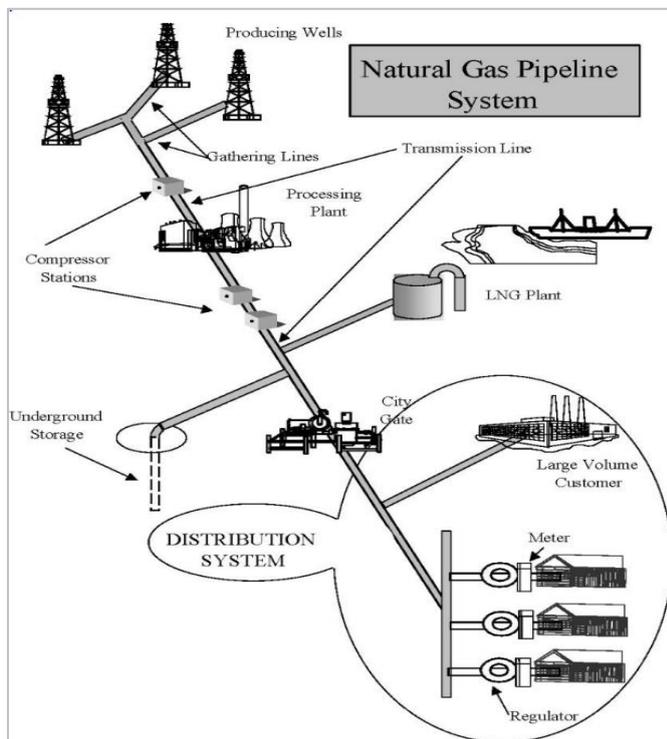


Fig.19 – Illustrazione di un gas pipeline network (fonte: Tavares da Costa, Krausmann, 2021, p. 28)

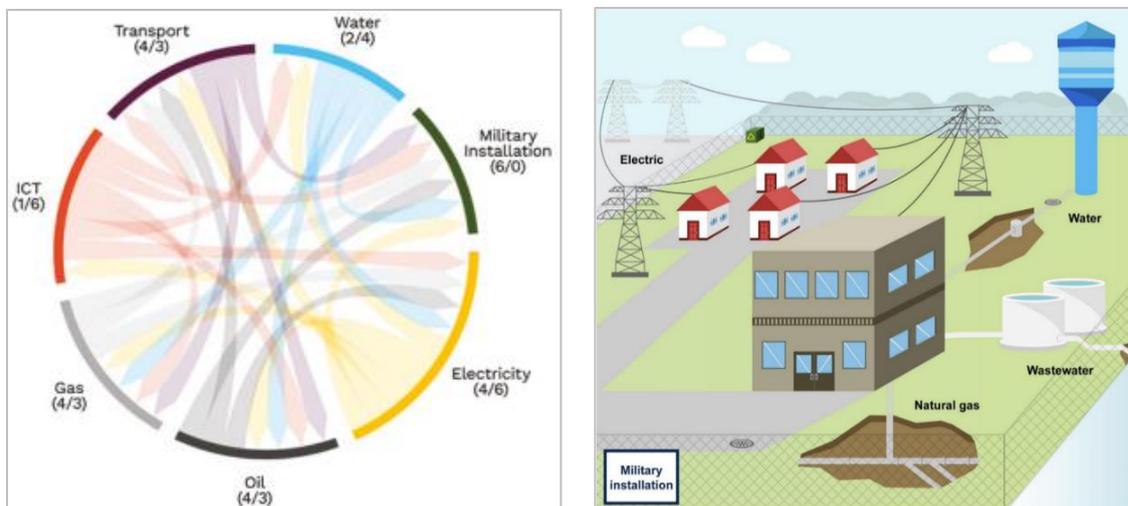


Fig. 20 – Connessioni fra strutture militari e settori essenziali - (fra parentesi il rapporto fra input ricevuti e output forniti) - (fonte: R. Tavares da Costa et al., 2023, pp. 17-18)

¹¹⁵ Secondo dati pubblicati nel 2022, in Italia il gas naturale risponderebbe a circa il 40% del fabbisogno energetico complessivo, seguito da petrolio (~33%), rinnovabili (~20%), carbone e altre (~7%). Su questi aspetti, e per quanto riguarda i trend futuri circa idrocarburi e fonti alternative alle risorse fossili, nonché sul ruolo delle Forze Armate italiane rispetto alla questione energetica, ci permettiamo di rimandare a S. Pasquazzi, *La sicurezza energetica nazionale. La strategia italiana di approvvigionamento dei prossimi 20 anni*, cit. https://www.difesa.it/SMD_/CASD/IM/CeMiSS/DocumentiVis/Ricerche_da_publicare/Pubblicate_nel_2023/Pasquazzi_AR_SMD_01.pdf

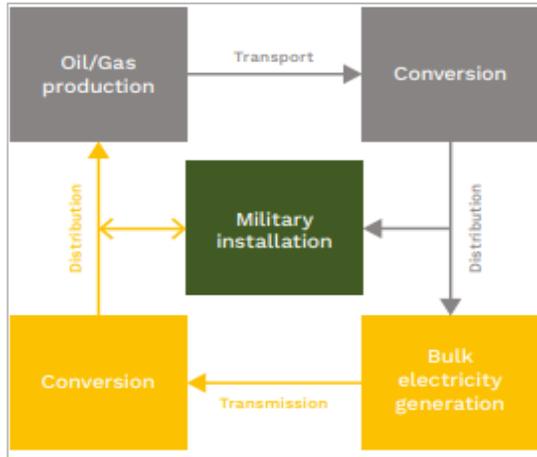


Fig. 21 – Connessioni fra strutture militari e infrastrutture energetiche (Ibidem)

In aggiunta agli eventi che possono danneggiare le risorse militari e le loro condizioni operative, nonché aumentare i rischi per la salute e la sicurezza del personale, **i cambiamenti climatici comporterebbero costi più elevati per l'ispezione, la manutenzione, la riparazione e la revisione delle infrastrutture.**

Al fine di migliorare la preparazione degli apparati militari dell'UE rispetto ai rischi climatici, gli studi in questione suggeriscono, coerentemente con la **EU Climate and Defence Roadmap (2022)** e gli altri documenti europei relativi ad ambiente, clima ed energia, non solo di investire maggiormente nell'uso delle energie rinnovabili, ma anche una serie piuttosto dettagliata di **misure di adattamento al *climate change***. Queste ultime prevedono, anche nell'ottica di una **maggiore cooperazione fra Forze Armate e operatori di infrastrutture critiche**, raccomandazioni volte a facilitare la resilienza climatica e l'ecologizzazione di tutti gli aspetti della difesa, concentrandosi sulla dimensione operativa, la pianificazione e lo sviluppo delle capacità, la *governance*, l'impegno multilaterale e la ricerca, lo sviluppo e l'innovazione.

Le **misure adattive** in oggetto si distinguono in tre tipi: **strutturali**, ovvero pertinenti crisi e criteri tecnici riguardanti la progettazione e l'edificazione stessa delle infrastrutture; **non strutturali**, cioè relative piuttosto ad una serie di azioni comportamentali/gestionali complementari alle prime; **nature-based**, non sempre possibili e che sembrano in sostanza una variante delle misure non strutturali, basata però in modo specifico sulle opportunità offerte dall'ambiente naturale (per approfondimenti sui vari tipi si rimanda alle tabelle allegare più avanti).

I comparti militari dovrebbero dunque **proseguire convintamente sulla strada dell'adattamento al cambiamento climatico**. Per quanto riguarda quello italiano, un possibile modello per integrare i programmi di settore già avviati (non solo per l'ambito Difesa in generale ma per ciascuna singola Forza Armata) può essere rappresentato, oltre che dai già menzionati **riferimenti NATO ed UE (documenti ufficiali e studi di settore)**, e non senza la possibilità di trarre spunti da elaborazioni documentali di Forze amiche o alleate (es. Svezia o Francia), anche dai **corrispettivi piani nazionali civili** elaborati dal **Ministero dell'Ambiente e della Sicurezza Energetica**, ovvero il **Piano Nazionale Integrato per Energia e Clima (2023)** e il **Piano Nazionale di Adattamento ai Cambiamenti Climatici-PNACC (2023)** (attualmente in fase di approvazione, esso fra le altre cose prevede la creazione di mappe sul rischio idrogeologico, sistemi di allerta per gli eventi meteorologici estremi, la creazione di colture resistenti ai periodi di siccità, la realizzazione di casse di espansione dei fiumi, e così via)¹¹⁶.

In altri termini, le Forze Armate possono operare sia in termini di c.d. **adattamento 'di contrasto'**, che mira a gestire la vulnerabilità di cose e persone, **ad esempio costruendo muraglie costiere/dispositivi portuali contro l'innalzamento delle acque o dotando i propri corpi di mezzi ed equipaggiamenti contro gli effetti di temperature estreme, inondazioni, tempeste di vento, sabbia e polvere** etc., sia attraverso l'**adattamento 'di sicurezza'**, che **ambisce invece a ridurre alla base la vulnerabilità in questione – es. spostare personale e/o infrastrutture, o edificarne di nuove, sufficientemente lontano da luoghi a rischio di forti inondazioni, terremoti, frane, incendi, etc.**

Come già osservato, non senza forme di cooperazione con il settore civile ed una contestuale attività di studio e ricerca di settore, le Forze Armate, in diversi Paesi occidentali e non solo, hanno anche avviato programmi per **mitigare il *climate change***, ovvero per **ridurre i consumi energetici fossili** delle proprie attività e strutture (sia per il livello nazionale che per i vari teatri di operazione oltreconfine).

Questo tanto razionalizzando i processi ed efficientando i consumi, quanto utilizzando materiali e sistemi energetici meno inquinanti (non senza resistenze interne e ostacoli di carattere economico-tecnologico, normativo, organizzativo e culturale¹¹⁷).

¹¹⁶ Per i documenti in questione si vada, rispettivamente, ai link seguenti: https://www.cisl.it/wp-content/uploads/2023/07/PNIEC_2023-28_06.pdf - <https://www.mase.gov.it/pagina/piano-nazionale-di-adattamento-ai-cambiamenti-climatici>

¹¹⁷ Ciò può riguardare anche Paesi che hanno una posizione comparativamente avanzata in tema di rinnovabili, come ad es. la Svezia: <https://balticwind.eu/swea-swedish-armed-forces-should-facilitate-wind-power-expansion/>

Prima di passare a questi aspetti (cap. 4) riportiamo, di seguito, **alcuni schemi tabellari riguardanti i possibili effetti negativi del *climate change* sulle Forze Armate, quindi le misure da queste attuabili in termini di adattamento.**

Direct impact	Loss of life, injury and wellbeing;
	Failure or structural damage, resulting in reduced integrity, safety and lifetime of military installations, military assets, and infrastructure (including critical on- and off-site lifelines such as energy, water, wastewater, communications and transportation);
	Change, environmental degradation or even loss (e.g., permanently inundated areas) of military land, including testing and training grounds.
Indirect impacts	Economic losses due to damage or loss of military installation and/or military assets, their replacement and repair, and claims against the military;
	Obstruction of roads and evacuation routes, resulting in closure, congestion, reduced speed, and in the disruption of on- and off-site transportation, supply chain and logistics;
	Entry restriction to military installations due to blocked access or safety concerns;
	Business interruption (e.g., intelligence, reconnaissance and surveillance, command and control, combat, testing and training, secure communications) and inability to meet operational requirements, affecting military readiness (e.g., impediment to fly) and sustainment (e.g., provision);
	Increased likelihood of mission disruption or failure due to additional uncertainty, altered environmental conditions, lack of or unsuitability (unfit for purpose) of military installations, military assets and supplies, and due to altered operational parameters, longer duration and higher costs;
	Higher costs due to an increase in maintenance and measures to reduce risk and build resilience, disaster response and recovery costs, but also costs due to remediation and restoration, closure, relocation, inoperability, delays and loss of attention;
	Increased likelihood of cascading effects, such as the triggering of Natech accidents (e.g., oil spills, fires and explosions);
	Increase in health and safety risks;
	Possible increase in socioeconomic vulnerability, insecurity and instability in the areas surrounding military installations or in a theatre of operations, and changes in geopolitical landscape and priorities.

Tab. 3 – Cambiamento climatico: effetti negativi, diretti e indiretti, sulle Forze Armate¹¹⁸
(Fonte: R. Tavares da Costa – E. Krausmann, European Commission, 2021)

¹¹⁸ Una matrice più dettagliata ed esaustiva è presentata alle pagg. 24 – 26 della medesima fonte in questione (report accessibile al seguente link: <https://publications.jrc.ec.europa.eu/repository/handle/JRC130884>)

Structural	Design and construct energy-efficient buildings (including high thermal insulation, thick walls, reflective surfaces, use of heat pumps for cooling, ground-coupled heat exchangers, natural ventilation, underground construction, reflective surfaces, minimize exposure to direct sunlight);
	Increase structural shading (e.g., for storage of hazardous materials), mechanical ventilation and air conditioning, and water cooling (e.g., water spray).
Non-structural	External shading (e.g., shutters), and reflecting window films and coating;
	Ensure power grid operation (load priority and shedding) and peak load capacity reserves (e.g., operating, frequency containment and restoration, replacement) and diversify power sources;
	Ensure sufficient water reserves for firefighting (e.g., heat-induced technological accidents);
	Ensure maintenance and renovation of infrastructure;
	Improved risk management (including cascading effects) beyond compliance, and early warning;
	Review and test contingency, emergency planning, guidelines, communication protocols and systems;
	Broad review of outage safety (e.g., critical infrastructure and military installations);
	Interruption and/or relocation of activities (e.g., testing and training);
Nature-Based Solutions	Partner with civilian entities in research, awareness raising, and capacity building;
	Increase shading using higher tree and vegetation density;
	Install green roofs and earth-covered facilities to reduce temperature fluctuations (e.g., earth-covered magazines and shelters).

Tab. 4 – Misure di adattamento al caldo estremo

Structural	Design, construct, maintain, or reinforce flood defences (e.g., breakwaters, seawalls, bulkheads, revetments, storm surge barriers and gates, levees, berms, piers);
	Design, construct and maintain remote anchorages;
	Design, construct and maintain debris barriers (e.g., fences);
	Flood-proof existing structures (e.g., water-resistant materials, scour protection);
	Structural elevation (e.g., buildings, roads, rail tracks), with at least 1 m above base flood level for mission critical facilities;
	Rapid access to higher floors/roofs (e.g., flood shelters);
	Improve corrosion resistance, including coating and inhibitors of structures, lifelines and equipment;
	Improvement of drainage systems;
	Artificial aquifer recharge to slow subsidence and inhibit salt water intrusion;
	Land reclamation.
Non-structural	Deployable flood barriers and pump installation;
	Protection of safety critical systems or equipment from hydrostatic, hydrodynamic and wave loads or water ingress (e.g., waterproofing, appropriate design and placement);
	Relocation of equipment to higher ground, top floors and shelving;
	On-site backup power generation and storage, transformer/battery/generator/pump and spares reserve;
	Strengthening, anchoring and spill containment for piping and storage tanks (e.g., double shell, dikes, walls);
	Improved risk management (including compound events and cascading effects, high impact low probability, catastrophic and nuisance events) beyond compliance, monitoring (e.g., tide gauges, waver rider buoys) and early warning;
	Review and test contingency, emergency planning (including possible release of hazardous substances and occurrence of technological accidents), guidelines, communication protocols and systems;
	Targeted reassessment of safety margins (e.g., stress tests of power plants);
	Broad review of outage safety (e.g., critical infrastructure and military installations);
	Efficient pooling of resources across <i>EU Member States</i> ;
	Restrictive land-use, managed retreat and land acquisition;
	Interruption and/or relocation of activities (e.g., testing and training, loading and unloading of hazardous materials that could result in their release);
	Relocation of aircrafts, ships, tactical- and non-tactical vehicles;
	Evacuation of personnel;
	Shutdown of lifelines (e.g., wastewater treatment), pipeline operations, purging of pipes and closing valves, de-inventorying of storage tanks of hazardous substances if possible and refill with water to prevent damage and accidents in case of floating;
Efficient cleaning of drainage systems before an event, but also after to avoid mould;	
Partner with civilian entities in research, awareness raising, and capacity building.	
Nature-Based Solutions	Restore coastal ecosystems to provide natural barriers, breakwaters and floodable waterfronts (e.g., marshes, mangroves, coral reefs; sand banks, sand dunes, barrier islands, overwash fans);
	Beach restoration (e.g., nourishment and stabilization, sand engines);
	Create retention basins;
	Slope stabilization (e.g., revegetation).

Tab. 5 – Misure di adattamento al rischi di inondazioni costiere

Structural	Design, construct, maintain, or reinforce flood defences (e.g., weirs, levees, guide bunds, flood walls, barriers and gates, diversion channels);
	River engineering (e.g., deepening, widening, straightening, reinforcing bed and banks, dredging);
	Design, construct and maintain diversion channels, dams and reservoirs, debris barriers (e.g., fences);
	Flood-proof existing structures (e.g., appropriate building materials, scour protection);
	Structural elevation (e.g., buildings, roads, rail tracks), with at least 1 m above base flood level for mission critical facilities;
	Rapid access to higher floors/roofs (e.g., flood shelters);
	Improve corrosion resistance, including coating and inhibitors of structures, lifelines and equipment;
	Improvement of drainage systems.
Non-structural	Deployable flood barriers and pump installation;
	Protection of safety critical systems or equipment from hydrostatic, hydrodynamic and wave loads or water ingress (e.g., waterproofing, appropriate design and placement);
	Relocation of equipment to higher ground, top floors and shelving;
	On-site backup power generation and storage, transformer/battery/generator/pump and spares reserve;
	Strengthening, anchoring and spill containment measures for piping and storage tanks (e.g., double shell, dikes, walls);
	Improved risk management (including compound events and cascading effects, high impact low probability, catastrophic and nuisance events) beyond compliance, monitoring (e.g., stream gauges) and early warning;
	Review and test contingency, emergency planning (including possible release of hazardous substances and occurrence of technological accidents), guidelines, communication protocols and systems;
	Targeted reassessment of safety margins (e.g., stress tests of power plants);
	Broad review of outage safety (e.g., critical infrastructure and military installations);
	Efficient pooling of resources across <i>EU Member States</i> ;
	Restrictive land-use, managed retreat and land acquisition;
	Interruption and/or relocation of activities (e.g., testing and training, loading and unloading of hazardous materials that could result in their release);
	Relocation of aircrafts, tactical- and non-tactical vehicles;
	Evacuation of personnel;
	Shutdown of lifelines (e.g., wastewater treatment), pipeline operations, purging of pipes and closing valves, de-inventorying of storage tanks of hazardous substances if possible and refill with water to prevent damage and accidents in case of floating;
	Efficient cleaning of drainage systems before an event, but also after to avoid mould;
Partner with civilian entities in research, awareness raising, and capacity building.	
Nature-Based Solutions	Restore floodplains, river bed and river banks, and wetlands;
	River re-meandering;
	Setting back levees (e.g., room for the river project in Nijmegen, The Netherlands);
	Design and construct flood bypass and polders, live check dams;
	Create retention basins;
	Slope stabilization (e.g., revegetation);
	Headwater afforestation or reforestation.

Tab. 6 – Misure di adattamento al rischio di esondazioni fluviali

Structural	Flood-proof existing structures (e.g., appropriate building materials, scour protection);
	Structural elevation (e.g., buildings, roads, rail tracks), with at least 1 m above base flood level for mission critical facilities;
	Rapid access to higher floors/roofs (e.g., flood shelters);
	Improve corrosion resistance, including coating and inhibitors of structures, lifelines and equipment;
	Improvement of drainage systems.
Non-structural	Deployable flood barriers and pump installation;
	Protection of safety critical systems or equipment from hydrostatic, hydrodynamic and wave loads or water ingress (e.g., waterproofing, appropriate design and placement);
	Relocation of equipment to higher ground, top floors and shelving;
	On-site backup power generation and storage, transformer/battery/generator/pump and spares reserve;
	Strengthening, anchoring and spill containment for piping and storage tanks (e.g., double shell);
	Improved risk management (including compound events and cascading effects, high impact low probability, catastrophic and nuisance events) beyond compliance and early warning;
	Review and test contingency, emergency planning (including possible release of hazardous substances and occurrence of technological accidents), guidelines, communication protocols and systems;
	Broad review of outage safety (e.g., critical infrastructure and military installations);
	Efficient pooling of resources across <i>EU Member States</i> ;
	Restrictive land-use, managed retreat and land acquisition;
	Interruption and/or relocation of activities (e.g., testing and training, loading and unloading of hazardous materials that could result in their release);
	Relocation of aircrafts, tactical- and non-tactical vehicles;
	Evacuation of personnel;
	Shutdown of lifelines (e.g., wastewater treatment), pipeline operations, purging of pipes and closing valves, de-inventorying of storage tanks of hazardous substances if possible and refill with water to prevent damage and accidents in case of floating;
	Efficient cleaning of drainage systems before an event, but also after to avoid mould;
Partner with civilian entities in research, awareness raising, and capacity building.	
Nature-Based Solutions	Create retention basins, enhance infiltration (e.g., reduce impervious surfaces, increase green spaces, green roofs, urban water buffers) and drainage.

Tab. 7 – Misure di adattamento al rischio di piene e allagamenti

Structural	Design and construct dams, reservoirs, aqueducts, canals and wells;
	Artificial aquifer recharge (e.g., carry-over storage) and water desalination;
	Improve water and wastewater treatment and reuse, irrigation and water supply systems.
Non-structural	Ensure power grid operation (load priority and shedding) and peak load capacity reserves (e.g., operating, frequency containment and restoration, replacement) and diversify power sources;
	Ensure sufficient water reserves for firefighting (e.g., heat-induced technological accidents);
	Ensure maintenance and renovation of infrastructure;
	Increase water efficiency, water transfers, conjunctive use, and distribution by tankers and trucks;
	Introduce restriction on water use and rationing;
	Improved risk management (including compound events and cascading effects) beyond compliance, monitoring, forecast and early warning;
	Review and test contingency, emergency planning, guidelines, communication protocols and systems;
	Relocation of activities (e.g., testing and training);
	Partner with civilian entities in research, awareness raising, and capacity building;
Nature-Based Solutions	Restore ecosystems (e.g., wetlands, grasslands, forests);
	Enhance infiltration (e.g., reduce impervious surfaces, increase green spaces, green roofs, urban water buffers, infiltration basins, terracing, percolation ponds);
	Small scale rainwater harvesting;
	Design and construct live check dams and windbreaks;
	Ecosystem management (e.g., controlled grazing).

Tab. 8 – Misure di adattamento alla siccità

Structural	Fireproofing existing structures (e.g., fire-resistant materials, glazing, armoured walls and roof);
	Strengthen electrical power grids (e.g., implement redundancy, distributed generation);
	Avoid floating roof storage tanks for flammable materials.
Non-structural	On-site backup power generation and storage, and transformer/battery/generator and spares reserve;
	In case of fire disconnect gutters, downpipes and heating, ventilation, and air conditioning when possible to avoid clogging or penetration of ash to interiors;
	Perimeter defences (e.g., vegetation clearance) and adapt safety distances between critical equipment and vegetation;
	Reduction of the frequency and intensity of use of real munitions/artillery in fire-prone areas, especially during conditions favourable for ignition and propagations;
	Improved risk management (including compound events and cascading effects) beyond compliance and early warning;
	Review and test contingency, emergency planning (including possible occurrence of technological accidents), guidelines, communication protocols and systems;
	Broad review of outage safety (e.g., critical infrastructure and military installations);
	Efficient pooling of resources across <i>EU Member States</i> ;
	Restrictive land-use (e.g., facilities and equipment distant from vegetation and slopes), relocation of existing structures and land acquisition;
	Interruption and/or relocation of activities (e.g., testing and training);
	Shutdown of fuel supply lines and de-inventorying of storage tanks of hazardous substances;
Efficient cleaning of drainage systems before an event, but also after to avoid floods;	
Partner with civilian entities in research, awareness raising, and capacity building.	
Nature-Based Solutions	Integrated fire management (e.g., controlled burns that favour fire-adapted species, use of fuel breaks including natural barriers, forest biomass removal, controlled grazing, fire ecology).

Tab. 9 – Misure di adattamento al rischio di incendi

Structural	Design, construct and maintain roofs, or reroof, to withstand higher snow, rain-on-snow or ice loads (e.g., design load, geometry, steep pitch roofs, short-roof spans, smooth roof materials, uniform versus non-uniform load considerations, snow guards, insulation to control rapid snowmelt);
	Design, construct and maintain energy-efficient buildings (including thermal-efficiency, use of heat pumps, glazed obstructions, ground-coupled heat exchangers, heat accumulators, orientation to maximize exposure to direct sunlight);
	Structural orientation to minimize exposure to most likely wind directions and reduce snow accumulation;
	Improve corrosion resistance, including coating and inhibitors, of structures, lifelines and equipment;
	Integration of district heating and combined heat and power systems (cogeneration);
	Strengthen electrical power transmission and distribution systems to higher snow, ice and wind loads and low temperatures;
	Strengthen electrical power grids (e.g., implement redundancy, distributed generation) and use of micro-grids;
	Use of insulated buried heavy-walled welded steel or plastic pipes and conduits for lifelines (e.g., electric wiring, telecommunications) in non-frost-susceptible soils;
Non-structural	Trim trees surrounding structures;
	On-site backup power generation and storage, and transformer/battery/generator and spares reserve;
	Ensure power grid operation (load priority and shedding) and peak load capacity reserves (e.g., operating, frequency containment and restoration, replacement);
	Preventive draining and de-icing of sensitive equipment;
	Improved risk management (including compound events and cascading effects) beyond compliance, and early warning;
	Review and test contingency, emergency planning, guidelines, communication protocols and systems;
	Broad review of outage safety (e.g., critical infrastructure and military installations);
	Interruption and/or relocation of activities (e.g., testing and training);
Nature-Based Solutions	Partner with civilian entities in research, awareness raising, and capacity building.
Nature-Based Solutions	Green roofs and earth-covered facilities to reduce temperature fluctuations.

Tab. 10 – Misure di adattamento al freddo estremo

Structural	Slope stabilization (e.g., gabions, soil nail, bolting, strand anchors, dowels, harnessing, barrettes, piles, caissons, sealing tension cracks);
	Slope modification (e.g., smoothing, impervious facing, removal or distribution of unstable materials, compaction, mixing materials);
	Landslide control (e.g., barriers, gully breaks, ditches and embankments, berms, check dams, baffles, rock sheds);
	Drainage improvement (e.g., diversion channels, pipeworks, channel lining, horizontal drains, deep trenches, well systems, tunnels).
Non-structural	Improved risk management (including compound events and cascading effects) beyond compliance, monitoring (e.g., slope movement or pipe strain sensors) and early warning;
	Review and test contingency, emergency planning (including possible release of hazardous substances and occurrence of technological accident), guidelines, communication protocols and systems;
	Restrictive land-use (e.g., buildings distant from slopes), relocation of existing structures and land acquisition;
	Interruption and/or relocation of activities (e.g., testing and training);
	Partner with civilian entities in research, awareness raising, and capacity building.
Nature-Based Solutions	Slope stabilization (e.g., revegetation, gratings, live piles);
	Slope modification (e.g., hydroseeding, turfing, live stakes, slope planting, brush mattresses, soil nail, live crib wall, drainage blanket, geotextile, rubble, rock dentition, terracing);
	Landslide control (e.g., live check dams).

Tab. 11 – Misure di adattamento al pericolo di frane

Structural	Construct using impact-resistant building materials (e.g., precast concrete) that withstand wind loads;
	Secure building roof to foundation;
	Structure orientation to minimize exposure to most likely wind directions;
	Bury lifelines (e.g., electric wiring, telecommunications);
	Design, construct and maintain hurricane shelters;
	Design, construct and maintain debris barriers (e.g., fences);
	Periodical inspection, repair and maintenance of structures and lifelines (e.g., electric wiring, water and gas distribution);
	Strengthen electrical power grids (e.g., use of shape memory alloy dampers in transmission towers, implement redundancy, distributed generation);
	Use non-sparking (non-ferrous metals) materials wherever there is a handling or storage of flammable materials.
Non-structural	Use of braces, impact-resistant windows; hurricane screens, shutters, boarding, trim trees, close windows and doors;
	Protect against build-up of internal overpressure;
	Anchor equipment or place them below ground level (e.g., concrete vaults);
	Trim trees surrounding structures;
	On-site backup power generation and storage, transformer/battery/generator and spares reserve;
	Strengthening, anchoring and spill containment for piping and storage tanks (e.g., double shell, dikes, walls);
	Retrofitting of structures;
	Improved risk management (including compound events and cascading effects, high impact low probability and catastrophic events) beyond compliance, monitoring and early warning;
	Review and test contingency, emergency planning (including possible release of hazardous substances and occurrence of technological accidents), guidelines, communication protocols and systems;
	Targeted reassessment of safety margins (e.g., stress tests of power plants);
	Broad review of outage safety (e.g., critical infrastructure and military installations);
	Efficient pooling of resources across <i>EU Member States</i> ;
	Restrictive land-use, relocation of existing structures and land acquisition;
	Interruption and/or relocation of activities (e.g., testing and training, loading and unloading of hazardous materials that could result in their release);
	Shutdown of lifelines (e.g., gas supply);
	Relocation of aircrafts, ships, tactical- and non-tactical vehicles;
Evacuation of personnel;	
Partner with civilian entities in research, awareness raising, and capacity building.	
Nature-Based Solutions	Restore coastal ecosystems (e.g., mangroves);
	Design and construct windbreaks.

Tab.12 – Misure di adattamento alle tempeste di vento

Structural	Seismic design and earthquake-resistant construction (e.g., reinforced concrete, fibre material, shape memory alloys, external steel cages, cross-bracing, seismic base isolation and dampers, separation joints between structures, reinforce walls, use shear walls, infilling of openings, confine columns, stiffening floors; for structural protection);
	Strengthen electrical power grids (e.g., seismic design of transformers according to international standards, use of shape memory alloy dampers in transmission towers, implement redundancy, distributed generation) and use of micro-grids;
	Use of buried heavy-walled welded steel or polyethylene pipes, lining, place pipes within culverts, avoid low pressure pipes, use flexible connections (e.g., joints, tank-pipe connections), emergency valves, zig-zag configuration, backfill trenches with pumice, and pipe wrapping with geotextile;
	Use storage tanks with thicker walls;
	Use non-sparking (non-ferrous metals) materials wherever there is a handling or storage of flammable materials;
	Periodical inspection, repair and maintenance of structures and lifelines (e.g., electric wiring, water and gas distribution).
Non-structural	Relocation of equipment to ground floor or below ground (e.g., ground power feeders);
	On-site backup power generation and storage, transformer/battery/generator and spares reserve;
	Secure fixtures, anchor equipment, no shelving of heavy items, use of drums instead of intermediate bulk containers in storage racks, install latches on drawers and cabinets, store flammable substances in closed cabinets, tie backs for building heavy exterior elements (e.g., parapets, chimney);
	Strengthening, anchoring and spill containment measures for piping and storage tanks (e.g., double shell, dykes, walls).
	Retrofitting of structures;
	Power grid operation (load priority and shedding);
	Improved risk management (including cascading effects) beyond compliance, monitoring (e.g., structural and seismic monitoring sensors), and early warning;
	Review and test contingency, emergency planning (including possible occurrence of technological accidents), guidelines, communication protocols and systems;
	Targeted reassessment of safety margins (e.g., stress tests of power plants);
	Broad review of outage safety (e.g., critical infrastructure and military installations);
	Efficient pooling of resources across <i>EU Member States</i> ;
	Restrictive land-use;
	Interruption of activities (e.g., testing and training, loading and unloading of hazardous materials that could result in their release);
	Evacuation of personnel;
Partner with civilian entities in research, awareness raising, and capacity building.	

Tab. 13 – Misure di adattamento al rischio sismico

Structural	Design, construct and maintain roofs, or reroof, to withstand higher ash or water-saturated ash loads (e.g., design load, geometry, steep pitch roofs, short-roof spans, smooth corrosion-resistance and -coating materials, uniform versus non-uniform load considerations) and avoid roof elements that lead to the accumulation of volcanic ash (e.g., chimneys, parapets);
	Improve corrosion resistance, including coating and inhibitors of structures, lifelines and equipment;
	Structure orientation to minimize exposure to most likely wind directions and, thus, ash accumulation;
	Periodical inspection, repair and maintenance of structures (e.g., roofs);
	Construct exclusion dikes to enclose and protect infrastructure from lahar impact.
Non-structural	Sealing/cover of critical equipment, windows, doors, air intakes (e.g., stronger filters), ducts, storage tanks;
	Decontamination rooms for clean entry into facilities;
	Disconnect gutters, downpipes and heating, ventilation, and air conditioning when possible to avoid clogging or penetration of ash to interiors;
	On-site backup power generation and storage, transformer/battery/generator and spares reserve;
	Retrofitting of structures;
	Improved risk management (including cascading effects) beyond compliance, monitoring (e.g., structural and seismic monitoring sensors), and early warning;
	Review and test contingency, emergency planning (including possible occurrence of technological accidents), guidelines, communication protocols and systems;
	Broad review of outage safety (e.g., critical infrastructure and military installations);
	Efficient pooling of resources across <i>EU Member States</i> ;
	Restrictive land-use (e.g., buildings distant from volcanos and their potential impact paths), relocation of existing structures and land acquisition;
	Interruption and/or relocation of activities (e.g., testing and training, loading and unloading of hazardous materials that could result in their release);
	Relocation of aircrafts, tactical- and non-tactical vehicles;
	Evacuation of personnel;
	Efficient cleaning of ash including drainage systems;
	Partner with civilian entities in research, awareness raising, and capacity building.

Tab. 14 – Misure di adattamento al rischio di eruzioni vulcaniche

Structural	Improved design and construction for changing bearing capacity of permafrost;
	Use of winter-ventilated ducts, active or passive cooling systems (e.g., air convection embankments) and thermosiphons to remove heat from the permafrost;
	Structural elevation (e.g., deep piles to decouple frozen ground from the active and latent heat of structures);
	Increase bedrock support in foundations;
	Insulated and refrigerated buried pipelines;
	Under ventilation of above-ground storage tanks;
Non-structural	Strengthening and spill containment for piping and storage tanks (e.g., double shell, dikes);
	Retrofitting of structures;
	Improved risk management (including cascading effects) beyond compliance and monitoring (e.g., permafrost temperature sensors);
	Review and test contingency, emergency planning (including possible release of hazardous substances and occurrence of technological accident), guidelines, communication protocols and systems;
	Targeted reassessment of safety margins (e.g., stress tests of power plants);
	Broad review of outage safety (e.g., critical infrastructure and military installations);
	Restrictive land-use (e.g., buildings only where long term bearing capacity is predicted to hold, or its loss can be mitigated) and land acquisition;
	Relocation of activities (e.g., testing and training);
Nature-Based Solutions	Partner with civilian entities in research, awareness raising, and capacity building.
	Rewilding permafrost regions.

Tab. 15 – Misure di adattamento rispetto allo scioglimento del permafrost

Structural	Install lightning conductors (air terminals, down conductors, bonding and grounding);
	Periodical inspection, repair and maintenance of lightning conductors.
Non-structural	Install and maintain lightning arresters, power surge protection devices and circuit breakers;
	Protection of safety critical systems or equipment from hydrostatic, hydrodynamic and wave loads or water ingress (e.g., waterproofing, appropriate design and placement);
	Improved risk management (including compound events and cascading effects, high impact low probability, catastrophic and nuisance events) beyond compliance, monitoring (e.g., lightning detector) and early warning;
	Review and test contingency, emergency planning (including possible occurrence of technological accidents), guidelines, communication protocols and systems;
	Interruption and/or relocation of activities (e.g., testing and training);
	Partner with civilian entities in research, awareness raising, and capacity building.

Tab. 16 – Misure di adattamento ai fulmini

Structural	Strengthen electrical power grids (e.g., use 3-limbed, 3-phase core transformers, transformer protection relays, neutral current blocking devices, distributed generation, reduce dependency on high-voltage transmission, optimise network interconnections and configuration) and use of micro-grids;
	Measures to mitigate the degradation of global navigation signals;
	Pipelines corrosion protection, control of potentiostats and optimal distribution of insulating flanges.
Non-structural	On-site backup power generation and storage, transformer/battery/generator and spares reserve.
	Power grid operation (load priority and shedding, shunt reactor optimization, re-dispatching, temporary disconnection of transformers, extra reactive power, rolling blackouts, quick return to service of equipment, delaying maintenance);
	Improved risk management (including cascading effects) beyond compliance, monitoring (e.g., Deep Space Climate Observatory [DSCOVR], Solar Ultraviolet Imager), and early warning;
	Review and test contingency, emergency planning (including possible occurrence of technological accidents), guidelines, communication protocols and systems;
	Targeted reassessment of safety margins (e.g., stress tests of power plants);
	Broad review of outage safety (e.g., critical infrastructure and military installations);
	Partner with civilian entities in research, awareness raising, and capacity building.

Tab. 17 – Misure di adattamento a eventi di meteorologia spaziale

3.3 APPROVVIGIONAMENTO ENERGETICO E SCENARI OPERATIVI

I dati sopra riportati sui possibili effetti operativi del *climate change* inducono a sostenere come **le Forze Armate dovrebbero proseguire anche in direzione della *climate change mitigation*, potenziandola ed accelerandola, pur nella consapevolezza che tale processo, come del resto quello di adattamento, non sarà breve.** Ciò sia in relazione ad **attività condotte in Patria, quanto in rapporto a missioni ed operazioni internazionali**, laddove un uso strategico dell'energia sarà sempre più funzionale, a sua volta, proprio ed anche a diminuire i mutamenti climatici (e laddove, come capiremo meglio dal prossimo capitolo, uno *shift* graduale ma deciso delle Forze Armate dai combustibili fossili alle energie alternative potrà anche fornire, almeno in alcuni casi, vantaggi tattico-operativi piuttosto significativi). Rispetto alle **operazioni** condotte all'estero, il ruolo delle Forze Armate assume rilevanza sia in relazione ai requisiti energetici relativi alle predisposizioni logistiche e operative necessarie per i rischieramenti, sia riguardo ai mezzi utilizzati nelle missioni. Nella prima categoria possiamo includere i consumi energetici necessari ad alimentare gli alloggi, le mense, i servizi, le officine, i laboratori e le attrezzature necessarie all'operatività della missione (non solo quindi l'energia elettrica per far funzionare luci e apparati, ma anche, per intendersi, la climatizzazione dei locali o la conservazione degli alimenti). Nella seconda categoria rientrano i consumi energetici dei mezzi utilizzati

nelle operazioni, siano essi terrestri, marittimi o aerei. Nella fase di pianificazione, dopo aver quantificato con una stima i consumi energetici complessivi, ovvero legati ad entrambe le esigenze descritte, andrebbe elaborato un **piano sostenibile di alimentazione energetica**, che risulterà condizionato dalla località scelta per la missione e dalla durata prevista delle operazioni militari.

Ciò detto, **riflettendo in prospettiva sul nesso fra energia e impiego della componente militare in teatri operativi**, possiamo ipotizzare almeno tre diversi scenari¹¹⁹, che descriviamo sommariamente di seguito (con la precisazione che si tratta di 'situazioni tipo' che potrebbero risultare, sul piano empirico, parzialmente sovrapposte, o comunque non del tutto esaurienti):

- intervento militare in uno Stato politicamente stabile e con possibile esubero di risorse energetiche;
- intervento in un Paese afflitto da seri tumulti e da possibile scarsità di risorse energetiche;
- intervento militare in un teatro di operazione ubicato in un luogo tendenzialmente isolato, geograficamente e/o politicamente, dove non è possibile (o è quasi impossibile) sfruttare le risorse della *Host Nation*, né tanto meno quelle di Stati più o meno limitrofi e/o confinanti.

Nella **prima ipotesi**, che potrebbe riguardare anche un caso di applicazione dell'articolo 5 del Trattato dell'Alleanza Atlantica, ovvero la mobilitazione di forze NATO per la difesa di uno o più membri dell'Alleanza minacciati da aggressioni armate, una parte dell'esigenza energetica delle forze d'intervento potrebbe essere soddisfatta utilizzando le infrastrutture della Nazione ospitante; ad esempio e fra le altre cose collegando i campi-base alla rete elettrica nazionale e acquistando il carburante necessario ai mezzi attraverso la normale rete di distribuzione locale.

Nella **seconda ipotesi** il fabbisogno energetico delle forze potrebbe essere soddisfatto importando le risorse da uno stato confinante, almeno laddove questo risulti in migliori condizioni economiche e più stabile sul piano politico-sociale. Tale esempio si è già concretizzato, ad es. rispetto al teatro iracheno, dove sono stati organizzati convogli per il

¹¹⁹ Riprendiamo questa tripartizione, pur con alcune modifiche e adattamenti, da A. Iodice et al., *Le fonti energetiche alternative in supporto al comparto della Difesa*, Centro Militare di Studi Strategici (Ce.Mi.S.S.), 71° sessione di studio IASD, GdL IV Sezione, CASD, 2020, pp. 40-41.

trasporto di carburanti dal Kuwait, impiegati sia per produrre energia elettrica (attraverso generatori) che per rifornire i mezzi.

Nel **terzo scenario** il ciclo dei rifornimenti energetici risulterà più complesso e necessiterà di un'oculata pianificazione, alla quale seguirà un notevole sforzo logistico in fase di attuazione. Si pensi ad un'operazione di *Peace Enforcement* in un Paese in aperto conflitto con una o più fazioni armate interne e/o esogene, o con una o più nazioni confinanti, oppure, almeno in prospettiva futura, a basi ed esigenze operative in aree come Antartide o Artide. Peraltro proprio in quest'ultima lo scioglimento dei ghiacci della calotta polare legato al *global warming* sta già favorendo, rispetto al passato, maggiori attività antropiche da parte degli Stati dell'area, comportando, soprattutto da parte russa ma anche dei Paesi amici della NATO, anche un aumento delle attività e delle esercitazioni militari in ambienti climaticamente complessi, caratterizzati fra le altre cose da temperature molto rigide, neve/ghiaccio e condizioni di visibilità e mobilità del tutto peculiari, sfidanti tanto per le forze aeree e navali quanto per quelle di terra, oltre che per i dispositivi dedicati al supporto medico-sanitario¹²⁰.

Fermo restando che nei prossimi anni l'impiego delle **energie alternative** da parte delle Forze Armate si troverà molto probabilmente ad aumentare anche per spinte politiche internazionali, è evidente come il quadro sopra prospettato sembri suggerire come esso si renda **indispensabile anche per incrementare l'autonomia energetica e di conseguenza la sicurezza dei contingenti**. Difatti, nel secondo e forse ancor più nel primo scenario, non si può escludere il verificarsi di situazioni che si riflettano negativamente sulla stabilità e sul funzionamento del comparto energetico delle nazioni d'interesse, compromettendo, *in toto* o in parte, le capacità di approvvigionamento delle unità militari. Ovvero nel secondo caso il conflitto potrebbe coinvolgere ad un certo punto anche lo Stato da cui queste ultime traggono risorse energetiche, mentre nel primo caso le ostilità potrebbero estendersi o inasprirsi, ad esempio attraverso il coinvolgimento di terzi attori ostili, oppure con l'aumento della frequenza e/o intensità delle operazioni aeree, terrestri, marittime e cibernetiche. In entrambi i casi vi sarebbe una conseguente maggiore

¹²⁰ Per avere un'idea della c.d. *subzero warfare* nell'Artico si vedano i documenti strategici prodotti in merito dalla Marina, dall'Esercito e dall'Aeronautica degli USA, consultabili rispettivamente ai seguenti siti:
<https://media.defense.gov/2021/Jan/05/2002560338/-1/-1/0/ARCTIC%20BLUEPRINT%202021%20FINAL.PDF>
<https://api.army.mil/e2/c/downloads/2021/03/15/9944046e/regaining-arctic-dominance-us-army-in-the-arctic-19-january-2021-unclassified.pdf> <https://www.af.mil/Portals/1/documents/2020SAF/July/ArcticStrategy.pdf>
Cfr. anche: <https://greydynamics.com/a-guide-to-arctic-warfare/>
In particolare sugli aspetti correlati al supporto medico-sanitario si veda l'articolo al seguente link:
https://www.airuniversity.af.edu/Portals/10/AEtherJournal/Journals/Volume-2_Number-1/Hoettels-Medical-Support.pdf

esposizione al conflitto di tutti i possibili obiettivi in generale, e delle infrastrutture critiche in particolare. Come mostrato dalla dinamica di diversi conflitti armati del XX secolo e degli ultimi due decenni, strutture e attività legate al settore energetico sarebbero quasi inevitabilmente coinvolte in questa spirale. È appena il caso di richiamare del resto quanto accaduto di recente nella guerra russo-ucraina, laddove il settore energetico, specialmente ma non solo in relazione alla rete elettrica, è stato (ed è tuttora) uno degli ambiti più colpiti (a livello cinetico e forse ancor più cibernetico), peraltro con un crescendo di attacchi e danni subiti¹²¹. Così, al fine di non pregiudicare l'operatività delle missioni, nel secondo e soprattutto nel primo scenario dovrebbero essere predisposte anche misure cautelative per sopperire ad eventuali interruzioni di fornitura energetica per periodi più o meno prolungati, fra le altre cose dotando il rischieramento di depositi di carburanti, generatori elettrici autonomi, impianti termici indipendenti, etc.

Sul piano strategico, è però la **terza casistica quella che sembra suggerire in modo più nitido ed evidente come l'autonomia energetica dei contingenti in futuro debba crescere**, e debba farlo in direzione di un progressivo aumento nell'uso delle **energie alternative alle fonti fossili**. Questo non solo perché scelte politiche e diminuzione delle riserve renderanno gli idrocarburi via via meno utilizzati, o per la necessità di contribuire a ridurre il fabbisogno energetico nazionale dall'esterno (abbreviando la *supply chain* di settore), ma **anche in considerazione delle caratteristiche degli scenari che andranno probabilmente a configurarsi, con frequenza crescente, di qui al medio e lungo periodo**. In altri termini, le unità impiegate in scenari condizionati dal *climate change* dovranno risultare giocoforza particolarmente resilienti, addestrate e dotate per agire in ogni condizione climatico-ambientale, equipaggiate in modo tecnologicamente avanzato e in grado di sfruttare l'ambiente circostante in maniera pervasiva, **senza necessariamente dipendere, se non solo in parte, dall'approvvigionamento di combustibili fossili**. Nel tentativo di portare stabilità sociale ed economica, le Forze Armate potranno essere chiamate ad operare, autonomamente o sotto l'egida delle Nazioni Unite e/o nell'ambito di coalizioni internazionali, in aree carenti di strumenti di auto-sostentamento alimentare, idrico ed energetico. In tali contesti, le unità militari dovranno cercare di **svincolarsi il più possibile dal supporto logistico-energetico fornito dalle *Host Nations***, per essere autonome nello sviluppo delle loro attività e non gravare ulteriormente sul Paese ospitante.

¹²¹ Cfr. ad es. S. Pasquazzi, *Cyber-attacks, geopolitica e settore energetico*, in rivista scientifica «Europea», n. 1/2023, pp. 101-127.

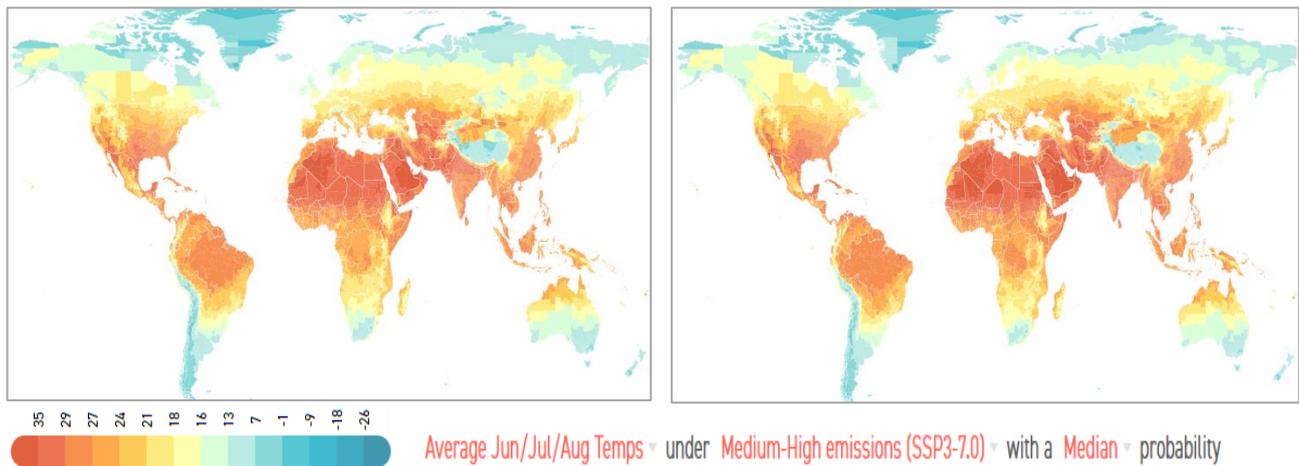


Fig. 22 – Climate impact world map, 2020-2039 / 2040-2059 [Fonte: Climate Impact Lab, 2023] (temperature in gradi Celsius)

Peraltro l'alterazione e il degrado delle condizioni ambientali, a causa del peggioramento della qualità dell'aria, dell'acqua e dell'aumento nella frequenza di eventi atmosferici su vasta scala tendenzialmente devastanti, potrà incidere negativamente sulle distanze geografiche, ampliando significativamente il braccio logistico e i rischi di discontinuità per il corretto supporto delle unità impiegate in teatro. Ciò sembra valere sia per esigenze di intervento in zone rurali, sia per missioni da condurre in contesti urbani. In alcune aree, a causa della progressiva urbanizzazione degli ambienti naturali (*megacities*), potenzialmente favorita a sua volta anche da flussi migratori come adattamento reattivo al *climate change*, le Forze Armate potrebbero essere costrette ad operare in spazi di manovra particolarmente congestionati. Questo condiziona la pianificazione e la condotta delle operazioni non solo in merito a dotazioni complessive e regole d'ingaggio¹²², ma anche riguardo alla *policy* relativa allo sviluppo delle **basi operative**, che dovranno massimizzare, oltre che l'**adattamento al contesto climatico-ambientale**, anche la loro **efficienza e autonomia**. In particolare, le infrastrutture nell'area di *deployment* dovranno agevolare la mobilità e lo schieramento delle truppe, facilitare gli approvvigionamenti logistici, essere, dal punto di vista energetico, resilienti e auto-sostenibili.

¹²² Si pensa per es. a situazioni con una significativa presenza di personale non combattente/civile, operatori di organizzazioni internazionali e media, ove il ricorso all'uso della forza può essere piuttosto difficile da attuare. Ciò anche a causa di restrizioni di tipo etico, legale e politico discendenti dalla necessità di limitare al minimo eventuali danni collaterali. In tali contesti la condotta delle operazioni e la manovra a tutti i livelli possono essere fortemente condizionate, mentre l'individuazione stessa della minaccia e la discriminazione degli obiettivi possono essere particolarmente ardue. Di qui del resto la necessità non solo di adeguare gli staff militari con esperti del settore giuridico-legale, ma anche di impiegare maggiori risorse per condurre più incisive attività di intelligence e *targeting*.

A patto di poter disporre di un **set relativamente agevole da trasportare e/o edificare in loco, ben funzionante, efficiente ed interoperabile** di impianti dedicati al loro sfruttamento, le **energie alternative alle fonti fossili, specialmente ma non solo le rinnovabili**, appaiono così una scelta consequenziale, **consentendo alle unità militari di approvvigionarsi virtualmente ovunque** (e nei casi migliori di generare financo volumi di capacità superiori alle esigenze delle truppe, da riversare eventualmente nelle reti delle realtà locali). In tal modo si potranno avere peraltro, a parità di condizioni, maggiori possibilità di ottenere il consenso e la disponibilità del Paese ospitante, così inibendo o diminuendo, almeno in teoria, fenomeni di rigetto nel tessuto sociale ed economico delle realtà locali. Infatti, in caso contrario, tenuto conto della probabile/possibile scarsità di risorse sui territori d'intervento, la presenza di basi e/o mezzi inquinanti e non efficienti, potrebbe avere un impatto negativo sulla percezione della popolazione locale, generando malcontenti e sentimenti di ostilità. In **Italia come altrove**, e come del resto per altri settori, la decarbonizzazione dell'ambito militare risulta tutt'altro che facile o breve, dovendosi misurare con sfide complesse e molteplici. Fra cui non solo possibili resistenze organizzative e/o culturali, ma anche l'esigenza di avvenire, in tesi generale, **senza ledere l'efficacia e l'efficienza complessiva delle forze**. In ogni caso, l'attuale stato dell'arte riguardante lo sviluppo delle energie alternative già sembrerebbe suggerire come per il settore militare sia oggi possibile **investire in alcuni impianti per fonti energetiche non fossili con l'obiettivo di non compromettere le capacità di azione delle unità militari**, così da non perdere in credibilità operativa e, di conseguenza, in termini di deterrenza. Ciò pur nell'opinione che **tali politiche d'investimento vadano fatte, almeno per alcuni anni e come del resto sembrerebbe già emergere in seno al comparto militare, in modo complessivamente graduale/progressivo e non senza adeguati periodi di sperimentazione empirico-operativa dei nuovi dispositivi**, laddove **la Difesa almeno per il breve e medio periodo dovrà essere culturalmente e tecnicamente preparata, più che ad un apparato energetico all green, ad una postura energetica sempre più ibrida** (ove pure il ruolo delle fonti fossili nel medio-lungo termine è destinato a diminuire in modo significativo per lasciare spazio ad un uso crescente delle fonti rinnovabili, almeno nel caso in cui queste possano confermarsi, oltre che ben performanti, anche sostenibili sul piano economico, in assoluto e comparativamente all'impiego delle fonti idrocarburiche). Nel **prossimo capitolo** ci occupiamo del **rapporto fra energie alternative e attività militari**, onde tentare di contribuire ad una maggiore comprensione di *quando, come e perché* le prime possano essere impiegate dalle seconde.

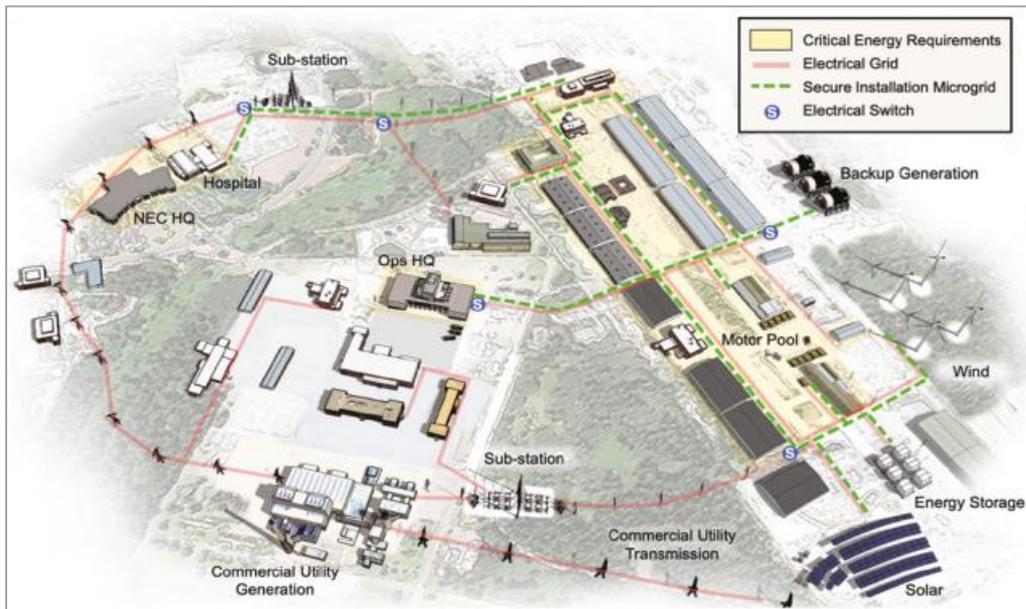


Fig. 23 – Mappa prototipo di base militare ad alimentazione autonoma multipla -
 [Fonte: Tavares et al., 2023, p. 43]

CAPITOLO 4

ENERGIE ALTERNATIVE E COMPARTO MILITARE

Stimolato da uno sviluppo molto significativo negli ultimi decenni, in prospettiva il settore delle energie alternative alle fonti fossili sembra suggerire, a livello globale, un'ulteriore evoluzione complessiva¹²³. Come già osservato, questo processo non risulta e non risulterà privo di limiti, difficoltà, contraddizioni e, probabilmente, sensibili ritardi. Tuttavia le spinte di tipo politico europeo e globale in direzione della transizione ecologica, unitamente a miglioramenti economici e tecnologici attesi riguardo a realizzazione e funzionamento di impianti e infrastrutture, dovrebbero effettivamente consentire in futuro una netta diminuzione nell'uso degli idrocarburi e un massivo aumento nelle applicazioni delle fonti energetiche alternative, nel campo delle rinnovabili – ciò in alcuni contesti, Italia inclusa, non senza l'adozione di cornici normativo-regolative più favorevoli¹²⁴ – e, presumibilmente in diversa misura, anche nel settore del nucleare. Andremo quindi in questo capitolo ad **analizzare alcune delle principali fonti di energia potenzialmente impiegabili da parte del comparto militare (idroelettrica e moto ondoso, eolica, solare, geotermica, idrogeno, carburanti alternativi e nucleare), nonché alcune soluzioni tecniche (in via di sperimentazione o già disponibili sul mercato) utili per alimentare infrastrutture e/o muovere mezzi**. Dovendo la Difesa impegnarsi in una significativa opera di efficientamento e transizione energetica sia per le sue strutture e attività in Patria sia per le sue operazioni internazionali, la trattazione non escluderà tecnologie riguardanti impianti di rilevanti dimensioni e impegno finanziario (magari più di interesse per il primo ambito), benché verrà dedicata particolare attenzione a quelli di dimensione più contenute, ovvero

¹²³ Come testimoniato da molteplici fonti, fra cui recenti report annuali pubblicati dalla International Energy Agency e dalla International Renewable Energy Agency, pur non senza fasi di contrazione, negli ultimi 2 o 3 lustri il consumo mondiale di fonti energetiche rinnovabili è cresciuto sensibilmente, trainato da un mix di fattori, fra cui miglioramenti economico-tecnologici che ne hanno abbassato i costi complessivi, specie per usi elettrici e termici, e che in prospettiva dovrebbero renderle, in diversi Stati, sempre più diffuse anche nei trasporti e financo nei c.d. *hard to abate sectors* (ovvero altamente energivori, con sensibili costi di riduzione delle emissioni e ritenuti tradizionalmente carenti di opzioni di elettrificazione percorribili o risolutive – es. acciaio, chimica, ceramica, carta, vetro, cemento e fonderie). Comparativamente, le rinnovabili hanno subito meno contraccolpi delle fonti idrocarburiche rispetto al calo registrato dal settore energetico a causa della pandemia da COVID-19 e poi della guerra russo-ucraina. Esse ancora rappresentano meno del 15% dei consumi energetici mondiali (e poco meno del 30% del consumo elettrico globale), ma nel 2050 dovrebbero attestarsi, perché la loro diffusione sia coerente con uno scenario di 'zero emissioni nette', ad oltre il 60% del consumo energetico planetario (e a circa il 70% del consumo elettrico).

¹²⁴ Che fra le altre cose superino problematiche che anche in anni recenti hanno ostacolato un maggiore sviluppo del settore, fra cui ad es. quelle relative ad autorizzazioni e occupazioni di suolo (titoli autorizzativi del resto fondamentali per l'accesso ad aste e registri, e più in generale per investimenti in nuovi impianti o azioni di *repowering*). Il problema dell'occupazione di suolo ha riguardato soprattutto gli impianti di (medio)grandi dimensioni, limitati in alcune regioni da apparati regolativi non del tutto favorevoli (ad es. a un uso del suolo agricolo per le installazioni), parzialmente inadeguati a recepire gli stessi input dell'UE su sviluppo e diffusione delle rinnovabili (input che, stando anche al PNRR e altri documenti nazionali circa la politica energetica, dovrebbero essere recepiti con maggiore agilità regolativa già nel prossimo futuro, anche per consentire investimenti in tempi più rapidi e certi).

maggiormente fruibili, almeno in teoria, nei teatri di operazione esteri (laddove si gioca, nel sistema internazionale contemporaneo, la maggior parte della credibilità operativa delle Forze Armate).

4.1 ENERGIA IDROELETTRICA E MOTO ONDOSI

L'energia idroelettrica, principale fonte rinnovabile e la prima tra queste ad essere utilizzata su larga scala, è disponibile ovunque esista un sufficiente flusso d'acqua costante. Essa viene tradizionalmente ricavata dal corso di fiumi o da laghi (naturali o artificiali). Ad oggi il suo contributo alla produzione di energia elettrica nell'UE si attesta al 17-18% [EU Commission, 2022], un livello molto simile a quello complessivo mondiale, mentre in Italia essa rappresenta all'incirca il 40% di tutta l'energia prodotta con fonti rinnovabili – pari quest'ultima a poco più del 20% del mix energetico nazionale, valore in linea con il rispettivo dato aggregato dell'UE (i cui Paesi ambiscono a portare la quota di rinnovabili ad almeno il 42.5% del loro consumo energetico entro il 2030)¹²⁵. A livello fisico, l'energia si ottiene sfruttando la velocità di una corrente d'acqua e/o la caduta d'acqua da un adeguato dislivello. Gli impianti idroelettrici si basano su **turbine** che, messe in movimento dal flusso idrico, sfruttano l'energia cinetica di una portata d'acqua trasformandola in energia meccanica – a seconda della portata dell'acqua o del dislivello, le turbine idroelettriche sono riconducibili a tre principali tipi: Francis, Pelton e Kaplan (dal cognome dei loro rispettivi

¹²⁵ Stando a dati Terna riferiti al giugno 2022, in Italia sarebbero presenti 4.702 impianti per la produzione di energia idroelettrica, per una produzione annua complessiva di 47552 GWh. Gli impianti risultano principalmente lungo l'arco alpino, dove vi sono la maggior quantità di bacini idrici: 1041 in Piemonte, 870 in Trentino – Alto Adige, 730 in Lombardia e 402 in Veneto. Questa fonte energetica non è particolarmente diffusa al sud e nelle isole: a chiudere la classifica troviamo infatti la Puglia con 10 impianti, la Sardegna con 18 e la Basilicata con 21. Cfr. anche l'articolo di S. Gandelli (2023), al sito web: <https://www.geopop.it/dove-sono-le-centrali-idroelettriche-in-italia-e-quanta-energia-producono/> In Italia fra le rinnovabili l'energia idroelettrica (~40%, 2021) è seguita da solare (21.7%), eolico (17.8%), bioenergie (15.7%) e geotermia (4.8%); l'idroelettrica rappresenta anche la fonte rinnovabile principale rispetto all'alimentazione elettrica nazionale complessiva, a cui contribuisce con il 13.9%, seguita da solare fotovoltaico (7.9%), eolico (6.5%), bioenergie (5.7%) e geotermia (1.7%). Tuttavia negli ultimi anni, anche per il dinamismo della situazione climatica, l'idroelettrico (come il geotermico) avrebbe ridotto il suo apporto rispetto ai consumi elettrici italiani, laddove i contributi di fotovoltaico ed eolico sarebbero viceversa aumentati (con le rinnovabili utilizzate, a riflettere in ciò un trend europeo e globale, più nei settori elettrico e termico che in quello dei trasporti, sebbene in misura inferiore agli obiettivi regionali programmatici adottati in tema di decarbonizzazione). Emerge peraltro una distribuzione geografica dei consumi da rinnovabili priva di eccessive asimmetrie fra contesti urbani e rurali, così come, pur non senza differenze quantitative talvolta significative fra singole regioni, fra Nord e Sud (ad es. l'eolico risulta particolarmente diffuso in province come Foggia e Potenza, l'idroelettrico in zone come Bolzano e Sondrio, il solare nelle province di Lecce e Brindisi e la geotermia nelle aree di Pisa, Siena e Grosseto).

inventori)¹²⁶. Nei sistemi idroelettrici l'energia dell'acqua viene trasformata in elettricità tramite un generatore e il fenomeno dell'induzione elettromagnetica. La potenza di un impianto dipende principalmente da due fattori: il salto, ovvero il dislivello fra la quota a cui è disponibile la risorsa idrica svasata e il livello a cui la stessa viene restituita dopo il passaggio nella turbina; la portata, cioè la massa d'acqua che fluisce attraverso la macchina espressa per unità di tempo. Le **centrali idroelettriche** possono essere distinte in **centrali ad acqua fluente, a bacino (o a deflusso regolato) e ad accumulo (o pompaggio)**. Il sistema ad **acqua fluente** sfrutta il flusso naturale di corsi d'acqua che attraversano dislivelli. Si basa su impianti posizionati nei pressi di un fiume o di un torrente, la cui acqua viene in parte o del tutto canalizzata verso un bacino di carico con un sistema di condotte. Da questo bacino l'acqua viene poi fatta defluire tramite un canale e verso un piano posizionato più in basso. Nel tragitto tra il punto più alto e quello più basso l'acqua attraversa la turbina idroelettrica, spinge le pale e produce energia. In seguito l'acqua viene reimpressa nel fiume o nel torrente e, di conseguenza, non vi è pressoché spreco d'acqua nella produzione di energia (sebbene la portata d'acqua in alcuni periodi dell'anno potrà essere maggiore, in altri minore, potendo così influire sulla produzione energetica). Gli **impianti idroelettrici a bacino** (o a deflusso regolato) funzionano in modo simile, con l'elettricità ottenuta facendo passare l'acqua da una turbina e sfruttando l'energia cinetica della massa liquida. A differenza delle prime centrali, l'acqua proviene tipicamente da bacini naturali oppure artificiali ottenuti grazie a dighe o opere di sbarramento. Queste centrali possono essere posizionate quasi sullo stesso livello del bacino oppure, se il territorio lo permette (come non di rado in zone montane), possono sfruttare un salto di diverse decine di metri. In entrambi i casi l'acqua passa da condotte forzate che la portano verso la turbina idraulica che produce energia elettrica. Le **centrali a pompaggio** (o ad accumulo) prevedono invece due bacini, uno in alto e uno in basso, collegati da una condotta al termine della quale sono posizionate

¹²⁶ Si stima che le turbine siano in grado di convertire in energia meccanica oltre il 90% dell'energia cinetica dell'acqua, rappresentando così dei dispositivi ad alto rendimento. Sono costituite da una parte fissa, detta distributore o statore, e dalla ruota o girante. Il primo serve a indirizzare e regolare il flusso d'acqua, la seconda trasferisce l'energia cinetica sottratta all'acqua all'albero su cui è montata. La turbina Francis (inv. nel 1848), la più usata, è a flusso centripeto: l'acqua raggiunge la girante tramite un condotto a chiocciola, poi delle palette regolabili sulla parte fissa indirizzano il flusso per investire le pale della girante. Viene usata in genere per dislivelli medi (da 10 fino a 300/400 metri) e portate di acqua da 2 a 100 metri cubi al secondo. La turbina Pelton (1879), ispirata alla ruota a pale dei vecchi mulini, prevede che l'acqua venga convogliata in una condotta forzata, la quale ha alla fine un ugello, una strozzatura che fa aumentare la velocità dell'acqua indirizzandola. Il getto d'acqua che esce dall'ugello va a colpire le pale della girante, che hanno forma di cucchiaini sagomati. È impiegata di solito per grandi dislivelli (tra i 300 e i 1400 metri) e portate inferiori ai 50 metri cubi al secondo, in modo tale da ottenere velocità più elevate. La turbina Kaplan (1913) segue invece il principio di funzionamento dell'elica di una nave. Essa è di tipo assiale: il flusso d'acqua che fa girare le pale dell'elica entra ed esce in direzione assiale rispetto all'asse di rotazione della girante. Grazie alla possibilità di regolare l'angolo di incidenza delle pale, ha il pregio di fornire un rendimento ottimo in presenza di piccoli dislivelli, ma anche con grosse variazioni della portata (dai 200 metri cubi al secondo a salire). <https://www.enelgreenpower.com/it/learning-hub/energie-rinnovabili/energia-idroelettrica/turbina-idroelettrica>

le turbine. In questo tipo di centrali l'acqua può scendere dal bacino di monte a quello di valle, producendo energia, ma può anche essere usata l'energia elettrica della rete per pompare l'acqua dal bacino inferiore a quello superiore. Per immagazzinare energia e averla a disposizione nel momento di maggiore domanda, su scala internazionale negli ultimi lustri sono state sviluppate in via crescente centrali idroelettriche di questo tipo, ove l'acqua viene pompata nei serbatoi a monte sfruttando l'energia prodotta e non richiesta durante la notte (cosicché di giorno, quando la richiesta di elettricità è maggiore, si può disporre di ulteriori masse d'acqua da cui produrre energia, in modo da consentire accumuli nei momenti di disponibilità per utilizzarli nei momenti di bisogno)¹²⁷.

Sebbene **in alcuni casi sia risultata associata a grandi allagamenti e più in generale a significativi impatti ambientali** (com'è successo con la grande diga di Assuan in Egitto, oppure rischi di tipo idrogeologico come quelli associati al disastro del Vajont), **l'edificazione di impianti idroelettrici è in grado di apportare notevoli vantaggi in termini di riduzione dell'inquinamento legato a generazione elettrica da fonti fossili**. In prospettiva, nell'idroelettrico sono previsti (ulteriori) sviluppi, oltre che per minimizzare l'invasività ambientale delle strutture (anche rispetto alla fauna/flora idrica) e aumentare la loro flessibilità, ovvero la capacità di mantenere efficienze elevate anche in presenza di portate molto significative (in generale l'efficienza degli impianti idroelettrici è già sensibilmente superiore a quella di impianti eolici e solari), nel c.d. comparto **micro-idroelettrico (o mini-idroelettrico)**, di **specifico interesse anche per l'ambito militare**¹²⁸. Ci si riferisce in particolare ad **impianti con turbine a 'bulbo sommerso'**, ove la turbina e il generatore si trovano in un contenitore impermeabile a forma di bulbo, immerso in acqua. Per es. il c.d. *Very Low Head* e altri impianti simili riescono a sfruttare dislivelli bassissimi a costi vantaggiosi per le ridotte opere murarie necessarie per effettuare l'ancoraggio con un effetto diga, potendo produrre da 100 a 500 Kw con 'salti' da 1.5 a 3 metri e portate da 3 a 26 m³/sec. Un'altra tipologia già in uso è la "vite idraulica", che sfrutta il principio della vite di Archimede in modo inverso (semplificando, la vite gira per effetto dello scorrimento dell'acqua, che scende per gravità compiendo un salto di quota). Sono state studiate anche ruote idrauliche per lavorare con portate più ridotte (tra 0.1 e 1.2 m³/sec). La ricerca, nel

¹²⁷ Sui tipi di centrale idroelettrica: <https://www.cvaspa.it/energia-idroelettrica-cose-come-funziona-dove-la-produciamo#:~:text=Nel%20suo%20viaggio%20tra%20il,tramite%20impianti%20ad%20acqua%20fluente.>

¹²⁸ Ricordiamo che molto in generale per efficienza energetica si può intendere, semplificando, il rapporto fra energia consumata ed energia prodotta.

campo micro-idroelettrico, si sta concentrando fra le altre cose nel semplificare la struttura meccanica dei macchinari abbassandone i costi¹²⁹.

Vi sono poi dei **particolari sistemi idroelettrici installabili nei contesti marittimi**, dove è possibile ottenere energia da correnti, onde, maree, correnti di marea e gradiente termico tra superficie e fondali. Esiste anche la possibilità di recuperare, per osmosi, l'energia dissipata quando l'acqua dolce dei fiumi si versa in mare miscelandosi all'acqua salata. Diversi degli impianti di questa categoria risultano molto vasti, complessi e ingombranti. Tuttavia, nel settore dei **Convertitori di Moto Ondoso (CMO)**, vi sono sistemi che presentano dimensioni e caratteristiche di efficienza, trasportabilità e facilità di protezione (in quanto sommersi) che sembrano renderli idonei, eventualmente a fronte di parziali adattamenti, anche ad **usi di tipo militare**. Peraltro **i convertitori di energia da moto ondoso sono macchine relativamente piccole rispetto alle macchine di taglia corrispondente da fonte eolica**. Gli impianti in questione si basano sullo sfruttamento dell'energia cinetica contenuta nel movimento delle onde del mare. Essi mirano a concentrare e focalizzare le onde in modo da aumentarne l'altezza e il potenziale di conversione in energia, ad utilizzare le variazioni di pressione presenti al di sotto della superficie del mare, ad usare galleggianti che riflettano il moto ondoso trasferendolo a generatori per mezzo di pistoni idraulici. **I sistemi di moto ondoso per la produzione di elettricità** vengono denominati in particolare **'cimoelettrici'** (si possono avere impianti a salto idrico, generatori a colonna d'acqua oscillante, sistemi a ondata o ad ampiezza d'onda, sistemi basati sul principio di Archimede, generatori Pelamis, etc.). **La generazione marina di energia risulta di interesse per l'ambito militare non solo per la dimensione contenuta di alcuni impianti, ma anche perché può essere una soluzione utile ove risulti difficile il collegamento a reti centrali di distribuzione elettrica – come ad es. potrebbe accadere per installazioni da effettuare in luoghi/teatri prossimi alle coste e lontani da altre fonti di energia**. Convertitori di moto ondoso (CMO) di dimensioni contenute possono essere destinati al basso fondale, ed installati, in modo relativamente agevole, in corrispondenza di dighe foranee o altre strutture di protezione costiera. Fra le società già coinvolte da alcuni anni (almeno dal 2013) nella realizzazione e sperimentazione di CMO vi sono le italiane ENEL Gren Power, Ponte di Archimede S.p.A. e South Energy, mentre fra i sistemi già testati e/o applicati si possono menzionare fra gli altri le macchine di

¹²⁹ Su quanto detto sull'energia idroelettrica, e più in generale per una panoramica più approfondita sulle sue applicazioni contemporanee e prospettiche, si veda IRENA (2023), *The changing Role of Hydropower. Challenges and opportunities*, reperibile al sito: <https://www.irena.org/Publications/2023/Feb/The-changing-role-of-hydropower-Challenges-and-opportunities>

tipo R115, l'ISWEC (Inertial sea wave energy converter), l'IOWEC (Ocean wave energy converter), il PEWEC (Pendulum wave energy converter), il Rewec3, l'H24, il Kobold e il PB3¹³⁰. Di recente (2021), negli **Stati Uniti**, sono stati testati, da parte della **US Navy** (in collaborazione con il Dipartimento dell'Energia e la società *Columbia Power Technologies*), degli **impianti per moto ondoso** (c.d. *autonomous offshore power systems*) utilizzabili **sia per generazione di energia (da 10W a 1MW) sia per finalità di Intelligence, Surveillance and Reconnaissance**, essendo dotati *inter alia* di dispositivi avanzati di rilevazione, comunicazione e trasmissione dati in tempo reale in ambiente marittimo, e della capacità di interagire con sensori ambientali e mezzi *unmanned* di tipo subacqueo (v. sotto).



Fig. 24 – SeaRAY autonomous offshore power system Fonte:<https://militaryembedded.com/radar-ew/power-electronics/helping-the-us-navy-convert-ocean-waves-into-perpetual-power>

¹³⁰ L'R115, adagiabile fino a 50 m di profondità, funziona grazie al moto relativo fra le due parti che lo compongono (Upper Member e Lower Member), estraendo l'energia tramite moduli TEP (Transmission, Electronics and Power). Con una capacità nominale di 150 Kw e potenza installata pari a circa 100 Kw, è stato impiegato a es. per la conversione in elettricità dell'energia prodotta dalle onde del mare dell'Arcipelago Toscano, a Punta Righini (Castiglioncello). Il generatore (ideato e costruito da South Energy) è stato concepito per una completa integrazione nell'ambiente marino e facilità di manutenzione. Le stime parlano della produzione di almeno 220 MWh all'anno, sufficienti a soddisfare i consumi di oltre 80 famiglie. I dispositivi menzionati di tipo WEC (*wave energy converter*) sono di tipo flottante, installati con ormeggio lasco al fondale marino e auto-orientanti rispetto alla principale direzione di propagazione delle onde. L'azione meccanica del moto ondoso induce un movimento oscillante dello scafo, dove un sistema di tipo inerziale sviluppa un moto relativo che viene trasformato in energia elettrica (l'Iswec ha una potenza nominale di 50kw). Il Rewec3 è un progetto avviato dall'autorità portuale di Civitavecchia, basato sul posizionamento nella darsena del porto di particolari contenitori in cemento, con produzione di energia elettrica associata a turbine auto-rettificanti. Vi è inoltre il sistema H24, di dimensioni più contenute rispetto a R115 e meno soggetto alla potenziale aggressività del mare, perché concepito per essere completamente sommerso. Con una potenza erogata di 25-100 Kw è di facile installazione, in quanto adagiabile su bassi fondali (dell'ordine dei 5-10 metri), che richiedono un minor sforzo tecnico-finanziario per la posa del cavo elettrico dal sistema alla terra ferma. Il KOBOLD, sviluppato dalla Ponte di Archimede S.p.A. insieme all'università Federico II di Napoli, è stato sperimentato nello Stretto di Messina. Ha una potenza di circa 60 Kw ed è costituito da una turbina ad asse verticale che sfrutta le correnti marine. È installato su una piattaforma galleggiante di 10 m di diametro, ancorata al fondale tramite 4 blocchi in conglomerato cementizio. Il PB3 può essere installato su fondali da 25 a 3.000 metri, e può fornire energia a impianti *on board* con una capacità di 8 Kwh/giorno e un picco di circa 7 Kw (viene impiegato principalmente per trasmissione dati e altro, ad appannaggio delle attività della Marina). Per approfondimenti cfr. anche Iodice et al. (2020, cit.).

4.2 ENERGIA SOLARE

L'energia solare può essere sfruttata tramite due principali tecnologie: **termica e fotovoltaica**. La prima, inventata alla fine del XIX secolo ma diffusasi progressivamente solo dopo la crisi petrolifera del 1973, si riferisce oggi tipicamente ai sistemi termici c.d. attivi (o diretti), che si basano su specifici elementi meccanici, o meglio su **'collettori solari'** (si parla invece di sistemi solari termici passivi, alternativi o complementari ai primi, quando le proprietà fisiche naturali dei flussi di calore vengono sfruttate da strutture o edifici, es. mediante accorgimenti progettuali/costruttivi pertinenti muri/vetrare, senza l'ausilio di collettori). In ambito privato/residenziale e in edifici per uffici, ma anche in campo agricolo e industriale (es. settori alimentare, cartario, tessile e chimico), il **solare termico** può essere usato per la produzione di **acqua calda e per il riscaldamento/raffreddamento di ambienti**. Gli impianti solari termici hanno, in media, un'efficienza pari all'80% e una durata di 20 anni (quelli fotovoltaici invece possono arrivare anche a 30); essi possono funzionare: a basse temperature (fino a 100/120°C), a medie temperature (da 100/120 a 350/500°C), ad alte temperature (500-1000°C). Fra le tecnologie più impiegate nel solare termico a bassa temperatura (es. per complessi abitativi o plessi uffici etc.) vi sono i **collettori piani vetrati (FPC-Flat Plate Collectors)**, i **collettori sottovuoto (ETC-Evacuated Tube Collectors)** e i **collettori non vetrati (o scoperti)**. I primi sono frequentemente utilizzati grazie alla loro ottima resa energetica annua, e all'elevata presenza sul mercato. Si servono di caratteristiche di opacità, trasparenza e assorbenza del vetro per riscaldare un liquido (acqua o glicole) che scorre nell'assorbitore piano. Essi si diversificano per la capacità di assorbimento, il materiale (di solito acciaio, alluminio o rame) e per il tipo di circolazione del liquido (naturale o forzata)¹³¹. Le dimensioni tipiche di un singolo collettore sono di circa due metri quadri. Gli ETC, a parità di superficie, raggiungono solitamente un miglior rendimento medio stagionale (a fronte però di un investimento iniziale più elevato), grazie soprattutto ad un'intercapedine tenuta sottovuoto spinto che evita perdite termiche. A differenza che negli FPC, l'acqua da riscaldare si muove nel collettore evitando i costi di uno scambiatore. Questa sembra costituire una delle migliori soluzioni per gli ambiti residenziali con fabbisogno di acqua calda sanitaria. I collettori in materiale plastico (non vetrati) presentano

¹³¹ Nel sistema a circolazione naturale il fluido circola grazie alla differenza di densità tra fluido freddo e fluido caldo. Il fluido, una volta riscaldato, si espande, diminuendo la sua densità e spostandosi sulla parte superiore del collettore, dove è posizionato il serbatoio, o comunque l'attacco di uscita dell'acqua (in caso di serbatoio integrato). Esistono sistemi, inoltre, nei quali l'acqua sanitaria attraversa il pannello attraverso la semplice pressione dell'acquedotto. Nell'impianto a circolazione forzata, invece, lo spostamento dell'acqua si deve a una pompa di circolazione che si attiva quando la temperatura del collettore raggiunge la temperatura impostata nel serbatoio. In tali sistemi è presente anche una centralina di regolazione, la cui funzione principale è quella, appunto, di gestire il funzionamento del circolatore.

caratteristiche di leggerezza, flessibilità ed economicità, ma sono usati in genere solo nel periodo estivo, poiché l'assenza di una copertura di vetro tende a causare dispersioni. Rispetto a **quelli a basse temperature, gli impianti a temperature medie o alte si basano solitamente su sistemi di collettori più grandi, sofisticati e potenti (ovvero collettori parabolici, lineari o concavi, a specchi di Fresnel, etc)**. Essi sono più tipicamente impiegati **in ambito industriale**, dove il solare termico è usato *inter alia* per la produzione di calore di processo, per esigenze di *solar-cooling* (aria condizionata/acqua raffreddata), per la dissalazione dell'acqua di mare e la produzione di energia elettrica con cicli a fluido organico, etc¹³². Negli ultimi anni la ricerca scientifica sul solare termico si è concentrata, fra gli altri aspetti, sulle **possibilità di aumento delle capacità di accumulo energetico nel lungo periodo – cioè per diversi mesi o più di un anno, ovvero lassi temporali di interesse anche per possibili impieghi del solare termico durante missioni militari**¹³³.

Fra gli attori italiani impegnati nella realizzazione di impianti a energia solare per usi termici si segnalano la società Gruppo FERA e **l'ENEA** (quest'ultima già coinvolta in partenariati pubblico-privato basati anche su suoi brevetti)¹³⁴. Il mercato fornisce oggi anche **moduli che, per la loro versatilità, possono risultare di particolare interesse anche per l'ambito militare, dove peraltro l'energia solare negli ultimi due lustri è già stata significativamente utilizzata, anche nei teatri di operazione – ad es. in quello afghano, ove moduli solari hanno alimentato tanto strutture da campo quanto attività tattiche condotte sul terreno, specialmente ma non solo da parte di forze statunitensi**. Fra i moduli in questione vi sono **sistemi di dimensioni contenute e con 2 linee di collettori**, una per produzione di energia termica e una per quella elettrica, idonei per installazioni su tetto, a terra, e/o su struttura sopraelevata per zone di transito mezzi e aree parking¹³⁵.

¹³² Per avere un'idea di massima dei costi, si consideri che questi in un sistema a circolazione naturale con collettori solari a piani vetrati possono variare da 400 a 800 euro a metro quadro, mentre in uno a circolazione forzata con pannelli a piano vetrato da 800 e 1500 euro a metro quadro, laddove con pannelli più efficienti, ovvero a tubo sottovuoto, i costi aumenterebbero di circa il 50%. Per un approfondimento sul solare termico e i vari tipi di impianti cfr. gli articoli al seguente sito: <https://www.sciencedirect.com/topics/engineering/solar-thermal-energy>

¹³³ Si tratta, in sostanza, di progressi basati su talune proprietà di elementi metallo-organici (c.d. MOF-metal organic frameworks), costituiti da reti di ioni metallici collegati da molecole a base di carbonio, che formano strutture tridimensionali con porosità elevata. Ovvero tali materiali compositi sarebbero in grado di assumere, pur mantenendo la stessa formula, strutture diverse (isomeria), e con esse differenti proprietà sia fisiche che chimiche, nello specifico di passare da una forma "più energetica" ad una "meno energetica", nonché di dilatare, sul piano temporale, gli effetti della loro esposizione al sole, consentendo così accumuli termici più lunghi (da sfruttare per stoccare calore per i periodi di bisogno). Per approfondimenti cfr. K. Griffiths, N. R. Halcovitch, J.M. Griffin (2020), *Long-Term Solar Energy Storage under Ambient Conditions in a MOF-Based Solid-Solid Phase-Change Material*, «Chemistry of Materials», 32, 23, 9925–9936: <https://doi.org/10.1021/acs.chemmater.0c02708>

¹³⁴ Ad es. l'azienda Archimede Solar Energy (ASE), realtà italiana partecipata anche da capitali esteri (Giappone e Arabia Saudita), ha realizzato, prima di entrare in crisi nel 2020, un impianto dimostrativo, secondo il brevetto ENEA per impianti a sali fusi, con superficie captante pari a 3.400 m² e con potenza termica nominale di 1.9 Mw. Cfr. <https://www.ilsole24ore.com/art/il-solare-termico-chiude-guerra-persa-burocrazia-e-comitati-AC264iFB>

¹³⁵ Sull'energia solare termica cfr. anche Sorgenia (2023a): <https://www.sorgenia.it/guida-energia/energia-solare-termica>

I **pannelli fotovoltaici** consentono la produzione di **energia elettrica** (e, se associati a sistemi di accumulo/batterie, anche il suo stoccaggio). La conversione avviene attraverso celle fotovoltaiche, che si avvalgono della capacità di alcuni materiali (semiconduttori) di generare elettricità, se opportunamente trattati e disposti, quando colpiti da **radiazione solare**¹³⁶. A seconda del tipo di impianto, i pannelli fotovoltaici possono assorbire i raggi solari fra un minimo del 17 ed un massimo di oltre il 200%. Il **silicio**, policristallino, monocristallino o di tipo amorfo, è il **materiale più usato per produrre queste celle**. Attualmente oltre l'85% dei moduli fotovoltaici in commercio sono costruiti partendo da semiconduttori al silicio, anche perché relativamente economici; di questi il monocristallino e ancor più il policristallino risultano i più diffusi, mentre l'amorfo rappresenta una quota poco superiore al 5% del totale (insieme al tellururo di cadmio e altri materiali, il silicio amorfo è alla base dei moduli fotovoltaici in 'film sottile'). In generale, le prestazioni degli impianti fotovoltaici sono in costante miglioramento, con valori tipici di *Performance Ratio* che in alcuni sistemi possono essere superiori anche all'80%¹³⁷. Tuttavia, per caratteristiche tecniche e metodo di funzionamento, **l'ambito degli impianti fotovoltaici è molto eterogeneo**, tanto che si parla di **almeno di tre generazioni di impianti già esistenti**. Attraverso l'analisi delle caratteristiche dei pannelli fotovoltaici è possibile determinare il modello di modulo più adatto per ogni applicazione. Valutando i vari tipi di pannelli, se ne possono distinguere le peculiarità e le differenze, per individuare pro e contro di ogni soluzione, e stabilire il rapporto tra i costi e il rendimento dei vari sistemi. Di seguito riportiamo **un quadro comparativo** di sintesi, utile, quanto meno in prima battuta o per un'idea di carattere generale, anche per il **decisore militare**.

¹³⁶ Lo sviluppo della tecnologia fotovoltaica si basa sulle scoperte di scienziati come Edmond Becquerel (che nel 1839 ha osservato per primo l'effetto fotovoltaico), Max Plank e Albert Einstein. Le prime cellule fotovoltaiche commerciali videro la luce nei laboratori americani della Bell, nel 1954.

¹³⁷ Il Performance Ratio (PR) è il parametro principale per misurare la resa effettiva media di un impianto fotovoltaico. Esso indica la percentuale di energia realmente disponibile per l'immissione in rete, una volta dedotte le perdite energetiche e l'autoconsumo, mediata su un certo periodo di tempo. In sostanza, il PR definisce il rapporto tra rendimento effettivo e rendimento teorico dell'impianto: più il PR sarà vicino al 100%, più efficace sarà l'impianto.

Focus box 2 - *Alcuni indicatori di sintesi comparativa sui pannelli fotovoltaici*

• **Costo:** sul mercato i pannelli più economici sono quelli in silicio amorfo, in grado di offrire un prezzo per watt installato fino al 30-40% inferiore rispetto ad altri modelli. I moduli più costosi sono quelli in silicio monocristallino, mentre i pannelli policristallini rappresentano, semplificando, una via intermedia¹³⁸.

• **Rendimento:** i pannelli monocristallini forniscono il rendimento migliore, soprattutto optando per i modelli di nuova generazione ad alta efficienza, in grado di superare anche il 21%. Seguono i moduli policristallini e infine i più economici pannelli in silicio amorfo.

• **Superficie occupata:** per raggiungere la stessa potenza installata con i monocristallini servono meno moduli, grazie alla maggiore densità energetica e al rendimento più elevato, mentre con i moduli policristallini e in silicio amorfo è necessario considerare un numero superiore di pannelli e una superficie occupata più estesa;

• **Resa alle alte temperature:** i moduli policristallini sono quelli che supportano meglio le alte temperature; quindi, sono più adatti alle zone geografiche caratterizzate da climi più caldi e temperature più elevate;

• **Resa alle basse temperature:** in queste condizioni l'opzione migliore sembra rappresentata dai pannelli monocristallini, poiché forniscono un rendimento più elevato con temperature non elevate o quando l'intensità solare è minore;

• **Riduzione delle prestazioni nel tempo:** i pannelli monocristallini e policristallini hanno un decadimento del rendimento analogo; infatti perdono circa l'1% di efficienza l'anno, ovvero dopo 10 anni dall'installazione offrono una resa intorno al 90%. Il discorso è diverso con i moduli in silicio amorfo, i quali possono perdere improvvisamente fino al 20% dell'efficienza, stabilizzandosi intorno all'80%, mentre dopo 25 anni raggiungono in genere un rendimento del 75% rispetto al livello iniziale¹³⁹.

¹³⁸ In linea molto generale, si può asserire che il prezzo di un pannello fotovoltaico tradizionale standard oscilla tra i 5.000 e i 9.000 euro, mentre per il solare termico classico si può spendere in media dai 1.500 ai 3.000 euro al metro quadrato.

¹³⁹ Sui pannelli fotovoltaici cfr. Sorgenia (2023b): <https://www.sorgenia.it/guida-energia/pannelli-fotovoltaici-le-tipologie>



Fig. 25 – Tensostrutture militari alimentate da energia solare - Fonte: US Dept. of Defense / NATO

Questi (e altri) aspetti vanno valutati con particolare attenzione nella progettazione di un impianto fotovoltaico, tenendo conto del **budget disponibile, della zona geografica, dello spazio a disposizione e del proprio fabbisogno energetico**. Si tratta evidentemente di analisi complesse, che richiedono il supporto di professionisti esperti e specializzati nel campo del fotovoltaico e delle tecnologie legate alle energie rinnovabili. **In alternativa a** quella basata sul **silicio**, per i pannelli fotovoltaici esiste una tecnologia in **arseniuro di gallio (GaAS)**, fra le più interessanti dal punto di vista dell'efficienza ottenuta (anche superiore al 25-30%). Tuttavia la produzione di queste celle è ancora limitata da costi particolarmente elevati e da carenze di materiale. Non a caso la tecnologia GaAs viene utilizzata principalmente per applicazioni spaziali (dove peraltro sono importanti pesi e dimensioni ridotte). I risultati ottenuti con celle GaAs possono dare un'efficienza di conversione maggiore del 30%. Questo tipo di celle è prodotto anche in versione multi-giunzione, per un potenziale di efficienza del 40%¹⁴⁰. Ulteriori progressi sono associati alla possibilità di celle **multi-giunzione**, costruite utilizzando 3/4 strati di materiali semiconduttori, cioè combinando l'arseniuro di gallio con derivati di altri elementi (es. indio, selenio, rame, cadmio, alluminio, germanio, etc.). Le tecniche di fabbricazione basate su tecnologia multi-giunzione sono potenzialmente a basso costo, potendo essere limitati i costi energetici di produzione. Il problema maggiore per uno sviluppo su larga scala può essere piuttosto la **scarsa disponibilità di alcuni materiali, in primis indio e selenio**.

Tra le **nuove tecnologie del fotovoltaico**, particolarmente promettenti nel medio termine sembrano le celle solari a colorante (DSSC o DSC, dall'inglese dye-sensitized solar cell), le celle organiche e polimeriche (OPC-organic and polymeric cells), le celle a base di perovskite (PSC) e quelle facenti uso di nanoparticelle e nano-cristalli colloidali (*colloidal*

¹⁴⁰ Cfr. <https://www.rinnovabili.it/energia/fotovoltaico/celle-solari-in-gaas-nanofili/>

quantum dots, CQDSC). In particolare, **le celle solari a base di perovskite, potrebbero divenire in futuro un'alternativa concreta al fotovoltaico principalmente basato sul silicio**, data l'attesa riduzione dei costi di produzione. Anche le CQDSC, permettendo di assorbire efficientemente la porzione nell'infrarosso dello spettro solare, presentano buone potenzialità di sviluppo¹⁴¹. I **sistemi fotovoltaici a concentrazione solare (CPV)** rappresentano una sorta di evoluzione della tecnologia fotovoltaica tradizionale. Essi permettono di aumentare l'efficienza di conversione delle celle solari e di realizzare sistemi particolarmente efficienti. Questi sfruttano due componenti in più: i dispositivi ottici, quali lenti o specchi, per concentrare la luce; l'inseguitore solare, usato per indirizzare i moduli CPV verso i raggi del sole. Ciò consente alla tecnologia in questione di riuscire a comprimere l'area delle cellule fotovoltaiche (quindi il consumo di materiale semiconduttore), con ritorni positivi anche sui costi di produzione complessivi, e di produrre, a parità di superficie, un maggior quantitativo di energia. Negli ultimi anni i maggiori sviluppi tecnologici sono stati indirizzati verso due principali tipologie di sistemi CPV, ovvero a bassa e alta concentrazione. Nel secondo caso si richiedono, oltre a più precisione nel puntamento del sole, celle fotovoltaiche a multi-giunzione (MJ). **Anche grazie al ruolo dell'Italia**, che vi è coinvolta tramite partenariati europei e internazionali, la ricerca in ambito fotovoltaico sta



Fig. 26 – Installazione pannelli solari su tetto di compound militare in Afghanistan - Fonte: Reuters.com



Fig. 27 – Modulo solare portatile e pieghevole per usi tattici Fonte: Royal United Services Institute (2022)

cercando di diminuire, a parità di capacità, costi realizzativi e dimensioni degli impianti (in tesi generale ancora proporzionalmente superiori ai collettori termici), così da proporre sistemi più competitivi¹⁴². Oltre che per riscaldamento ed elettricità, in ambito **militare**

¹⁴¹ https://www.ansa.it/canale_scienza_tecnica/notizie/energia/2022/06/18/pannelli-solari-di-terza-generazione-efficienti-e-sostenibili-_d9d810e8-eac3-4d07-93f7-2e185435985b.html

¹⁴² Ibidem.

l'energia solare è attenzionata, soprattutto ma non solo dal comparto militare statunitense (che ne sta potenziando l'uso almeno dal 2013), per le **potenziali soluzioni offerte nell'alimentazione di veicoli terrestri e droni** (tramite l'applicazione/integrazione di appositi pannelli sui mezzi), nonché come sistema di **desalinizzazione per fornire acqua potabile in località remote/aride dove l'accesso all'acqua dolce è limitato**¹⁴³.

4.3 SISTEMI EOLICI

L'energia eolica, o energia del vento, sfrutta l'energia cinetica di una massa d'aria in movimento. Di giorno l'aria sopra i mari e gli oceani rimane più fredda che sulla terraferma, ove invece il calore solare viene in buona parte riflesso e riscalda l'aria in superficie, che espandendosi diventa leggera e tende a salire. Così l'aria più fredda e pesante che proviene da mari e oceani si mette in movimento per prendere il suo posto, causando venti di superficie. Di notte accade il contrario, con il calore accumulato nell'acqua durante il giorno a rendere più calda l'aria sovrastante gli specchi d'acqua. Questa tende a salire mentre l'aria sopra la terra, più fredda perché non più irraggiata dal sole, tende a prendere il suo posto. Per cui di giorno si ha la brezza verso la terraferma e di notte si ha la brezza verso il mare. Altra causa di spostamento di masse d'aria sono le fluttuazioni della pressione atmosferica. In tal caso l'aria si sposta al suolo da aree ad alta pressione atmosferica verso zone adiacenti a bassa pressione, con velocità proporzionale alla differenza di pressione.

Queste dinamiche possono essere sfruttate tramite **aerogeneratori che producono elettricità o forza meccanica per azionare pompe, macine o meccanismi in generale**. L'energia cinetica del vento varia con il cubo della sua velocità: se quest'ultima raddoppia, l'energia aumenta all'incirca di otto volte, se la velocità del vento aumenta di un 10%, si ha un aumento del 33% di energia. In ogni caso, secondo la legge di Betz, solo il 59.3% della potenza posseduta dal vento può essere assorbita dal sistema eolico (non a caso un aerogeneratore con un'efficienza compresa tra il 40% e il 50% viene considerato ottimo)¹⁴⁴; diversamente, ovvero per cedere tutta la sua energia, il vento dovrebbe ridurre a zero la sua velocità immediatamente alle spalle del rotore (con l'assurdo di una massa in movimento prima e di una massa d'aria perfettamente immobile subito dopo). In sostanza il vento, passando nel rotore, subisce un rallentamento, e cede solo una parte della sua energia

¹⁴³ <https://thesolarlabs.com/ros/solar-energy-military-government-future-trends/#:~:text=With%20the%20help%20of%20solar,its%20dependence%20on%20fossil%20fuels>
<https://solarmetric.com/learn/how-is-the-us-military-using-solar-power/>
<https://www.armyupress.army.mil/Journals/NCO-Journal/Archives/2020/June/Renewable-Energy/>

¹⁴⁴ Per una prima introduzione all'energia eolica si veda l'articolo al link seguente:
http://www.msengineering.dyndns.org/Joomla/index.php?option=com_content&view=article&id=25&Itemid=183

cinetica. Oltre alle condizioni meteo, tra i vari fattori che influenzano la velocità del vento ci sono effetti geografici locali, come le asperità del terreno e l'altezza delle correnti d'aria. Il lavoro che può svolgere un aerogeneratore dipende dall'area del rotore e dalla sua capacità aerodinamica. Una turbina eolica che possa utilizzare la forza del vento che va da 3 m/s a 30 m/s può produrre mediamente 860 Kwh all'anno per ogni m² di corrente d'aria intercettata, mentre un rotore eolico può avere una potenza nominale di 0,3-0,5 Kw/m². Per le turbine ad asse orizzontale, l'area attiva è data dalla superficie sviluppata dal raggio dell'elica. Per le turbine ad asse verticale, la superficie utile è data invece dalla larghezza massima di prospetto per l'altezza della turbina. Le più piccole superfici attive misurano in genere circa 0.2 m², e possono produrre mediamente 100 Kwh per anno. In campo eolico, la tendenza attuale generale a livello internazionale è quella di sviluppare macchine più grandi e performanti, passando a es. da potenze di 2-3 MW a 7-8 MW, in particolare con **sempre maggiore interesse (anche grazie una progressiva riduzione dei costi) per lo sviluppo della tecnologia *off-shore*, ad oggi meno diffusa rispetto a quella *on-shore*. La quale, pur non richiedendo superfici di installazione particolarmente vaste, può rivelarsi più problematica sul piano socio-ambientale, potendo interferire in misura comparativamente superiore con attività antropiche, condotte sia nella sfera civile che in ambito militare. In alcuni Paesi, fra cui gli USA, negli ultimi 2 lustri l'installazione di impianti eolici è cresciuta anche per alimentare basi e siti militari, ma è importante che l'ubicazione delle turbine non interferisca con le attività condotte dal personale e con la sua sicurezza** (ad es. si vedano, in merito, le riflessioni del Gen. Michael Lutton circa la necessità di non installare grandi torri eoliche troppo in prossimità di siti missilistici e aree sorvolate da elicotteri¹⁴⁵). **Le tecnologie *off-shore* si distinguono, per il sistema di ancoraggio, in due principali categorie.** Nella prima, la torre è fissata al **fondale marino** (fino a poter raggiungere, come a es. per alcuni impianti in Nord-Europa, profondità di 40-50 metri); l'altra vede invece la torre fissata a **una piattaforma galleggiante** (a sua volta ancorata al fondale, con la possibilità di raggiungere profondità di centinaia di metri, aumentando quindi, oltre al potenziale di rendimento, anche il numero di siti idonei)¹⁴⁶. Lo sviluppo di queste tecnologie sta avendo, di riflesso, ricadute importanti anche nel settore della cantieristica per navi adibite al supporto operativo dei parchi eolici *off-shore*¹⁴⁷.

¹⁴⁵ <https://www.20af.af.mil/About-Us/Community/Wind-Energy-Development/CollectionId/19487/>

¹⁴⁶ Cfr. M. Phan (2022), *All About Offshore Wind Turbine Foundations*: <https://blog.virtuosity.com/all-about-offshore-wind-turbine-foundations>

¹⁴⁷ Si veda ad es. <https://www.fincantieri.com/en/media/press-releases/2023/fincantieri-to-build-a-service-operation-vessel-supporting-us-wind-farms/>

Attraverso la posa di cavi, le turbine eoliche *off-shore* possono essere collegate alle reti di trasmissione a terra, il che può consentirne l'uso per attività che si svolgono in **aree/località costiere** – laddove l'applicazione di tali impianti dovrà tener conto, oltre che della frequenza, orientamento e intensità dei venti, anche delle condizioni delle onde e delle maree, nonché del traffico marittimo circostante. Ciò non solo per la dimensione fisica delle turbine, ma anche per il rischio potenziale che i loro sistemi elettronici interferiscano con quelli di mezzi navali in transito in aree più o meno limitrofe. Tale problematica è stata più volte sollevata da parte delle marine militari, ad es. da quella statunitense¹⁴⁸.

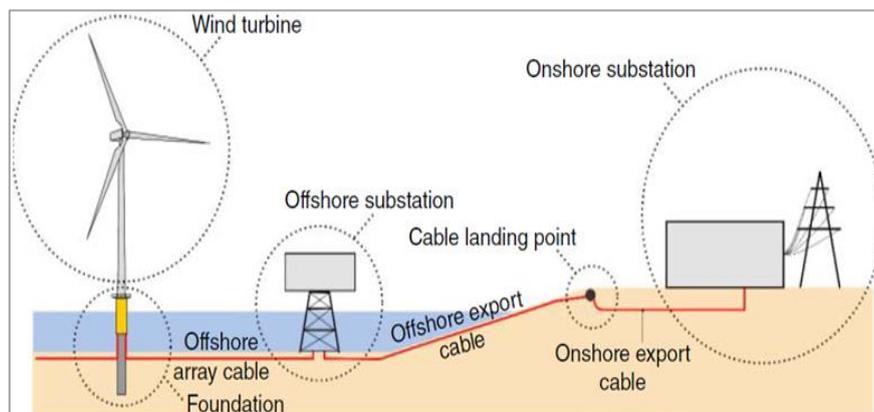


Fig. 28 – Schema di collegamento *offshore* – *onshore* Fonte: Virtuosity blog (2022)

Due nuove applicazioni dell'eolico, per le quali la tecnologia sembra matura e si sta lavorando per abbassarne ulteriormente i costi, sono il **minieolico** e il **micro-eolico** (solitamente per minieolico si intendono impianti con una potenza nominale fra 20 Kw e 200 Kw, mentre per micro-eolico le potenze nominali sono generalmente inferiori ai 20 Kw). Queste tecnologie sono già usate in ambito domestico ed anche per integrare il consumo elettrico di piccole attività economiche, tipicamente in modalità *stand-alone*, cioè sotto forma di singoli generatori, connessi poi alla rete elettrica nell'ambito di sistemi di generazione distribuita o tramite dispositivi di accumulo. Pesando meno delle turbine eoliche convenzionali, **tali impianti non richiedono grandi gru e cemento per la loro erezione/installazione**, possibile in genere **nell'arco di alcune ore e con poca manodopera**; grazie alle loro **ridotte dimensioni**, e alla **possibilità di trasportarli e montarli/rimuoverli in tempi comparativamente rapidi** (peraltro potendo utilizzare i

¹⁴⁸<https://www.bloomberg.com/news/articles/2023-04-17/pentagon-calls-biden-wind-farm-plans-problematic-for-us-military>

loro stessi containers di trasporto come base di installazione), sembrano potersi prestare piuttosto bene anche ad **impieghi per l'alimentazione di basi/strutture in teatro**¹⁴⁹. In genere si tratta di macchine basate su aerogeneratori ad asse orizzontale, con diametro del rotore da 3 a 20 metri e altezza del mozzo da 10 a 20 metri. Esistono poi modelli con asse verticale che, sebbene forniscano rendimenti più bassi, hanno in genere maggiore affidabilità, oltre ad essere più svincolati dalla direzione del vento, quindi più flessibili nell'impiego.



Fig. 29 – Rendering di turbine eoliche (e pannelli solari) per avamposto militare -
Fonte: Sandia National Laboratories (2021)

Di solito gli impianti di piccole dimensioni presentano un buon livello di **adattabilità ai siti di installazione**, potendo peraltro sfruttare sia venti deboli che forti, e intercettare anche raffiche improvvise. In ogni caso, qualora si ritenga sufficiente la **disponibilità di vento (come velocità e continuità)**, la **valutazione circa il loro uso deve considerare**, in generale ed **anche in campo militare**, fattori molto simili a quelli valutati nel caso l'installazione riguardi impianti di più ampie dimensioni, ovvero e fra gli altri:

- interferenza con altre strutture (es. dispositivi radar) e/o velivoli;
- inquinamento acustico (legato al rumore delle turbine);
- lunghezza dei percorsi elettrici di riferimento e interoperabilità con altri sistemi;

¹⁴⁹ Cfr. <https://www.energy.gov/eere/wind/articles/compact-wind-turbines-could-support-disaster-relief-and-military-missions>

Già negli anni '80 dello scorso secolo un paper riguardante le turbine eoliche per strutture/finalità militari stimava il tempo di erezione/installazione degli impianti in circa 6 ore, da parte di 4 uomini muniti di pale, carrelli levatori e strumenti manuali. Cfr. C. Wu, *Reinstallation of a Military Wind Turbine at the U.S. Naval Academy*, «Wind Engeneering», vol. 7, n. 4, 1983, pp. 207-2012: <https://www.jstor.org/stable/43748996>

- eventuali vincoli ecologici (es. possibili danni verso specie protette di volatili) o storico-archeologici;
- postura/percezione delle popolazioni locali verso la loro applicazione (sebbene la ridotta dimensione delle strutture dovrebbe aiutare a inibire sentimenti di contrarietà/opposizione)¹⁵⁰.

Se installati in luoghi e posizioni non sufficientemente elevate, gli impianti eolici di piccole dimensioni possono dar luogo ad una bassa resa (5-15%); inoltre essi possono dover necessitare di non poca manutenzione, il che concorre a far sì che il costo dell'energia elettrica prodotta possa essere poco conveniente. Di contro bisogna considerare che **l'uso degli impianti in questione può essere una soluzione per contribuire all'alimentazione di utenze in aree tendenzialmente isolate, e che la loro capacità tende ad aumentare al crescere della loro altezza**. Per ottimizzare il loro rendimento, si ritiene oggi necessaria un'altezza dell'asse delle pale compresa fra 30 e 100 metri (in pianura, laddove questa può essere inferiore in collina). Per il micro-eolico, negli ultimi anni sono stati avviati progetti di sviluppo per nuovi sistemi di aerogeneratori installabili su tetto, dalla resa relativamente bassa (40 kilowattora al mese), ma anche dai costi piuttosto limitati (anche sotto i 500 euro)¹⁵¹. **Sistemi eolici di piccole dimensioni sono stati attenzionati anche in ambito NATO**. Uno ad es. è stato sperimentato dal NATO *Energy Security Center of Excellence*, nell'ambito dell'analisi delle performance *dell'Hybrid Generation and Management System* (HPGS), ovvero un sistema che genera potenza combinando la fonte solare ed eolica con un generatore diesel¹⁵².

Una delle **ultime frontiere** circa l'applicazione dell'**energia eolica** riguarda la possibilità di installazione di impianti **a bordo di imbarcazioni commerciali**, tanto per l'alimentazione energetica delle attività di bordo quanto come mezzo per la loro stessa **propulsione** – laddove però come tempi di percorrenza le prestazioni raggiunte sarebbero, allo stato attuale, ancora sensibilmente inferiori a quelle della propulsione mediante propellenti più convenzionali – il che sembrerebbe al momento non incoraggiare troppo un'applicazione di tali tecnologie alla propulsione **in campo militare, laddove per un**

¹⁵⁰ Per un approfondimento sulle considerazioni tecnico-logistiche riguardanti il possibile uso del minieolico durante operazioni delle forze armate cfr. Brian Naughton et al., *Design Guidelines for Deployable Wind Turbines for Military Operational Energy Applications*, Sandia National Laboratories, 2021: <https://energy.sandia.gov/wp-content/uploads/2022/01/Deployable-Wind-Turbine-Design-Guidelines-SAND2021-14581-R-1.pdf>

¹⁵¹ Come ad es. uno inventato in Texas dall'ing. Chad Maglaque, che non necessita di un costoso *inverter* e che dunque può essere collegato direttamente alla rete elettrica domestica, alimentando altri apparecchi elettrici a basso consumo.

¹⁵² <https://www.enseccoe.org/data/public/uploads/2019/03/phase-1-report-hpgs-performance-analysis.pdf>

migliore bilanciamento fra performance operative e rispetto dell'ambiente sembrerebbe più conveniente continuare ad investire in carburanti 'alternativi' (v. *infra*)¹⁵³.

4.4 GEOTERMIA

I sistemi geotermici sfruttano l'energia della terra per **generare calore per climatizzare gli ambienti, o per produrre elettricità**. Oltre che per ambiti residenziali e domestici, l'energia geotermica risulta applicabile per processi agricoli e industriali. In ambito geotermico si evidenziano in particolare due ambiti tecnologici. Uno per la produzione di energia elettrica e per l'uso diretto dei fluidi caldi provenienti da falde sotterranee a diverse profondità (che vanno da pochi metri a chilometri di profondità, ovvero c.d. *deep geothermal energy*); l'altro che attraverso pompe di calore geotermiche (GSHP, *Ground-Source Heat Pump*) mira a riscaldare gli ambienti (*shallow geothermal*), sfruttando la stabilità termica del sottosuolo nei primi 200 metri¹⁵⁴. Dalle **pompe di calore** geotermiche viene annesso ai componenti principali, uno scambiatore di calore esterno, con il quale è assorbito o ceduto calore al terreno o all'acqua per la climatizzazione degli ambienti. Questi impianti sono dei sistemi aperti, nei quali l'acqua di falda è pompata in superficie e, dopo aver completato lo scambio termico, re-immessa nel sottosuolo. Sono adatti alla climatizzazione di abitazioni o gruppi di edifici, con una capacità che va in genere dai 10 ai 500 Kw/h. Con temperature più elevate è possibile generare sia energia elettrica che calore, in sistemi di cogenerazione (*Combined Heat and Power, CHP*), attraverso l'utilizzo di turbogeneratori a vapore.

La scelta fra i diversi sistemi dipende essenzialmente dalle condizioni termodinamiche della sorgente. In particolar modo dal livello delle temperature, e dalla presenza di fluidi aggressivi dal punto di vista chimico, che possono generare problematiche di corrosione dei materiali. Proprio questi fattori determinano il maggior onere nella messa in opera di impianti per lo sfruttamento delle risorse più profonde.

In campo geotermico la ricerca negli ultimi anni si è concentrata sui moduli UTES (*Underground Thermal Energy Storage*), cioè sistemi di stoccaggio stagionale da poter

¹⁵³ Viaggiando a circa 10 nodi, la nave cargo più grande del mondo (la svedese Oceanbird) ad energia eolica impiegherebbe, per attraversare l'Atlantico fra Europa e Stati Uniti, all'incirca 12 giorni (ovvero 4 giorni in più di quanto ci metterebbe, *ceteris paribus*, usando un carburante tradizionale). Cfr. es. <https://www.dezeen.com/2020/10/22/wallenius-marin-oceanbird-ship-wind-design/>

¹⁵⁴ Ricordiamo che le pompe di calore in generale si basano su tecnologie che non necessitano di fonti fossili, ovvero che usano l'energia termica proveniente da fonti rinnovabili esterne come aria, acqua e sottosuolo, per riscaldamento, raffreddamento e produzione di acqua calda sanitaria. Negli ultimi anni, in ambito europeo, l'uso di pompe di calore è stato attenzionato in via crescente, anche per diminuire il consumo di gas naturale a scopo termico (ovvero la principale voce d'impiego del gas in seno all'UE, con particolare riferimento all'ambito domestico).

utilizzare in momenti successivi. Per la produzione di energia elettrica o la cogenerazione dei sistemi geotermici profondi, sono invece già da alcuni anni allo studio: sistemi c.d. non convenzionali, ovvero stimolati (*Enhanced, o Engineered Geothermal Systems*, EGS), nei quali il serbatoio contenente il fluido geotermico è assente o molto scarso, o si crea artificialmente mediante fratturazione della roccia calda secca; sistemi geo-pressurizzati e co-prodotti, ossia acquiferi confinati ad alta pressione; magmatici, costituiti da camere magmatiche superficiali a temperature estremamente elevate; a fluidi supercritici, ovvero con temperature e pressioni oltre il punto critico dell'acqua pura; a salamoia calda, in cui le acque idrotermali originali hanno subito un lungo processo di concentrazione salina. Sono stati sperimentati poi **impianti di cogenerazione** e **ibridi** che combinano tecnologie geotermiche, solari-termiche, fotovoltaiche, biomasse e fossili¹⁵⁵. In anni recenti applicazioni geotermiche in sistemi ibridi hanno avuto luogo anche in Italia, ad es. combinando la geotermia con termovalorizzatori e impianti termici a gas metano, come avvenuto da parte del Gruppo HERA in Emilia-Romagna¹⁵⁶.

4.5 IDROGENO

Fra le risorse energetiche alternative di interesse, in generale e per le Forze Armate, assume poi rilevanza strategica, pur non senza possibili difficoltà implementative – tecnologico-economiche e politiche –, l'idrogeno (termine di origine greca traducibile semplificando in «generatore d'acqua»). Esso è il primo elemento chimico della tavola periodica (simbolo H, numero atomico 1) e il più leggero. Allo stato libero, a pressione atmosferica e temperatura ambiente (298K), si trova sotto forma di gas biatomico incolore, inodore e insapore, avente formula molecolare H₂ (c.d. idrogeno molecolare, idrogeno biatomico, idrogeno diatomico, diidrogeno). Benché sia l'elemento più abbondante nell'universo, sul nostro pianeta lo si trova in larga prevalenza associato ad atomi differenti (in ambito energetico è definito fonte 'secondaria'), per cui va ottenuto con processi di scomposizione. Può servire da combustibile, vettore di energia e materia prima chimica. Esistono non poche modalità per produrlo, fra cui elettrolisi dell'acqua, *reforming* di gas naturale e altri combustibili fossili, gassificazione dei residui della raffinazione del petrolio,

¹⁵⁵ La cogenerazione, che consiste nella produzione simultanea di energia elettrica e termica partendo da un'unica fonte, sia fossile che rinnovabile, all'interno di un unico sistema integrato, favorisce in media un risparmio del 30%. La configurazione più comune di un cogeneratore prevede l'integrazione tra un motore, collegato a un generatore elettrico, e un sistema di recupero del calore. L'energia in questione può essere utilizzata per usi elettrici, per riscaldamento o per sistemi di raffreddamento e climatizzazione. In questi casi si parla di 'tri-generazione', cioè la produzione simultanea di energia termica, elettrica e frigorifera da un'unica fonte energetica.

¹⁵⁶ https://www.fondazioneinternazionale.org/wp-content/uploads/2016/04/11-FERRARESI_ConvegnoGrado2016.pdf

cracking del metano, estrazione dai giacimenti petroliferi con iniezioni di ossigeno, etc¹⁵⁷. Pressoché senza investimenti aggiuntivi e miscelato al gas naturale in quantità contenute (nei casi più permissivi fino al 20/25%), l'idrogeno può essere veicolato in condotte già esistenti, laddove queste vanno invece solitamente modificate o sostituite per veicolarlo in misura più consistente o in forma pura – anche perché le piccole dimensioni della sua molecola possono agevolarne la fuoriuscita dagli impianti, e perché non tutti i materiali usati per i secondi possono interagirvi senza indebolirsi (ad es., in tesi generale, tubi in acciaio e polietilene possono resistere all'idrogeno più delle tubature in ferro). Liquido o come gas compresso, può essere trasportato anche in serbatoi. In merito all'idrogeno va segnalato come di recente siano stati ipotizzati, anche sulla scia di non pochi progetti avviati sul piano internazionale (es. Australia, Cile, Olanda, Portogallo, Regno Unito, Sud Africa), e di sperimentazioni fruttuose riguardanti la stessa Italia, nuovi possibili futuri partenariati euro-mediterranei¹⁵⁸. Laddove peraltro il territorio italiano potrebbe rappresentare, anche grazie all'eventuale parziale riconversione della rete di gasdotti e metanodotti già esistenti fra Nord Africa e Unione Europea (che eviterebbe o limiterebbe nuovi elettrodotti), una sorta di ponte strategico per il trasporto dell'idrogeno verso il Vecchio Continente¹⁵⁹. La crescente attenzione sull'idrogeno, che in parte affonda le sue radici in noti lavori dell'economista statunitense Jeremy Rifkin (cfr. es. *The Hydrogen Economy*, 2002), si deve anche a recenti progressi circa le modalità di stoccaggio (es. in cave saline), e alla possibilità di produrlo in modo ecosostenibile non solo da fonti rinnovabili (idrogeno verde) e dall'energia nucleare (idrogeno viola), ma anche da fonti fossili, a patto che in tal caso vi siano anche dei contestuali processi di CCS, ovvero di cattura e sequestro, nel sottosuolo o in altri materiali, della CO₂ emessa durante la sua produzione (così da passare, in sostanza, dall'idrogeno

¹⁵⁷ Per ottenere idrogeno dall'acqua (elettrolisi) bisogna introdurre nella seconda un anodo e un catodo e stabilire una differenza di potenziale affinché avvenga la separazione dell'idrogeno dall'ossigeno. Gli 'elettrolizzatori' in commercio in genere ottengono un metro cubo di idrogeno con 3.7 Kwh di energia elettrica. L'elettrolisi è un metodo che può produrre idrogeno con un alto grado di purezza. In alcuni casi il consumo di elettricità dell'elettrolisi dell'acqua può essere ridotto non elettrolizzando l'acqua liquida, ma il vapore. Vi sono differenti tipi di elettrolisi: alcalina, PEM (Proton Exchange Membrane), SO (Solid Oxide), etc.

¹⁵⁸ Come documentato da esperti di settore quali Massimo Lombardini e Marco Alverà, in Italia negli ultimi anni sono stati avviati, da nord a sud, diversi progetti per iniziare a miscelare e immettere idrogeno (per ora al 10%) nella rete gas nazionale, così come per i processi di CCS e produzione di idrogeno verde per industria, mobilità e trasporti.

¹⁵⁹ Vds. ad es. Ad van Wijk et al., *A North Africa – Europe Hydrogen Manifesto*, Dii Desert Energy, 2019: <http://profadvanwijk.com/wp-content/uploads/2019/12/Dii-hydrogen-study-November-2019.pdf>

grigio/marrone, attualmente il più diffuso, a quello di tipo blu)¹⁶⁰. In prospettiva questo potrebbe quindi permettere, al netto di un abbassamento dei costi (più bassi che in passato ma tuttora comparativamente elevati) dell'idrogeno¹⁶¹, e di altre criticità legate ad una sua vasta diffusione (anche di sicurezza, essendo più infiammabile di altri gas), di sviluppare una risorsa energetica in grado di agevolare non pochi Paesi a rimodulare consumo e produzione di idrocarburi senza eccessivi contraccolpi economici e in modo ecosostenibile. Non è casuale, del resto, che la stessa Unione Europea si sia dotata, nel 2020, di una specifica strategia sull'idrogeno, e che tale risorsa sia, coerentemente con gli obiettivi ambientali del *Next Generation EU*, fra quelle attenzionate nei Piani Nazionali di Ripresa e Resilienza di diversi Paesi membri; fra questi **l'Italia, che intende svilupparlo sia in ambito industriale che per i trasporti**¹⁶². In quest'ultimo senso occorre però rilevare come ancora via sia, pur esistendo già veicoli alimentati a idrogeno, una **diffusa carenza di infrastrutture, ovvero stazioni di ricarica** (ad oggi forse il problema principale, non solo in Italia¹⁶³). In ogni caso, sembra che già in un prossimo futuro l'idrogeno potrebbe essere

¹⁶⁰ L'idrogeno 'verde', ricavato da fonti rinnovabili, è a zero emissioni di CO₂, pertanto a più basso impatto ambientale degli idrogeni c.d. neri/marroni e grigi, ottenuti da idrocarburi e con liberazione di CO₂ nell'aria, e financo di quello 'viola', ottenuto da energia nucleare, nonché di quello blu, prodotto da idrocarburi, ma con anche la cattura del residuo emissioni (nel sottosuolo o in altri materiali). La Commissione Europea ha chiesto all'Italia di assicurare una quota minima (fissata al 10%) del tipo verde nell'alimentazione di progetti che richiedano grandi quantità e miscele di idrogeno, mentre Roma ha identificato d'altra parte progetti per circa 400 milioni di euro in cui si farà uso esclusivo di idrogeno green. Cfr. <https://www.mite.gov.it/comunicati/PNRR-nessuna-pressione-o-rimodulazione-ma-solo-normali-interlocuzioni-eu-mite>

Per uno studio recente sull'idrogeno blu, che almeno in parte ne ridimensiona l'efficacia ecologica, si vada al seguente link: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1002/ese3.956>

¹⁶¹ Rispetto a quello del petrolio, il costo dell'idrogeno verde era di quasi 40 volte nel 2000, di quasi 30 nel 2007. Tuttavia, in Europa nel 2020, in termini di costi equivalenti, laddove l'energia da idrogeno si attestava a 100 (verde), 50 (blu) e 45 (grigio), petrolio, gas naturale e carbone risultavano pari, rispettivamente, a 39, 16 e 13. Il costo dell'idrogeno verde rispondeva a circa 4 dollari al kg (equiv. a ~160 dollari al barile di petrolio), mentre per divenire competitivo trasversalmente con fonti fossili e idrogeni derivati dovrebbe raggiungere una quota inferiore ai 2 dollari al kg, cosa che secondo BloombergNEF (2021) potrebbe avvenire, complice anche una maggiore volatilità nelle quotazioni degli idrocarburi, già entro il 2030 (con il costo dell'idrogeno stimato a meno di 1 dollaro/kg nel 2050).

¹⁶² Rispetto all'idrogeno il PNRR (2021, *passim*) prevede di promuoverne la produzione, la distribuzione e gli usi, tramite attività di ricerca e sviluppo correlate e progetti per un suo impiego nei trasporti e nei settori *hard to abate*, ovvero altamente energivori, con sensibili costi di riduzione delle emissioni e carenti di opzioni di elettrificazione percorribili o risolutive. In linea con tali obiettivi, il Piano prevede oltre 3.15 miliardi di investimenti per potenziare l'uso dell'idrogeno, fra gli altri nei comparti siderurgico, chimico, cementifero, del vetro e della carta, per trasformare aree industriali dismesse in poli produttivi con economie basate in parte su idrogeno (c.d. *hydrogen valleys*) e, infine, per sperimentarne l'impiego, tramite un'apposita rete di stazioni di ricarica, sia nel trasporto stradale pesante che in tratte ferroviarie non elettrificabili in regioni ad alto traffico di passeggeri (sia al nord che al centro e al sud). È bene precisare che tale processo sarà molto graduale, e che si avvarrà, come espressamente chiesto a Roma dalla Commissione Europea in fase di esame dello stesso PNRR, di specifiche misure riguardanti anche l'idrogeno 'verde'. Per favorire l'attuazione del programma sull'idrogeno, il Piano prevede misure legislative volte a un quadro regolativo che ne favorisca uso, trasporto e distribuzione, e a una cornice fiscale che ne stimoli produzione e consumi, in linea con la Strategia UE sull'idrogeno e la Direttive UE sulle energie rinnovabili (2018, 2023). La prima (2020) prevede una crescita dell'idrogeno verde almeno fino al 13-14% nel mix energetico europeo entro il 2050 (con una nuova capacità installata di relativi elettrolizzatori pari a 40 GW), laddove nel 2030 le rinnovabili dovrebbero arrivare a rappresentare almeno il 42.5% dei consumi energetici complessivi dell'UE.

¹⁶³ Si pensi a es. che in Svizzera le stazioni di ricarica a idrogeno non arriverebbero a 15 (a fronte di circa 3.550 stazioni di rifornimento tradizionali); in tutto il mondo se ne conterebbero meno di 630, con i maggiori contributi da parte di Giappone (175), Stati Uniti (107), Germania (92) e Cina (88): un numero complessivo ancora molto piccolo, soprattutto in rapporto alle stazioni di rifornimento tradizionali, ma anche rispetto a quelle per auto elettriche a batteria. Cfr. <https://www.glpautogas.info/it/distributori-idrogeno.html>

impiegato in via crescente per mezzi come i camion a medio-lunga percorrenza. Anche perché, sebbene essi avrebbero bisogno di pile/serbatoi di dimensioni non piccole, basterebbero poche stazioni di ricarica. È stato stimato difatti che per un camion che viaggia da Zurigo a Monaco di Baviera sarebbe sufficiente una stazione al punto di partenza e una a quello di arrivo. D'altra parte è anche vero che test svolti di recente in Germania e Svezia, basati su linee aero-elettriche, hanno mostrato come i camion su autostrade possano essere alimentati anche tramite pantografo (pur necessitando di una piccola batteria per il tragitto da e per l'autostrada)¹⁶⁴. Questo sistema ridurrebbe, almeno in teoria, i problemi di autonomia. Necessitando comunque i motori elettrici in generale di meno energia dei motori a combustione tradizionali, l'auspicio è che le prospettive evolutive sull'idrogeno portino, nei prossimi lustri, a sensibili risparmi in termini di costi produttivi e infrastrutturali, anche considerando che **come propellente l'idrogeno può essere usato, pur con effetti ambientali e prestazioni differenti, sia con sistemi a celle di combustibile (fuel cell) che con motori tradizionali**. Nel primo ambito si ha un *powertrain* paragonabile a quello a batteria, praticamente a zero emissioni, ma come in quest'ultimo caso ciò può evidentemente richiedere motori del tutto differenti da quelli convenzionali (in una batteria l'energia è immagazzinata nella batteria stessa, che è un sistema completo di stoccaggio e conversione, mentre in una pila a combustibile - fuel cell - l'energia è immagazzinata fuori della pila, ovvero in un serbatoio di idrogeno, con la pila che funge da convertitore). Quando invece si brucia idrogeno in una camera di scoppio, pur non essendoci emissioni di CO₂, perché i motori funzionino al meglio può essere necessario prevedere delle accortezze dal punto di vista meccanico – anche perché in tal caso le *performances*, al di là del fatto che alcuni ossidi di azoto (NO_x) vengono comunque immessi nell'atmosfera, potrebbero essere inferiori a quelle con carburante convenzionale¹⁶⁵.

Come mostrato fra l'altro dall'**esperienza italiana**, sul **piano militare l'idrogeno viene impiegato già da diversi anni come propellente per sottomarini (classe U212A)**. L'utilizzo di idrogeno **con celle a combustibile (fuel cell)** consente difatti una propulsione indipendente dall'aria in grado di garantire ai mezzi subacquei una lunga permanenza ad

¹⁶⁴ <https://www.tcs.ch/it/test-consigli/consigli/ambiente-mobilita/carburanti-alternativi.php>

¹⁶⁵ Ovvero un motore a benzina con iniezione indiretta, se alimentato a idrogeno, ha un rendimento molto inferiore. Diverso il discorso se si adottano l'iniezione diretta e la sovralimentazione a geometria variabile, quando si può anche arrivare, incrementando la percentuale di idrogeno nella camera di combustione, a sviluppare una potenza superiore di quella degli stessi motori alimentati a benzina (ma così si innalzano anche le emissioni di NO_x). Cfr. F. Barontini (2022), *Motori alimentati a idrogeno: a che punto è la tecnologia*. Disponibile al sito: <https://insideevs.it/news/518116/motori-termici-idrogeno-combustione/#:~:text=Le%20cose%20migliorano%20se%20si, idrogeno%20nella%20camera%20di%20combustione.>

alte profondità, peraltro con impatto ambientale quasi nullo¹⁶⁶. Come propellente l'idrogeno a fuel cells è impiegato, in campo militare e come già accade ad es. in **Corea del Sud**, anche per l'alimentazione di **droni** per attività di **sorveglianza** a corto raggio, dove tali velivoli garantirebbero, rispetto ai droni elettrici a batteria, maggiore autonomia di volo e, in alcuni casi, minori vibrazioni e meno impatto sonoro (*ergo* minori rischi di rilevazione); come i motori elettrici più in generale, in Corea del Sud e altri Paesi **nei prossimi anni l'uso della tecnologia fuel cell a idrogeno dovrebbe estendersi anche ad altri velivoli, e financo ad armored vehicles terrestri**¹⁶⁷. D'altronde negli ultimi anni l'idrogeno, anche del tipo verde, è stato oggetto di crescenti studi e **sperimentazioni** anche per l'alimentazione di **mezzi di trasporto e/o combattimento di tipo ruotato e cingolato**. Ad es. lo **US Army** ha avviato progetti di settore volti ad utilizzare celle a idrogeno per la trazione di fuoristrada, blindati/veicoli corazzati e carri armati, con lo scopo non solo di diminuire le emissioni climalteranti e la dipendenza da carburanti tradizionali, ma anche di implementare sistemi in grado di sfruttare appieno i **potenziali vantaggi tattici** offerti da questo tipo di alimentazione. Fra tali vantaggi figurano minor peso e maggiori capacità *stealth* dei mezzi, legate al minore impatto sonoro, termico e olfattivo dei veicoli, i quali dovrebbero peraltro mantenere comunque una piena operatività su tutti i tipi di percorso già attraversati da mezzi ad alimentazione convenzionale, e risultare, anche grazie a motori a coppia elevata, financo più efficaci lungo terreni accidentati e scoscesi¹⁶⁸.

¹⁶⁶ L'impiego dell'idrogeno, su questi mezzi, risulta particolarmente ecosostenibile, anche perché l'unico prodotto di scarto delle fuel cell è acqua ossigenata che viene impiegata per usi di bordo. L'esperienza maturata in ormai due decenni di rifornimento di idrogeno nel mondo, a favore dei sistemi di propulsione dei sottomarini, ha portato la Marina italiana a sviluppare un *background* significativo anche nel fronteggiare le criticità del trasporto e della gestione dell'idrogeno. Un bagaglio che nel prossimo futuro potrebbe essere messo al servizio della realizzazione di infrastrutture di produzione, accumulo e trasporto per l'economia circolare delle reti green a favore del Paese. Cfr. https://www.marina.difesa.it/cosa-facciamo/per-ambiente/flotta-verde/Pagine/l_Combustibili_alternativi.aspx

¹⁶⁷ Vds. S. M. Katalenich – M.Z. Jacobson (2022), *Toward battery electric and hydrogen fuel cell military vehicles for land, air, and sea*, in «Energy», vol. 254 (B): <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0360544222012580>
Cfr. anche i seguenti siti: <https://hydrogen-central.com/south-korean-military-hydrogen-powered-drones-doosan-mobility/> - <https://www.defensenews.com/global/asia-pacific/2021/10/22/kai-unveils-electric-basic-trainer/>

¹⁶⁸ Per esempi e riflessioni pertinenti, legate a considerazioni di possibile maggiore efficienza di veicoli elettrici a idrogeno rispetto a quelli alimentati con carburanti tradizionali, ma anche di possibili inferiori rischi di intercettazione dei primi da parte avversaria per il loro minore impatto acustico, termico, atmosferico e olfattivo, si rimanda *inter alia* ai seguenti siti:
<https://fuelcellworks.com/news/u-s-army-develops-stealthy-hydrogen-fuel-cell-powered-tanks/>
https://www.hydrogen.energy.gov/pdfs/htac_mar19_07_centeck.pdf
<https://www.cnbc.com/2021/06/21/by-land-sea-and-air-gm-to-expand-fuel-cell-business-beyond-evs.html>
<https://news.climate.columbia.edu/2021/01/07/need-green-hydrogen/>



Fig. 30 – * Comparazione fra veicolo colorado ZH2 (idrog.) e MMMWV: emanando meno calore, il mezzo a idrogeno (sopra) sarebbe meno rilevabile termicamente durante la notte; inoltre, più silenzioso del 75-90%, restringerebbe le capacità di intercettazione avversaria, potendo giungere, a 10 miglia orarie di velocità, fino a 100 metri dal *target* senza essere rilevato dal nemico (sfavorendone i tempi di reazione e le chiamate di supporto aereo e di artiglieria). Fonte: https://www.hydrogen.energy.gov/pdfs/htac_mar19_07_centeck.pdf

Va però detto che **anche in ambito militare** l'uso dell'**idrogeno per autotrazione può richiedere**, se lo si usa nei classici motori termici a scoppio ma soprattutto con motori a celle di combustibili, un **importante adeguamento tecnologico** sia rispetto ai veicoli che alle infrastrutture di alimentazione. Tutto ciò rappresenta, sotto il profilo dei costi e dei tempi, un elemento da considerare in modo comunque ponderato – ovvero tale da scoraggiare, a nostro avviso, una *policy* che identifichi nell'idrogeno un fattore a cui affidarsi in modo massivamente prevalente o esclusivo, suggerendo piuttosto, insieme ad altre variabili, una sostanziale diversificazione nell'alimentazione energetica dei parchi e delle flotte.

4.6 BIOENERGIA, CARBURANTI ALTERNATIVI E MOBILITA' ELETTRICA

La **bio-energia** è prodotta per via biologica, e può essere disponibile sotto forma di gas combustibile (biogas/biometano) o di etanolo ottenuto mediante fermentazione di biomasse e utilizzabile come carburante. Il **biogas** rappresenta oggi una delle fonti alternative alle energie fossili più utilizzate. Si tratta di un gas totalmente naturale, poiché viene ottenuto dalla fermentazione anaerobica di biomasse (materiali fermentescibili) che possono avere diverse origini (es. frazione organica dei rifiuti solidi urbani/industriali, scarti di lavorazione agricola, reflui zootecnici, etc.). Uno dei suoi potenziali vantaggi è la possibilità di ri-utilizzare i materiali di scarto dando loro un valore economico, ambientale e sociale (essendo prodotto da scarti di origine agricola o animale, rappresenta una soluzione energetica 'circolare', permettendo di ottenere energia da un prodotto di rifiuto di altri settori e non da materie prime vergini, come avviene con i tradizionali combustibili fossili). Il biogas

ha un impatto ambientale sostanzialmente nullo, con emissioni che possono essere considerate *net zero* (ovvero non viene liberata nell'atmosfera anidride carbonica in eccesso rispetto a quella che può essere assorbita). Sebbene possa contenere sostanze di diverso tipo, solitamente il gas biologico è composto soprattutto da **metano (~60%) e anidride carbonica (~40%)**, con piccole tracce di impurità quali ad es. idrogeno solforato, ossidi di carbonio, azoto e ammoniaca. Tra le altre caratteristiche del biogas c'è l'assenza di odore, mentre la frazione solida e liquida proveniente dalla digestione anaerobica ('digestato') ha un importante valore agronomico¹⁶⁹. Per questi motivi **l'Unione Europea ritiene questa sostanza (e i biocarburanti più in generale), come si evince peraltro dalla più recente direttiva UE sulle rinnovabili (REDIII, 2023), una fonte energetica da promuovere per diminuire l'inquinamento e il conseguente effetto serra** (seppure sia bene ricordare che le normative di settore autorizzano la produzione di biogas solo da uno specifico elenco di biomasse)¹⁷⁰. La **Commissione Europea indica il biogas come una fonte di energia affidabile e pulita** (un'opportunità anche come fonte di reddito alternativa per gli agricoltori europei). Grazie al suo elevato potere calorifico, **il biogas è convertibile in elettricità e calore, ovvero può sostituire i tradizionali combustibili fossili nelle loro classiche applicazioni energetiche**. È possibile produrre energia elettrica da biogas usando tale risorsa all'interno di **specifiche centrali termoelettriche**. La risorsa in questione consente così anche di generare e distribuire energia termica (riscaldamento e/o acqua calda sanitaria) ad utenze vicine agli impianti. È quanto avviene ad esempio con il teleriscaldamento, un sistema integrato che collega una centrale termica con utenze nei dintorni. Le produzioni di energia elettrica e calore possono essere integrate in un unico

¹⁶⁹ Si tratta in sostanza di gas ottenuti, sfruttando il principio/processo naturale di anaerobiosi, da materiali di scarto provenienti da lavorazioni agricole, allevamenti, mondo alimentare, silvicoltura e rifiuti industriali e urbani. La biomassa viene generalmente stoccata in appositi serbatoi o vasche chiuse. Il processo di digestione anaerobica che avviene all'interno dei 'digestori' necessita di una temperatura tra i 35°C ed i 55°C ed un tempo di residenza per la fermentazione che può variare dai 20 ai 60 giorni (in funzione della tipologia di biomassa e dei volumi dei digestori). È possibile quindi produrre biogas con un processo anaerobico, quindi senza il supporto dell'ossigeno. L'impianto di biogas sfrutta in particolare la metano-genesi, un processo biochimico che comporta la trasformazione di una sostanza organica in biogas (metano e anidride carbonica). In sostanza, grazie al mantenimento di condizioni ottimali e precise, microrganismi con metabolismo che non richiede ossigeno trasformano il materiale organico prima in acido acetico e idrogeno, poi in anidride carbonica e metano.

¹⁷⁰ La direttiva in questione, negoziata nella primavera del 2023, ha l'obiettivo che entro il 2030 il consumo energetico complessivo dell'UE da fonti rinnovabili si attesti tra il 42.5 e il 45% - per lo stesso anno l'obiettivo precedente (REDII) era del 32%, laddove al 2021 tale consumo è stato di quasi il 22%. La direttiva RED III rafforza l'uso delle rinnovabili in generale e per i trasporti, in quest'ultimo caso indicando come obiettivo una riduzione del 14.5% dell'intensità delle emissioni di gas serra o il raggiungimento di una quota del 29% di rinnovabili nel consumo finale di energia. Il tutto con un sotto-obiettivo combinato di almeno il 5.5% per i biocarburanti avanzati e i carburanti rinnovabili di origine non biologica (questi, fra cui l'idrogeno rinnovabile, ad un livello minimo dell'1%).
https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/IP_23_2061

sistema di cogenerazione, che permette di efficientare il rendimento energetico. Questa tecnica rappresenta il sistema più diffuso in Italia per la valorizzazione del biogas¹⁷¹.

Nella pianificazione di un **impianto di biogas**, sia esso usato **in ambito civile o militare**, devono essere **valutati diversi aspetti, ambientali ed economici**. Fra i fattori teoricamente favorevoli, il biogas può permettere una rapida sostituzione di combustibile fossile per uso energetico, contribuendo agli obiettivi di riduzione delle emissioni climalteranti e ad una maggiore indipendenza energetica. L'uso di materiale organico di scarto può consentire la creazione di un'attività economica su un flusso di materia altrimenti destinato allo smaltimento. Il 'digestato' prodotto, inoltre, rappresenta un ammendante naturale e concimante che anche le più recenti normative equiparano al tradizionale uso dei fertilizzanti chimici (rappresentando, oltre che un beneficio ambientale, un immediato risparmio per l'economia agricola). Sempre più spesso poi le tecnologie impiegate negli impianti sono in grado di valorizzare i sottoprodotti della lavorazione, reimmettendoli nel mercato (come a es. il solfato di ammonio, utile per la produzione di fertilizzanti di base ammoniacale), efficientando ulteriormente la circolarità del processo. Al contempo, **la pianificazione di un impianto deve valutare attentamente il bacino di approvvigionamento delle biomasse in ingresso, che qualora reperite a distanza troppo elevata potrebbero rischiare di rendere l'attività meno sostenibile sul piano dei costi e a livello ecologico**. Nella valutazione del rendimento economico-ambientale complessivo degli impianti bisognerebbe poi tener conto non tanto o non solo delle emissioni climalteranti evitate in assoluto, ma di quanto queste siano inferiori a quelle legate alle differenti fonti fossili tradizionali – laddove questo calcolo, in cui andrebbero inserite anche le emissioni generate dal trasporto delle biomasse verso l'impianto, potrebbe produrre **convenienze inferiori nel caso di comparazione con centrali a gas naturale piuttosto che a petrolio o a carbone**, il che dovrebbe incidere evidentemente sull'ubicazione territoriale delle infrastrutture a biogas.

Un **ulteriore impiego del biogas**, nello specifico del **biometano** (ottenuto dalla raffinazione/*upgrading* del biogas mediante rimozione della CO₂), è nel settore dell'**autotrazione** per autoveicoli e macchine agricole (sebbene il biometano possa anche sostituire il gas metano di origine fossile con immissione nelle rispettive reti di trasporto e stoccaggio, ed essere usato in campo agricolo come fertilizzante alternativo)¹⁷².

¹⁷¹ Sul biogas cfr. Sorgenia (2023c): <https://www.sorgenia.it/guida-energia/biogas>

¹⁷² Sul biometano cfr. https://www.snam.it/it/transizione_energetica/biometano/biometano/

Proprio nel **settore dell'autotrazione e trasporti** si stanno profilando, già da alcuni anni e non senza limiti o difficoltà, sviluppi di particolare interesse in termini di adattamento e mitigazione verso il *climate change*. Ci si riferisce nello specifico ai **biocarburanti**, ottenuti da materie prime di origine agricola, vegetale, etc., e ai **carburanti sintetici**, che insieme ai primi fanno parte della categoria dei **carburanti alternativi** (quelli che non hanno natura primariamente fossile). I **biocarburanti** possono essere distinti in quelli di **prima generazione**, con l'uso di piante destinabili anche all'alimentazione (un fatto sempre meno tollerato sul piano etico ed economico), e quelli di **seconda**, basati su piante/residui non commestibili (almeno per l'uomo). Di recente hanno ottenuto risultati promettenti anche progetti condotti su residui colturali come la paglia (come a es. quello della multinazionale chimica svizzera Clariant, che anche grazie a finanziamenti sostenuti dall'UE nel 2022 ha avviato, in una nuova bioraffineria rumena, la produzione di 50.000 tonnellate annue di etanolo da cellulosa ricavato dalla paglia, destinate alla società Shell)¹⁷³. Si è infine profilata, anche a seguito di crescenti pressioni contrarie a rischi di deprivazioni di suolo e deforestazione legati allo sviluppo dei biocarburanti, una **terza generazione**, per i quali vengono elaborati e modificati geneticamente **microrganismi e alghe** (sebbene ricerche recenti sostengano che la bioenergia da microalghe risulti ancora poco efficiente sotto il profilo economico-ambientale¹⁷⁴). Rileva peraltro che lo sviluppo di quest'ultimo gruppo di biocarburanti abbia tratto impulso, almeno in parte, proprio da **sperimentazioni avviate in campo militare**, volte a trasformare alghe e altri materiali grezzi di scarto, non di rado reperibili anche nei teatri di conflitto, in **carburanti per alimentare mezzi tattici terrestri, velivoli e navi militari** (vds. anche *infra*).

Oltre al **biogas**, i **principali** tipi di **biocarburanti** sono l'**alcol etilico** (ottenuto per via fermentativa) ed il **biodiesel**. L'**alcol etilico** può essere un ottimo carburante per autotrazione poiché presenta un livello di ottani superiore alla benzina, ma brucia ad una pressione inferiore e non contiene zolfo, comportando, quindi, ridotte emissioni senza la necessità d'installare convertitori catalitici. Per la produzione dell'alcol etilico si possono impiegare materiali contenenti zuccheri fermentescibili o materiali contenenti sostanze capaci di fornire, mediante processi idrolitici, una soluzione di zuccheri fermentescibili. Al primo gruppo appartengono barbabietole, canna da zucchero, frutta, etc.; al secondo materie amidacee come patate, cereali e materiali cellulosici, cioè legno e residui delle

¹⁷³ <https://cordis.europa.eu/article/id/436691-making-fuel-from-straw-for-a-better-climate/it>

¹⁷⁴ Cfr. ad es. J. De Angelo et al., *Economic and biophysical limits to seaweed farming for climate change mitigation*, in «Nature Plants», 9 (2023), pp. 45-57: <https://www.nature.com/articles/s41477-022-01305-9>

lavorazioni agricole. Dal punto di vista tecnologico, i più importanti aspetti connessi con il processo fermentativo riguardano l'adozione di efficienti tipologie di fermentatori e la riduzione del consumo energetico richiesto dai sistemi di recupero e di disidratazione. Normalmente le fermentazioni alcoliche vengono condotte a temperature comprese fra 25° e 35°C. Sono in corso tentativi di impiegare microrganismi termofili (per es., *Clostridium thermocellum*) che, essendo dotati di maggiore resistenza alla temperatura, consentano di condurre il processo a velocità più elevate, condizioni di lavoro maggiormente sterili e un più facile allontanamento dell'alcol etilico dall'ambiente di reazione. Poiché i microrganismi termofili tendono a non tollerare concentrazioni di alcol elevate, si tende al miglioramento dei microrganismi attraverso manipolazioni genetiche, con tecniche del DNA ricombinante e della fusione cellulare. Nella tecnologia dei fermentatori si utilizzano reattori a membrana che non richiedono né separazione né ricircolo dei microrganismi, perché vengono utilizzati in forma immobilizzata, cioè fissati su particolari matrici (sia inorganiche, come la pomice, sia organiche, come gli alginati e i polimeri di sintesi)¹⁷⁵.

Il **biodiesel** può essere prodotto da una serie di materie prime come mais, soia, palma, cocco oppure olio di semi di girasole, impiegate anche per il consumo umano e animale. Gli oli vegetali più impiegati sono quelli di colza e di girasole (rispettivamente più dell'80% e oltre il 10% della produzione totale). In Europa, la maggior parte del biodiesel è prodotto dall'olio di colza, mentre negli USA dai semi di soia (molto più abbondanti che nel Vecchio Continente). Il carburante in questione può essere altresì prodotto da piante oleaginose che vengono impiegate poco o per nulla nel consumo umano e animale, come olio di Jojoba e Karanja, o microrganismi/alghe. In ogni caso la materia prima può essere scelta in base alla disponibilità della pianta e alla capacità dell'olio vegetale di produrre esteri. Come materia per produrre biodiesel può essere utilizzata anche la *Jatropha Curcas*, un arbusto originario dell'America Centrale appartenente alla famiglia delle Euforbiacee, di altezza massima di circa 5 metri, non commestibile (velenosa) per l'uomo (*ergo* poco o per nulla influente sui mercati agricoli-alimentari). L'utilità della ***Jatropha Curcas*** in relazione al biodiesel si segnala, anche da un **punto di vista strategico-militare in relazione ai nuovi scenari correlati al *climate change***, per la sua facilità di crescita, oltre che per essere **resistente alla siccità** (è coltivabile anche in zone pressoché desertiche e in terreni a basso contenuto di nutrienti, sebbene le stime sulle quantità d'acqua necessarie per la sua produzione siano

¹⁷⁵ Con il termine di DNA ricombinante si intende una sequenza di DNA ottenuta artificialmente dalla combinazione di materiale genetico di origini differenti. Sull'alcol etilico come carburante vds. anche: https://afdc.energy.gov/fuels/ethanol_benefits.html#:~:text=Ethanol%20is%20a%20renewable%2C%20domestically,s eason%E2%80%94ethanol%20helps%20reduce%20emissions.

variabili)¹⁷⁶. La pianta produce semi che contengono fino al 40% di olio, non commestibile ma utilizzabile come combustibile, ovvero come carburante, previa semplice spremitura e filtrazione¹⁷⁷, in motori diesel opportunamente progettati, oppure trasformabile in biodiesel tramite transesterificazione (e in tal caso impiegabile in tutti i motori diesel senza alcuna modifica specifica)¹⁷⁸. I gas di scarico di motori alimentati con biodiesel contengono minori concentrazioni di monossido di carbonio, di idrocarburi incombusti e di particelle di carbone, mentre l'anidride solforosa risulta assente. Il ciclo produzione-impiego del biodiesel comporta uno sviluppo netto di anidride carbonica (CO₂) pressoché trascurabile. Secondo recenti stime, **il costo al barile per produrre biocarburante usando la Jatropha Curcas - intorno ai 40 Euro - sarebbe circa la metà di quello del mais e circa un terzo di quello della colza** (alla cui coltivazione si associano però emissioni di un gas serra, cioè il protossido di azoto, che in parte potrebbero attenuare i benefici ambientali legati al minor rilascio di CO₂); inoltre, visto che a parità di altre condizioni il costo della transesterificazione è simile a quello della raffinazione del petrolio greggio, sul piano dei carburanti in generale in alcuni mercati il biodiesel a base di Jatropha Curcas potrebbe competere favorevolmente, pur senza essere sussidiato a livello statale, con combustibili ricavati dal petrolio greggio. In merito al **biodiesel**, rileva che esso sia usabile **anche come propellente per mezzi di tipo militare**. Ci riferiamo ad es. al **Green Diesel usato dalla Marina militare italiana**. Tale gasolio sintetico nasce come bioderivato dell'olio di palma (sostenibile certificato, ovvero non in competizione col mercato alimentare), sulla base di un processo replicabile comunque anche usando oli di 'seconda' o 'terza' generazione, ovvero provenienti da scarti (olio di cucina esausto, scarti industriali), oppure da colture avanzate (microalghe). Miscelabile fino al 50% con gasolio tradizionale di origine fossile, esso consentirebbe di raggiungere, rispetto a quest'ultimo, il 52% in meno di emissioni di anidride carbonica. È un

¹⁷⁶ La J. Curcas cresce rapidamente in aree tropicali di Africa, America Latina e Asia e può continuare a dare semi per 40/50 anni da una singola pianta con una produzione per ettaro di terreno coltivato di 3.000 kg a partire dal secondo anno di crescita.

¹⁷⁷ La spremitura avviene con macchine, già disponibili in commercio, per la macinazione di semi per oli vegetali. A causa della necessità di spremere l'olio subito dopo la raccolta, può essere conveniente spremere localmente e poi trasportare l'olio nell'impianto centrale di produzione di biodiesel. Per mantenere un macchinario al lavoro è però necessario che sia disponibile un sistema di stoccaggio adeguato per i semi raccolti, tale da alimentare il processo di produzione. Il processo di spremitura, che dovrebbe avvenire a 55-60 °C con pressa a vite, lascia un residuo di circa il 5-8% di olio non estratto. Questo può essere in gran parte recuperato per mezzo di un processo di estrazione con solvente, ottenendo almeno il 5% in aggiunta alla resa di olio per unità di volume di seme. Questo ulteriore processo diventa conveniente nella lavorazione di almeno 200 tonnellate al giorno, quindi in un centro di lavorazione che attinge da 7.000 ettari di piantagioni o più. Alla fine l'olio ricavato viene centrifugato e filtrato per rimuovere i residui e renderlo puro prima di avviarlo nell'impianto centrale di produzione di biodiesel.

¹⁷⁸ Il biodiesel ottenuto ha numero di cetano più elevato rispetto al gasolio di origine petrolifera, e il suo impiego non richiede modifiche motoristiche. Si tratta in sostanza di una miscela di esteri metilici, ottenuti processando i trigliceridi di oli vegetali a bassa temperatura (50-70°) e pressione atmosferica, in presenza di catalizzatore alcalino e con un eccesso di metanolo.

combustibile dalle caratteristiche chimico-fisiche comparabili a quelle del gasolio navale distillato convenzionale, con la differenza e il vantaggio, rispetto ad altri biocombustibili (ad esempio il FAME impiegato in campo automotive), di non essere igroscopico e di avere un'elevata stabilità (cose che ne consentono la miscibilità ad elevate percentuali e l'impiego in ambito navale, caratterizzato da stoccaggi prolungati in ambienti con forte umidità¹⁷⁹). Nato nel 2013 da una partnership fra ENI e la statunitense Honeywell-UOP sulla tecnologia Ecofining, e sperimentato fra il 2014 e il 2016 su nave e sottomarino (sia da parte italiana che americana), tale carburante, conforme alle specifiche di settore NATO e non richiedente modifiche strutturali agli impianti e circuiti di bordo, è stato successivamente impiegato con regolarità dalla Marina Militare italiana. Ciò ha portato anche ad accorgimenti progettuali adottati sulle sue più recenti unità navali, fra cui l'adozione di sistemi integrati di propulsione e generazione elettrica attagliati per le andature a bassa velocità, dove il Green Diesel presenta una maggiore efficienza rispetto alla propulsione principale (dimensionata invece per la velocità massima), nonché l'impiego di sistemi SCR (Selective Catalytic Reduction) per il post-trattamento dei gas di scarico e la riduzione degli ossidi di azoto (NOx), dannosi per l'ambiente e responsabili delle cosiddette piogge acide¹⁸⁰. **Altri esempi di impiego del biodiesel per la propulsione di mezzi militari riguardano il settore aereo**, che più in generale sta attenzionando l'alimentazione con biocarburanti almeno da tre lustri – oggi si è arrivati a parlare di **SAF, ovvero Sustainable Air (bio)Fuels**, con alcuni progetti approdati anche al campo dell'aviazione civile/commerciale, anche in Italia tramite linee di produzione Eni per biofuel, da miscelare a carburante tradizionale per l'alimentazione di alcune tratte di ITA Airways (2022)¹⁸¹. D'altra parte proprio **Eni** ha già lanciato sul mercato civile un olio vegetale idrotrattato (HVO) denominato HVOlution, un biodiesel che contiene il 100% di componente rinnovabile. Il prezzo medio è di poco inferiore ai 2 euro al litro, il che sembrerebbe mostrare come **i biocarburanti possano risultare, ora ed in prospettiva, un'opzione di interesse anche sotto il profilo dei costi, mediamente simili a quelli dei carburanti fossili tradizionali** (rispetto ai quali per alcune stime potrebbero garantire, rispetto al ciclo di vita di uno stesso aeromobile alimentato con carburante fossile, fino

¹⁷⁹ L'igroscopia è una proprietà (di sostanze o materiali) che consente di assorbire prontamente le molecole d'acqua presenti nell'ambiente circostante.

¹⁸⁰ Sul Green Diesel si vedano gli articoli ai seguenti link: https://www.marina.difesa.it/cosa-facciamo/per-ambiente/flotta-verde/Pagine/I_Combustibili_alternativi.aspx
https://www.marina.difesa.it/media-cultura/Notiziario-online/Pagine/20220527_Green_diesel_la_flotta_della_Marina_sempre_piu_verde.aspx

¹⁸¹ Cfr. <https://www.eni.com/it-IT/media/comunicati-stampa/2022/03/da-fiumicino-due-rotte-ita-airways-alimentate-da-saf.html> ; la prima compagnia aerea civile ad usare per un volo biofuel al 100% è stata la United Airlines, nel 2021.

all'80% di emissioni in meno)¹⁸². Anche per questo l'Italia, che già conterebbe almeno 5 stabilimenti produttivi di biocarburanti, è **fra i Paesi che più si stanno impegnando perché l'UE consideri i biocarburanti per mobilità e trasporti completamente ecosostenibili, anche perché l'Unione su questo non ha ancora adottato una postura ufficiale del tutto in linea con la posizione di Roma** – ancorché nel luglio 2023 la Commissione Industria, Ricerca ed Energia (ITRE) del Parlamento UE abbia approvato, dopo che la Commissione aveva comunque già aperto ai biocarburanti come fonte green (ma solo per impieghi al di fuori dell'UE e, al suo interno, solo per il trasporto aereo), una proposta che include i biocarburanti nella definizione di 'Carburante a Emissioni di CO₂ Neutrali'¹⁸³. Sempre in Italia è attiva, nel settore dei biocarburanti, anche l'**Aeronautica Militare**, con una partnership avviata nel 2017 con ENEA e CNR - anche grazie a fondi dell'allora Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare (poi Ministero per la Transizione Ecologica ed oggi Ministero dell'Ambiente e della Sicurezza Energetica). Nell'ambito del progetto ABC (Aero-trazione per Biocarburanti), tale partenariato fra le altre cose ha condotto, nel gennaio 2023, ad un rilevante test di volo militare con carburante biologico (v. *infra*), effettuato dall'aeroporto militare di Patica di Mare (Roma)¹⁸⁴. Fra 2007 e 2023, in **campo militare**, si sono avute **sperimentazioni** fruttuose dei **biocarburanti (puri o miscelati ai carburanti tradizionali)** da parte di diversi Paesi, fra i quali USA, Svezia, India, Olanda, Italia e Regno Unito. Fra i mezzi già bio-alimentati, *in toto* o in parte e con esiti positivi (ovvero con prestazioni simili alle situazioni di alimentazione completamente tradizionale), si possono annoverare (a titolo non esaustivo):

- Jet L-29 dell'aviazione cecoslovacca alimentato 100% con biofuel;
- diverse imbarcazioni della US Navy, incluse unità parzialmente alimentate con biocarburanti a base di alghe; gli USA hanno sperimentato biocarburanti anche su: caccia statunitense multiruolo F-18 'Super-Hornet' (50% di biocarburante da alghe, jathropa e camelina e 50% di carburante tradizionale, per un consumo di 18.000

¹⁸² Si veda l'articolo di M. Perriello (2023), al link: <https://quifinanza.it/economia/video/e-fuel-carburanti-quanto-costa-pieno/699502/#:~:text=Quanto%20costano%20invece%20i%20biocarburanti&text=Il%20prezzo%20medio%20si%20aggira%20sugli%201%20C910%20euro%20al%20litro>

¹⁸³ <https://economiecircolare.com/biocarburanti-unione-europea-aviazione-europa/>
<https://quifinanza.it/economia/biocarburanti-notizia-positiva-auto-unione-europea/737868/>
<https://euractiv.it/section/energia/news/la-commissione-vuole-i-biocarburanti-vegetali-per-i-trasporti-ma-al-di-fuori-dellue/>

¹⁸⁴ I test preliminari a terra erano stati condotti nel mese di giugno 2022, a valle di una propedeutica attività di studio e sperimentazione partecipata dal Reparto Sperimentale di Volo e dal Reparto Tecnologie dei Materiali Aeronautici e Spaziali (Divisione Aerea Sperimentazione Aeronautica e Spaziale- DASAS), e da ricercatori dell'ENEA e di tre istituti del CNR, ovvero l'Istituto sull'Inquinamento Atmosferico (IIA), l'Istituto Nazionale di Ottica (INO) e l'Istituto Scienze e Tecnologie per l'Energia e la Mobilità Sostenibile (STEMS). Si veda l'articolo di L. Schinzano (2023) al seguente link: <https://www.ambienteambienti.com/aeronautica-militare-quando-lazzurro-si-veste-di-green/>

galloni x 15.000 miglia); aereo di addestramento McDonnell Douglas T-45 Goshawk (50% biofuel a base olio di semi di camelina e 50% carburante convenzionale NATO JP5); A-10C Thunderbolt (US Air Force), alimentato con 50% carburante fossile JP8 e 50% biofuel; elicottero Sikorsky MH-60S Seahawk (US Navy) alimentato con carburante Solajet HRJ-5 a base alghe (50%) e propellente petrolifero tradizionale (50%); Bell Boeing MV-22 til trotor (alimentato da un miscelato olio di camelina e propellente convenzionale Jp5); aereo EA-6B, alimentato con 50% carburante JP5 e 50% biofuel da olio di camelina;

- mezzi navali della Marina Militare italiana alimentati con il già descritto Green Diesel prodotto da Eni (es. pattugliatore d'Altura Foscari, nave portaerei Cavour, cacciatorpediniere Duilio, sottomarino Gazzana, fregata Maestrone);
- jet AMX dell'Aeronautica Militare italiana alimentato con una miscela di carburante contenente biofuel (fino al 25%) ottenuto da grassi animali e vegetali (per una riduzione delle emissioni inquinanti complessive arrivata, per medi regimi di potenza motore, al 40%)¹⁸⁵;
- aereo caccia JAS-39 Gripen D (Swedish Air Force) spinto da biofuel al 100%;
- caccia eurofighter Typhoon e aereo da trasporto tattico Hercules C130 (UK Royal Air Force)¹⁸⁶, alimentati e riforniti in volo (mediante velivolo Voyager) con un blend di carburanti includente fino al 46-48% di biofuel;
- aereo AN-32 della Indian Air Force (testato peraltro con biocarburante in condizioni meteo-atmosferiche particolarmente avverse);

Inoltre, di recente, **sono stati avviati progetti, ad es. da Regno Unito e Finlandia, per testare i biocarburanti sui caccia multiruolo di quinta generazione F-35¹⁸⁷, e per aumentarne l'uso rispetto a veicoli militari terrestri¹⁸⁸.**

¹⁸⁵ Per un approfondimento sui parametri tecnici del test si veda l'articolo al seguente sito:

<https://www.media.enea.it/comunicati-e-news/archivio-anni/anno-2023/ambiente-enea-con-biocarburanti-per-aerei-fino-al-40-di-riduzione-emissioni-inquinanti.html>

¹⁸⁶ Sui programmi SAF del Regno Unito in aviazione cfr. <https://www.gov.uk/government/consultations/pathway-to-net-zero-aviation-developing-the-uk-sustainable-aviation-fuel-mandate>

¹⁸⁷ Si pensi che secondo stime di settore quando un caccia F-35 percorre 200 chilometri, le sue emissioni climalteranti equivalgono a guidare un'auto a benzina per un anno.

¹⁸⁸ Per approfondimenti cfr. gli articoli ai seguenti link: <https://www.key.aero/article/military-biofuels-going-green>

<https://ecofriend.com/5-military-vehicles-powered-biofuel.html> ; <https://yle.fi/a/3-12678773>

<https://biofuelscentral.com/royal-air-force-first-use-of-sustainable-aviation-fuel-in-typhoon-and-hercules-aircraft/>



Fig. 31 – Swedish Air Force JAS-39 Gripen D (con alimentazione 100% biofuel sui cieli svedesi)

Fonte: key.aero (2021)

I carburanti sintetici sono combustibili sintetizzati chimicamente usando idrogeno e CO₂¹⁸⁹. Tali carburanti sono gassosi o liquidi, agevolmente immagazzinabili e trasportabili, e possono essere utilizzati come fonte di energia nelle celle a combustione o nei motori a combustione. I carburanti sintetici possono ridurre le emissioni di CO₂ rispetto ai combustibili fossili tradizionali. Alla base di questi carburanti vi è oggi per lo più metanolo sintetico, da trasformare con ulteriori processi di raffinazione/miscelazione in e-benzina, e-diesel, e-gas o e-kerosene (a seconda dei differenti usi)¹⁹⁰. Semplificando, la produzione di tali carburanti avviene catturando la CO₂ (es. presente nell'aria o prodotta da grandi impianti industriali) per unirla chimicamente con l'idrogeno (c.d. idrogenizzazione del carbonio). **Affinché la produzione di carburanti sintetici ottimizzi la riduzione di emissioni climalteranti, occorre però che prima di essere combinato con la CO₂ l'idrogeno non venga ottenuto da fonti fossili (petrolio, gas, carbone), ma venga derivato piuttosto da fonti di energia rinnovabile con processi di elettrolisi dell'acqua** – anche per questo tali carburanti oggi vengono definiti non di rado come 'electro-fuels' [abbrev. e-fuel o Power-to-X (PtX)].

Le prime applicazioni di tecnologie per carburanti sintetici si ebbero, peraltro per finalità militari, negli anni precedenti all'inizio del secondo conflitto mondiale, da parte del Terzo Reich. Successivamente si verificarono negli Stati Uniti, negli anni Cinquanta e Sessanta, mentre altri processi di sintetizzazione sono stati elaborati, a partire dagli anni '80

¹⁸⁹ Per una prima introduzione al tema si vedano gli articoli di V. Borgomeo (2023) e R. Esposito (2023), rispettivamente ai links: https://www.repubblica.it/green-and-blue/2023/02/25/news/efuel_benzina_sintetica_differenze_biocarburanti-388881154/ ; <https://www.garanziaonline.it/blog/carburanti-sintetici/>

Per una lettura più tecnica cfr. A. Soler et. al. (2022), *E-Fuels: A techno-economic assessment of European domestic production and imports towards 2050*, Concawe-Aramco: https://www.concawe.eu/wp-content/uploads/Rpt_22-17.pdf

¹⁹⁰ La normativa europea standard di riferimento è la Din En 228: <https://www.en-standard.eu/din-en-228-automotive-fuels-unleaded-petrol-requirements-and-test-methods-includes-amendment-2017/>

Si veda anche l'articolo di F. Gemelli (2023), disponibile al seguente link:

<https://it.motor1.com/news/655195/efuel-benzina-sintetica-vantaggi-svantaggi/>

e '90, in diversi Stati, variamente sviluppati, fra cui Cina, Sudafrica, Cile e Germania. Proprio in questo Paese si sono svolti in anni recenti alcuni dei più rilevanti progetti per la produzione di **metano (CH₄) di tipo sintetico**.

Focus box 3 – Il Metano sintetico

I primi tentativi di produzione e utilizzo su larga scala di carburanti sintetici, ottenuti in particolare dal carbone, risalgono a quando la Germania si trovò a dover programmare/sostenere lo sforzo bellico del 2° conflitto mondiale senza disponibilità di giacimenti petroliferi (solo durante la guerra lo stato tedesco entrerà temporaneamente in controllo di vasti giacimenti intorno a Ploiesti in Romania).

A partire dagli anni '20, utilizzando i primi sistemi diretti e indiretti di liquefazione del carbone¹⁹¹, l'apparato industriale della Germania arrivò a una produzione via via crescente che toccò, nei primi anni '40, il picco di 124.000 barili al giorno di carburante di alta qualità per aerei e carri armati (oltre che materiali come gomma, olio lubrificante, metanolo e ammoniaca sintetica). In anni molto più recenti, un esempio emblematico di produzione di carburante sintetico ha riguardato il gruppo Audi-Volkswagen (in collaborazione con le società Etogas e MT-Biomethan), con attività volte alla produzione di metano con l'uso combinato di energie eccedenti da altre produzioni e diossido di carbonio, ovvero mediante l'ottenimento di idrogeno da fonti rinnovabili con elettrolisi e CO₂ catturata dallo scarico di fumi industriali (o altre attività)¹⁹².

Altro progetto di settore particolarmente recente riguarda le attività dell'azienda Tes (Tree Energy Solutions, guidata dall'italiano Marco Alverà), che ambisce a produrre e distribuire su scala industriale metano sintetico (identico a quello fossile ma del tutto rinnovabile) a partire da un processo di combinazione chimica fra idrogeno e anidride carbonica ideato oltre 100 anni fa dallo scienziato francese Paul Sabatier¹⁹³. La produzione di metano, secondo tali modelli, può comportare (almeno in partenza) un impiego di energia superiore a quella offerta dal prodotto finito (essenzialmente a causa degli alti costi di produzione dell'idrogeno). Tuttavia bisogna considerare che la

¹⁹¹ Questi furono ideati, rispettivamente nel 1913 e 1919, dagli scienziati tedeschi F. Bergius e F. Fischer - H. Tropsch. Da allora entrambi i sistemi si sono evoluti e diversificati. In ogni caso, semplificando, i processi di liquefazione indiretta del carbone (ICL) operano in due stadi. Nel primo, il carbone è convertito in *syngas* (una miscela purificata di gas di monossido di carbonio e idrogeno); nel secondo stadio, il *syngas* è convertito in idrocarburi leggeri usando uno dei tre processi principali: sintesi Fischer-Tropsch, sintesi del metanolo con successiva conversione in benzina o prodotti petrolchimici e metanazione. I processi di liquefazione diretta (DCL) convertono invece il carbone direttamente in liquidi, senza lo stadio intermedio della gassificazione, scindendone la struttura organica con l'applicazione di solventi o catalizzatori in un ambiente ad alta pressione e temperatura.

¹⁹² L'elettrolisi consiste nella scissione della molecola d'acqua in ossigeno e idrogeno per mezzo del passaggio di corrente elettrica continua in un elemento elettrolita; il processo endotermico che ne scaturlisce richiede un contributo energetico dall'esterno. Nella fase successiva all'elettrolisi, attraverso reattori/metanatori (di dimensioni relativamente contenute), avviene la combinazione di determinate quantità di CO₂ con l'idrogeno precedentemente ottenuto. Il prodotto finale, il metano sintetico, è quindi immediatamente pronto per essere immagazzinato o immesso direttamente nelle stesse reti di distribuzione/consumo del comune metano di origine fossile.

¹⁹³ La reazione di Sabatier, o processo Sabatier, è una reazione in cui il diossido di carbonio reagisce con l'idrogeno, in presenza di nichel quale catalizzatore e in condizioni di temperatura ottimale compresa tra 300-400°C e alta pressione, producendo metano e acqua. Occasionalmente viene utilizzato anche un catalizzatore a base di rutenio supportato su alluminio, più costoso ma anche più efficiente. L'equazione chimica è la seguente: $CO_2 + 4H_2 \rightarrow CH_4 + 2H_2O$. La reazione ha carattere esotermico con sviluppo di 39,2 kcal/mol. In campo tecnologico viene sfruttata per sintetizzare metano a partire da *syngas* ottenuto dalla gassificazione. La società Tes, legata alla holding finanziaria Zhero, è guidata dall'italiano Marco Alverà, già amministratore delegato di Snam Rete Gas; per ora l'azienda è basata in Germania, ma sono previsti progetti anche in Italia. Per maggiori informazioni sui suoi progetti cfr. L. Fraioli, *Può il metano diventare energia rinnovabile e pulita?*, in «la Repubblica» (ed. online), 2022: https://www.repubblica.it/green-and-blue/2022/10/19/news/marco_alvera_energia_rinnovabile_metano_sintetico-370623093/

produzione di quest'ultimo avviene con risorse che rimarrebbero tendenzialmente inutilizzate, poiché eccedenti (per giunta la tendenza attuale è quella di trarle da fonti rinnovabili); inoltre le nuove tecnologie potrebbero consentire nel prossimo futuro un ciclo di produzione sempre più efficiente, ovvero un miglior rapporto fra quantità e costi di produzione.

Negli ultimi anni impianti di produzione di metano sintetico (diversi ancora a fini di ricerca e sperimentazione del ciclo produttivo) sono stati realizzati, con una tendenza generale ad aumentare la potenza installata, in Paesi quali Germania, Stati Uniti, Canada, Spagna e Regno Unito. Di questi, alcuni impianti (ad es. in Germania) immettono il prodotto finito nella rete di distribuzione del gas naturale, mentre gli altri alimentano principalmente stazioni di rifornimento, o effettuano stoccaggio e riconversione locali (serbatoi per il metano e *fuel cells* per l'idrogeno)¹⁹⁴. A parità di densità energetica per unità di volume, il metano sintetico può essere prodotto/gestito a valori di pressione inferiori di quasi 1/3 alla pressione dell'idrogeno (quindi con minori dispendi energetici per la compressione); inoltre, rispetto all'idrogeno, il metano sintetico richiede (allo stato attuale e presumibilmente nell'immediato futuro) minori adeguamenti tecnologici per veicoli e generatori (qualche investimento maggiore potrebbe essere necessario per mezzi pesanti e navi, ma si tratterebbe comunque di volumi finanziari non proibitivi).

Oltre a benefici ecologico-ambientali, il metano sintetico sembrerebbe dunque offrire, in prospettiva e al netto comunque di una sensibile riduzione dei costi di produzione, non pochi vantaggi, fra cui elevate potenzialità nello sfruttamento delle reti infrastrutturali di gas (ove esistenti) e possibile sfruttamento virtuoso di CO₂. Ulteriori ricadute positive potrebbero aversi da crescenti progetti di ricerca e sviluppo nelle tecnologie di elettrolisi, quindi nell'ottimizzazione delle capacità di stoccaggio (grazie alla possibilità di iniezione nella rete del gas) e trasportabilità dell'energia prodotta, oltre al fatto che si parla di una tecnologia potenzialmente scalabile dalle piccole taglie (tipiche della generazione distribuita) alla grande generazione di potenza.

Con i carburanti sintetici, i combustibili fossili possono essere dunque sostituiti senza richiedere cambiamenti nei motori e nelle infrastrutture (se non a livello di adeguamenti relativamente contenuti). Proprio questo è uno dei fattori che sembra rendere gli e-fuels, in generale ed **anche per il settore militare, una delle risorse cui guardare con interesse in termini di transizione energetica.** Non sembra casuale del resto che nella primavera 2023 la **Commissione Europea**, che pure per il futuro punta molto sulla mobilità elettrica a batteria, abbia deciso che dal 2035 i motori termici potranno essere utilizzati solo con gli e-fuels (cioè non più con carburanti fossili tradizionali – e non anche, almeno per ora e seppur questo sia meno comprensibile, con biocarburanti, meno

¹⁹⁴ Si tratta degli stabilimenti di Falkenhagen e Werlte (Germania). L'impianto di Werlte è stato realizzato secondo criteri di massima efficienza, in grado di utilizzare le eccedenze di energie rinnovabili per produrre idrogeno e di sfruttare anidride carbonica pari a 2.800 tonnellate di CO₂. Il progetto ha previsto che il calore ricavato da tutto il processo di metanizzazione fosse usato, tra l'altro, per alimentare una vicina piccola centrale a biogas (a sua volta restituente CO₂ al nuovo ciclo di metanizzazione). Pur a fronte di dimensioni contenute, si parla di una capacità produttiva massima di 3.000 metri cubi di metano sintetico all'anno; l'energia generata da questa produzione equivarrebbe alla percorrenza di almeno 1.500 berline (tipo A3 da 1.500cc – 130 cv) per 15.000 km annui. Cfr. <https://www.power-technology.com/marketdata/audi-e-gas-project-germany/>

costosi e già più diffusi dei carburanti sintetici)¹⁹⁵. Secondo alcuni la decisione in questione avrebbe sancito comunque una sorta di compromesso pragmatico fra richieste ambientaliste ed esigenze industriali (rappresentate a quanto pare, nel caso specifico, soprattutto dalla Germania). **Certo ad oggi tali carburanti risultano da certi punti di vista pressoché avveniristici**, essendo **quasi** completamente **indisponibili** nei distributori stradali e potendosi contare, su scala mondiale, nemmeno 20 stabilimenti produttivi, inclusi quelli sperimentali.



Fig. 32 – Dislocazione impianti produttivi di e-fuels - Fonte: <https://it.motor1.com/news/655195/efuel-benzina-sintetica-vantaggi-svantaggi/>



Fig. 33 – Impianto produzione di e-fuel in Cile e diesel sintetico vs. diesel convenzionale Fonte: ibidem

¹⁹⁵ Ovvero pur non potendosi più immatricolare, salvo rare eccezioni, nuovi mezzi con motori endotermici, quelli già esistenti potranno continuare a funzionare con carburanti sintetici. Cfr. l'articolo al link: <https://www.ilsole24ore.com/art/auto-ok-consiglio-ue-stop-benzina-e-diesel-2035-l-italia-si-astiene-AEAZ7rAD>

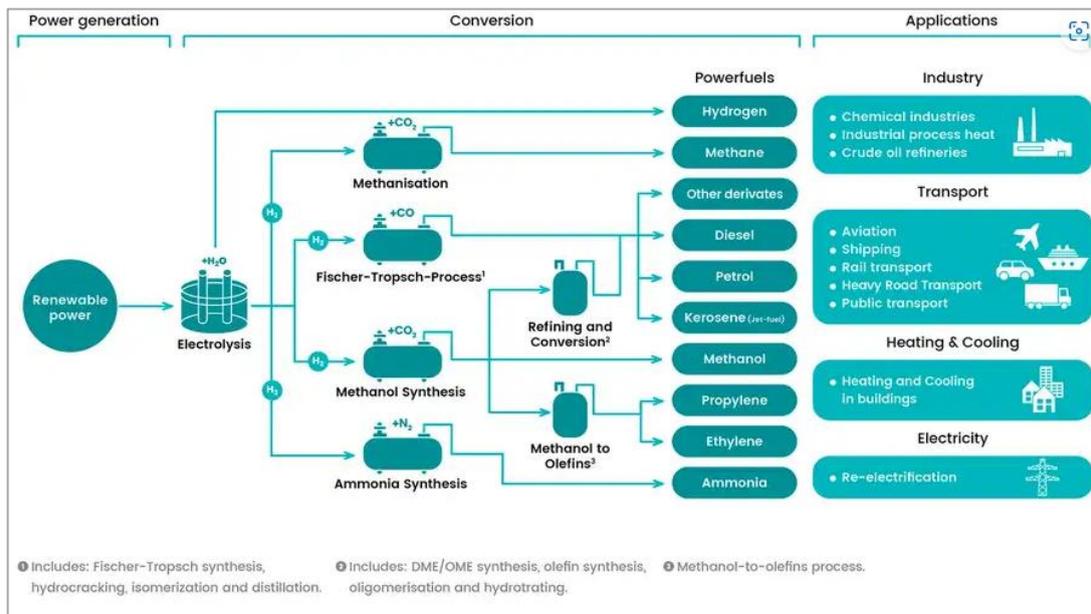


Fig. 34 — *Processi produttivi e possibili impieghi dei carburanti sintetici* - Fonte: <https://www.eai.enea.it/archivio/pianeta-idrogeno/the-potential-of-e-fuels-as-future-fuels.html>

Inoltre la **versatilità dei carburanti sintetici**, specie se prodotti da eccedenze energetiche rinnovabili, sembra **compensata dal loro ampio fabbisogno di elettricità e da costi di produzione ancora sensibilmente alti**, su cui in alcuni casi potrebbero gravare successivamente elevati costi di trasporto (ad es. nel caso in cui il carburante debba raggiungere siti/mercati molto distanti, ovvero essere trasportato via nave piuttosto che via condotta, i costi complessivi si dilaterebbero ulteriormente, per la liquefazione necessaria al trasporto via nave e per la rigassificazione all'arrivo). Secondo proiezioni elaborate dall'e-Fuel Alliance (che riunisce attori quali Exxon Mobil, Repsol, Eni, Neste, Siemens Energy, Bosch, Mahle, ZF, Iveco, Mazda, etc.), già nel 2025 un litro di benzina con carburante sintetico pulito potrebbe avere, assunti certi volumi produttivi e conseguenti economie di scala, un costo di produzione compreso fra 1.61 e 1.99 euro (per poi scendere tra 0.70 e 1.33 nel 2050). Secondo altri scenari però, un pieno di e-fuel di circa 70 litri potrebbe ancora costare, nel 2035, circa 200 euro (oltre 2.80 euro al litro), ovvero quasi il 50% in più rispetto alle attuali tariffe dei carburanti tradizionali, laddove oggi un litro di e-fuel costa oltre 20 euro (all'incirca 10 volte un litro di benzina convenzionale)¹⁹⁶. **Del resto per estrarre l'idrogeno con elettrolisi e trasformarlo in prodotto finito è necessaria una quantità di energia non indifferente. Durante la fase di produzione dei carburanti sintetici si può perdere anche fino al 50% dell'energia ricavata. Dell'energia rimanente ne viene perso quasi**

¹⁹⁶ <https://www.efuel-alliance.eu/efuels/costs-outlook>
<https://auto.everyeye.it/notizie/ok-e-fuel-2035-costa-litro-carburante-sintetico-642242.html>

l'80% nel motore termico¹⁹⁷. Per contro, nella mobilità elettrica si ha una perdita di energia molto inferiore nell'immagazzinamento in batteria e nella rete di distribuzione, senza contare che, a parità di distanza da percorrere e tipo di vettura, con gli e-fuel è necessaria una quantità di energia almeno 3 o 4 volte superiore a quella richiesta ad un motore elettrico¹⁹⁸.

Attualmente non si può prevedere con certezza se e quando gli **e-fuels** diventeranno più competitivi e disponibili in abbondanza. Ciò non solo per carenze nella disponibilità di tecnologia di produzione efficiente o del fabbisogno di CO₂, ma anche per limiti quantitativi inerenti alla produzione di elettricità da fonti rinnovabili (il che al momento rappresenta un fattore ostativo anche ad un maggiore sviluppo del mercato dell'idrogeno); **questo potrebbe rendere velleitaria, almeno a breve(medio) termine, una competizione degli e-fuel con sistemi più efficienti.** Ad es. secondo un recente studio, alimentare il 10% di auto, furgoni e piccoli camion con l'idrogeno e un altro 10% con diesel sintetico potrebbe richiedere al 2050 all'incirca il 40% in più di energie rinnovabili rispetto a quanto necessario se gli stessi veicoli fossero elettrici a batteria (ovvero nuovi parchi eolici *off-shore* grandi come la Danimarca)¹⁹⁹. In altri termini, **i carburanti sintetici sembrano avere senso come sostituti dei combustibili fossili tradizionali, ed eventualmente anche come propellenti complementari e/o alternativi ai biocarburanti, dove l'elettrificazione diretta non è possibile, o è possibile solo con difficoltà.** Ovvero nel lungo termine essi parrebbero avere un futuro, **in campo civile come nel settore militare, nel trasporto aereo e marittimo, ove sembrano ancora piuttosto lontane batterie in grado di far percorrere autonomamente distanze medio-lunghe su cieli e oceani** (fermo restando che, almeno per il trasporto aereo, ad esclusione di aeromobili ad elica di piccole dimensioni, il problema di usare l'elettrico non è legato unicamente alla capacità delle batterie, ma anche al tipo di propulsori). Differente la prospettiva di sviluppo per il **traffico su strada**, laddove **sono attese evoluzioni più promettenti nella mobilità elettrica a batteria** – che ad oggi

¹⁹⁷ Non è un caso che la Porsche, che sta investendo moltissimo in questa tecnologia, abbia chiesto ufficialmente incentivi alla Ue per arrivare ad avere e-fuel offerti allo stesso prezzo di benzina e gasolio. La casa automobilistica tedesca ha sostenuto come questa enfasi sugli e-fuel non sia pensata per offrire a suoi modelli di punta la possibilità di essere venduti in Europa dopo l'obiettivo del 2035, ma che sia piuttosto una soluzione per mantenere in attività - ma a ridotte emissioni - l'enorme stock di auto che saranno ancora circolanti dopo la scadenza fissata dall'Unione Europea. Nel 2022 Porsche ha anche aperto una fabbrica per la produzione di e-fuel in Cile, che conta in particolare di sfruttare, per la produzione di e-fuels, il bagaglio già acquisito in termini di produzione eolica. L'impianto dovrebbe garantire inizialmente 130.000 litri di carburante all'anno, per poi arrivare a 550 milioni annui entro il 2027. La casa automobilistica tedesca ha l'obiettivo di avere, entro il 2030, l'80% della propria gamma costituita da mezzi alimentati da carburanti sintetici e auto elettriche.

¹⁹⁸ Fatto 100 il valore di energia rinnovabile usata, l'efficienza di un'auto elettrica supera già oggi il 75%, mentre un'auto ad e-benzina sintetica oltrepassa il 15%, una a gasolio sintetico e-diesel all'incirca il 20%. Cfr. Gemelli (cit.)

¹⁹⁹ <https://www.transportenvironment.org/discover/e-fuel-would-be-wasted-cars-while-its-badly-needed-decarbonise-planes-and-ships-study/>

sembra aver raggiunto, pur a fronte di costi medi non certo bassi, buoni standard non solo come riduzione dell'inquinamento, ma anche in termini di velocità e silenziosità dei veicoli. Ciò almeno per auto, furgoni e camion che percorrono tragitti medi o brevi, laddove le batterie potrebbero rappresentare un'opzione più conveniente. Non sembra casuale del resto che in **ambito terrestre** la **mobilità elettrica** sia attenzionata in via crescente **anche in campo militare**, ad es. con investimenti per lo sviluppo di **mezzi da trasporto e/o combattimento ibridi o completamente elettrici**, laddove sono allo studio dispositivi di accumulo che possano garantire, a pesi e dimensioni contenute, batterie sufficientemente potenti e durature, in grado di essere ricaricate, peraltro tramite piattaforme mobili per il recharging trainabili o controllabili da remoto (potenzialmente impiegabili anche come *microgrids*), meno frequentemente che con il refueling necessario per mezzi alimentati a gas, diesel o benzina tradizionali. Alcuni esemplari di questi mezzi, presentati negli USA nel 2022, sono il carro armato ad alimentazione ibrida AbramsX (General Dynamics Land Systems), il Military Concept Vehicle completamente elettrico di General Motors Defense (GMD) e la piattaforma AteMM (All Terrain Electric Mission Module-GMD)²⁰⁰.



Fig. 35 - AbramsX ad alimentazione ibrida



Fig. 36 - Military Concept Vehicle (full electric)

²⁰⁰ Per relativi approfondimenti cfr. l'articolo di M. Eckstein (2022) al seguente sito web:
<https://www.defensenews.com/industry/techwatch/2022/10/11/heres-what-industry-is-offering-to-meet-armys-electric-vehicle-needs/>



Fig. 37– All Terrain Electric Mission Module

Viceversa per camion e altri mezzi a lunga percorrenza potrebbe essere più conveniente sfruttare i carburanti sintetici (oppure l'idrogeno puro). Anche nelle industrie dove sono necessarie temperature molto alte, che non di rado non si possono raggiungere agevolmente con l'energia elettrica, i carburanti sintetici potrebbero avere discrete *chances* di affermazione (*ergo* nei c.d. *hard to abate sectors*, come a es. il campo siderurgico). Secondo un criterio dicotomico del tipo argomentazioni favorevoli vs. argomentazioni contrarie, lo schema che segue sintetizza le posizioni esistenti in letteratura rispetto all'opportunità di politiche di investimento più o meno massive verso i carburanti sintetici rispetto al trasporto su strada. Gli argomenti a favore e quelli contro sono tratti in particolare e rispettivamente dalle posizioni di e-Fuel Alliance e della ong di settore Transport & Environment (che tra gli altri membri annovera Legambiente, Kyoto Club e Cittadini per l'Aria)²⁰¹.

ARGOMENTI FAVOREVOLI	ARGOMENTI CONTRARI
<ul style="list-style-type: none"> • Nel mondo esiste un potenziale di energia rinnovabile sufficiente che può essere immagazzinato anche utilizzando gli e-fuel, e distribuito attraverso infrastrutture esistenti (raffinerie, autocisterne, oleodotti, stazioni di servizio, etc.). • Usando gli e-fuel, i mezzi stradali (12% emissioni CO₂eq. in Europa) con motori convenzionali a gas, diesel e benzina potrebbero essere presto neutrali dal punto di vista delle emissioni 	<ul style="list-style-type: none"> • Nel 2035 in Europa la disponibilità di carburanti sintetici sarà talmente limitata da alimentare solo il 2% delle automobili in circolazione, cioè appena 5 milioni di auto su un totale di circa 287 milioni circolanti sulle strade europee. Sono gli stessi attori vicini all'industria degli e-fuel a dichiarare in loro stime che nel 2035 questi soddisferanno (appena) il 3% della domanda di carburante stradale in Europa.

²⁰¹ Si vedano rispettivamente i seguenti siti: <https://www.efuel-alliance.eu/> ; <https://www.transportenvironment.org/>

<p>climalteranti (permettendo gli e-fuel in generale di produrre quantità di emissioni di CO₂ non superiori a quelle catturate per la loro produzione). Nel 2030 gli e-fuel risponderanno a meno dello 0.5% della domanda di carburanti stradali in Europa, ma già nel 2040 potranno arrivare al 16%, mentre nel 2050 a quasi il 50% (dati Concawe, 2022).</p> <ul style="list-style-type: none"> • Gli e-fuel possono essere introdotti rapidamente sul mercato e quindi risultare disponibili in modo agevole ai consumatori. Non è necessario costruire una nuova e costosa infrastruttura. • Rappresentano un valido contributo alla riduzione significativa delle emissioni di CO₂ del traffico stradale • Possono essere facilmente immagazzinati e trasportati su lunghe distanze senza alcuna perdita di energia. Risolvono un problema centrale della transizione energetica: l'impossibilità di immettere continuamente energia rinnovabile nella rete e quindi di averla sempre a disposizione. • Gli e-fuel emettono una quantità di ossidi di azoto e di particolato significativamente inferiore rispetto ai carburanti convenzionali. • L'efficienza energetica di un'auto alimentata con e-Diesel prodotto da fonti rinnovabili in Nord Africa è già del 46% (contro un 77% di un'auto elettrica spinta da energia rinnovabile prodotta in Germania), ovvero superiore a quanto riportato da altre pubblicazioni. 	<ul style="list-style-type: none"> • Gli e-fuel per auto sarebbero un pretesto utilizzato dalle compagnie petrolifere e dai produttori di motori a scoppio per ritardare la transizione verso tecnologie net zero. • I piani dell'industria di importare su vasta scala carburanti sintetici carbon-neutral non sono realistici, per carenza/mancanza di impianti di produzione, e di standard globali per certificare tali carburanti. Inoltre si rallenterebbe lo sforzo delle economie meno sviluppate nel decarbonizzare i loro settori dei trasporti e dell'energia. • I veicoli alimentati da carburanti sintetici, peraltro, hanno un impatto ambientale decisamente superiore a quello delle auto elettriche. A partire dal 2030, queste potrebbero emettere oltre il 50% di CO₂ in meno rispetto ai mezzi ad e-fuel (laddove questi durante il loro ciclo di vita inquinerebbero, a parità di altre condizioni e nella migliore delle ipotesi, l'80% in meno di veicoli spinti da carburante tradizionale). • La combustione di tali carburanti – chimicamente simile agli idrocarburi fossili – non contribuirà (se non marginalmente) a ridurre le emissioni tossiche di quella che resta una delle principali fonti di inquinamento dell'aria. Test di laboratorio hanno mostrato che le auto alimentate da e-fuel rilasciano la stessa quantità di ossidi di azoto emessa dai veicoli tradizionali. • La produzione di carburanti sintetici sarà molto costosa ancora per diversi anni, con una spesa media di utilizzo a cinque anni per automobilista superiore di oltre 10.000 euro a quella sostenuta nello stesso periodo per alimentare un'auto elettrica.
---	---

Tab. 18 - Carburanti sintetici e mobilità terrestre: una tabella valutativo-comparativa²⁰²

²⁰² Si veda anche l'articolo di F. Gemelli (2023), disponibile al seguente link:
<https://it.motor1.com/news/655195/efuel-benzina-sintetica-vantaggi-svantaggi/>

4.7 ENERGIA NUCLEARE

Merita infine a nostro avviso spazio una sintetica trattazione circa l'**energia nucleare**, se non altro perché nell'ultimo biennio questa forma di energia alternativa, notoriamente controversa e divisiva, è tornata protagonista in diversi dibattiti circa il suo possibile utilizzo in **chiave civile** e, in certa misura, **anche sul piano militare**. Stando a dati pubblicati di recente (2023), l'energia da fissione nucleare, diffusasi in ambito civile a partire dal 1955, assicura il 4-5% dell'offerta energetica mondiale e intorno al 10% dei consumi globali di elettricità (con poco meno di 440 *power reactors* operativi, per circa 2553 TWh di energia elettrica)²⁰³. I Paesi con reattori nucleari (attivi e/o in costruzione) per approvvigionamento energetico sono 34, mentre quelli con reattori utilizzati a fini di ricerca, applicazioni mediche, isotopi industriali e *training* sarebbero una cinquantina (per un totale di 220 reattori). Secondo dati diffusi nel 2022, in Europa l'energia nucleare rappresenterebbe all'incirca il 30.5% della produzione energetica complessiva, il 18% dei consumi energetici e il 24.6% della produzione elettrica²⁰⁴. Fra 2021 e 2022, **il processo d'inserimento di alcune tecnologie e impianti per lo sfruttamento di gas naturale e nucleare** (fortemente auspicato da Francia, Finlandia e diversi membri est-europei) nella **tassonomia europea** sulle **attività economiche ecosostenibili** (*EU green taxonomy*) ha visto, specie rispetto al nucleare e nonostante gli stringenti parametri tecnico-ambientali previsti, l'aperta opposizione politica di Germania, Spagna, Irlanda, Danimarca, Portogallo, Austria e Lussemburgo, con gli ultimi 2 Paesi che nell'ottobre 2022 hanno financo deciso di ricorrere legalmente presso la Corte di Giustizia dell'UE, auspicando una futura revisione del provvedimento (divenuto poi effettivo al principio del 2023). La divisione intra-UE circa il nucleare non deve sorprendere più di tanto, essendo le implicazioni economiche della questione non secondarie – **anche in ottica militare** -, distinguendo in modo netto il sistema di classificazione finanziaria dell'Unione le attività economiche *ecofriendly* e quelle che non lo sono (riconoscendo così a certi investimenti e non ad altri di accedere alla categoria della finanza 'sostenibile', con conseguenti vantaggi)²⁰⁵. In **Italia**, comunità scientifica inclusa, il dibattito pubblico sul **nucleare** degli ultimi anni non è stato molto diverso da quello risalente

²⁰³ <https://world-nuclear.org/information-library/current-and-future-generation/nuclear-power-in-the-world-today.aspx>

²⁰⁴ Nel 2022 nella UE risultavano 106 reattori nucleari (+ 4 in costruzione), per una capacità complessiva di 104.235 Mwe (+4.110). Reattori particolarmente recenti sono stati edificati soprattutto in Finlandia, Slovacchia e Francia – che ne detiene 56 (+1 in costr.), seguita da: Belgio e Spagna, ciascuna con 7; Germania, Svezia e Rep. Ceca, con 6; Finlandia e Slovacchia, rispett. con 4 (+ 1) e 4 (+2); Bulgaria e Romania, con 2; Olanda e Slovenia, con 1. Il Regno Unito disporrebbe invece di oltre 15 reattori, la Russia di una trentina. <https://euratom-supply.ec.europa.eu/system/files/2022-12/Euratom%20Supply%20Agency%20-%20Annual%20report%202021%20-%20Corrected%20edition.pdf>

²⁰⁵ Emblematico sul tema quanto dichiarato da Florence Parly, già Ministra delle Forze Armate francesi, nel 2021: «dire che il nucleare è il male e che le attività di difesa non debbano essere sovvenzionate da istituti finanziari e banche, come accade per la pornografia, è scioccante». Cfr. <https://valori.it/ganapini-nucleare-civile-militare-legami/>

alla seconda metà degli anni '80, quando il Paese di fatto rinunciò, tramite il primo dei 2 referendum tenutisi sul tema, all'energia nucleare²⁰⁶. Ovvero il dibattito è stato piuttosto polarizzato, con i **contrari** (es. Green Peace Italia, Legambiente ed Europa Verde) che lo ritengono inevitabilmente **rischioso per elevati danni potenziali associabili a possibili incidenti alle centrali**²⁰⁷, e comunque strutturalmente inquinante per **criticità ambientali legate allo smaltimento delle scorie** nel lungo termine²⁰⁸ (e all'approvvigionamento di uranio necessario alle centrali, peraltro in buona parte controllato dalla Russia), laddove i **favorevoli** (es. alcune forze politiche e la componente italiana dell'associazione internazionale *Nuclear for Climate*) ne mettono **invece** in luce le **differenti possibilità applicative**, i **benefici in chiave di emissioni climalteranti** rispetto all'uso di fonti fossili, nonché i **progressi che negli anni sarebbero stati fatti, o quanto meno avviati, per renderlo più sicuro e meno inquinante**, diminuendo, attraverso diverse generazioni di reattori, sia i rischi di incidenti alle centrali che le scorie radioattive e la loro tossicità in rapporto all'energia prodotta, oltre che le problematiche di smaltimento di quest'ultime (laddove non c'è accordo nemmeno sulla sua convenienza in termini di costi economici)²⁰⁹. Per i secondi, la stessa decisione della Commissione europea di includere gas naturale ed energia nucleare nelle energie 'sostenibili' potrebbe avere importanti ricadute in merito a un futuro aumento nella produzione di altre forme di energia pulita potenzialmente complementari (o comunque associabili) al nucleare, fra cui l'idrogeno. Questo anche considerando che il **nucleare presenta** di norma una maggiore stabilità o continuità

²⁰⁶ L'Italia ha abbandonato l'opzione atomica, dopo averla adottata nei primi anni '60 del secolo scorso, a seguito di un referendum tenutosi nel 2011, dopo che una precedente consultazione referendaria del 1987 ne aveva già fortemente disincentivato il mantenimento e l'ulteriore sviluppo (contribuendo *de facto* a rendere i siti italiani non attivi già entro il 1990). In Italia sono stati in esercizio 8 siti nucleari, ovvero le centrali di Trino (Vercelli), Caorso (Piacenza), Latina e Garigliano (Caserta), l'impianto Fabbricazioni Nucleari di Bosco Marengo (Alessandria) e impianti di ricerca sul ciclo del combustibile ubicati a Saluggia (Vercelli), Casaccia (Roma) e Rotondella (Matera). Sulle posizioni 'no nuclear' dell'Italia possono certamente aver pesato, oltre che ragioni politico-ideologiche, anche motivazioni di tipo emotivo. Difatti, se l'esito del primo referendum può essere dipeso, ancora in piena Guerra Fredda, da un'associazione percettivamente negativa fra energia nucleare e armamenti, nonché dall'onda emotiva del pesante incidente alla centrale di Chernobyl (1986), anche il secondo può essere stato condizionato, almeno in parte, dal grave episodio alla centrale giapponese di Fukushima in seguito allo tsunami del Tohoku (2011).

²⁰⁷ Semplificando, questo è l'annoso tema della possibilità che si verifichino malfunzionamenti nei sistemi di refrigerazione (attraverso i quali si disperde nell'ambiente una parte dell'energia termica estratta dalla reazione a catena, laddove il resto si trasforma invece in energia elettrica).

²⁰⁸ In Italia nel marzo 2022 la Società di Gestione degli Impianti Nucleari ha presentato al Ministero della Transizione Ecologica una mappa (CNAPI) relativa alle ubicazioni potenzialmente idonee a costituire un deposito nazionale per le scorie prodotte nelle centrali attive in passato (e forse anche quelle di eventuale futura produzione); si tratta di 7 regioni in tutto, ovvero Piemonte, Toscana, Lazio, Puglia, Basilicata, Sicilia e Sardegna, con siti giudicati particolarmente idonei nelle province di Torino, Alessandria e Viterbo; vds. a es. l'articolo al seguente sito: https://www.ilmessaggero.it/italia/depositi_scorie_nucleari_dove_vogliono_farli_ultima_ora-6569531.html

²⁰⁹ In oltre 6 decenni di storia i reattori nucleari sono passati dalla I generazione alla c.d. generazione III+, con la IV attualmente in fase di sviluppo. Oltre che sul piano estetico e delle dimensioni, i reattori di III generazione incorporano miglioramenti sviluppati durante il ciclo dei reattori di II generazione (es. più avanzata tecnologia del combustibile, efficienza termica superiore, sistemi di sicurezza più efficaci – ad es. in grado di allagare il nucleo o spegnere le centrali in caso di incidenti –, progetti standardizzati per ridurre la manutenzione e i costi di capitale, etc.). Cfr. <https://nuclearforclimate.com.au/evolution-nuclear/>

produttiva rispetto alle rinnovabili, e che almeno in un'ottica di breve periodo i surplus di elettricità rinnovabile in alcuni Paesi europei, Italia inclusa, potrebbero non raggiungere dimensioni sufficienti per puntare sul solo idrogeno 'verde'²¹⁰. Peraltro uno stimolo ad una maggiore adozione/produzione di energia nucleare in Europa potrebbe aprire, quanto meno in linea teorica, rilevanti *policy windows* in termini di possibilità di partenariato e cooperazione con l'Agenzia Internazionale per l'Energia Atomica e con Paesi non UE già impegnati nello sviluppo di questa forma di energia (fra cui USA, Giappone, Regno Unito), ad esempio nel settore ricerca e sviluppo e con ricadute che potrebbero andare oltre il settore energetico. Al di là degli specifici interessi di singoli Paesi membri, la decisione della Commissione appare comunque coerente non solo con il Trattato Euratom²¹¹, ma anche con recenti stime dell'International Energy Agency (2021) e dell'International Panel on Climate Change dell'ONU (2019), secondo cui per raggiungere la neutralità climatica al 2050 sarà molto probabilmente necessario contare, in virtù delle sue basse emissioni climalteranti²¹², e ancorché in subordine alle rinnovabili e a patto di vincoli stringenti su sicurezza delle centrali e scorie radioattive, anche sull'energia nucleare – con la realizzazione di nuovi impianti e reattori, per un aumento della relativa offerta di almeno il 75% rispetto al valore attuale entro il 2050, ovvero un incremento annuale della rispettiva capacità produttiva di circa 22 GW (peraltro nel marzo 2022 la stessa IEA aveva anche suggerito, sulla scia dello scoppio della guerra russo-ucraina, mirati incrementi produttivi di energia nucleare nell'UE per ridurre la dipendenza dal gas russo)²¹³. Nel 2022 alcuni partiti politici **in Italia** hanno incluso l'energia nucleare nelle rispettive piattaforme programmatiche

²¹⁰ Vds. N. Armaroli – A. Barbieri, *Il dilemma dell'idrogeno nella transizione energetica italiana*, «Nature Italia», settembre 2021: <https://www.nature.com/articles/d43978-021-00110-w>

²¹¹ Firmato nel 1957 ed in vigore dal 1958, esso ha istituito la Comunità europea dell'energia atomica (CEEA). Tra i suoi obiettivi principali vi sono agevolare e sviluppare le ricerche e assicurare la diffusione delle cognizioni tecniche, stabilire norme di sicurezza uniformi per la protezione della popolazione e del personale, garantire che le materie nucleari non vengano usate per finalità diverse da quella energetica. Il trattato è consultabile al link seguente: <https://www.europarl.europa.eu/about-parliament/it/in-the-past/the-parliament-and-the-treaties/euratom-treaty>

²¹² Le emissioni prodotte dall'intero ciclo nucleare, *decommissioning* e gestione delle scorie comprese, ammonterebbero a circa un decimo di quelle generate da una normale centrale elettrica a carbone, mentre una centrale nucleare, a parità di energia elettrica prodotta in un anno, ridurrebbe l'inquinamento di circa 16 milioni di tonnellate di carbonio (un effetto equivalente all'eliminazione di circa 3.5 milioni di automobili alimentate con carburanti convenzionali). Se Paesi come Francia, Regno Unito, Spagna e Svezia non avessero avuto energia nucleare, le loro emissioni di CO₂ sarebbero risultate di almeno il 35% superiori. Tramite la diffusione del nucleare in oltre 30 Paesi, dal 1970 il quantitativo di gas serra non immesso nell'atmosfera sarebbe stato pari a 60 miliardi di tonnellate equivalenti di CO₂. Oltre a quello delle minori emissioni climalteranti rispetto alle fonti fossili, altri fattori sovente sostenuti a favore del nucleare riguardano il suo tasso di potenziale complementarietà a fonti non programmabili ovvero più intermittenti come le rinnovabili, in particolare rispetto all'idroelettrico, nonché la sua utilità per decarbonizzare non solo l'elettricità, ma anche industria e servizi, con conseguenti effetti migliorativi su ambiente e condizioni umane, sia in termini di minori decessi che di nuove possibilità economiche e occupazionali. In merito si veda il rapporto al seguente link: <http://www.associazioneitaliananucleare.it/energia-nucleare-a-supporto-della-decarbonizzazione/>

²¹³ Avendo stimato come un ritardo della chiusura di cinque reattori europei – già prevista tra il 2022 e il 2023 – potesse diminuire di 1 miliardo di metri cubi al mese il fabbisogno di gas dalla Russia: <https://iea.blob.core.windows.net/assets/1af70a5f-9059-47b4-a2dd-1b479918f3cb/A10-PointPlanToReduceTheEuropeanUnionsRelianceOnRussianNaturalGas.pdf>

in tema di politica energetica²¹⁴, laddove vi sono state poi aperture, anche sulla scia di ricerche promettenti sia negli USA che in Europa, verso future possibilità d'impiego dell'energia da fusione nucleare (ancora ad uno stadio sperimentale), nonché verso il **nucleare a fissione di IV generazione** (su cui del resto l'Italia è già coinvolta in iniziative di ricerca e partenariati pubblico-privato, che fra gli altri attori vedono coinvolta l'ENEA)²¹⁵. Nel maggio 2023 è stata anche approvata, presso la Camera dei Deputati, una mozione che impegna il Governo a inserire l'energia nucleare nel mix energetico nazionale, mentre lo stesso Governo ha inserito, nel Piano Nazionale Integrato per Energia e Clima (PNIEC) del luglio 2023, la ricerca sul nucleare come attività strategico-propedeutica ad un possibile futuro sfruttamento di reattori da parte dell'Italia – laddove tale scelta è stata salutata positivamente da una parte della comunità scientifica anche come possibile opzione per contenere il fabbisogno dei materiali critici necessari per gli impianti di sfruttamento delle energie rinnovabili, ambito nel quale come già osservato l'Europa mostra una certa esposizione nei confronti della Cina²¹⁶.

Focus box 4 – Energia da fusione nucleare

Alla fine del 2022, gli USA hanno annunciato un'importante svolta sulla fusione nucleare grazie alla produzione di una reazione che genera più energia di quella necessaria per innescarla. Gli scienziati hanno sperimentato reazioni da fusione per decenni (ovvero da quando si studiò come amplificare la potenza di un ordigno atomico arrivando alla bomba H), ma senza generare più energia di quella impiegata²¹⁷. Lo storico risultato scientifico, che ha visto gli Stati Uniti vincere una sorta di corsa planetaria verso questo traguardo, è stato presentato ufficialmente il 14 dicembre 2022 in una conferenza stampa cui ha partecipato, fra le altre personalità, la Segretaria del Dipartimento

²¹⁴ Cfr. ad es. https://www.azione.it/la_nostra_proposta_sul_nucleare

²¹⁵ <https://www.enea.it/Stampa/comunicati/energia-newcleo-firma-intesa-con-enea-per-sviluppo-sistemi-nucleari-sicuri-e-innovativi> https://www.repubblica.it/green-and-blue/2022/01/24/news/nucleare_di_quarta_generazione-334979723/#:~:text=Serviranno%20almeno%20dieci%20anni,impianti%20di%20%22quarta%20generazione%22.
Fra le società interessate ad investimenti nel nucleare si ricorda anche la Exor N.V. (già Exor S.p.A.), holding finanziaria di diritto olandese controllata dalla famiglia italiana Agnelli.

²¹⁶ https://www.cisl.it/wp-content/uploads/2023/07/PNIEC_2023-28_06.pdf
<https://www.italiaoggi.it/news/ritorna-il-nucleare-in-italia-2601040>

²¹⁷ La bomba all'idrogeno (H), sperimentata per la prima volta dagli USA nel 1952, è un ordigno la cui energia è in parte prodotta da una reazione a catena di fusione nucleare. Essa costituisce un'evoluzione delle bombe atomiche a fissione e plutonio usate su Hiroshima e Nagasaki nel 1945 (meno potenti e distruttive). La bomba a fusione è un ordigno a due stadi, contenendo anche una bomba a fissione che fornisce l'altissima temperatura e pressione istantanee necessarie per innescare la reazione a catena di fusione nell'idrogeno (solitamente in forma di trizio), contenuto nell'involucro dell'ordigno; è definita anche 'termonucleare' perché l'innescò della reazione a catena di fusione è dovuto alla temperatura (a differenza di quanto avviene per il materiale fissile in una bomba atomica). A differenza delle bombe a fissione, non esiste un limite teorico alla sua potenza, poiché, non essendoci una soglia di massa critica per la fusione, è teoricamente possibile utilizzare una qualsivoglia quantità di idrogeno. Il suo originario schema di funzionamento è il 'Teller-Ulam' (dal cognome dei principali ideatori). Rispetto agli arsenali dei diversi Stati dotati oggi di armi nucleari, questo tipo di ordigni rappresenta la grande maggioranza delle testate, pur avendo meno potenza delle bombe H degli anni Cinquanta e Sessanta del XX secolo, essendo stata la tecnologia termonucleare via via utilizzata per costruire anche armi nucleari di potenza più ridotta. Cfr. anche <https://www.britannica.com/technology/thermonuclear-bomb>

dell'Energia, Jennifer Granholm. La scoperta è avvenuta nella National Ignition Facility del 'Lawrence Livermore National Laboratory', in California. A differenza dell'energia da fissione nucleare a uranio, prodotta nelle centrali atomiche con la scissione di un nucleo pesante in due più leggeri e il conseguente problema delle scorie radioattive, quella da fusione, più sicura e meno inquinante, riproduce un processo simile a quello che avviene in stelle come il sole, con la combinazione di due nuclei atomici leggeri in un nucleo più pesante²¹⁸. Come combustibile per il processo viene usato l'idrogeno, avvicinando i due nuclei fino a farli fondere tra loro, a densità e temperature altissime (milioni di gradi Celsius), per superare la repulsione elettromagnetica. La tecnica utilizzata è stata di tipo laser (diversa da quella a confinamento magnetico su cui invece ha preferito investire l'UE, ritenendola più efficiente e feconda²¹⁹). Difatti nel laboratorio in California è stato impiegato con successo uno dei più grandi impianti laser al mondo. L'energia prodotta, pari a circa 3.15 megajoule, è stata generata con un raggio laser di 2.05 megajoule, che in qualche miliardesimo di secondo è riuscito a raggiungere e colpire la parte interna di un piccolo cilindro contenente due elementi chiave per il processo di fusione (deuterio e trizio) – sebbene il test si sia basato su un insieme di ben 192 fasci laser (per una quantità di energia di circa 300 megajoules). Ancorché costoso e basato su un sistema laser non particolarmente efficiente, l'esperimento apre prospettive di straordinario interesse in tema di energia pulita, giacché in teoria l'energia della reazione da fusione potrebbe essere trasformata in elettricità senza emettere carbonio nell'aria o produrre scorie radioattive da smaltire nell'ambiente. Certo, secondo molti esperti di settore, ci vorrà non poco tempo per arrivare all'eventuale uso commerciale dell'energia da fusione nucleare (almeno dieci anni, più probabilmente decenni), anche perché l'esperimento statunitense non è facilmente riproducibile in un reattore nucleare. In ogni caso, a fronte di ulteriori sviluppi (tecnologici e in termini di abbassamento dei costi) e di una corretta gestione politica, potrebbe trattarsi di un primo passo verso una nuova forma di energia illimitata e pulita, la quale potrebbe dare, insieme alle energie rinnovabili, un contributo fondamentale per ridurre l'inquinamento, frenare il cambiamento climatico e sostenere i Paesi in via di sviluppo. Essa potrebbe inoltre avere riflessi importanti anche rispetto ai rapporti di forza geopolitico-energetici, contribuendo a diminuire le capacità di leva diplomatica di Stati ricchi di combustibili fossili (fra cui la Russia). Per ora la scoperta è sembrata comunque confermare la capacità statunitense di mantenere, quanto meno in parte, una certa posizione di *leadership* internazionale nella ricerca e nell'innovazione tecnologico-scientifica (grazie anche ad ingenti investimenti pubblici e privati)²²⁰.

²¹⁸ <https://www.qualenergia.it/articoli/fusione-nucleare-passo-troppo-lungo-per-umanita/#:~:text=Problemi%20di%20sicurezza%3F,disturbo%20il%20processo%20si%20spegne.>

²¹⁹ Per maggiori difficoltà tecniche di quelli a fissione, i reattori a fusione finora sono rimasti in stato di progettazione – una delle prime poche lunghe sperimentazione dovrebbe avvenire in Francia entro il 2035-2040, a seguito di un progetto internazionale (ITER) che negli anni ha coinvolto progressivamente circa 35 Paesi (fra cui anche l'Italia, che vi partecipa tramite l'ENEA), legandosi a sua volta a un programma di ricerca di ambito UE (JET). A parità di volume, il potenziale produttivo dei reattori a fusione è stato stimato come superiore di quasi 4 volte a quello dei reattori a fissione, con la generazione di molte meno scorie radioattive e rischi contenuti circa l'approvvigionamento dei materiali necessari.

²²⁰ L'esperimento condotto negli USA sulla fusione nucleare avrebbe convogliato almeno 4.7 milioni di dollari annui solo da investitori privati. Per approfondimenti sugli aspetti tecnici si veda l'articolo di D. Kramer (2022) al seguente link: <https://pubs.aip.org/physicstoday/Online/41898/National-Ignition-Facility-surpasses-long-awaited> Vds. anche P. Panigas e G. Bazzoli (2022): <https://www.focus.it/scienza/scienze/fusione-nucleare-livermore-national-laboratory-annuncio> ; cfr. anche Ansa, 13 dicembre 2022.

Più che ad un futuro ricorso massivo dell'Italia all'energia da fissione nucleare, cosa che sul piano economico potrebbe produrre, anche prescindendo da considerazioni ambientali, costi e tempistiche superiori ai potenziali benefici, le aperture verso il nucleare di IV generazione **sembrano favorevoli al monitoraggio dei trend tecnologico-economici riguardanti i c.d. Smr – Small Modular Reactors** (onde valutarne eventualmente, a fronte di costi e tempi di realizzazione sostenibili, anche applicazioni mirate e selettive nel sistema italiano). Proprio questi ultimi in alcuni Stati stanno assumendo crescente **rilievo**, oltre che per i loro **presunti minori rischi di sicurezza e ambientali**, per il loro **possibile impiego da parte del settore militare – in particolare** con riferimento ad **un loro sottoinsieme**, ovvero quello dei **micro-reattori** nucleari (< 20 MWh, laddove per le taglie più grandi il *range* sarebbe tra 20 e 300 MWh). Gli **Smr** sono reattori 'avanzati' di piccola taglia a fissione (sprovvisti di pompe o elementi manuali), in genere a ciclo chiuso e teoricamente impiegabili, a costi comparativamente contenuti e senza uranio arricchito e 'acqua pesante', nella **generazione di calore come di elettricità**, con la produzione di scorie inferiori e meno tossiche che nei reattori precedenti; inoltre **con la possibilità di costruirne le componenti in luoghi diversi, per poi trasportarle nei siti di destinazione e assemblarle in tempi meno lunghi di quelli necessari all'edificazione di grandi centrali in loco**.

Negli ultimi anni piccoli reattori nucleari sono stati alla base di progetti per il trasporto marittimo militare e civile, e per integrare la generazione energetica in regioni di Paesi come Cina, Russia e Argentina e, più di recente, Corea del Sud, Canada, Stati Uniti, Francia e Regno Unito. Attualmente il numero totale di progetti pertinenti si aggirerebbe fra le 5 e le 7 decine, mentre già intorno al 2026 dovrebbero essere alla base di quasi 20 siti nucleari nel mondo. Alcuni scienziati ed esperti di settore pensano che se ne possano sviluppare nel tempo versioni sempre più potenti ed efficienti, in grado di contribuire all'alimentazione di reti elettriche nazionali, laddove altri li reputano invece non impiegabili su larga scala. In aggiunta, vi è chi li ritiene non del tutto sicuri per uomo e ambiente, e ancora in una fase troppo embrionale per essere considerati come fonte alternativa o complementare a investimenti in energie rinnovabili – e comunque rischiosi perché potrebbero incentivare, di riflesso e soprattutto in aree già poco stabili come il Medio Oriente, rischi di proliferazione di

armi nucleari (cosa quest'ultima possibile, ma a nostro avviso non così probabile²²¹, pur a fronte dei rischi di *escalation* atomica di cui si è parlato negli ultimi 18 mesi in relazione al conflitto russo-ucraino, e della recente politica di riarmo nucleare perseguita dalla Cina²²²). Da parte dell'**ambito militare**, l'interesse per questi reattori si deve soprattutto ad alcuni progetti avviati in seno alle **Forze Armate statunitensi**, che nel settore dell'energia nucleare hanno già maturato, al di là dell'apparato missilistico termonucleare, un'esperienza pluridecennale. La Marina gestisce da decenni navi e sottomarini a propulsione nucleare, mentre l'Esercito ha condotto un programma di energia nucleare dal 1954 al 1977, basato, con esiti alterni, su otto piccoli reattori nucleari per l'alimentazione di basi sul territorio nazionale o in distaccamenti terrestri e insulari²²³. Più di recente, nel 2022, la **US Air Force** ha annunciato che prevede di far funzionare un **reattore modulare** presso la base aerea di Eielson in **Alaska**, con dimostrazioni e test operativi che dovrebbero iniziare nel 2027. La **Difesa statunitense** del resto ha avviato, **anche a seguito di uno studio del 2016 che considerava le energie rinnovabili non sufficienti** per svincolare le esigenze operative delle forze USA dai combustibili fossili e per far fronte alla loro crescente domanda di elettricità²²⁴, uno **specifico programma dedicato all'impiego di *small modular reactors* da parte delle Forze Armate**, ovvero il **progetto Pele (Portable Energy for Lasting Effects)**²²⁵. Esso è funzionale alla futura realizzazione di **piccoli reattori modulari di IV generazione** (e più in generale al potenziamento dell'energia elettrica per finalità militari in cui sono impegnate, anche in chiave di armi ad energia 'diretta', le Forze Armate

²²¹ Come mostrato per es. dall'esperienza francese, o dallo stesso caso USA, o da quello iraniano, non di rado nucleare militare e civile possono essere strettamente connessi (laddove, in ottica duale, lo sviluppo del primo può precedere il secondo, o – più difficilmente – viceversa). È però opportuno notare che, come mostrato peraltro dalla storia del nucleare in Italia, tale correlazione non è automatica (senza contare che in passato Paesi con arsenali nucleari vi hanno poi rinunciato, mantenendo solo centrali a uso civile). Difatti, anche fuori dell'UE e almeno a breve e medio termine, una policy nucleare civile potrebbe non portare ad una proliferazione nucleare militare, essendo in tesi generale quest'ultima legata a sforzi tecnici, tempi e costi economico-finanziari e politici non certo contenuti, e richiedendo comunque la contestuale presenza di ragioni/valutazioni/esigenze strategico-militari (oltre al fatto che le più recenti tecnologie nucleari di IV generazione prevedono la possibilità di usare materiali con composizioni non adatte a finalità belliche). Non sembra casuale del resto che gli Stati effettivamente dotati di ordigni nucleari siano quasi una decina (non contando 5 Stati che ospitano testate US/NATO), cioè circa il 5% del totale mondiale, ovvero una parte comunque minoritaria rispetto a quelli con reattori nucleari (attivi e/o in costruzione) per approvvigionamento energetico (34 Nazioni) o per altre finalità civili (~50 Stati). Per una visione contraria cfr. gli articoli di R. Rosso (2022) e W. Ganapini (2021), rispettivamente ai seguenti siti web:

<https://www.ilfattoquotidiano.it/2022/04/05/il-nucleare-civile-favorisce-e-sostiene-in-molti-modi-i-programmi-militari/6548906/> <https://valori.it/ganapini-nucleare-civile-militare-legami/>

²²² Pechino secondo il Pentagono (2022) potrebbe arrivare a detenere, nel 2035, oltre 1.500 testate nucleari - dalle circa 400 attuali, che quantitativamente già la rendono la terza potenza nucleare del mondo dopo gli USA (3.700 testate) e la Russia (4.500). <https://www.airandspaceforces.com/pentagon-china-making-rapid-military-strides-may-have-1500-nuclear-warheads-by-2035/>

²²³ I reattori variavano nella produzione di energia da 1 a 10 megawatt. I luoghi di installazione si trovavano nel Wyoming, in Idaho, in Groenlandia, in Antartide, in Alaska e nel canale di Panama. Alcuni dei reattori si rivelarono poco sicuri e molto costosi da mantenere in esercizio; nel 1961 in uno di essi si ebbe un'esplosione, costata la vita a tre operatori.

²²⁴ https://dsb.cto.mil/reports/2010s/Energy_Systems_for_Forward_Remote_Operating_Bases.pdf

²²⁵ Anche noto come progetto 'Pelé' (non in riferimento al famoso calciatore brasiliano, ma ad una omonima divinità hawaiana, dea del fuoco e dei vulcani e creatrice mitologica delle Isole Hawaii).

statunitensi²²⁶). Il progetto, per cui la Difesa USA avrebbe già stanziato fra 2020 e 2021 una cifra iniziale inclusa tra 130 e 170 milioni di dollari e stipulato contratti con almeno tre società private, prevede un **primo reattore da 40 tonnellate, le cui componenti possano stare in tre o quattro container da 20 piedi ed essere trasportate all'interno di un cargo C-17**. Una volta installato, con una tempistica media stimata in poco meno di 2 settimane (meno di quella di un generatore diesel) e **la possibilità di ubicarlo e farlo funzionare anche in luoghi remoti carenti di infrastrutture, dovrebbe fornire da 1 a 5 Mw di potenza ed operare per un massimo di tre anni prima del rifornimento**. Il reattore, il cui funzionamento sarà testato presso l'Idaho National Laboratory, si avvarrà di un nuovo combustibile nucleare isotropico tri-strutturale (TRISO) ad alto tenore di uranio a basso arricchimento (HALEU), già sottoposto a diversi test di sicurezza da parte del Dipartimento dell'Energia. Le varie prove previste dalla fase di sperimentazione del reattore dovrebbero avvenire nell'arco del biennio 2024-2025. **Secondo alcune stime, un singolo *small modular reactor* potrebbe far risparmiare fino ad 1 milione di galloni di gasolio all'anno**. Al momento non sembra ci siano ancora informazioni precise sull'esatta futura ubicazione di questi nuovi reattori, ma **pare che questi potranno essere utilizzati sia per basi militari in territorio USA che oltreconfine²²⁷**. Difatti, in teoria, il loro scopo sarebbe non solo quello di **contribuire a ridurre l'impronta carbonica delle Forze Armate, ma anche quello di aumentare l'autonomia energetica dei militari americani, in generale e durante operazioni condotte in territori esteri, rendendola meno vincolata da linee di rifornimento basate su combustibili fossili, non di rado lunghe e vulnerabili – offrendo al tempo stesso, almeno in alcuni contesti, una possibile valida alternativa alla potenziale intermittenza o non programmabilità delle energie rinnovabili, ancora non sempre colmabile in modo del tutto esauriente con i sistemi di accumulo e stoccaggio**. Occorre però rilevare come sui reattori in questione vi siano, in seno alla stessa Defence community americana, **non solo aspettative positive, ma anche pareri**

²²⁶ A differenza di quelle cinetiche, volte a distruggere l'asset nemico con energia veicolata dal movimento di qualche loro componente (energia magari amplificata da esplosivo) e destinate a produrre effetti 'macroscopici', tali armi sono basate sul concetto di produrre un danno sul target nemico veicolando un'energia di tipo diverso, mirata a produrre danni a livello 'microscopico'. Si parla a riguardo di armi acustiche, a flusso di particelle, a radiazione (laser o microonde), al plasma, etc. Per approfondimenti si rinvia agli articoli di S. Avolio (2021), accessibili dal sito: <https://www.difesaonline.it/evidenza/approfondimenti/le-armi-ad-energia-diretta-dew-parte-13-introduzione-e-classificazione> ; cfr. anche l'articolo di N. Strout, relativo in particolare alle applicazioni di *space warfare*, al link: <https://www.defensenews.com/battlefield-tech/space/2021/06/16/the-space-force-wants-to-use-directed-energy-weapons-for-space-superiority/>

²²⁷ Secondo documenti dello US Army (2018), fra i siti candidati ad ospitare i micro-reattori sarebbero stati considerati: Thule (Groenlandia), Atollo di Kwajalein (Oceano Pacifico), Baia di Guantánamo (Cuba), Isola Diego Garcia (Oceano Indiano), Isola di Guam (Filippine), Isola di Ascensione (Oceano Atlantico), Fort Buchanan (Porto Rico), Base aerea di Bagram (Afghanistan), Camp Buehring (Kuwait), Forte Greely (Alaska), Camp Lajes (Isole Azzorre).

contrastanti, o comunque valutazioni che ne hanno messo in evidenza **limiti, vulnerabilità e potenziali contraddizioni**. Fra le altre cose è stato sostenuto come le tempistiche e i costi previsti dal progetto Pele non siano sufficienti a collaudare reattori pienamente efficienti e sicuri, laddove questi non sarebbero comunque del tutto esenti dal rischio di incidenti, oltre a poter attrarre attacchi armati da parte di terroristi e/o forze insurrezionali – soprattutto nel caso di impieghi tattici oltremare, laddove peraltro potrebbe risultare più difficile o dispendioso fornirgli adeguata protezione²²⁸.

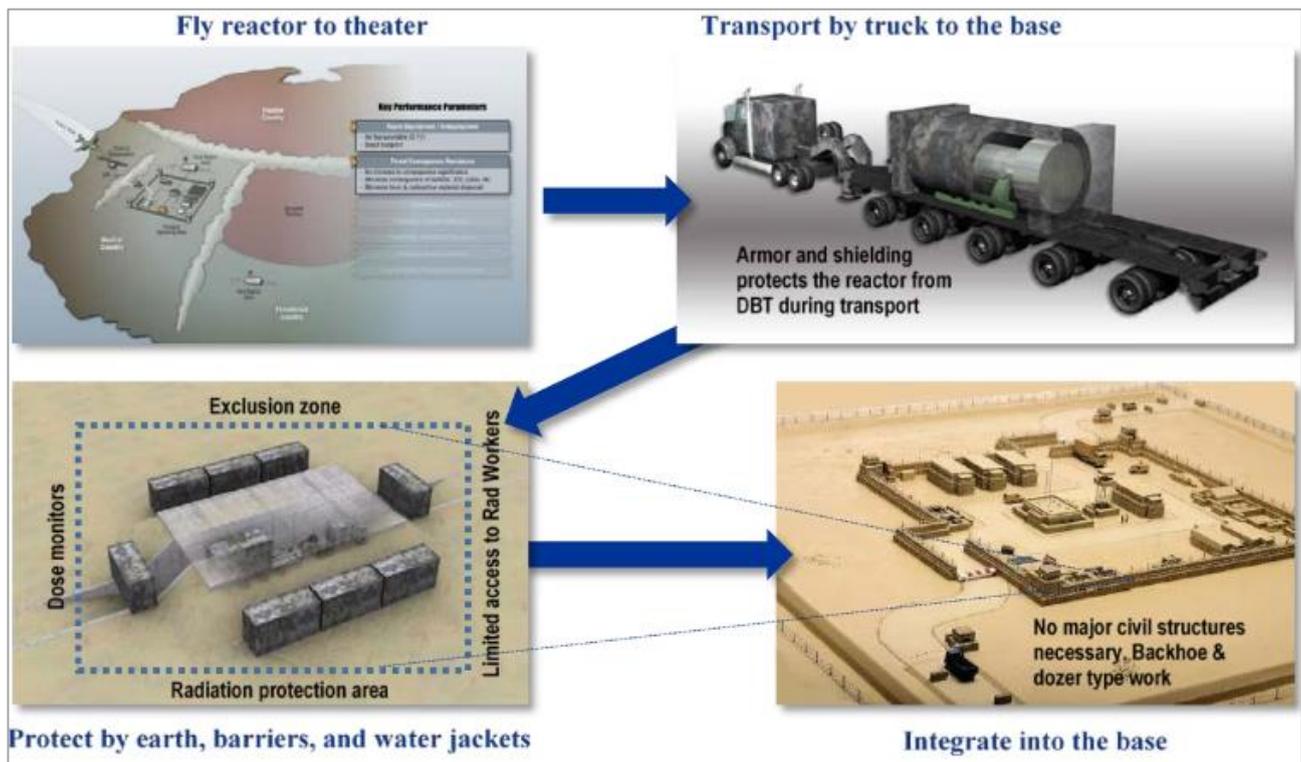


Fig. 38 – Trasporto e integrazione in base di un reattore nucleare modulare (fonte: militarytimes.com, 2022)

²²⁸ Su quanto detto (e per approfondimenti) sui programmi statunitensi circa l'impiego dei reattori nucleari modulari cfr. E. Derr, *Mobile Reactors Powering the Military*, 2021: <https://www.nei.org/news/2022/mobile-reactors-powering-our-military>
 T. South, *Pentagon to build nuclear microreactors to power far-flung bases*, 2022: <https://www.militarytimes.com/news/your-military/2022/04/15/pentagon-to-build-nuclear-microreactor-to-power-far-flung-bases/>
 J. Harlow, *Why the US military should build modular nuclear reactors*, 2022: <https://www.defensenews.com/opinion/commentary/2023/03/16/why-the-us-military-should-build-modular-nuclear-reactors/>
 A. Horwood et al., *The Greater Risk in Mobile Nuclear Power? Failing to take advantage of the decisive edge it offers the US Military*, 2022: <https://mwi.usma.edu/the-greatest-risk-in-mobile-nuclear-power-failing-to-take-advantage-of-the-decisive-edge-it-offers-the-us-military/>



Fig. 39 – Prototipo di micro-reattore nucleare da 1.2 MW - Fonte: Defenseone.com (2022)²²⁹

²²⁹ Il sistema in questione, denominato Kaleidos, sarebbe assemblabile in poco più di due giorni. Per la sua descrizione tecnica si veda il seguente sito: <https://medium.com/cantos-ventures/the-future-is-radiant-b3bc1fdaf340>

CAPITOLO 5

SINTESI DI POLICY PER LE FORZE ARMATE

A questo punto possiamo trarre, a partire da quanto emerso nei capitoli precedenti, **alcune indicazioni circa il ruolo delle Forze Armate rispetto al cambiamento climatico** (lasciando evidentemente ai vertici militari tutti gli approfondimenti e le verifiche tecniche del caso, nonché una eventuale e più dettagliata traduzione politico-operativa dei concetti qui delineati).

Non vi sono dubbi ormai che il *climate change* rappresenti una minaccia per la sicurezza internazionale, arrecando gravi danni ambientali e potendo così alimentare vari fenomeni di conflittualità sia fra Stati che, soprattutto, al loro interno. In quest'ottica la transizione ecologica è fra le altre cose considerata, come osservato pur non senza rischi e possibili contraccolpi, un percorso utile alla stabilità e alla pace. Per questo, soprattutto ma non solo in campo occidentale, le Forze Armate stanno già da qualche anno allineandosi ai vari programmi di adattamento e mitigazione adottati sul piano globale rispetto ai fenomeni climatici estremi. Questi ultimi pongono, nei confronti dei comparti militari, una sfida che è molteplice, poiché la crescente ricorrenza di eventi come caldo estremo, siccità, incendi, esondazioni, tempeste, alluvioni e altri, chiama in causa i militari non solo in quanto attori preposti ad intervenire per la prevenzione e risoluzione dei conflitti, o delle crisi e dei disastri naturali alimentati dal *climate change*, ma anche per i danni da quest'ultimo arrecati alla sicurezza stessa delle infrastrutture e del personale militare. In tal senso **il *climate change* può e deve essere ritenuto non solo un *threat multiplier*, ma, facendo riferimento ad una funzione ben nota nel campo della *security risk analysis*, anche un potenziale moltiplicatore della *vulnerabilità* (e del danno)**, poiché potendo indebolire le capacità di risposta delle Forze Armate potrà comportare, di riflesso, un aumento dell'esposizione di popolazioni e territori a eventi climatici estremi (aumento che evidentemente potrà anche sortire effetti più gravi in aree instabili o già soggette ad operazioni militari di pacificazione)²³⁰. Come già asserito, finora le Forze Armate di diversi Stati, soprattutto ma non solo nell'area transatlantica e filoccidentale, hanno fatto non poco per l'adattamento e la mitigazione del cambiamento climatico, in generale e al loro interno. Tuttavia, dati recenti sui trend attuali e futuri sembrano indicare, come evidenziato in precedenti capitoli di questo

²³⁰ La funzione cui facciamo riferimento prevede che $R = f(M, V, D)$, laddove R sta per rischio, mentre M, V e D indicano, rispettivamente: la *minaccia*, ovvero la presenza/probabilità di un determinato evento climatico estremo; la *vulnerabilità*, cioè l'esposizione (strutturale e contingente) di un dato bene (popolazione, territorio o infrastruttura) nei confronti di M; le conseguenze associabili, in termini di *danno*, all'impatto di M sul bene stesso.

studio, che il rischio climatico risulti in ulteriore aumento. **Le risorse sono limitate, ma anche il tempo, per cui lo sforzo già avviato deve divenire più rapido e intenso. Anche per quanto riguarda l'Italia**, che pure a fronte di progressi considerevoli, sia come comparto Difesa *tout court* che come singole Forze Armate (sebbene nell'insieme più nell'efficientamento energetico del parco infrastrutturale che nello sviluppo capacitivo delle varie componenti militari), sembrerebbe aver bisogno di un **approccio più sistematico**, ad iniziare dai documenti di livello strategico. Diversi di questi includono riferimenti più o meno ampi e specifici al cambiamento climatico, come ad esempio il Concetto Strategico del Capo di SMD (nell'edizione più recente del 2022 ma anche in alcune delle precedenti)²³¹; altri viceversa, anche recenti, di pregevole fattura e di rilievo molto sostanziale, sembrano ancora troppo poco direttamente sensibili al *climate change* come fenomeno pregnante per la sicurezza, e più in generale alle tematiche ambientali²³². I tempi però parrebbero maturi per uno sforzo concettuale e operativo maggiore, più approfondito, che potrebbe prendere il via dall'elaborazione e applicazione di una **Strategia della Difesa Italiana rispetto al Cambiamento Climatico**, ovvero un quadro programmatico specifico, che vada oltre le previsioni di settore contenute nella Strategia Energetica della Difesa (SED, 2019) – peraltro forse già suscettibile di aggiornamento – e i riferimenti tematici inclusi in altri testi ufficiali²³³.

²³¹ Per differenti esempi sull'impostazione delle Forze Armate italiane si possono vedere il *Libro Bianco della Difesa* (2015), il *Concetto Strategico del Capo di Stato Maggiore della Difesa* (2020, 2022), il *Documento Programmatico Pluriennale per la Difesa* (2021-2023), *Le Linee di indirizzo strategico 2019-2034 della Marina Militare*, Spazio (dell'Aeronautica Militare), nonché il *Concetto Operativo dell'Esercito Italiano 2020 – 2035* (e *Future operating environment post 2035 – Implicazioni per lo strumento militare terrestre e Prepariamo insieme le sfide di domani*). I documenti sono liberamente accessibili, rispettivamente, tramite i seguenti siti:

https://www.difesa.it/Primo_Piano/Documents/2015/04_Aprile/LB_2015.pdf

<https://www.difesa.it/Content/Documents/20210804%20DPP%202021-2023%20-ult.pdf>

https://www.difesa.it/SMD_CaSMD/concetto_strategico_casmd/Pagine/default.aspx

[https://www.marina.difesa.it/media-](https://www.marina.difesa.it/media-cultura/editoria/marivista/Documents/supplementi/Linee_indirizzo_strategico_2019_2034.pdf)

[cultura/editoria/marivista/Documents/supplementi/Linee_indirizzo_strategico_2019_2034.pdf](https://www.marina.difesa.it/media-cultura/editoria/marivista/Documents/supplementi/Linee_indirizzo_strategico_2019_2034.pdf)

<https://www.centrostudiesercito.it/doc/CONCETTO%20OPERATIVO%20DELL'ESERCITO.pdf>

<https://www.aeronautica.difesa.it/missione/versofuturo/Pagine/AeronauticaMilitareefuturo.aspx>

<https://www.esercito.difesa.it/comunicazione/Le-5-Sfide/Pagine/default.aspx>

²³² Si pensa, fra gli altri, al documento *Esercito 4.0. Proiettati nel futuro*, curato dal rispettivo Stato Maggiore (2022), il cui unico riferimento diretto alla tematica ambientale riguarda la salvaguardia ecologica, da parte della forza armata, delle aree di ubicazione dei poligoni di tiro utilizzati per le esercitazioni (un tema indubbiamente importante, ma che avrebbe magari potuto essere contestualizzato o valorizzato in misura ulteriore se fosse stato inserito in un discorso un poco più ampio, per es. con riferimenti ad una possibile correlazione virtuosa – o quanto meno non dannosa – fra i sistemi d'arma e i mezzi di trasporto e combattimento presentati e la questione climatica (ancorché essa non costituisse certo il focus del documento). Il file in questione è al link:

<https://www.esercito.difesa.it/comunicazione/editoria/Rivista-Militare/Documents/2022/Esercito%204.0.pdf>

²³³ La (SED) individua tre macro-priorità da seguire: diffusione della cultura energetica e adeguamento della *governance*; infrastrutture (implementazione dell'efficienza energetica, diffusione delle rinnovabili e sistemi di *energy management*); decarbonizzazione delle flotte (a partire dai veicoli di derivazione commerciale). Più specificamente, essa prevede, *inter alia*, di: aumentare l'efficienza, l'efficacia e la resilienza delle infrastrutture e dei mezzi; ridurre i consumi energetici; mantenere l'interoperabilità, anche sotto gli aspetti energetici, con i partner delle coalizioni internazionali in ambito NATO e UE; ridurre l'onere e la vulnerabilità delle catene logistiche con particolare attenzione ai teatri operativi per aumentare la sicurezza del personale impiegato; migliorare la resilienza energetica della Difesa in termini di *energy security*; contribuire al raggiungimento degli obiettivi nazionali in linea con quanto previsto nella Strategia Energetica Nazionale; diffondere a qualsiasi livello la 'cultura energeticamente efficiente'.

In tal senso il documento di livello politico-militare su Forze Armate e *climate change* a cui ha lavorato lo Stato Maggiore della Difesa (*supra*, cap. 2) sembra poter rappresentare un passo importante. Elaborazioni di questo tipo del resto sono state già sviluppate non solo in ambito NATO e UE, ma anche da Stati Maggiori nazionali, per es. in Svezia, Francia e Giappone o, anche a livello di singole Forze Armate, negli USA (*supra*, cap. 2).

Le tendenze climatiche in atto sembrano imporre ai governi e alle Forze Armate di tutto il mondo di porsi seriamente alcune domande sulla loro postura in termini di adattamento e mitigazione nei confronti del *climate change*. Ovvero le loro strategie riflettono le crescenti minacce climatiche che possono doversi trovare ad affrontare sul campo? Dispongono delle risorse necessarie per far fronte al ritmo e alla portata di questi rischi? Ed hanno le giuste partnership con altri Paesi per gestire i rischi condivisi? I governi e le forze militari dovrebbero dibattere in misura crescente per trovare risposte adeguate a queste domande, così da identificare le migliori opportunità per assestare le loro posture operative. Questo anche in conseguenza del fatto che **le minacce associate al *climate change* possono peggiorare gli ambienti operativi sia durante attività in Patria che nel corso di missioni all'estero**. È fondamentale pertanto adattarsi in via crescente ad agire in situazioni potenzialmente influenzate dalle **minacce in questione**, che **non dovrebbero essere considerate alla stregua di 'cigni neri'**²³⁴. Per quanto riguarda le Forze Armate italiane, un possibile modello per integrare i programmi di settore già avviati (non solo per l'ambito Difesa in generale ma per ciascuna singola Forza Armata) può essere ispirato non solo dall'interno del comparto Difesa, o da quanto fatto a livello UE e NATO (e/o da loro singoli Stati), ma anche dal **Piano Nazionale di Adattamento ai Cambiamenti Climatici-PNACC** (MASE, 2023) della stessa Italia (attualmente in fase di approvazione, prevede fra le altre cose la creazione di mappe sul rischio idrogeologico, sistemi di allerta per gli eventi meteorologici estremi, la creazione di colture resistenti ai periodi di siccità, la realizzazione di casse di espansione dei fiumi, e così via)²³⁵. Le Forze Armate possono operare sia in termini di c.d. **adattamento 'di contrasto'**, che mira a gestire la vulnerabilità di cose e persone, ad esempio **costruendo muraglie costiere contro l'innalzamento delle acque**

²³⁴ La teoria del cigno nero (N. Taleb, 2007) è una metafora che descrive un evento non previsto, che ha effetti estremamente rilevanti e che, a posteriori, viene inappropriatamente razionalizzato e giudicato prevedibile con il senno di poi. Etimologicamente questa teoria prende le mosse dall'errata assunzione (nell'emisfero boreale) dell'inesistenza del cigno nero, 'scoperto' (dal mondo occidentale) solo nel 1697. La teoria si basa su tre punti cardine, ovvero l'importanza sproporzionata di determinati eventi di grande impatto, difficili da prevedere e molto rari, che esulano da ciò che normalmente ci si attende in campo storico, scientifico, finanziario e tecnologico; l'impossibilità di calcolare con metodi scientifici la probabilità di tali eventi rari e carichi di conseguenze (a causa della natura stessa delle probabilità, molto molto piccole); le distorsioni cognitivo-psicologiche che impediscono a individui e collettività di cogliere l'incertezza e il ruolo enorme degli eventi rari nell'andamento della storia.

²³⁵ <https://www.mase.gov.it/pagina/piano-nazionale-di-adattamento-ai-cambiamenti-climatici>

o dotando i propri corpi di mezzi ed equipaggiamenti attrezzati contro gli effetti di temperature estreme, inondazioni, tempeste, etc., sia attraverso l'adattamento 'di sicurezza', che ambisce invece a ridurre alla base la vulnerabilità in questione (es. spostare personale e/o infrastrutture, o edificarne di nuove, sufficientemente lontano da luoghi a rischio di forti inondazioni, terremoti, frane, incendi, etc.). In altri termini **le misure adattive possono essere strutturali**, ovvero pertinenti **crismi e criteri tecnici riguardanti la progettazione e l'edificazione stessa delle infrastrutture**, ma anche **non strutturali**, cioè relative piuttosto ad una serie di **azioni comportamentali/gestionali complementari alle prime**, basate talvolta su soluzioni/opzioni *nature based*, ovvero suggerite dalle condizioni degli ambienti naturali più o meno circostanti (es. utilizzare alberi e vegetazione ad alto fusto per creare maggiori zone d'ombra contro il caldo). D'altronde, come osservato, di fronte a fenomeni come calore e freddo estremi, siccità, vasti incendi, piogge alluvionali, innalzamento del livello dei mari, etc., le Forze Armate di diversi Paesi, fra cui *in primis* quelle degli Stati Uniti, stanno elaborando e implementando specifiche **strategie di adattamento, che fra le altre cose prevedono di migliorare la modellazione climatica, di aumentare la resilienza fisica e cibernetica di basi terrestri, navali ed aree, le capacità di acclimatazione dei militari alle temperature estreme o comunque anomale, la meccanica dei mezzi e dei sistemi d'arma, nonché di potenziare le attività di ricerca e sviluppo sulla resilienza dei materiali e sul design, l'ingegneria bio-ambientale e le esercitazioni su possibili scenari di missione e wargaming.**

Concentrarsi **solo sull'adattamento sarebbe però riduttivo**, specialmente in un'ottica di medio e soprattutto **lungo periodo**. Per questo è indispensabile anche proseguire sulla strada della **mitigazione del climate change**, ovvero su una progressiva riduzione nei consumi di fonti fossili. In tal senso si pensa, ancor prima che all'aumento dell'uso delle fonti energetiche alternative, all'adozione di tutte quelle misure (tecnologiche, organizzative, procedurali e comportamentali) che possano contribuire ad incrementare **risparmio ed efficienza sul piano energetico** (anche come dotazioni relative a sistemi di cattura e stoccaggio della CO₂ e in termini di *waste management, recycling* e circolarità dei processi più in generale). In Italia come altrove, negli ultimi anni le Forze Armate nell'ambito in questione hanno fatto dei progressi, anche grazie a cambiamenti intervenuti in chiave culturale e di *awareness*. Tuttavia gli sforzi vanno aumentati. La crisi dei mercati energetici innescatasi contestualmente alla pandemia da COVID-19 e al conflitto russo-ucraino può rappresentare, avendo fornito (almeno in parte e temporaneamente) alla Difesa, alla Pubblica Amministrazione e ai privati modelli organizzativo-lavorativi improntati anche a una

riduzione nei consumi, un bagaglio esperienziale su cui riflettere e investire in termini di gestione delle strutture e di comportamenti del personale. Dall'analisi sopra effettuata risulta evidente tuttavia come nel lungo termine il contrasto al cambiamento climatico non possa prescindere **anche** da strategie di mitigazione volte ad **aumentare l'impiego di fonti energetiche alternative**, sia per attività condotte in Patria che durante missioni all'estero. Nel primo come nel secondo ambito quest'uso potrebbe non essere esclusivo, specie nei prossimi anni, ovvero in ottica di breve periodo, laddove più in generale i consumi di combustibili fossili dovranno, pur in via auspicabilmente decrescente, giocoforza continuare (almeno o specialmente con riferimento al gas naturale, ovvero il meno inquinante degli idrocarburi tradizionali). Del resto, in linea generale, è importante non perdere di vista che, nel processo di adattamento ai cambiamenti climatici, l'esigenza primaria della Difesa rimane comunque quella di poter continuare a disporre di uno strumento militare efficace, efficiente e resiliente, che permetta di tutelare al meglio gli interessi nazionali nelle aree geografiche di rilevanza strategica. Ciò anche in considerazione del fatto che, come già osservato, i principali competitor internazionali hanno sensibilità diverse nei confronti dei cambiamenti climatici, per cui dovrà essere cercato un equilibrio tra *transizione energetica militare* e output operativo. A titolo esemplificativo, quanto precede potrebbe voler dire continuare a ricorrere a forme di compensazione delle emissioni per quei settori che non possono, al momento, essere resi più sostenibili senza perdere, appunto, capacità operative. In ogni caso, la rassegna presentata nel precedente capitolo mostra come tanto entro i confini nazionali quanto in teatro tutte le fonti energetiche alternative possano essere impiegabili – almeno sul piano teorico, e al netto del fatto che la determinazione del futuro mix energetico della Difesa dovrà comunque essere orientata da scelte chiare, connesse a preferenze e scale di priorità che, pur non escludendo margini di flessibilità, risultino stabili e ben definite. Parliamo quindi di **energia solare, idroelettrica, eolica, di moto ondoso, idrogeno, geotermia, bioenergia, carburanti alternativi (biocarburanti e più a lungo termine carburanti sintetici) e, potenzialmente, anche di energia nucleare – che pur non senza possibili problematiche economico-tecnologiche e di ordine politico di norma offre, rispetto alle rinnovabili e pur a fronte dei loro progressi in termini di stoccaggio, maggiori garanzie in chiave di continuità/programmabilità**. Certo, abbiamo osservato come, a prescindere dai diversi livelli di sviluppo tecnologico e diffusione delle **varie fonti analizzate**, l'uso di quest'ultime da parte della componente militare, soprattutto se al di fuori dei confini nazionali, o meglio per l'alimentazione di strutture e mezzi in teatro, tenda a poggiare sulla possibilità di disporre di **impianti modulari, di taglia**

piccola o medio-piccola, portatili o comunque trasportabili in via scomposta o semi-scomposta ed assemblabili poi direttamente in loco in tempi contenuti (prevalentemente su terraferma, ma anche in acqua). Altresì abbiamo osservato come lo **stesso uso di biocarburanti da parte di mezzi militari** potrà risultare **coerente e sostenibile nella misura in cui i materiali di base e i cicli produttivi in generale siano, fra le altre cose, agilmente accessibili** – ovvero **non troppo distanti dai luoghi di impiego**. Tutto ciò in alcuni casi potrebbe essere già piuttosto agevole, in altri contesti risultare viceversa più complesso. D'altra parte, per le operazioni all'estero, il mix energetico di sostegno ai contingenti dipenderà in buona parte dalla collocazione geografico-territoriale del rischieramento. In fase di pianificazione della missione, dovranno essere tenuti in considerazione vari fattori che determineranno esattamente quali impianti utilizzare, a seconda delle caratteristiche delle aree di intervento e dei parametri che influenzano il rendimento dei vari sistemi. Gli apparati energetici dovranno essere dotati di adeguata flessibilità, anche mediante l'impiego di (micro)-griglie intelligenti (**smart microgrids**), in grado di migliorare la gestione e la sicurezza delle reti, offrendo una risposta più rapida e automatica in caso di interruzione. Per consentire tali efficienze, le reti potranno impiegare dispositivi che consentono un continuo scambio di informazioni tra i diversi nodi presenti in un sistema di distribuzione. In tale contesto, oltre a ridurre le interruzioni, il sistema potrà minimizzare gli sprechi, eventualmente redistribuendo energia in eccesso verso le reti locali. In altri termini, la diffusione nei teatri operativi degli impianti a fonti rinnovabili potrà essere implementata secondo un modello di produzione e trasmissione dell'energia a **generazione distribuita**²³⁶. Tali sistemi dovranno soddisfare i requisiti di resilienza nei mutevoli scenari d'intervento e in ogni assetto operativo, permettendo di operare minimizzando il rapporto consumi/disponibilità della fonte. Una rete in grado di accogliere energia prodotta da più fonti energetiche sarà una rete da preferire durante le attività operative, in quanto qualora un sottosistema non dovesse funzionare, altre parti dell'impianto potrebbero essere programmate per proseguire a soddisfare, fino al ripristino delle funzionalità degli apparati, un fabbisogno sufficiente. D'altronde, la sostenibilità energetica è diventata un *must* per il sostegno alla manovra logistica nei teatri operativi. La resilienza energetica richiede azioni coordinate per consentire al dispositivo militare di resistere anche a eventi imprevisti, con sistemi integrati e procedure volte a mantenere la libertà d'azione e l'operatività anche in

²³⁶ Consta di molteplici sistemi di generazione di piccola taglia, modulari e localizzati vicino alle utenze per soddisfare specifiche necessità energetiche o di affidabilità di una determinata area. I sistemi dovranno essere in via crescente anche a fonte rinnovabile (generalmente in assetto cogenerativo), con taglie di potenza medio-piccola. Sul concetto di generazione distribuita cfr. anche *supra*, nota 29.

condizioni critiche. Una condizione da conseguire con investimenti che prevedano l'impiego di tecnologie adeguate, che **siano peraltro ben protette anche da attacchi di tipo cibernetico**. Difatti, una maggiore integrazione delle energie rinnovabili nei sistemi di alimentazione utilizzati dalle Forze Armate tende a comportare, così come avviene in ambito civile, un'evidente digitalizzazione, con l'introduzione di dispositivi tecnologici (appunto *smart grids*, *smart meters*, internet delle cose) basati su crescenti connessioni a sistemi elettrici distribuiti, reti informatiche e "interoperabilità", collegamenti eterogenei, impianti controllati prevalentemente in remoto. Insieme a benefici ambientali, economici e operativi, inclusa una migliore efficienza nei consumi di energia, ciò può anche causare una maggiore esposizione al rischio di attacchi informatici. Tanto che proprio quest'ultimo aspetto più in generale costituisce, oltre a diversi altri fattori quali ad esempio la possibile carenza di materie prime strategiche (fra cui "terre rare" e "minerali critici" fondamentali inter alia per pannelli solari, turbine eoliche, batterie, semiconduttori e chip per computer e smartphone), uno dei complessi aspetti da affrontare nella transizione mondiale verso un sistema energetico meno inquinante e più digitalizzato. In altri termini, se da un lato le possibilità offerte dalle nuove tecnologie possono portare notevoli miglioramenti lungo tutta la filiera energetica, quindi fornire maggiori sofisticazioni in termini di funzionamento, controllo, prestazioni, connettività e fornitura, dall'altro espongono i sistemi energetici ad una serie non trascurabile di minacce informatiche, comportando non facili sfide in termini di resilienza infrastrutturale. In alcuni casi, hacker avversari potrebbero sferrare attacchi cibernetici del tipo *denial of service* o di altra natura (es. false data injection o signal spoofing) per sfruttare vulnerabilità presenti nei sistemi fisici²³⁷. Se si pensa alle *smart (micro)grids*, proprio la loro elevata interoperabilità, ovvero la capacità di connessione con altre reti e sistemi, sembra rappresentare un alto incentivo per attacchi che potrebbero colpire sia gli impianti di generazione che eventuali applicativi usati per produrre, monitorare e scambiare elettricità o calore. D'altro canto, le **elevate interdipendenze tra infrastrutture fisiche e informatiche, nonché, come osservato nel terzo capitolo, fra infrastrutture militari e civili**, sembrano poter costituire un ecosistema digitale considerevole, ma anche una superficie per attacchi crescenti a livello cibernetico. Un ambiente 'intelligente' che potrebbe

²³⁷ Il primo si riferisce a forme di travisamento riguardanti i 'dati in entrata', che attraverso la manipolazione o la falsificazione degli input determinano reazioni anomale nei sistemi governati da algoritmi; lo spoofing identifica invece una gamma di possibili azioni che consente ad un attore o programma malevolo di nascondere la propria identità fingendosi una fonte "affidabile" per la vittima, e ottenere così accesso a informazioni, reti e sistemi che gli sarebbero altrimenti precluse.

non essere facile da sorvegliare, verso cui lo sviluppo di efficaci strategie di protezione pare un imperativo categorico.

Quanto detto sinora **non significa peraltro che un maggiore uso di impianti basati sulle rinnovabili eliminerà il problema della protezione fisica dei centri di alimentazione energetica**, che resteranno potenzialmente soggetti, oltre che a minacce di carattere naturale, anche ad azioni ostili armate di tipo intenzionale e di origine umana (a terra come in mare). Abbiamo osservato d'altra parte come tale elemento, ben noto anche alle nostre Forze Armate attive per la sicurezza energetica nel Mediterraneo Allargato, sia presente nel dibattito interno alla *Defence community* statunitense circa l'opportunità di utilizzare, nel territorio nazionale ma soprattutto nei teatri esteri, i micro-reattori nucleari. D'altronde, più in generale, infrastrutture e obiettivi di natura energetica risultano, indipendentemente dalla loro natura e come mostrato più di recente dal confronto russo-ucraino, fra quelli più bersagliati durante situazioni di conflitto variamente intense²³⁸.

Fattore di **particolare interesse**, fra quelli emersi nel quarto capitolo, è che **in teatro l'uso delle fonti energetiche alternative potrà avvenire, almeno in alcuni casi, non senza concreti benefici operativi rispetto all'impiego di idrocarburi**, per es. con **propellenti non tradizionali e alimentazione elettrica** in grado di rendere meno rilevabili determinati mezzi da parte avversaria, laddove un maggior uso di **fonti rinnovabili e batterie** in alcuni scenari potrebbe aumentare non solo la **sicurezza dei contesti locali**, ma **anche l'efficienza e l'autonomia energetica dei contingenti**. Inoltre, per garantire un continuo e affidabile accesso alle risorse energetiche, sarà opportuno definire meccanismi di protezione dei sistemi di consegna, che si potranno ottenere attraverso una diversificazione delle fonti (tradizionali e alternative), combinando più opportunità tra di loro, aumentando la ridondanza dei percorsi di distribuzione (sfruttando le superfici terrestre e marittima, le vie aeree ma anche il sottosuolo) per ridurre rischi e vulnerabilità, in altre parole aumentare la resilienza dei sistemi di approvvigionamento e l'autonomia energetica dei contingenti. Il concetto di **autonomia energetico-operativa** delle forze del resto già sembra centrale nell'impostazione programmatico-strategica delle Forze Armate dei Paesi NATO, fra cui l'Italia – ove ciò pare valere per le unità navali della Marina Militare come per le basi e i mezzi di Esercito, Aeronautica e Carabinieri (ad es. si pensi in tal senso anche ai concetti

²³⁸ Inoltre, i dati del Global Terrorism Database mostrano come strutture e compagnie energetiche figurino, su scala globale e a partire dal 1970, al sesto posto della classifica delle prime 10 categorie di obiettivi (su 20 totali) prese di mira con più frequenza da attacchi con armi ed esplosivi (facendo peraltro registrare danni economici significativamente consistenti, in assoluto e in relazione ad altri tipi di targets). Cfr. C. Lee (2022), *Why do terrorists target the energy industry?*, in «Energy Research and Social Science», 87, pp. 1-7: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2214629621005466>

di *smart military district*, *smart energy airfield*, etc)²³⁹. Edificare basi militari tattiche munite di propri sistemi di sfruttamento delle energie rinnovabili può alleviare la necessità di approvvigionamento da risorse energetiche delle *Host Nations*, consentendo al tempo stesso alle prime di collegarsi eventualmente a sistemi energetici locali delle seconde, peraltro in via compensativa e non detrattiva. **Limitare la necessità di approvvigionamento di carburanti tradizionali** da parte di mezzi e strutture può diminuire le correlate operazioni logistiche dalla madrepatria o da aree più o meno limitrofe a quelle di operazioni, riducendo di conseguenza situazioni non di rado ritenute particolarmente propizie per effettuare attentati o attacchi contro i convogli militari (come mostrato ad esempio da quanto accaduto non di rado nei teatri iracheno e afgano). Tutto ciò senza tener conto poi che in alcune *Host Nations* la rete elettrica nazionale potrebbe essere carente o pressoché assente (si pensi a es. a quanto mostrato dal caso afgano, con gran parte dell'energia del Paese proveniente da generatori diesel, e il carburante trasportato via terra per lunghe distanze dal Pakistan o con vettori aerei, a costi non certo contenuti). I problemi di approvvigionamento sono d'altra parte riportati frequentemente come una delle principali ragioni della sconfitta delle forze sovietiche in Afghanistan durante gli anni '80, nonché come uno dei diversi fattori che concorsero, nel decennio precedente, alla dipartita delle forze americane dal Vietnam. Sotto il profilo dei costi, si deve poi tener conto che il prezzo del petrolio, pur avendo nel tempo un andamento altalenante, tende ad aumentare proprio nei momenti di maggiore tensione internazionale, allorquando in genere intervengono le forze militari. Potenziali vantaggi, con l'impiego militare di fonti alternative di energia, si avrebbero anche rispetto al singolo soldato. Disponendo a es. di **batterie ricaricabili sul campo di battaglia**, quest'ultimo potrebbe alimentare alcuni sistemi ovunque, riducendo il peso e il costo delle batterie di ricambio – a patto che le prime presentino dimensioni, pesi e costi sostenibili.

In tale quadro, come osservato, sono stati già sviluppati (o sono ancora in fase di sperimentazione) alcuni dispositivi per fornire energia rinnovabile alle basi militari, **soprattutto** nel campo dell'**energia solare** ma **anche** rispetto a dispositivi atti a sfruttare l'**energia dell'acqua o quella eolica**, al singolo combattente o a piccole unità, quindi per l'impiego di **carburanti alternativi** per alimentare mezzi tattici terrestri, velivoli e navi da

²³⁹ L'obiettivo dovrebbe essere di arrivare a conseguire un dispositivo militare mobile, dotato di adeguata flessibilità, ospitato in basi/installazioni sufficientemente protette, in grado di proiettare/impiegare unità anche in condizione di interruzione di servizi, supportato da una logistica snella e possibilmente svincolata dal supporto della *Host Nation* (anche per gravare il meno possibile sulle stesse comunità locali da sostenere). Tutto ciò richiede una forza militare credibile, fonti energetiche disponibili e sistemi tecnologici innovativi e resilienti.

guerra. Proprio dal settore dei carburanti alternativi, ed in particolare dei **biocarburanti**, sembra si stiano profilando già da alcuni anni sviluppi di interesse per la mobilità aerea e per quella navale (laddove in un'ottica di più lungo termine potrebbero esserci analoghi sviluppi grazie ai carburanti sintetici), ma anche per l'autotrazione terrestre – fermo restando che in quest'ambito sembra già ci siano prospettive proporzionalmente maggiori grazie ad opzioni di elettrificazione che poggiano su **alimentazione a batteria**, o, pur in minor misura, su motori a celle di combustibile che sfruttano l'**idrogeno**. Sul piano strategico-militare quest'ultimo, anche del tipo verde, è attenzionato non solo per motivi ambientali, ma anche perché esso potrebbe alimentare, senza diminuirne le capacità, ma altresì incrementandone i vantaggi operativi e tattici, talune strutture e alcuni mezzi di trasporto e/o combattimento (come già avviene peraltro con sottomarini e alcuni tipi di droni, e come in futuro dovrebbe accadere, in via crescente, rispetto ad alcuni veicoli terrestri).

Va da sé che ai fini dell'adattamento al *climate change*, così come per implementare progetti tesi a conseguire una maggiore autonomia energetica tramite lo sfruttamento di fonti energetiche alternative, le Forze Armate dovranno continuare a investire in **attività di ricerca e sviluppo**. In questo quadro assume rilevanza non solo il livello nazionale, ma anche quello europeo. Pur mantenendo fermo il riferimento **NATO**, l'ambito **UE** sembra, in chiave militare, uno di quelli su cui fare maggior leva ai fini del futuro ruolo della Difesa per la tutela della sicurezza energetica nazionale. La fase storico-politica che stiamo vivendo sembra mostrare del resto, almeno in parte ed anche (o forse soprattutto) in conseguenza di shock epocali come la pandemia da COVID-19 e la guerra russo-ucraina, un ritrovato impulso in ottica europeista. Tutto questo a livello europeo sembrerebbe poter stimolare anche specifici progetti congiunti nei campi della ricerca e dell'industria militare, nonché potenziali ricadute in chiave *dual use* in settori correlati a quello energetico: si pensi, su tutti, alla già menzionata sfera cibernetica (o al fatto che lo stesso comparto delle energie alternative per sua natura sembra possedere significativa valenza *dual use*, laddove investimenti militari nel settore delle rinnovabili possono garantire utili ritorni in campo civile, ma anche viceversa).

Possiamo a questo punto raccogliere, in **forma schematico-sintetica, alcune indicazioni** che auspichiamo essere, ancorché non esaustive, di potenziale interesse perché le Forze Armate proseguano sulla strada dell'adattamento e della mitigazione rispetto agli effetti del *climate change*, pur mantenendo le proprie capacità di deterrenza e operatività:

➤ **potenziare le attività pertinenti il cambiamento climatico.** Ciò può voler dire, fra le altre cose, aumentare le **analisi** e gli **studi** di carattere previsionale sugli effetti del *climate change* nelle aree di prioritario interesse per la sicurezza nazionale, anche adottando impostazioni di carattere *what if*, volte cioè ad ipotizzare, sulla base di evidenze statistiche variamente consolidate, il verificarsi di eventi più o meno estremi sia in Patria che all'estero, e conseguenti interventi della componente militare (in autonomia e/o in concorso con attori civili e/o militari locali e/o internazionali²⁴⁰); ciò potrà di conseguenza richiedere **attività simulative ed esercitazioni**, da svolgere sia a livello virtuale che in ambienti fisici che possano avvicinare, per quanto possibile, le condizioni reali di teatri sensibilmente degradati a causa degli eventi ipotizzati; in tale ottica per l'Italia la cornice primaria dovrebbe essere, sia in chiave analitico-previsionale che in ottica simulativa, l'area del **Mediterraneo Allargato**, con riferimento prioritario al territorio nazionale e alle aree **MENA e Sahel** – pur non trascurando versanti di **interesse dell'Africa Subsahariana, come Golfo di Guinea/Nigeria ad ovest e Corno d'Africa ad est** – zone dalle quali peraltro a causa del *climate change* la già significativa **pressione migratoria** potrebbe subire, anche solo a fasi alterne, sensibili incrementi; si ritiene altresì rilevante che tale azione-obiettivo avvenga in misura crescente ad un livello interforze e con un approccio multi-dominio, che tenga conto anche delle molteplici implicazioni del mutamento climatico in termini di possibili innovazioni strategiche e tecnologiche – anche per questo si pensa, tra gli attori nevralgici che possano contribuire a tale processo, all'Ufficio Generale Innovazione Difesa (UGID), collocato all'interno dello Stato Maggiore della Difesa e già attivo in diversi progetti improntati ad una logica di *open innovation* e di network tra ambito militare e settori civili²⁴¹;

➤ **inserire in modo crescente il cambiamento climatico**, unitamente alle questioni energetiche, nelle **policies** riguardanti non solo la **struttura e l'organizzazione** delle Forze Armate, **ma anche il procurement** e il **personale**. Abbiamo osservato del resto che eventi come temperature estreme, alluvioni/allagamenti o tempeste di vento, sabbia e polvere, etc., possano risultare in varia misura lesive delle capacità prestazionali di uno schieramento militare, incidendo non solo sull'ambiente fisico, elettronico e cibernetico delle

²⁴⁰ In tal senso la già citata esercitazione 'Sisma dello Stretto 2022', tenutasi nel novembre 2022 circa un possibile terremoto nell'area dello Stretto di Messina con la guida della Protezione Civile e la partecipazione di altri attori istituzionali, fra cui tutte e 4 le Forze Armate italiane, sembrerebbe poter rappresentare uno dei modelli di *practice* da estendere e potenziare – anche in virtù del fatto che essa ha ipotizzato un evento sismico di magnitudo (6 ML) maggiore di quello effettivamente verificatosi nell'area nel 1975 (4.7 ML), laddove, almeno entro certi limiti, l'assunzione di condizioni peggiori di quelle già riscontrate empiricamente dovrebbe contribuire a migliorare la preparazione nel rispondere a terremoti e altri fenomeni naturali più o meno catastrofici, così come, più in generale, alle varie sfide operative poste dal cambiamento climatico (e non solo) nei confronti delle Forze Armate.

²⁴¹ https://www.difesa.it/SMD_/Staff/Sottocapo/UGID/Pagine/Centro_Innovazione_Difesa.aspx

operazioni, ma anche sulle **infrastrutture** e le **dotazioni** delle varie unità, a loro volta meno performanti nel manovrare e combattere in aree con condizioni climatiche anomale o compromesse. Ciò può significare fra le altre cose **adattare infrastrutture ed equipaggiamenti** per poter operare con sufficiente efficacia in condizioni limite, e/o in ogni caso prepararsi a dover agire in contesti ambientali che nei prossimi lustri potranno essere sensibilmente diversi da quelli attuali – questo potrà anche voler dire, per citare un es. di ambito marittimo, **valutare interventi di rafforzamento, consolidamento e/o innalzamento** riguardanti dighe, moli, banchine e altre strutture portuali usate da unità militari e navi da carico (il che almeno a lungo termine sembra assumere valenza anche per l'Italia, viste le stime riguardanti l'innalzamento del livello del Mar Mediterraneo e dato l'alto valore strategico-militare e geoeconomico-commerciale dei porti marittimi per il nostro Paese); abbiamo osservato inoltre, più in generale, quanto già fatto (o in corso di sviluppo) da parte delle Forze Armate di alcuni Stati, fra cui gli USA, per **dotare sistemi d'arma e mezzi di trasporto e combattimento di materiali e/o meccanismi e dispositivi che possano ridurre i rischi di inceppamento, paralisi e/o malfunzionamento** (legati ad es. alle *sand and dust storms*), così come i soldati di **vestiari e attrezzature** che possano **minimizzare gli effetti del caldo e del freddo estremi sul fisico umano, o su velivoli, unità navali e mezzi terrestri** (si pensi, in quest'ultimo senso e rispettivamente, alle iniziative francesi circa i nuovi dispositivi antighiaccio atmosferico, le vernici contro l'aderenza dei microrganismi marittimi, i sistemi contro l'usura delle unità di potenza ausiliaria, etc.).

All'adattamento di **infrastrutture** e **dotazioni** deve aggiungersi evidentemente, in un'ottica di più lungo periodo, l'adozione di **sistemi energetici alternativi** a quelli basati sui combustibili fossili tradizionali, sia per l'alimentazione (elettrica e termica) di basi e strutture che per quella dei mezzi. Sembra logico come quest'ultima attività, così come la prima, richieda a ciascuna Forza Armata una crescita sotto il profilo della preparazione e delle competenze del personale, in generale ma soprattutto con riferimento a figure più o meno specializzate di alcuni corpi specifici, fra i quali quelli del **genio** (in tutte le sue articolazioni e specialità), della **logistica** e del **comparto sanitario** – rispetto al quale il *climate change* potrebbe a nostro avviso comportare, come peraltro pare stia già avvenendo in alcuni Stati, un crescente coinvolgimento non solo per la prevenzione, profilassi e cura di taluni effetti degli eventi climatico-estremi sul personale, ma anche sotto il profilo degli studi e dei test operativi volti ad aumentare la tenuta psico-fisica dei militari in ambienti operativi climaticamente complessi o avversi;

➤ sviluppare **adeguati sistemi di protezione cibernetica e fisica** dei **sistemi energetici** utilizzati dalle Forze Armate, perché il crescente uso di energie alternative comporterà un potenziale aumento del rischio cibernetico verso le infrastrutture dedicate, e dato che queste ultime potranno comunque essere esposte, al di là della loro natura, a episodi di attacco e sabotaggio armato da parte di attori ostili, **sia a terra che off-shore** (anche e forse soprattutto nei teatri di operazione all'estero, laddove forze avversarie potrebbero prendere di mira tali obiettivi non solo per finalità squisitamente militari, ma anche per minare la credibilità dei contingenti internazionali sul piano sociale); è appena il caso di notare peraltro come la protezione delle infrastrutture e dei transiti/flussi di ambito energetico resterà, nei prossimi lustri, uno dei principali compiti delle Forze Armate a favore della sicurezza nazionale e internazionale – anche nei casi in cui tali infrastrutture saranno esse stesse direttamente minacciate da eventi e disastri naturali in qualche modo riconducibili agli effetti del mutamento climatico;

➤ rafforzare ulteriormente il **dialogo e il coordinamento con altri attori nazionali** (incl. livello regionale), **istituzionali ma non solo**, circa le tendenze, gli effetti e le conseguenze operative del *climate change*. Difatti, senza per questo escludere o trascurare situazioni in cui le Forze Armate possano operare in autonomia, è evidente, anche dai dati presentati nel terzo capitolo, come disastri naturali o altre circostanze emergenziali legate al cambiamento climatico tendano a richiedere interventi per loro natura interforze e interistituzionali. Ciò è mostrato da alcuni degli esempi a tal riguardo riportati in questa ricerca, fra cui i gravi incendi estivi occorsi in Europa negli ultimi anni e la stessa alluvione che ha colpito alcune regioni italiane nel maggio del 2023, quando le Forze Armate italiane hanno operato nella fase emergenziale e in quella post-emergenza congiuntamente ad altri attori, tra cui Protezione Civile, Vigili del Fuoco, autorità sanitarie, enti locali, associazioni e financo volontari civili; insieme ad altri enti, fra cui il Ministero dell'Ambiente e della Sicurezza Energetica, tali attori dovrebbero rappresentare, per le Forze Armate, dei partner con cui dialogare e cooperare in modo crescente per far fronte a eventi emergenziali legati agli effetti dei mutamenti climatici; tale tendenza si sta profilando del resto anche in Stati complessivamente meno esposti dell'Italia ai rischi climatici (fra cui, per limitarci a un solo esempio, la Svezia); in ottica più generale, e non solo quindi come risposta a situazioni di crisi/emergenza ma anche in chiave di analisi strategica del mutamento climatico e della transizione energetica e dei loro possibili impatti operativi sugli interessi nazionali (si pensi anche alla questione delle materie prime strategiche), la Difesa potrebbe dialogare e

stabilire – ovvero aumentare/potenziare – partenariati specifici, fra gli altri, con i seguenti attori:

- Presidenza del Consiglio dei ministri (es. Comitato Interministeriale per la Transizione Ecologica)
- Ministero dell’Ambiente e della Sicurezza Energetica;
- Dipartimento della Protezione Civile;
- Ministero degli Affari Esteri e della Cooperazione Internazionale;
- Ministero dell’Interno (es. Dipartimento Vigili del Fuoco, Soccorso Pubblico e Difesa Civile/ Comitato Centrale per la Sicurezza Tecnica della Transizione Energetica e la Gestione dei Rischi Connessi ai Cambiamenti Climatici);
- Ministero delle Infrastrutture e delle Mobilità Sostenibili;
- Ministero dello Sviluppo Economico;
- Agenzia nazionale per le nuove tecnologie, l’energia e lo sviluppo economico sostenibile (ENEA);
- Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale (ISPRA);
- Consiglio Nazionale delle Ricerche (CNR);
- Agenzia per la Cyber-sicurezza nazionale;
- Agenzie di Intelligence;
- Ministero dell’Istruzione, dell’Università e della Ricerca;
- Ministero della Salute.

➤ potenziare i **partenariati con il settore aziendale e il mondo universitario**.

Questo, rispetto al rapporto fra Forze Armate e mutamento climatico, sembra rendersi indispensabile sia in termini di **adattamento** che sul piano della **mitigazione**. Come osservato, difatti, entrambe le azioni in questione devono giocoforza poggiare su modelli comportamentali, ma anche su conoscenze, competenze e tecnologie che tanto il mondo privato quanto quello accademico tendono per loro natura a possedere e, almeno in tesi generale, a migliorare. Rispetto al settore aziendale si pensa naturalmente a grandi compagnie nazionali già attive in ambito militare o energetico, come Leonardo, Fincantieri, Eni ed Enel, ma possibilmente con il coinvolgimento di piccole e medie imprese con consolidate esperienze di sviluppo e innovazione tecnologica, fra gli altri nel campo dei materiali ecosostenibili e delle **energie alternative** – ci riferiamo a **tutte queste forme di energia** e, già in ottica di breve periodo e data la collocazione geografico-politica del Paese,

all'**energia solare** in particolare (per impieghi sia sul territorio nazionale che in teatri di operazione esteri). Riguardo all'ambito universitario si pensa, fra gli altri poli di interesse, al Dipartimento di Eccellenza sulla Transizione Climatica dell'Università di Torino²⁴², al *Center for Climate Change Studies and Sustainable Actions (3CSA)*²⁴³ e all'Università di Bari 'Aldo Moro' – coinvolta, insieme ad altri atenei, enti di ricerca non accademici e aziende, nel progetto Return (*Multi-risk science for resilient communities under a changing climate*)²⁴⁴. Una maggiore e crescente condivisione dei rispettivi patrimoni tecnici sembra dunque indispensabile sia a breve e medio termine, ovvero per adattare le Forze Armate agli effetti del cambiamento climatico, sia nel medio e lungo periodo, ovvero per consentire agli apparati militari di utilizzare in via crescente sistemi di alimentazione energetica meno inquinanti. Abbiamo osservato come il mercato già offra in tal senso soluzioni percorribili, che le Forze Armate di diversi Paesi hanno già testato, o stanno sperimentando, in non pochi casi **senza che le prestazioni militari ne risentano**. È però altresì importante che le Forze Armate continuino a fare esse stesse da stimolo verso università e industria per la genesi di nuovi sistemi (magari particolarmente adatti ad impieghi in ambienti operativi complessi), considerando che, come in altri ambiti, la ricerca in questo campo tende a procedere per step, laddove prima si fanno gli studi, poi si costruiscono i prototipi, successivamente i modelli dimostrativi e infine si passa alla produzione commerciale. Ciò può evidentemente richiedere tempistiche non brevi, che tuttavia non dovrebbero ostare ad un approccio volto ad accrescere, in Patria come nei teatri operativi esteri, l'impiego di sistemi e dispositivi energetici alternativi già disponibili (a patto di aver acquisito la certezza che questi consentano, a costi competitivi o comunque sostenibili, prestazioni operative non inferiori a quelle correlate all'uso di fonti di energia tradizionali). Questo anche considerando che la **deterrenza** di una forza militare non si basa solo sul suo valore oggettivo complessivo, ma anche sulla capacità di comunicare/far percepire i danni potenzialmente derivanti da tale valore in modo sufficientemente 'visibile', *ergo* inequivoco, alle forze avversarie, siano esse effettive o potenziali (e fermo restando che le proprie capacità di deterrenza possono comunque decrescere con l'aumentare della propensione al rischio degli avversari);

²⁴² https://www.diati.polito.it/focus/dipartimento_di_eccellenza_sulla_transizione_climatica_2023_2027

²⁴³ Il Centro fa riferimento a IUSS (Pavia), Scuola Normale Superiore di Pisa e Scuola Superiore Sant'Anna di Pisa.
<http://www.scienzanuovainstitute.com/topics4/phd-in-sustainable-development-and-climate-change-phd-sdc/>

²⁴⁴ <https://www.uniba.it/it/ateneo/rettorato/ufficio-stampa/comunicati-stampa/anno-2023/progetto-return-insieme-per-la-resilienza-ai-cambiamenti-climatici>

➤ **aumentare, ai vari livelli, la cooperazione internazionale contro le conseguenze del cambiamento climatico.** Questo sia sul piano della collaborazione fra Forze Armate, sia tra comparto militare e attori civili. In ottica euro-occidentale ciò può significare primariamente guardare agli ambiti **NATO** ed **UE**, ma questo non dovrebbe escludere l'avvio di partnership più o meno strutturate con realtà appartenenti a Stati estranei o comunque esterni alla stessa sfera euro-atlantica, laddove ciò non comporti evidentemente problemi di ordine politico o economico. In tal senso un Paese come l'Italia potrebbe guardare con attenzione ad alcune aree della regione di suo primario interesse, ovvero quella del **Mediterraneo Allargato**, dove già nei prossimi anni ad interventi di stabilizzazione/pacificazione condotti per motivi geopolitici potranno affiancarsi, per es. nel Sahel, in Nord-Africa o in Medio Oriente, operazioni internazionali (civili-militari) effettuate contro vasti fenomeni incendiari, inondazioni e altri disastri o calamità naturali. La cooperazione internazionale può sostanziarsi anche nella partecipazione ad iniziative non intergovernative, ovvero basate su *fora* consultivi o su forme di associazionismo fra *think tanks* formalmente non governativi, come ad es. il già menzionato *International Military Council on Climate and Security (IMCCS)*.

CONCLUSIONI

Senza pretesa di esaustività, questo studio ha cercato di capire come e perché i fenomeni di cambiamento climatico impattino sul settore militare, nonché di riflettere su come le Forze Armate possano da una parte adattarsi ai fenomeni in questione, dall'altra contribuire alla loro mitigazione. Dopo aver introdotto l'argomento con alcuni dati generali su *global warming* e *climate change*, e non senza riferimenti empirici al contributo dello stesso comparto militare all'inquinamento legato ai mutamenti climatici, nel primo capitolo è stato evidenziato come questi possano favorire l'instabilità e l'insicurezza internazionale, ovvero essere correlati, in diverse aree del mondo (fra cui il Mediterraneo Allargato), all'origine e alla dinamica di conflitti e violenza sociale (e, di conseguenza, all'impiego delle stesse Forze Armate come attore di stabilizzazione e pacificazione). In chiave complementare a tale prospettiva, il primo capitolo ha presentato altresì un'indagine relativa alle implicazioni geopolitiche della transizione ecologica verso risorse di energia meno inquinanti delle fonti fossili, ovvero la principale soluzione individuata su scala europea e globale per attenuare i rischi climatico-ambientali (non senza che questo processo possa a sua volta comportare pericoli di destabilizzazione, competizione e conflitto). Il secondo capitolo ha passato in rassegna alcune delle principali iniziative già intraprese dalle Forze Armate, sia italiane che di altri Paesi europei e filoccidentali, per attenuare gli effetti del *climate change*, laddove è emerso un quadro internazionale di progressi considerevoli, ma nell'insieme ancora troppo parziali, ovvero (come nel caso italiano) una situazione che, pur a fronte dell'esigenza di non perdere in capacità operative, dovrebbe essere accelerata e potenziata in via sistematica. Il terzo capitolo si è soffermato sulle conseguenze operative dei mutamenti climatici rispetto ad ambienti fisici e cibernetici, ovvero sulle possibili degradazioni subite da infrastrutture, mezzi, armi, personale e teatri di operazione a causa di fenomeni quali caldo e freddo estremi, siccità, incendi, inondazioni, piogge alluvionali, tempeste di vento, neve o sabbia, etc. In questa parte dello studio sono state anche presentate specifiche indicazioni (es. 'strutturali', 'non strutturali', *nature based*, etc.) su come le Forze Armate possano aumentare il proprio adattamento a scenari operativi caratterizzati, in via crescente, da tali fenomeni, così da migliorare, rispetto ad essi, la propria resilienza, e quindi diminuire la correlata vulnerabilità di cose e persone (all'interno del comparto militare, e di riflesso, al di fuori). Di qui del resto la necessità di accrescere l'adeguatezza delle infrastrutture e dei mezzi ai rischi di tipo climatico, sia potenziando (quantitativamente e/o qualitativamente) dispositivi *ad hoc* di basi/sedi, flotte, strumentazioni

e sistemi d'arma già esistenti, sia edificando/realizzando/acquisendo nuove strutture e dotazioni che possano tener conto *ab origine* di tali rischi. Ciò richiede evidentemente significativi sforzi politici, economici, organizzativi e culturali in termini di scelte, iniziative e comportamenti pertinenti *inter alia* criteri costruttivi e materiali, equipaggiamenti, attività addestrative, formazione e preparazione del personale, pianificazione operativo-energetica, logistica, *procurement*, e così via. Nel quarto capitolo, per agevolare la comprensione di come il comparto militare possa mitigare ovvero ridurre strutturalmente le cause del cambiamento climatico (andando oltre l'efficientamento energetico tradizionale), la trattazione si è concentrata sui possibili impieghi delle energie alternative alle fonti fossili da parte delle Forze Armate – mostrando come l'uso di tali risorse probabilmente potrà aumentare, pur progressivamente e non rinunciando del tutto (o peggio anzitempo) agli idrocarburi (e al gas naturale in particolare), senza comprometterne le capacità operative (*ergo* anche quelle di deterrenza). Difatti, nell'insieme, il settore delle rinnovabili, e almeno in parte anche quello dell'energia nucleare, sembrano presentare, ora e soprattutto in prospettiva, la possibilità di sistemi per l'alimentazione di basi e strutture militari sia in patria che oltreconfine. Tale tendenza, ad es. in campo solare, eolico e idrico, si deve anche allo sviluppo di moduli/impianti di dimensioni contenute, che a fronte di costi già relativamente sostenibili possono offrire, se adeguatamente installati, integrati e protetti, importanti ritorni non solo come riduzione delle emissioni climalteranti, ma anche in termini di trasportabilità, versatilità, efficienza, sicurezza e autonomia energetica. Potenzialità strategiche e operative importanti sono altresì emerse, per l'alimentazione dei mezzi, rispetto alla mobilità ibrida/elettrica (sopr. terrestre), ai biocarburanti (sopr. settori aereo e navale) e, almeno in parte, all'idrogeno (nonché, probabilmente in un'ottica di più lungo termine, circa i carburanti sintetici). L'ultimo capitolo ha presentato una sintesi delle principali evidenze emerse nello studio, quindi proposto una serie di indicazioni di policy auspicabilmente utili al comparto della Difesa per affrontare, sia a livello interno che rispetto ai suoi rapporti con altri attori, in ottica nazionale e internazionale, le sfide poste dai rischi climatici. La principale conclusione raggiunta è che, pur non essendo breve, né tanto meno agevole, il processo di adattamento e mitigazione al *climate change* da parte delle Forze Armate potrà comportare, se pianificato e gestito in modo attento e pragmatico, vantaggi strategici e operativi non indifferenti, grazie ai quali la componente militare potrà conseguire, nei prossimi lustri, una maggiore capacità di tutela dell'interesse nazionale (sia sul piano della partecipazione a operazioni contro i fenomeni climatici estremi in Italia e all'estero, sia rispetto alle capacità di prevenzione degli stessi da parte dell'intero sistema-Paese).

BIBLIOGRAFIA

- AA. VV. (2021), *Concetto Scenari Futuri: tendenze e implicazioni per la Sicurezza e la Difesa*, Centro Innovazione Difesa, Stato Maggiore della Difesa. Testo disponibile al sito: <https://www.casd.it/mod/resource/view.php?id=14463>
- AA. VV. (2019), *L'Energy Working Center del Ministero della Difesa*, Gruppo di Lavoro 70° sessione di studio dell'Istituto Alti Studi Difesa, CASD. Testo disponibile al sito: https://www.difesa.it/SMD_/CASD/IM/CeMiSS/Pubblicazioni/ricerche/Pagine/Ricerca_AO_SMD_11.aspx
- A.A. V.V. (2022), *Strategia di Gestione Integrata per la Difesa e l'Adattamento della Costa ai Cambiamenti Climatici* (GIDAC), Regione Emilia-Romagna: https://ambiente.regione.emilia-romagna.it/it/suolo-bacino/argomenti/difesa-della-costa/gidac/gidac-dicembre-2022/strategiagidac_documento_dic22.pdf
- Abate R. S., Kronk E. A. (2013a), *Climate Change and Indigenous People*, Edward Elgar Publishing Limited, Northhampton, Massachussets (USA)
- Abate R. S., Kronk E. A. (2013b), *Commonality Among Unique Indigenous Communities*, in «Tulane Environmental Law Journal», 26, 2, pp. 3-18, Elgaronline. Disponibile al sito: <https://www.elgaronline.com/display/edcoll/9781781001790/9781781001790.00009.xml>
- Admin (2011), *5 Military vehicles that are powered by biofuel*. Testo disponibile al sito: <https://ecofriend.com/5-military-vehicles-powered-biofuel.html>
- AGEI (2023), *Cambiamenti climatici e difesa dell'Ue: pubblicato un nuovo rapporto che analizza i collegamenti tra clima, energia e difesa*. Testo disponibile al sito: <https://ageei.eu/cambiamenti-climatici-e-difesa-dellue-pubblicato-un-nuovo-rapporto-che-analizza-i-collegamenti-tra-clima-energia-e-difesa/>
- Agenzia Regionale Protezione Ambiente Lombardia (2023), U.O. Servizio Idro-Nivo-Meteo e Clima, *Analisi meteorologica temporali di luglio 2023. Rapporto di evento*. https://www.arpalombardia.it/media/p5qpjndr/rapporto_evento_arpa_temporali_luglio_2023_web.pdf
- Aeronautica Militare (2023), *Centro Nazionale di Meteorologia e Climatologia Aerospaziale*. <https://www.meteoam.it/it/centro-meteorologia-climatologia-aerospaziale>
- Akkerman M. et al. (2022), *Climate Collateral. How military spending accelerates climate breakdown*, Transnational Institute. Testo disponibile al sito: <https://www.tni.org/en/publication/climate-collateral>
- Akshay V.R. (2023), *The Future Of Solar Energy For The Military And Government Use*. Testo disponibile al sito: <https://thesolarlabs.com/ros/solar-energy-military-government-future-trends/#:~:text=With%20the%20help%20of%20solar,its%20dependence%20on%20fossil%20fuelshttps://solarmetric.com/learn/how-is-the-us-military-using-solar-power/>

- Al-Gayed Y. (2016), *Oil, Order and Diversification in Libya*, Natural Resource Governance Institute. Disponibile al sito: <https://resourcegovernance.org/blog/three-ways-oil-reliance-has-hit-libya-and-government>
- Ali Rajaeifair M. et al. (2022), *Decarbonize the military — mandate emissions reporting Armed forces have a massive carbon footprint that is absent from global accounting*, «Nature», 611, 29-32: <https://www.nature.com/articles/d41586-022-03444-7>
- Alverà M. (2020), *Rivoluzione idrogeno*, Mondadori, Milano, 2020
- Aeronautica Militare (2021), *Spazio. A supporto delle capacità operative dell'Aeronautica Militare*. Testo disponibile al sito: <https://www.aeronautica.difesa.it/missione/versofuturo/Pagine/AeronauticaMilitareefuturo.aspx>
- Armaroli N. – Barbieri A. (2021), *Il dilemma dell'idrogeno nella transizione energetica italiana*, «Nature Italia». <https://www.nature.com/articles/d43978-021-00110-w>
- Ashbridge S. – Dawda S. (2022), *UK Defence and Solar Panel Supply Risks*, Royal United Services Institute. Testo disponibile al sito: <https://www.rusi.org/explore-our-research/publications/commentary/uk-defence-and-solar-panel-supply-risks>
- Ateyo P. (2022), *Fuelling conflict? The impact of the green energy transition on peace and security*, Internatio2022nal Alert, London. Testo disponibile al sito: <https://www.international-alert.org/wp-content/uploads/2022/09/Green-Energy-Transition-Peace-Security-Impact-EN-2022.pdf>
- Avolio S. (2021), *Le armi ad energia diretta*, «Difesa online». Testo disponibile al sito: <https://www.difesaonline.it/evidenza/approfondimenti/le-armi-ad-energia-diretta-dew-parte-13-introduzione-e-classificazione>
- Azione (2022), *La nostra proposta sul nucleare*. Testo disponibile al sito: https://www.azione.it/la_nostra_proposta_sul_nucleare
- Barberini P. (2022), “NATO Green Defence: From the 2014 Green Defence Framework to the 2021 Climate Change and Security Action Plan”, in Iacovino G., Wigell M. (eds.), *Innovative Technologies and Renewed Policies for Achieving a Greener Defence*, NATO Science for Peace and Security Series, Environmental Security, Springer pp. 7-16 https://doi.org/10.1007/978-94-024-2186-6_2
- Barontini F. (2022), *Motori alimentati a idrogeno: a che punto è la tecnologia*. Al sito: <https://insideevs.it/news/518116/motori-termici-idrogeno-combustione/#:~:text=Le%20cose%20migliorano%20se%20si, idrogeno%20nella%20camera%20di%20combustione.>
- Basel Committee on Banking Supervision, *FAQ report on climate-related financial risks*, Bank for International Settlements, <https://www.bis.org/bcbs/publ/d543.pdf>
- Beblawi H. (1987), *The Rentier State in the Arab World*, «Arab Studies Quarterly», vol. 9, no. 4, pp. 383-398, <https://www.jstor.org/stable/41857943>

- Bellasio J. et al. (2023), *Climate change dilemmas for UK defence and security*, RAND Corporation. Disp. al sito: https://www.rand.org/pubs/research_reports/RRA2596-1.html
- Bonaccorso M. (2022), *Il cambiamento climatico e la difesa europea: effetti e azioni*, Istituto Analisi Relazioni Internazionali (IARI). Testo disponibile al sito: <https://iari.site/2022/07/04/il-cambiamento-climatico-e-la-difesa-europea-effetti-e-azioni/>
- Borgomeo V. (2023), *Cosa sono gli e-fuel: costi e limiti della benzina sintetica*, «la Repubblica». Testo disponibile al link: https://www.repubblica.it/green-and-blue/2023/02/25/news/efuel_benzina_sintetica_differenze_biocarburanti-388881154/
- Borrel J. (2022), *Climate Change and Defence Roadmap: Speech by High Representative/Vice-President Josep Borrell at the EP plenary*. Testo disponibile al sito: https://www.eeas.europa.eu/eeas/climate-change-and-defence-roadmap-speech-high-representativevice-president-josep-borrell-ep_en
- Browning L. (2015), *The Cultural and Geopolitical Impacts of Climate Change*, in «Newsweek», <https://www.newsweek.com/cultural-social-impacts-climate-change-338695>
- Breckner M., Sunde U. (2019), *Temperature extremes, global warming, and armed conflict: new insights from high resolution data*, «World Development», 123, <https://doi.org/10.1016/j.worlddev.2019.104624>
- Brunori C. (2021), “Materie Prime Critiche: rischi e opportunità per il sistema Paese”, ENEA, relazione presentata al convegno Ecomondo di Rimini su *Le materie prime critiche e il nuovo piano di azione Europeo*. Testo disponibile al sito: https://www.enea.it/it/seguici/events/ecomondomateriecritiche_29ott2021/2021_0_Brunori_ENEA_Ecomondo.pdf
- Bunse S. et al. (2022), *Advancing European Union Action to Address Climate-Related Security Risks*, SIPRI, research policy paper https://www.sipri.org/sites/default/files/2022-09/rpr_advancing_eu_action_crsr.pdf
- Cantos (2022), *The future is radiant*, «Medium.com». Testo disponibile al sito: <https://medium.com/cantos-ventures/the-future-is-radiant-b3bc1fdaf340>
- Celozzi A. (2023), *Servizio Meteorologico: l'Aeronautica Militare celebra la Giornata Meteorologica Mondiale incontrando i ragazzi delle scuole*, Aeronautica Militare. <https://www.aeronautica.difesa.it/2023/03/23/servizio-meteorologico-laeronautica-militare-celebra-la-giornata-meteorologica-mondiale-incontrando-i-ragazzi-delle-scuole/>
- Centeck K. (2019), *Hydrogen Fuel Cell Technology and Its Military Applications*, U.S. Army Combat Capabilities Development Command. Testo disponibile al sito: https://www.hydrogen.energy.gov/pdfs/htac_mar19_07_centeck.pdf
- Cho R. (2021), *Why we need green hydrogen*, Columbia Climate School, State of the Planet. Testo disponibile al sito: <https://news.climate.columbia.edu/2021/01/07/need-green-hydrogen/>

- Choi D. (2022), *US military issues warning as heavy rains, deadly flooding continue in South Korea*, «Stars and Stripes». Testo disponibile al sito: https://www.stripes.com/theaters/asia_pacific/2022-08-09/rains-south-korea-seoul-roads-rivers-7-dead-6924828.html
- Church C., Crawford A. (2019), *The fuels of conflict in the transition to a low-carbon economy*, International Institute for Sustainable Development. Testo disponibile al sito: <https://www.iisd.org/system/files/publications/green-conflict-minerals.pdf>
- Codegoni A. (2022), *Fusione nucleare, un passo troppo lungo per l'umanità?*, in «QualeEnergia». Testo disponibile al sito: <https://www.qualenergia.it/articoli/fusione-nucleare-passo-troppo-lungo-per-umanita/#:~:text=Problemi%20di%20sicurezza%3F,disturbo%20il%20processo%20si%20spagne.>
- Colombo A. – Magri P. (a cura di), *La Grande Transizione. Rapporto ISPI 2022*, Ledizioni, Milano, <https://www.ispionline.it/it/pubblicazione/la-grande-transizione-33197>
- Comando Generale dell'Arma dei Carabinieri (2023), *Carabinieri - Italian biodiversity keepers*, Ufficio Stampa, Arma dei Carabinieri. Testo disponibile al sito: <https://www.carabinieri.it/in-vostro-aiuto/informazioni/comunicati-stampa/carabinieri-italian-biodiversity-keepers>
- Comando Generale dell'Arma dei Carabinieri (2021), *Carabinieri per l'ambiente e la sostenibilità*, Ufficio Stampa, Arma dei Carabinieri. Testo disponibile al sito: https://www.carabinieri.it/docs/default-source/carabinieri-forestali/carabinieri-per-l'ambiente-e-la-sostenibilit%C3%A0.pdf?sfvrsn=bc421923_8
- Comando Generale dell'Arma dei Carabinieri (2023), *Nazioni Unite e Arma dei Carabinieri collaboreranno per la tutela dell'Ambiente*, Ufficio Stampa, Arma dei Carabinieri. Testo disponibile al sito: <https://www.carabinieri.it/in-vostro-aiuto/informazioni/comunicati-stampa/nazioni-unite-e-arma-dei-carabinieri-collaboreranno-per-la-tutela-dell'ambiente>
- Commissione Europea (2022), *Produrre il carburante a partire dalla paglia per un clima migliore*, CORDIS-Risultati della ricerca dell'UE. Testo disponibile al sito: <https://cordis.europa.eu/article/id/436691-making-fuel-from-straw-for-a-better-climate/it>
- Concawe (2022), *E-Fuels: A techno-economic assessment of European domestic production and imports towards 2050*. Testo disponibile al sito: https://www.concawe.eu/wp-content/uploads/Rpt_22-17.pdf
- Conger J. (2022), *Unpacking the Pentagon's \$3.1 Billion Climate Request*, The Center for Climate and Security. Testo disponibile al sito: <https://climateandsecurity.org/2022/05/unpacking-the-pentagons-3-1-billion-climate-request/>
- Consiglio dell'UE (2021), *NDICI-Europa globale: via libera definitivo al nuovo strumento finanziario a sostegno dell'azione esterna dell'UE*. Testo disponibile al sito:

<https://www.consilium.europa.eu/it/press/press-releases/2021/06/09/ndici-global-europe-final-green-light-for-the-new-financial-instrument-to-support-the-eu-s-external-action/#:~:text=L%27NDICI->

Europa%20globale%20%C3%A8%20il%20principale%20strumento%20finanziario%20per,della%20pandemia%20di%20COVID-19%20in%20tutto%20il%20mondo

- Council of the EU (2020), *Climate Change and Defence Roadmap*, <https://data.consilium.europa.eu/doc/document/ST-12741-2020-INIT/en/pdf>
- Covelli E. (2022), *Green Diesel. La flotta della Marina sempre più verde*, Marina Militare. Testo disponibile al sito: https://www.marina.difesa.it/media-cultura/Notiziario-online/Pagine/20220527_Green_diesel_la_flotta_della_Marina_sempre_piu_verde.aspx
- Crawford N.C. (2019), *Pentagon Fuel Use, Climate Change, and the Costs of War*: <https://watson.brown.edu/costsofwar/files/cow/imce/papers/Pentagon%20Fuel%20Use%20Climate%20Change%20and%20the%20Costs%20of%20War%20Revised%20November%202019%20Crawford.pdf>
- Darbyshire E. (2021), *How does war contribute to climate change?*, Conflict and Environment Observatory: <https://ceobs.org/how-does-war-contribute-to-climate-change/>
- De Angelo J. et al. (2023), *Economic and biophysical limits to seaweed farming for climate change mitigation*, in «Nature Plants», 9, pp. 45-57: <https://www.nature.com/articles/s41477-022-01305-9>
- Dellatte J. (2022), *COP27: a Tale of Reparation, Confrontation, Competition, and Cooperation*, Institut Montaigne <https://www.institutmontaigne.org/en/analysis/cop27-tale-reparation-confrontation-competition-and-cooperation>
- Department for Transport (2023), *Pathway to net zero aviation: developing the UK sustainable aviation fuel mandate*, Government of the United Kingdom. Testo al sito: <https://www.gov.uk/government/consultations/pathway-to-net-zero-aviation-developing-the-uk-sustainable-aviation-fuel-mandate>
- Dept. of Defense of Australia (2016), *Environmental Strategy 2016 – 2036*: <https://defence.gov.au/EstateManagement/governance/policy/environment/Policy/EnvironmentStrategy2016.PDF>
- Dept. of Defense of Canada (2018), *Greening Defence*, Government of Canada: <https://www.canada.ca/en/department-national-defence/services/greening-defence.html>
- Derr E. (2022), *Mobile Reactors Powering the Military*, 2021. Nuclear Energy Institute. Testo disponibile al sito: <https://www.nei.org/news/2022/mobile-reactors-powering-our-military>
- Dessì A., Fusco F. (a cura di, 2021), *Climate Change and Security in the Mediterranean: Exploring the Nexus, Unpacking International Policy Responses*, Istituto Affari Internazionali, Edizioni Nuova Cultura, Roma: https://www.iai.it/sites/default/files/iairs_9.pdf

- Dibenedetto A.G. (2021), *La svolta green della Difesa*, in «#Natura». Rivista su ambiente e territorio dell'Arma dei Carabinieri. Testo disponibile al sito: <https://www.carabinieri.it/media---comunicazione/natura/la-rivista/home/tematiche/ambiente/la-svolta-green-della-difesa>
- Di Noto A. (2023), *Emilia-Romagna: cosa c'entra il cambiamento climatico con le alluvioni e perché i "negazionisti" sbagliano*, in «Open». Testo disponibile al sito: <https://www.open.online/2023/05/19/emilia-romagna-alluvioni-cambiamento-climatico-negazionisti/>
- Di Paola M. (2017), *Cambiamento climatico e teoria politica*, in «#Natura». Rivista su ambiente e territorio dell'Arma dei Carabinieri. Testo disponibile al sito: <https://www.carabinieri.it/media---comunicazione/natura/la-rivista/home/tematiche/ambiente/cambiamento-climatico-e-teoria-politica>
- Dipartimento della protezione Civile (2023), *Alluvione Libia: arrivata a Derna Nave San Marco*: <https://www.protezionecivile.gov.it/it/comunicato-stampa/alluvione-libia-arrivata-derna-nave-san-marco/>
- Dipartimento della Protezione Civile, *Incendi boschivi: conclusa la campagna estiva 2022*, Presidenza del Consiglio dei ministri. Testo disponibile al sito: <https://www.protezionecivile.gov.it/en/comunicato-stampa/incendi-boschivi-conclusa-la-campagna-estiva-2022/>
- Dipartimento Unità per l'Efficienza Energetica (2022), *Italia in Classe A, Opinion Leader - Fondazione Ente Editoriale dell'Esercito e Agenzia Nazionale per l'Efficienza Energetica dell'ENEA insieme per promozione sostenibilità energetica dedicata a nuove generazioni*, ENEA. Testo disponibile al sito: <https://www.efficienzaenergetica.enea.it/vi-segnaliamo/italia-in-classe-a-opinion-leader-fondazione-ente-editoriale-dell-esercito-e-agenzia-nazionale-per-l-efficienza-energetica-dell-enea-insieme-per-promozione-sostenibilita-energetica-dedicata-a-nuove-generazioni.html>
- Dlouhy J.A. (2023), *Pentagon Sounds Alarm Over Biden Plan for Offshore Wind Sites*, «Bloomberg». Testo disponibile al sito: <https://www.bloomberg.com/news/articles/2023-04-17/pentagon-calls-biden-wind-farm-plans-problematic-for-us-military?leadSource=verify%20wall>
- Eckstein M. (2022), *Here's what industry is offering to meet Army's electric vehicle needs*, «Defensenews». Testo al sito: <https://www.defensenews.com/industry/techwatch/2022/10/11/heres-what-industry-is-offering-to-meet-armys-electric-vehicle-needs/>
- Editorial Board (2022), *Finnish Defence Forces to use biofuels on land, at sea*, «Yle News». Testo disponibile al sito: <https://yle.fi/a/3-12678773>
- Editorial Board (2021), *South Korean Military to Purchase Hydrogen-Powered Drones from Doosan Mobility*, Hydrogen Central. Testo disponibile al sito: <https://hydrogen-central.com/south-korean-military-hydrogen-powered-drones-doosan-mobility/>

- Editorial Team (2019), *U.S. Army develops Stealthy, Hydrogen Fuel Cell Powered Tanks*, «Fuel Cells Works». Testo disponibile al sito: <https://fuelcellsworks.com/news/u-s-army-develops-stealthy-hydrogen-fuel-cell-powered-tanks/>
- Edser N., Thomas D., Nanji N. (2023), *BP scales back climate targets as profits hit record*, BBC, <https://www.bbc.com/news/business-64544110>
- E-fuel Alliance (2023), *Costs & Outlook*. Testo disponibile al sito: <https://www.efuel-alliance.eu/efuels/costs-outlook>
- Eklund L., Theisen O.M., Baumann M. et al. (2022), *Societal drought vulnerability and the Syrian climate-conflict nexus are better explained by agriculture than meteorology*, in «Communications Earth & Environment», 3, 85, <https://doi.org/10.1038/s43247-022-00405-w>
- Helman D., Zaitchik B.F., Funk C. (2020), *Climate has contrasting direct and indirect effects on armed conflicts*, «Environmental Research Letters», vol. 15, n. 10. Testo disponibile al sito: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1748-9326/aba97d>
- ENEA (2023), *Ambiente: ENEA, con biocarburanti per aerei fino al 40% di riduzione emissioni inquinanti*. Testo disponibile al sito: <https://www.media.enea.it/comunicati-e-news/archivio-anni/anno-2023/ambiente-enea-con-biocarburanti-per-aerei-fino-al-40-di-riduzione-emissioni-inquinanti.html>
- ENEA (2022), *Energia: newcleo firma intesa con ENEA per sviluppo sistemi nucleari sicuri e innovativi*. Testo disponibile al sito: <https://www.enea.it/it/Stampa/comunicati/energia-newcleo-firma-intesa-con-enea-per-sviluppo-sistemi-nucleari-sicuri-e-innovativi>
- ENEA (2017), *Ambiente: studio ENEA nel Mediterraneo dimostra netta accelerazione dell'innalzamento dei mari nei prossimi 100 anni*. Testo disponibile al sito: <https://www.enea.it/it/Stampa/news/ambiente-studio-enea-nel-mediterraneo-dimostra-netta-accelerazione-dellinnalzamento-dei-mari-nei-prossimi-100-anni>
- Enel Green Power (2023), *Turbina idroelettrica. Francis, Pelton e Kaplan: tre nomi per tre modi diversi di sfruttare la potenza dei corsi d'acqua*. Testo disponibile al sito: <https://www.enelgreenpower.com/it/learning-hub/energie-rinnovabili/energia-idroelettrica/turbina-idroelettrica>
- Eni (2022), *Da Fiumicino due rotte ITA Airways alimentate da SAF*. Testo al sito: <https://www.eni.com/it-IT/media/comunicati-stampa/2022/03/da-fiumicino-due-rotte-ita-airways-alimentate-da-saf.html>
- Esercito Italiano (2020), *Progetto M.I.R.A.A.L.* Testo disponibile al sito: <https://www.esercito.difesa.it/comunicazione/Pagine/Esercito-Progetto-MIRRAL-si-parte201005.aspx>
- Esercito Italiano (2023), *Continua l'intervento dell'Esercito per l'emergenza maltempo in Emilia-Romagna*. Testo disponibile al sito:

<https://www.esercito.difesa.it/comunicazione/Pagine/L%E2%80%99Esercito-interviene-per-l%E2%80%99emergenza-maltempo-in-Emilia-Romagna.aspx>

- Esercito Italiano, *Il concetto operativo dell'Esercito Italiano 2020-2035*, Stato Maggiore dell'Esercito. Testo disponibile al sito: <https://www.centrostudiesercito.it/doc/CONCETTO%20OPERATIVO%20DELL'ESERCITO.pdf>
- Esercito Italiano (2018), *Le 5 sfide dell'Esercito* (illustrate dal Capo dello Stato Maggiore dell'Esercito alle Commissioni Difesa di Camera e Senato). Testo disponibile al sito: <https://www.esercito.difesa.it/comunicazione/Le-5-Sfide/Pagine/default.aspx>
- Esercito Italiano (2022), *Rapporto 2022*. Testo disponibile al sito: https://www.esercito.difesa.it/Rapporto-Esercito/Documents/2022/RE22_COMPLETO_ONLINE_A3.pdf
- Esposito R. (2023), *Che cosa sono i carburanti sintetici?*, «Garanzia online». Testo disponibile al sito: <https://www.garanziaonline.it/blog/carburanti-sintetici/>
- Estève A. (2022), *Climate Change and the French Armed Forces*. Testo al link seguente: <https://rusi.org/explore-our-research/publications/commentary/climate-change-and-french-armed-forces>
- Euratom Supply Agency (2022), *Annual Report 2021*, European Union. Testo al sito: <https://euratom-supply.ec.europa.eu/system/files/2022-12/Euratom%20Supply%20Agency%20-%20Annual%20report%202021%20-%20Corrected%20edition.pdf>
- European Commission (2021), *Strategic Foresight Report. The EU's capacity and freedom to act*, European Union. Testo disponibile al sito: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:52021DC0750&from=EN>
- European Commission and the High Representative of the EU (2021), *A stronger EU engagement for a peaceful, sustainable and prosperous Arctic*, https://www.eeas.europa.eu/sites/default/files/2_en_act_part1_v7.pdf
- European Commission (2021), *'Fit for 55': delivering the EU's 2030 Climate Target on the way to climate neutrality*. Testo disponibile al sito: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX%3A52021DC0550>
- European Commission (2022), *Hydropower*. Testo disponibile al sito: https://energy.ec.europa.eu/topics/renewable-energy/hydropower_en
- European Commission (2022), *REPowerEU: Joint European action for more affordable, secure and sustainable energy*. Testo disponibile al sito: https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/ip_22_1511
- European Commission (2019), *EU Green Deal*. Testo disponibile al sito: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX:52019DC0640>

- European Commission (2023), *European Green Deal: EU agrees stronger legislation to accelerate the rollout of renewable energy*. Testo disponibile al sito: https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/IP_23_2061
- European Council (2022), *Strategic Compass for Security and Defence*: https://www.eeas.europa.eu/sites/default/files/documents/strategic_compass_en3_web.pdf
- European Defense Agency (2021), *Military Green*, Publications Office <https://eda.europa.eu/docs/default-source/news/military-green-leaflet.pdf>
- European Environment Agency (2019), *Predicted Climate Change Impact on Land Values (2100)*: <https://www.eea.europa.eu/data-and-maps/figures/predicted-climate-change-impact-on>
- European Standards (2017), *DIN EN 228. Automotive fuels - Unleaded petrol - Requirements and test methods (includes Amendment :2017)*. Testo disponibile al sito: <https://www.en-standard.eu/din-en-228-automotive-fuels-unleaded-petrol-requirements-and-test-methods-includes-amendment-2017/>
- European Union's External Action Service (2022), *The EU' climate change and defence roadmap*. Testo disponibile al sito: https://www.eeas.europa.eu/eeas/eu-climate-change-and-defence-roadmap_en
- Eurostat (2022), *EU imports of energy products*. Testo disponibile al sito: https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=EU_imports_of_energy_products_-recent_developments&oldid=554503#Trend_in_extra_EU_imports_of_energy_products
- Fearon J.D. (2004), *Why do some civil wars last so much longer than others?*, «Journal of Peace Research», vol. 41, issue 3, pp. 275-301
- Ferraresi F. (2016), *Geotermia e idrotermia per il riscaldamento e il raffrescamento. L'impianto di teleriscaldamento di Ferrara*, Gruppo HERA. https://www.fondazioneinternazionale.org/wp-content/uploads/2016/04/11-FERRARESI_ConvegnoGrado2016.pdf
- Fincantieri, *Fincantieri to build a service operation vessel supporting U.S. wind farms*. <https://www.fincantieri.com/en/media/press-releases/2023/fincantieri-to-build-a-service-operation-vessel-supporting-us-wind-farms/>
- Fraioli L. (2022), *Può il metano diventare energia rinnovabile e pulita?*, in «la Repubblica» (ed. online). Testo disponibile al sito: https://www.repubblica.it/green-and-blue/2022/10/19/news/marco_alvera_energia_rinnovabile_metano_sintetico-370623093/
- Franza, M. Bianchi, L. Bergamaschi (2020), *Geopolitica e politica estera italiana nell'era delle rinnovabili*, Istituto Affari Internazionali, Roma. Testo disponibile al sito: https://www.iai.it/sites/default/files/iaip2013_it.pdf

- Frey R. (2023), *Stazioni di servizio di idrogeno in Svizzera in agosto 2023*. Testo al sito: <https://www.glpautogas.info/it/distributori-idrogeno-svizzera.html>
- Galeotti M. (2022), “Clima e transizione energetica”, in Colombo A. – Magri P. (a cura di), *La Grande Transizione. Rapporto ISPI 2022*, Ledizioni, Milano, pp. 69-81.
- Ganapini W. (2021), *L’indissolubile legame tra nucleare civile e militare*. Testo disponibile al sito: <https://valori.it/ganapini-nucleare-civile-militare-legami/>
- Gandelli S. (2022), *Dove sono le centrali idroelettriche in Italia e quanta energia producono*. Testo disponibile al sito: <https://www.geopop.it/dove-sono-le-centrali-idroelettriche-in-italia-e-quanta-energia-producono/>
- Gemelli F. (2022), *Gli e-fuels esistono davvero? Ecco cosa sono e come si producono*. Testo disponibile al sito: <https://it.motor1.com/news/655195/efuel-benzina-sintetica-vantaggi-svantaggi/>
- Gilberto J. (2020), *Il solare termodinamico chiude. La guerra persa con burocrazia e comitati*, «ilsole24ore». Testo disponibile al sito: <https://www.ilsole24ore.com/art/il-solare-termico-chiude-guerra-persa-burocrazia-e-comitati-AC264iFB>
- Gorassi V. (2023), *Infezioni e vaccini: perché l’acqua stagnante dopo l’alluvione è un pericolo*. Testo disponibile al sito: <https://www.today.it/attualita/infezioni-vaccini-acqua-stagnante-alluvione-emilia-romagna.html>
- Gordon C. (2023), *Pentagon: China Making ‘Rapid’ Military Strides, May Have 1.500 Nuclear Warheads By 2035*, «Air and Space Forces». Testo disponibile al sito: <https://www.airandspaceforces.com/pentagon-china-making-rapid-military-strides-may-have-1500-nuclear-warheads-by-2035/>
- Gorrasi L. (2023), *La soluzione che poteva evitare il caos a Catania*. Testo al sito: <https://www.wetravel.biz/2023/07/28/la-soluzione-che-poteva-evitare-il-caos-a-catania/>
- Governo italiano (2021), *Piano Nazionale di Ripresa e Resilienza ‘Italia Domani’*. Testo disponibile al sito: <https://www.governo.it/sites/governo.it/files/PNRR.pdf>
- Griffiths K., Halcovitch N.R., Griffin J.M. (2020), Long-Term Solar Energy Storage under Ambient Conditions in MOF-Based Solid–Solid Phase-Change Material, «Chemistry of Materials», 32, 23, 9925–9936: <https://doi.org/10.1021/acs.chemmater.0c02708>
- Hagel C. (2014), *Speech at the Conference of Defense Ministers of the Americas*, 13 October 2014, Arequipa, Peru. Testo disponibile al sito: <https://www.defense.gov/News/Speeches/Speech/Article/605617/>
- Hahn J. (2020), *Wallenius Marine develops world’s largest wind-powered vessel to slash shipping emissions*. Testo disponibile al sito: <https://www.dezeen.com/2020/10/22/wallenius-marine-oceanbird-ship-wind-design/>
- Harlow J. (2023), *Why the US military should build modular nuclear reactors*, in «Defence News». Testo disponibile al sito:

<https://www.defensenews.com/opinion/commentary/2023/03/16/why-the-us-military-should-build-modular-nuclear-reactors/>

- Hodgson C. (2022), *Challenge against EU 'green' label for gas and nuclear energy steps up*, «Financial Times». Testo disponibile al sito: <https://www.ft.com/content/42320458-dfeb-4f5e-9655aba281cef662?shareType=nongift>
- Hoettels E. A. (2023), *Medical Support to the DoD Arctic Strategy*, *ÆTHER: A JOURNAL OF STRATEGIC AIRPOWER & SPACEPOWER*, Vol. 2, n. 1, pp. 58-72: https://www.airuniversity.af.edu/Portals/10/AEtherJournal/Journals/Volume-2_Number-1/Hoettels-Medical-Support.pdf
- Horwood A. et al. (2022), *The Greater Risk in Mobile Nuclear Power? Failing to take advantage of the decisive edge it offers the US Military*. Testo disponibile al sito: <https://mwi.usma.edu/the-greatest-risk-in-mobile-nuclear-power-failing-to-take-advantage-of-the-decisive-edge-it-offers-the-us-military/>
- Howarth R.W., Jacobson M.Z. (2021), *How green is blue hydrogen?*, in «Energy Science & Engineering», vol. 9, pp. 1676–1687. <https://doi.org/10.1002/ese3.956>
- Intergovernmental Panel on Climate Change (2021), *Climate Change 2021. The Physical Science Basis. Summary for Policy Makers*, United Nations, Switzerland: https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/downloads/report/IPCC_AR6_WGI_SPM_final.pdf
- International Energy Agency (2022), *A 10-Point Plan to Reduce the European Union's Reliance on Russian Natural Gas*. Testo disponibile al sito: <https://iea.blob.core.windows.net/assets/1af70a5f-9059-47b4-a2dd-1b479918f3cb/A10-PointPlanToReducetheEuropeanUnionsRelianceonRussianNaturalGas.pdf>
- International Energy Agency (2022), *Italy Climate Resilience Policy Indicator*. Testo disponibile al sito: <https://www.iea.org/articles/italy-climate-resilience-policy-indicator>
- International Energy Agency (2021a), *The Role of Critical Minerals in Energy Transition*, <https://www.iea.org/reports/the-role-of-critical-minerals-in-clean-energy-transitions>
- International Energy Agency (2022), *World Energy Outlook 2022*. Testo disponibile al sito: <https://iea.blob.core.windows.net/assets/830fe099-5530-48f2-a7c1-11f35d510983/WorldEnergyOutlook2022.pdf>
- International Energy Agency (2021b), *World Energy Outlook 2021*, <https://iea.blob.core.windows.net/assets/4ed140c1-c3f3-4fd9-acae-789a4e14a23c/WorldEnergyOutlook2021.pdf>
- International Energy Agency (2021c), *Security of Clean Energy Transitions*, <https://iea.blob.core.windows.net/assets/f29e5cf4-bdef-44ac-a3a3-7a685f1fd560/G20SecurityofCleanEnergyTransitions.pdf>
- International Military Council on Climate & Security, *Publications*. Testo disponibile al sito: <https://imccs.org/publications/>

- Iodice A. (a cura di, 2020), *Le fonti energetiche alternative in supporto al comparto della Difesa*, Centro Militare di Studi Strategici (Ce.Mi.S.S.), 71° sessione di studio, GdL IV Sezione, CASD, Stato Maggiore Difesa. Testo disponibile al sito: https://www.difesa.it/SMD_/CASD/IM/CeMiSS/DocumentiVis/Ricerche_da_pubblicare/Pubblicate_nel_2020/AP_SME_02.pdf
- Ipsos (2022), *Climate change: a growing skepticism*, International Observatory on Climate and Public Opinion - EDF (Electricité de France), <https://www.ipsos.com/en/obscop-2022>
- IRENA (2023), *The Changing role of Hydropower. Challenges and opportunities*. Testo disponibile al sito: https://mc-cd8320d4-36a1-40ac-83cc-3389-cdn-endpoint.azureedge.net/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2023/Feb/IRENA_Changing_role_of_hydropower_2023.pdf?rev=85b54f8dd8794f8fbc6270b5a1e0b92a
- Istituto Alti Studi Difesa (2022), *La transizione energetica avrà impatti geopolitici notevoli e il passaggio dagli idrocarburi alle rinnovabili sembra un processo irreversibile. Quali i rischi per i paesi esportatori e per i principali Stati ricchi delle cosiddette terre rare? Che effetto avrà questa transizione sul posizionamento dell'Italia nello scacchiere internazionale?*, IASD (CASD), 73ª sessione di Studio – 4° Gruppo di lavoro. Al sito: https://www.difesa.it/SMD_/CASD/IM/CeMiSS/Pubblicazioni/ricerche/Pagine/AR_SMM_13.aspx
- Jeffries E., Campogianni S. (2021), *Gli effetti del cambiamento climatico nel Mediterraneo*, WWF, Roma: https://www.wwf.it/uploads/wwf_med_cc6case_studies_2021_ita_1.pdf
- Kalantzakos S. (2021), *Terre Rare. La Cina e la geopolitica dei minerali strategici*, EGEA, Milano.
- Kalantzakos S. (2020), *The Race for Critical Minerals in an Era of Geopolitical Realignments*, in «The International Spectator», vol. 55, n. 3, pp. 1-16: <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/03932729.2020.1786926>
- Katalenich S.M. – Jacobson M.Z. (2022), *Toward battery electric and hydrogen fuel cell military vehicles for land, air, and sea*, in «Energy», vol. 254 (B): <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0360544222012580>
- Key Aero (2021), *Military biofuels – going green*. Testo disponibile al sito: <https://www.key.aero/article/military-biofuels-going-green>
- Kim B. (2021), *KAI unveils electric basic trainer*. Testo disponibile al sito: <https://www.defensenews.com/global/asia-pacific/2021/10/22/kai-unveils-electric-basic-trainer/>
- Kramer D. (2022), *National Ignition Facility surpasses long-awaited fusion milestone*, in «Physics Today», American Institute of Physics. Testo disponibile al sito:

<https://pubs.aip.org/physicstoday/Online/41898/National-Ignition-Facility-surpasses-long-awaited>

- Lapini S. (2023), *CO₂ ppm: perché misuriamo le parti per milione*. Testo al sito: [https://ollum.it/blog/emissioni/co2-ppm-atmosfera-perche-misurare-parti-per-milione/#:~:text=Una%20parte%20per%20milione%20\(ppm,in%20pi%C3%B9%20rispetto%20al%202021.](https://ollum.it/blog/emissioni/co2-ppm-atmosfera-perche-misurare-parti-per-milione/#:~:text=Una%20parte%20per%20milione%20(ppm,in%20pi%C3%B9%20rispetto%20al%202021.)
- Leca L. (2022), *Reflections on the EU Taxonomy*, Globesec, <https://www.globsec.org/what-we-do/press-releases/reflections-eu-taxonomy>
- Lee C. (2022), *Why do terrorists target the energy industry?*, in «Energy Research and Social Science», 87, pp. 1-7. Testo disponibile al sito: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2214629621005466>
- Linares S., Molinaro M., Timmermans K. (2020), *Building Greater Cyber Resilience in Renewables*, Accenture, https://www.accenture.com/_acnmedia/PDF-125/Accenture-Cybersecurity-Renewables-Services.pdf
- Lombardini M. (2021), *Italy's Energy and Climate Policies in the Post-COVID-19 Recovery*, IFRI Center for Energy & Climate. Testo disponibile al sito: https://www.ifri.org/sites/default/files/atoms/files/memo_lombardini_italy_necp_in_an_european_context_fev_2021.pdf
- Lutton M., *Delivering unrivaled national security: enhancing energy and nuclear deterrence partnership*. Testo disponibile al sito: <https://www.20af.af.mil/About-Us/Community/Wind-Energy-Development/CollectionId/19487/>
- Lyppert T.H. (2019), *NATO, climate change and international security. A risk governance approach*, Palgrave Macmillan.
- Mach K.J., Kraan C.M., Adger W.N. et al. (2019), *Climate as a risk factor for armed conflict*, «Nature», 571, pp. 193 ss., <https://doi.org/10.1038/s41586-019-1300-6>
- Madera J. (2020), *Heatwaves are more than an Inconvenience – they're a National Security Risk*, in «American Security Project». Testo disponibile al sito: <https://www.americansecurityproject.org/heatwaves-are-more-than-an-inconvenience-theyre-a-national-security-risk/>
- Manfredini A. et al. (2018), *Phase 1 - Performance Analysis of Hybrid Power Generation and Management System (HPGS)*, NATO Energy Security Centre of Excellence, Vilnius, Lithuania: <https://www.enseccoe.org/data/public/uploads/2019/03/phase-1-report-hpgs-performance-analysis.pdf>
- Marina Militare (2023), *Biocombustibili – Il Green Diesel*. Testo disponibile al sito: https://www.marina.difesa.it/cosa-facciamo/per-ambiente/flotta-verde/Pagine/I_Combustibili_alternativi.aspx
- Marina Militare (2019), *Linee di indirizzo strategico 2019 – 2034*, Stato Maggiore della Marina, supplemento alla «Rivista Marittima». Reperibile al sito:

https://www.marina.difesa.it/mediacultura/editoria/marivista/Documents/supplementi/Linee_indirizzo_strategico_2019_2034.pdf

- Martiin A. (2020), *Planetary Mine: Territories of Extraction under Late Capitalism*, Verso Books, London-New York
- Mazo J. (2009), *Climate Conflict: How global warming threatens security and what to do about it*, The Adelphi Papers, Vol. 49, Issue 409, pp. 9-168, Taylor and Francis, <https://www.tandfonline.com/toc/tadl19/49/409>
- Mbaye A. A., Signé L. (2022), *Climate change, development, and conflict-fragility nexus in the Sahel*, Brookings Institution, https://www.brookings.edu/wp-content/uploads/2022/03/Climate-development-Sahel_Final.pdf
- McDonald M., Dalby S. (2023), "Environmental Change", in Williams P.D., McDonald M., eds., *Security Studies. An introduction*, Routledge.
- Mercurio F. (2023), *La "ribellione" della natura. Stragi in Libia e Marocco: oltre 5mila vittime dopo inondazioni e terremoto*. Testo disponibile al sito: <https://www.ilmeridianonews.it/2023/09/la-ribellione-della-natura-stragi-in-libia-e-marocco-oltre-5mila-vittime-dopo-inondazioni-e-terremoto/>
- Michalopoulos S. (2023), *La Commissione vuole i biocarburanti vegetali per i trasporti, ma al di fuori dell'UE*. Testo al sito: <https://euractiv.it/section/energia/news/la-commissione-vuole-i-biocarburanti-vegetali-per-i-trasporti-ma-al-di-fuori-dellue/>
- Migli I. (2020), *The Use of Renewable Energy Sources in the Military*. Testo al sito: <https://www.armyupress.army.mil/Journals/NCO-Journal/Archives/2020/June/Renewable-Energy/>
- Ministère des Armées 2022), *Climate & Defense Strategy*, France. Testo dispo al sito: <https://www.defense.gouv.fr/sites/default/files/ministere-armees/Presentation%20Climate%20ans%20defence%20strategy.pdf>
- Ministero dell'Ambiente e della Sicurezza Energetica (2023), *Piano Nazionale di Adattamento ai Cambiamenti Climatici*. <https://www.mase.gov.it/pagina/piano-nazionale-di-adattamento-ai-cambiamenti-climatici>
- Ministero dell'Ambiente e della Sicurezza Energetica (2023), *Piano Nazionale Integrato per Energia e Clima*. https://www.cisl.it/wp-content/uploads/2023/07/PNIEC_2023-28_06.pdf
- Ministero dell'Ambiente e della Sicurezza Energetica (2021), *Pnrr, nessuna "pressione" o "rimodulazione", ma solo normali interlocuzioni Eu-Mite*. Testo disponibile al sito: <https://www.mase.gov.it/comunicati/pnrr-nessuna-pressione-o-rimodulazione-ma-solo-normali-interlocuzioni-eu-mite>
- Ministero della Difesa (2023), *Terremoto. Arrivata in Turchia Nave San Marco*. Al sito: https://www.difesa.it/Primo_Piano/Pagine/Terremoto-arrivata-in-Turchia-Nave-San-Marco.aspx

- Ministero della Difesa (2022), *Direttiva per la Politica Militare Nazionale*. Al sito: https://www.difesa.it/SMD_/CASD/IM/CeMiSS/Pubblicazioni/ricerche/Pagine/Ricerca_AO_SMD_11.aspx
- Ministero della Difesa (2021), *Documento programmatico pluriennale della Difesa per il triennio 2021-2023*. Testo disponibile al sito: <https://www.difesa.it/Content/Documents/20210804%20DPP%202021-2023%20-ult.pdf>
- Ministero della Difesa (2020), *Il Concetto Strategico del Capo di Stato Maggiore della Difesa*. Testo disponibile al sito: https://www.difesa.it/SMD_/CaSMD/concetto_strategico_casmd_2020/Pagine/default.aspx
- Ministero della Difesa (2022), *Il Concetto Strategico del Capo di Stato Maggiore della Difesa*. Testo disponibile al sito: https://www.difesa.it/SMD_/CaSMD/concetto_strategico_casmd/Pagine/default.aspx
- Ministero della Difesa (2023), *Difesa: elicotteri delle Forze Armate per l'emergenza incendi*. Testo disponibile al sito: https://www.difesa.it/SMD_/Eventi/Pagine/Difesa_elicotteri_delle_Forze_Armate_per_l_emergenza_incendi.aspx
- Ministero della Difesa (2022), *Le Forze Armate partecipano all'esercitazione 'Sisma dello Stretto 2022'*. Testo al sito: https://www.difesa.it/SMD_/Eventi/Pagine/Difesa_Forze_Armate_partecipano_esercitazione_Sisma_dello_Stretto_2022.aspx
- Ministero della Difesa (2015), *Libro Bianco per la sicurezza internazionale e la difesa*. https://www.difesa.it/Primo_Piano/Documents/2015/04_Aprile/LB_2015.pdf
- Ministero della Difesa (2022c), *Strategia di Sicurezza e Difesa per il Mediterraneo*. https://www.difesa.it/Il_Ministro/Documents/Strategia%20Mediterraneo%202022.pdf
- Ministry of Defense of Japan (2022), *Response Strategy on Climate Change*. https://www.mod.go.jp/j/approach/agenda/meeting/kikouhendou/pdf/taishosenryaku_202208_e.pdf
- Ministry of Defence of the UK (2018), *Global Strategic Trends. The future starts today*, sixth ed., London. Testo disponibile al sito: https://assets.publishing.service.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/1075981/GST_the_future_starts_today.pdf
- Ministry of Defence of the UK (2014), *Sustainability and Climate Change*. Testo al sito: <https://www.gov.uk/government/collections/sustainable-development-mod>
- Mohopatra N.K. (2017), *Energy security paradigm, structure of geopolitics and international relations theory*, «GeoJournal», vol. 82, no. 4, pp. 683-700, <https://www.jstor.org/stable/45117416>

- MS Engineering, *Energia Eolica*. Testo disponibile al sito: http://www.msengineering.dyndns.org/Joomla/index.php?option=com_content&view=article&id=25&Itemid=183
- NASA (2020), *Temperature vs. Solar activity*. Testo disponibile al sito: https://climate.nasa.gov/climate_resources/189/graphic-temperature-vs-solar-activity/
- NATO (2017), *Strategic foresight*, Allied Command Transformation, Norfolk, Virginia, https://www.act.nato.int/images/stories/media/doclibrary/171004_sfa_2017_report_hr.pdf
- NATO (2021), *Energy Highlights*, NATO Energy Security Centre of Excellence. Testo disponibile al sito: https://enseccoe.org/data/public/uploads/2021/10/d1_military-aspects-of-energy-security.pdf
- Naughton B. et al., *Design Guidelines for Deployable Wind Turbines for Military Operational Energy Applications*, Sandia National Laboratories, 2021: <https://energy.sandia.gov/wp-content/uploads/2022/01/Deployable-Wind-Turbine-Design-Guidelines-SAND2021-14581-R-1.pdf>
- North Atlantic Council (2021), *Brussels Summit Communiqué*, June 2021 https://www.nato.int/cps/en/natohq/news_185000.htm?selectedLocale=en
- North Atlantic Council (2022), *NATO' Strategic Concept 2022*, adopted at NATO summit in Madrid, <https://www.nato.int/strategic-concept/>
- Nuclear for Climate (2021), *Evolution of Nuclear Power Plants*. Testo disponibile al sito: <https://nuclearforclimate.com.au/evolution-nuclear/>
- Nuclear for Climate (2021), *L'energia nucleare a supporto della decarbonizzazione*, Position Paper tradotto da G. Canzone, Associazione Italiana Nucleare. Testo disponibile al sito: <http://www.associazioneitaliananucleare.it/lenergia-nucleare-a-supporto-della-decarbonizzazione/>
- Panigas P. – Bazzoli G.M. (2022), *Il grande passo avanti nella fusione nucleare*, in «Focus». Testo disponibile al sito: <https://www.focus.it/scienza/scienze/fusione-nucleare-livermore-national-laboratory-annuncio>
- Parkinson S. - L. Cottrel (2021), *The EU military sector's carbon footprint*, Conflict and Environment Observatory. Testo disponibile al sito: <https://ceobs.org/the-eu-military-sectors-carbon-footprint/> (cfr. anche il report al sito: https://ceobs.org/wp-content/uploads/2021/02/Under-the-radar_the-carbon-footprint-of-the-EUs-military-sectors.pdf)
- Parlamento Europeo (2022), *Trattato Euratom*. Testo disponibile al sito: <https://www.europarl.europa.eu/about-parliament/it/in-the-past/the-parliament-and-the-treaties/euratom-treaty>
- Pasquazzi S. (2022), *Attività di interesse della Difesa. Nuove sfide legate al Golfo di Guinea, allo Stretto di Hormuz e alla Regione Artica*, Istituto Ricerche e Analisi della Difesa, CASD (Ministero della Difesa), Roma. Testo disponibile al sito:

https://www.difesa.it/SMD_/CASD/IM/CeMiSS/Pubblicazioni/ricerche/Pagine/AQ-SMM-02.aspx

- Pasquazzi S. (2023), *Cambiamento climatico, transizione energetica e conflittualità*, in «Rivista Italiana di Conflittologia», CUAM University Press ed. Labyris, n.46, pp. 172-205.
- Pasquazzi S. (2023), *Cyber-attacks, geopolitica e settore energetico*, in rivista scientifica «EUROPEA», Aracne editrice, 2023, n.1, pp. 101-127.
- Pasquazzi S. (2023), *La sicurezza energetica nazionale. La strategia italiana di approvvigionamento dei prossimi 20 anni. Le aree di possibile sviluppo, esplorazione ed opportunità energetiche per il Paese. Missione e compiti della politica estera Nazionale e della Difesa per mitigare la vulnerabilità energetica. Confronto tra gli interessi nazionali, quelli dell'UE e degli altri partner europei*, IRAD, CASD. Testo disponibile al sito: https://www.difesa.it/SMD_/CASD/IM/CeMiSS/DocumentiVis/Ricerche_da_pubblicare/Pubblicate_nel_2023/Pasquazzi_AR_SMD_01.pdf
- Pellizzari M. (2023), *Incendi boschivi in Europa: l'estate 2023 tra calamità e solidarietà*. Teso disponibile al sito: <https://www.cdt.ch/news/mondo/incendi-boschivi-in-europa-lestate-2023-tra-calamita-e-solidarieta-323303>
- Perriello M. (2023), *E-fuel, stangata in arrivo? Ecco quanto costa un pieno*, «QuiFinanza». Testo disponibile al sito: <https://quifinanza.it/economia/video/e-fuel-carburanti-quanto-costa-pieno/699502/#:-:text=Quanto%20costano%20invece%20i%20biocarburanti&text=Il%20prezzo%20medio%20si%20aggira%20sugli%201%2C910%20euro%20al%20litro>
- Phan M. (2022), *All About Offshore Wind Turbine Foundations*: <https://blog.virtuosity.com/all-about-offshore-wind-turbine-foundations>
- Pirani G. (2023), *Biocarburanti, una buona notizia per le auto dall'Unione Europea*. Disponibile al sito: <https://quifinanza.it/economia/biocarburanti-notizia-positiva-auto-unione-europea/737868/>
- Piras S. (2022), *Nucleare, deposito nazionale per le scorie: la mappa dei siti idonei è stata inviata al ministero*, «il Messaggero». Testo disponibile al sito: https://www.ilmessaggero.it/italia/depositi_scorie_nucleari_dove_vogliono_farli_ultima_ora-6569531.html
- Pitron G. – Chirizzi O. (2019), *La Guerra dei metalli rari: il lato oscuro della transizione energetica e digitale*, Roma, Luiss University Press.
- Prosser, M. C., Williams, P. D., Marlton, G. J., & Harrison, R. G. (2023), *Evidence for large increases in clear-air turbulence over the past four decades*, «Geophysical Research Letters», 50, e2023GL103814. <https://doi.org/10.1029/2023GL103814>
- Rapacka P. (2022), *Swedish armed forces should facilitate wind power expansion*. Testo disponibile al sito: <https://balticwind.eu/swea-swedish-armed-forces-should-facilitate-wind-power-expansion/>

- Redazione (2023), *Auto: ok del Consiglio Ue allo stop per benzina e diesel dal 2035. L'Italia si astiene*, «ilsole24ore». Testo disponibile al sito: <https://www.ilsole24ore.com/art/auto-ok-consiglio-ue-stop-benzina-e-diesel-2035-l-italia-si-astiene-AEAZ7rAD>
- Redazione (2017), *Che differenza c'è tra uragano, ciclone, tifone e tornado?*, «Focus». Testo disponibile al sito: <https://www.focus.it/ambiente/natura/che-differenza-ce-tra-ciclone-uragano-e-tornado>
- Redazione (2023), *Come si forma una tromba d'aria?*, «Focus». Testo al sito: <https://www.focus.it/ambiente/natura/tromba-d-aria-sul-veneto>
- Redazione (2021), *Celle solari in GaAs, efficienti anche usando meno materiale*. Testo disponibile al sito: <https://www.rinnovabili.it/energia/fotovoltaico/celle-solari-in-gaas-nanofili/>
- Redazione (2023), *Combustibili sintetici e biocarburanti: così l'Europa punta a decarbonizzare il settore aereo*, «Economia Circolare». Testo disponibile al sito: <https://economiecircolare.com/biocarburanti-union-europea-aviazione-europa/>
- Redazione (2023), *Italia, penisola dei tornado e delle trombe d'aria*, «Focus». Al sito: <https://www.focus.it/ambiente/natura/tornado-e-trombe-d-aria-in-italia>
- Redazione (2022), *Gli incendi boschivi in Algeria hanno causato decine di vittime*, «Euronews». Testo disponibile al sito: <https://it.euronews.com/2022/08/18/gli-incendi-boschivi-in-algeria-hanno-causato-decine-di-vittime>
- Redazione (2023), *Grandinate e bombe d'acqua nel Nord Italia*, «ILSecoloXIX». Testo al sito: https://www.ilsecoloxix.it/italia/2023/07/21/news/maltempo_milano_tornado-12958352/
- Redazione (2023), *Incendi a Rodi e Corfù, emergenza roghi in Grecia: migliaia di persone evacuate*, «SkyTg24». <https://tg24.sky.it/mondo/2023/07/24/incendi-rodi-corfu-grecia>
- Redazione (2023), *Le alluvioni di maggio 2023: un'analisi scientifica*, Fondazione CIMA. Testo disponibile al sito: <https://www.cimafoundation.org/news/le-alluvioni-di-maggio-2023-una-analisi-scientifica/>
- Redazione (2023), *Luglio 2023: il mese più caldo di sempre?*, «Meteo & Radar». Testo disponibile al sito: <https://www.meteoeradar.it/notizie-meteo/clima-e-ambiente-luglio-2023-il-mese-piu-caldo-di-sempre--5zQfRKP1vs2S9hBShez9W1>
- Redazione (2022), *Pannelli solari di terza generazione efficienti e sostenibili*, ANSA, https://www.ansa.it/canale_scienza_tecnica/notizie/energia/2022/06/18/pannelli-solari-di-terza-generazione-efficienti-e-sostenibili-_d9d810e8-eac3-4d07-93f7-2e185435985b.html
- Redazione (2019), *Si alza il livello del Mediterraneo: 40 aree italiane a rischio entro fine secolo*, «Today Ambiente». Testo disponibile al sito: <https://www.today.it/ambiente/innalzamento-livello-mare-italia.html>

- Redazione (2023), *Vigili del fuoco, in tre giorni 4mila interventi tra roghi e maltempo | L'Italia verso lo stato d'emergenza*. Testo al sito: https://www.tgcom24.mediaset.it/cronaca/sicilia-incendi-palermo-catania-taormina-morti-sfollati_67619760-202302k.shtml?refresh_cens
- Ricciardi A. (2023), *Ritorna il nucleare in Italia*, «Italia Oggi». Testo disponibile al sito: <https://www.italiaoggi.it/news/ritorna-il-nucleare-in-italia-2601040>
- Robinson Y. Et al. (2023), *Does climate change transform military medicine and defense medical support?*, in «Frontiers in Public Health», 11, 4th May, 13 pp. <https://doi.org/10.3389/fpubh.2023.1099031>
- Robyn D., Marqusee J. (2019), *The Clean Energy Dividend: Military Investment in Energy Technology and What It Means for Civilian Energy Innovation*, Information Technology and Innovation Foundation. Testo disponibile al sito: <https://www2.itif.org/2019-clean-energy-dividend.pdf>
- Rosci P. (2021), *L'impatto del climate change dalla prospettiva di difesa e sicurezza*, intervento nel webinar *Stato e trend del clima in Italia*, ISPRA e Stato Maggiore Aeronautica (Ufficio Generale Aviazione Militare e Meteorologia). Testo disponibile su: <https://www.isprambiente.gov.it/files2021/eventi/presentazione-sma-aviamm-10-11-2021.pdf>
- Rosengren O. (2023), *A Guide to Arctic Warfare*. Testo disponibile al sito: <https://greydynamics.com/a-guide-to-arctic-warfare/>
- Rossi E. (2022), *Il Mediterraneo assetato*, Med-Or Leonardo Foundation, Roma, <https://www.med-or.org/news/il-mediterraneo-assetato>
- Rosso R. (2022), *Il nucleare civile favorisce e sostiene in molti modi i programmi militari*, «Il Fatto Quotidiano». Testo disponibile al sito: <https://www.ilfattoquotidiano.it/2022/04/05/il-nucleare-civile-favorisce-e-sostiene-in-molti-modi-i-programmi-militari/6548906/>
- Scarmagnani C. G. (2022), *Cambiamento climatico e sicurezza: due facce della stessa medaglia*, «Geopolitica.info», <https://www.geopolitica.info/sicurezza-climatica/>
- Scherr L. A. (2023), *Climate Change Impacts in MENA*, EcoMENA. Testo disponibile al sito: <https://www.ecomena.org/climate-change-in-mena/>
- Schwartzstein P., Zwijnenburg W. (2022), *We fear more war. We fear more draught. How climate and conflict are fragmenting rural Syria*, Pax for Peace, https://paxforpeace.nl/media/download/PAX_report-Pastoralist_Syria.pdf
- Schinzano L. (2023), *Aeronautica Militare: quando l'azzurro si veste di green*. <https://www.ambienteambienti.com/aeronautica-militare-quando-lazzurro-si-veste-di-green/>

- Schmitz B. (2021), *Helping the U.S. Navy convert ocean waves into perpetual power*. <https://militaryembedded.com/radar-ew/power-electronics/helping-the-us-navy-convert-ocean-waves-into-perpetual-power>
- Science Direct (2023), *Solar Thermal Energy*. Testi disponibili al sito: <https://www.sciencedirect.com/topics/engineering/solar-thermal-energy>
- Shiryayevskaya A., Fedorinova Y. (2021), *Europe Asking Russia for More Coal Is Set for Disappointment*, «Bloomberg». Testo disponibile al sito: <https://www.bloomberg.com/news/articles/2021-09-30/europe-asking-russia-for-more-coal-is-set-for-disappointment>
- Semler S. (2021), *The US military-industrial complex pollutes more than 171 countries*. <https://stephensemeler.substack.com/p/the-us-military-industrial-complex>
- Shea S. (2023), *Where climate change and cyber attacks intersect*. Testo al sito: <https://www.techtarget.com/searchsecurity/feature/Where-climate-change-and-cyber-attacks-intersect>
- Sikorsky E. (2022), *The World's Militaries Aren't Ready for Climate Change*, in «Foreign Policy». Testo disponibile al sito: <https://foreignpolicy.com/2022/09/22/militaries-climate-change-security-threats-strategy-floods-fires/>
- Snam (2022), *Il Biometano*. Testo disponibile al sito: https://www.snam.it/it/transizione_energetica/biometano/biometano/
- Soder R. (2023), *Climate change, security and military organizations: changing notions in the Swedish Armed Forces*, in «Earth System Governance», 15. Testo disponibile al sito: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S258981162300006X#bib32>
- Soler A. et. al. (2022), *E-Fuels: A techno-economic assessment of European domestic production and imports towards 2050*, Concaewe-Aramco: https://www.concaewe.eu/wp-content/uploads/Rpt_22-17.pdf
- Sorgenia (2023a), *Energia solare termica*. Testo disponibile al sito: <https://www.sorgenia.it/guida-energia/energia-solare-termica>
- Sorgenia (2023b), *Tipi di pannelli fotovoltaici*. Testo disponibile al sito: <https://www.sorgenia.it/guida-energia/pannelli-fotovoltaici-le-tipologie>
- Sorgenia (2023c), *Biogas: cos'è, a cosa serve e quali vantaggi offre*. Testo disponibile al sito: <https://www.sorgenia.it/guida-energia/biogas>
- South T. (2022), *Pentagon to build nuclear microreactors to power far-flung bases*, «Military Times». Testo disponibile al sito: <https://www.militarytimes.com/news/your-military/2022/04/15/pentagon-to-build-nuclear-microreactor-to-power-far-flung-bases/>
- Sovacool B.K. et al. (2022), *Conflicted transitions: Exploring the actors, tactics, and outcomes of social opposition against energy infrastructure*, «Global Environmental Change», vol. 73. Testo disponibile al sito: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959378022000115>

- Spano D. et al. (2020). *Analisi del rischio. I cambiamenti climatici in Italia*, Centro Europeo sui Cambiamenti Climatici. DOI: 10.25424/CMCC/ANALISI_DEL_RISCHIO
- Spillmann K. R., Bachler G. (1995), eds., “Environmental Crisis: Regional Conflicts and Ways of Cooperation”, Occasional Paper No. 14, *Environment and Conflicts Project*, Center for Security Studies and Conflict Research (Swiss Federal Institute of Technology) - Swiss Peace Foundation. Testo disponibile al sito: https://www.files.ethz.ch/isn/724/doc_726_290_en.pdf
- Stanley B. (2021), *US Military Destabilised by Climate Change in the Middle East*, in «OrientXXI». Testo disponibile al sito: <https://orientxxi.info/magazine/us-military-destabilised-by-climate-change-in-the-middle-east,4885>
- Stato Maggiore della Difesa (2019), *Iniziativa 5+5: concluso il Workshop dedicato a meteorologia e cambiamenti climatici*, Ministero della Difesa. Testo disponibile al sito: https://www.difesa.it/SMD_/Eventi/Pagine/Iniziativa_5_piu_5_Concluso_workshop_dedicato_a_meteorologia_e_cambiamenti_climatici.aspx
- Stato Maggiore della Difesa (2019), *Strategia Energetica della Difesa*: https://www.difesa.it/Content/Struttura_progetto_energia/Documents/Piano_SED_2019.pdf
- Stato Maggiore dell'Esercito (2022), *Esercito 4.0. Proiettati nel futuro*, Rivista Militare, supplemento al n. 3/2022. Testo disponibile al sito: <https://www.esercito.difesa.it/comunicazione/editoria/Rivista-Militare/Documents/2022/Esercito%204.0.pdf>
- Stato Maggiore dell'Esercito (2016), *Al 6° Reggimento Genio Pionieri il workshop “In Difesa dell'Ambiente”*, Ministero della Difesa. Testo disponibile al sito: https://www.esercito.difesa.it/comunicazione/pagine/l-esercito-in-difesa-dell-ambiente_160422.aspx
- Stoetman A. et al. (2023), *Military capabilities affected by climate change. An analysis of China, Russia and the United States*, Clingendael Institute of International Relations, The Netherlands. Testo disponibile al sito: https://www.clingendael.org/sites/default/files/2023-01/Military_capabilities_affected_by_climate_change.pdf
- Stricof M. (2021), *Representing Climate Change through the Lens of Environmental Security*, «e-Rea» (*Revue Electronique der Etudes sur le Monde Anglophone*), 18, 2, <https://doi.org/10.4000/erea.11609>
- Strout N. (2021), *The Space Force wants to use directed-energy systems for space superiority*, «Defence News». Testo disponibile al sito: <https://www.defensenews.com/battlefield-tech/space/2021/06/16/the-space-force-wants-to-use-directed-energy-weapons-for-space-superiority/>
- Suman F. (2021), *La transizione energetica nel PNRR*, il BoLive, Università di Padova, <https://ilbolive.unipd.it/index.php/it/news/transizione-energetica-pnrr>

- Tavares da Costa R., Krausmann E., Hadjisavvas C. (2023), *Impacts of climate change on defence-related critical energy infrastructure*, European Commission Joint Research Centre & European Defence Agency. Testo disponibile al sito: <https://publications.jrc.ec.europa.eu/repository/handle/JRC130884>
- Tavares da Costa R., Krausmann E. (2021), *Impacts of Natural Hazards and Climate Change on EU Security and Defence*, European Commission Joint Research Centre. Disponibile al sito: <https://publications.jrc.ec.europa.eu/repository/handle/JRC126315>
- The Learning Network (2021), *What's Going On in This Graph? Global Climate Risks*, «The New York Times», disponibile al sito: <https://www.nytimes.com/2021/03/25/learning/whats-going-on-in-this-graph-global-climate-risks.html>
- Telegraph Reporters (2022), *Summer wildfires in England almost quadrupled in 2022*, «The Telegraph». Testo disponibile al sito: <https://www.telegraph.co.uk/news/2022/12/30/summer-wildfires-england-almost-quadrupled-2022/>
- Termini V. (2020), *Energia. La Grande Trasformazione*, Laterza.
- Testa E. (2021), Intervento durante il programma televisivo *Coffee Break* in data 16.10.2021, emittente televisiva 'La7', <https://www.la7.it/coffee-break/rivedila7/coffee-break-puntata-16102021-16-10-2021-403103>
- The Editors of Encyclopaedia Britannica (2023), *Thermonuclear Bomb*, Britannica. Testo disponibile al sito: <https://www.britannica.com/technology/thermonuclear-bomb>
- The White House (2022), *National Security Strategy*. Testo disponibile al sito: <https://www.whitehouse.gov/wp-content/uploads/2022/10/Biden-Harris-Administrations-National-Security-Strategy-10.2022.pdf>
- Tidey A. (2023), *Prevenire è meglio che curare: l'Europa si prepara agli incendi del 2023*. <https://it.euronews.com/my-europe/2023/01/11/prevenire-e-meglio-che-curare-leuropa-si-prepara-agli-incendi-del-2023>
- Touring Club Svizzera, *Carburanti alternativi, come contribuiscono al bilancio climatico?* <https://www.tcs.ch/it/test-consigli/consigli/ambiente-mobilita/carburanti-alternativi.php>
- Transport & Environment (2020), *E-fuel would be wasted on cars while it's badly needed to decarbonise planes and ships – study*. Testo disponibile al sito: <https://www.transportenvironment.org/discover/e-fuel-would-be-wasted-cars-while-its-badly-needed-decarbonise-planes-and-ships-study/>
- Travisani V. (2022), *Saudi Arabia in Transition: Opportunities for Italian-Saudi cooperation in the Age of Renewable Energy*, LUISS, Department of Political Science, MA Thesis in Security Studies, <http://tesi.luiss.it/33146/>

- Trento E. (2021), *Instability in the MENA region: causes and solutions under a double environmental-security perspective*, LUISS, Political Science Dept., MA Thesis in Security Studies, <http://tesi.luiss.it/31521/>
- Tucker P. (2022), 'We Need to Own the Heat The Way We Now Own Night,' *Pentagon Climate Leader Says*, «Defence One». Testo disponibile al sito: <https://www.defenseone.com/threats/2022/08/we-need-own-heat-way-we-now-own-night-pentagon-says/376260/>
- Tusalem R.F. (2015), *Democracies, Autocracies, and Political Stability*, «International Social Science Review», vol. 90, issue 1, pp. 1 – 40 <https://www.proquest.com/docview/1661374982/fulltextPDF/C8A49F258DE645CCPQ/1?accountid=16503>
- Ufficio Pubblica Informazione (2022), *Ambiente: l'Aeronautica Militare al Global Air Forces Climate Change Collaboration per la sostenibilità ambientale*, Aeronautica Militare. Testo disponibile al sito: <https://www.aeronautica.difesa.it/2022/07/14/ambiente-laeronautica-militare-al-global-air-forces-climate-change-collaboration-per-la-sostenibilita-ambientale/>
- Ufficio Pubblica Informazione (2023), *Giornata Meteorologica Mondiale*, Aeronautica Militare. Testo disponibile al link: <https://www.aeronautica.difesa.it/2023/03/23/comunicato-stampa-16-2023/>
- Ufficio Studi – sez. Difesa e Sicurezza (2022), *La transizione ecologica della Difesa*. Camera dei Deputati, Parlamento italiano. <https://temi.camera.it/leg18/temi/la-transizione-ecologica-della-difesa.html>
- UNESCO (2023), *The United Nations World Water Development Report 2023: partnerships and cooperation for water* <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000384655>
- U.S. Army (2022), *Army Climate Strategy. Implementation Plan*. Testo disponibile al sito: https://www.army.mil/e2/downloads/rv7/about/2022_Army_Climate_Strategy_Implementation_Plan_FY23-FY27.pdf
- U.S. Army (2021), *Regaining Arctic Dominance. The US Army in the Arctic*. <https://api.army.mil/e2/c/downloads/2021/03/15/9944046e/regaining-arctic-dominance-us-army-in-the-arctic-19-january-2021-unclassified.pdf>
- U.S. Alternative Fuels Data Center, *Ethanol Benefits and Considerations*, U.S. Department of Energy. Testo disponibile al sito: https://afdc.energy.gov/fuels/ethanol_benefits.html#:~:text=Ethanol%20is%20a%20renewable%2C%20domestically,season%E2%80%94ethanol%20helps%20reduce%20emissions.
- U.S. Department of Defense (2021), *Climate Risk Analysis*, Report to the National Security Council, <https://media.defense.gov/2021/Oct/21/2002877353/-1/-1/0/DOD-CLIMATE-RISK-ANALYSIS-FINAL.PDF>

- U.S. Department of Defense (2022), *Climate Adaption Plan*. Testo disponibile al sito: <https://www.sustainability.gov/pdfs/dod-2021-cap.pdf>
- U.S. Department of Defense (2016), Defense Science Board. *Energy Systems for Forward/ Remote Operating Bases*, Final Report. Testo disponibile al sito: https://dsb.cto.mil/reports/2010s/Energy_Systems_for_Forward_Remote_Operating_Bases.pdf
- US Dept. of Defense (2022), *DoD to Build Project Pele Mobile Microreactor and Perform Demonstration at Idaho National Laboratory*, Press Release. Testo disponibile al sito: <https://www.defense.gov/News/Releases/Release/Article/2998460/dod-to-build-project-pele-mobile-microreactor-and-perform-demonstration-at-idah/>
- U.S. Department of the Air Force (2022), *Climate Action Plan*. Testo disponibile al sito: https://www.safie.hq.af.mil/Portals/78/documents/Climate/DAF%20Climate%20Action%20Plan.pdf?ver=YcQAZsGM_Xom3DkNP_fL3g%3d%3d
- U.S. Department of the Air Force (2020), *Arctic Strategy*. Testo disponibile al sito: <https://www.af.mil/Portals/1/documents/2020SAF/July/ArcticStrategy.pdf>
- U.S. Department of the Navy (2022), *Climate action 2030*. Testo disponibile al sito: <https://www.navy.mil/Portals/1/Documents/Department%20of%20the%20Navy%20Climate%20Action%202030.pdf>
- U.S. Department of the Navy (2021), *A Strategic Blueprint for the Arctic*. <https://media.defense.gov/2021/Jan/05/2002560338/-1/-1/0/ARCTIC%20BLUEPRINT%202021%20FINAL.PDF/ARCTIC%20BLUEPRINT%202021%20FINAL.PDF>
- U.S. Global Change Research Program (2018), *Fourth National Climate Assessment*. Testo disponibile al sito: https://nca2018.globalchange.gov/downloads/NCA4_2018_FullReport.pdf
- U.S. National Intelligence Council (2021a), National Intelligence Estimate on Climate Change. Testo disponibile al sito: https://www.dni.gov/files/ODNI/documents/assessments/NIE_Climate_Change_and_National_Security.pdf
- U.S. National Intelligence Council (2021b), *Global Trends 2040*, https://www.dni.gov/files/ODNI/documents/assessments/GlobalTrends_2040.pdf
- Van Wijk Ad. et al. (2019), *A North Africa/Europe Hydrogen Manifesto*, Dii Desert Energy: <http://profadvanwijk.com/wp-content/uploads/2019/12/Dii-hydrogen-study-November-2019.pdf>
- Vindigni Ricca A. (2023), OK agli e-fuel dopo il 2035. Ma quanto costa un litro di carburante sintetico?. Testo disponibile al sito: <https://auto.everyeye.it/notizie/ok-e-fuel-2035-costa-litro-carburante-sintetico-642242.html>

- Viscardi R. et al. (2023), *The potential of E-fuels as future fuels*, in «Energia, ambiente e innovazione», ENEA. Testo disponibile al sito: <https://www.eai.enea.it/archivio/pianeta-idrogeno/the-potential-of-e-fuels-as-future-fuels.html> (DOI 10.12910/EAI2021-022)
- Vogel M.M. et al. (2019), *Concurrent Hot Extremes Across Northern Hemisphere Due to Human-Induced Climate Change*, in «Earth's Future», vol. 7, issue 7, pp. 692-703 <https://agupubs.onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1029/2019EF001189>
- Von Clausewitz, C. (1832), *Vom Kriege*, trad. it. *Della Guerra*, a cura di Gian Enrico Rusconi, 2000, Einaudi.
- Wang X. et al. (2022), *Knowledge, Attitudes, and Practices of Military Personnel Regarding Heat-Related Illness Risk Factors: Results of a Chinese Cross-Sectional Study*, in «Frontiers in Public Health», Sec. Occupational Health and Safety, vol. 9: <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fpubh.2021.707264/full>
- Wayland M. (2021), *By land, sea and air: GM plans to expand fuel-cell business beyond Evs*, «CNBC». Testo disponibile al sito: <https://www.cnbc.com/2021/06/21/by-land-sea-and-air-gm-to-expand-fuel-cell-business-beyond-evs.html>
- Wettengel J. (2023), *EU remains heavily dependent on imported fossil fuels*, *Clean Energy Wire*, <https://www.cleanenergywire.org/factsheets/germanys-dependence-imported-fossil-fuels>
- Wind Energy Technologies Office of the U.S. (2022), *Compact Wind Turbines Could Support Disaster Relief and Military Missions*, US Dept. of Energy. Testo al sito: <https://www.energy.gov/eere/wind/articles/compact-wind-turbines-could-support-disaster-relief-and-military-missions>
- Witmer F. D. et al. (2017), *Subnational violent conflict forecasts for sub-Saharan Africa, 2015 – 2065, using climate-sensitive models*, «Journal of Peace Research», 54 (2), 175-192, <https://journals.sagepub.com/doi/10.1177/0022343316682064>
- World Economic Forum (2023), *Global Cybersecurity Outlook*, <https://www.weforum.org/reports/global-cybersecurity-outlook-2023/>
- World Nuclear Association (2023), *Nuclear Power in the World Today*. Testo disponibile al sito: <https://world-nuclear.org/information-library/current-and-future-generation/nuclear-power-in-the-world-today.aspx>
- Wu C. (1983), *Reinstallation of a Military Wind Turbine at the U.S. Naval Academy*, *Wind Engineering*, vol. 7, n. 4, pp. 207-212: <https://www.jstor.org/stable/43748996>

NOTA SULL'IRAD e NOTA SULL'AUTORE

IRAD²⁴⁵

L'Istituto di Ricerca e Analisi della Difesa (IRAD) è l'Organismo che gestisce, nell'ambito e per conto del Ministero della Difesa, la ricerca su temi di carattere strategico.

Costituito come Centro Militare di Studi Strategici (Ce.Mi.S.S.) nel 1987 e riconfigurato come IRAD nel 2021 a seguito dell'entrata in vigore della Legge 77/2020 - art. 238 bis, l'IRAD svolge la propria opera avvalendosi di esperti civili e militari, italiani ed esteri, in piena libertà di espressione di pensiero.

Quanto contenuto negli studi pubblicati riflette quindi esclusivamente l'opinione del Ricercatore e non quella del Ministero della Difesa.

Simone Pasquazzi



È professore a contratto in *security policies* presso la LUISS “Guido Carli”, dove in qualità di esperto di *political risk assessment* è stato anche componente della faculty del corso executive in Affari Strategici della School of Government. Già consulente didattico per la Scuola Nazionale dell'Amministrazione, è stato docente in *energy & security* per il master in *security awareness* dell'Università di Cagliari, ed è membro del bacino docenti dell'Italian Trade Agency per i settori della geo-economia e della geopolitica. Si occupa da diversi anni di questioni di sicurezza riguardanti l'area del Mediterraneo Allargato, svolgendo attività di ricerca e analisi per istituzioni, centri studi e aziende. Autore di numerose pubblicazioni (in italiano e in inglese) su argomenti di relazioni internazionali e *intelligence*, ha ottenuto il dottorato di ricerca in Scienza Politica nell'Università di Bologna (sede di Forlì), ed è stato frequentatore civile del sesto corso d'Istituto Superiore di Stato Maggiore Interforze. Ha inoltre conseguito altri titoli di specializzazione o formazione professionale presso l'Amsterdam Institute for Social Science Research, la Scuola Superiore Sant'Anna, la St. John's University e l'ONU.

²⁴⁵ https://www.difesa.it/SMD_/CASD/IM/CeMiSS/Pagine/default.aspx



*Stampato dalla Tipografia del
Centro Alti Studi Difesa*



9 791255 150817