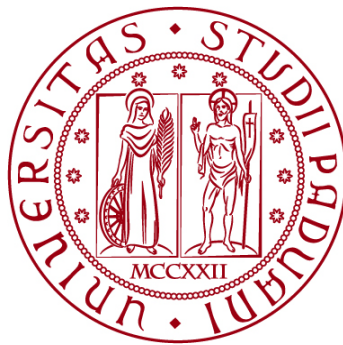


UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI PADOVA
DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA CIVILE, EDILE E AMBIENTALE
Department of Civil, Environmental and Architectural Engineering

Corso di Laurea in Ingegneria per l'Ambiente e il Territorio



TESI DI LAUREA

**CONFLITTO RUSSO-UCRAINO: ANALISI DELL'IMPATTO
CLIMATICO E AMBIENTALE CON UN FOCUS SULLE
EMISSIONI DI GAS CLIMALTERANTI**

Relatore: prof. Salvatore Pappalardo

Laureando: Giacomo Ambrosi

ANNO ACCADEMICO 2023-2024

Abstract

Il 24 febbraio 2022, l'invasione russa ai danni dell'Ucraina ha dato inizio ad un conflitto armato che, dopo circa due anni, è ancora in corso. I danni umanitari, sociali, infrastrutturali sono enormi, ma anche quelli riguardanti l'impatto climatico e ambientale sono allarmanti. I bombardamenti distruggono costruzioni e edifici rilasciando in atmosfera polveri e sostanze pericolose; gli incendi bruciano foreste e depositi di combustibili liberando gas climalteranti e tossici; i veicoli da guerra devastano il suolo su cui transitano e consumano grandi quantità di carburante. Le emissioni di gas climalteranti sono elevatissime e l'inquinamento si diffonde nei dintorni delle zone di combattimento ma anche sull'intero continente, andando addirittura ad intaccare il clima globale. Già all'inizio del conflitto si potevano fare delle valutazioni approssimative circa l'impatto climatico ed ambientale ad esso correlate, col passare del tempo però la situazione ha iniziato a delinearsi, permettendo una quantificazione più precisa dei danni. Dopo due anni dall'inizio della guerra si stima che siano state prodotte circa 90 milioni di tonnellate di CO₂ equivalente dall'utilizzo di carburante per lo spostamento dei mezzi bellici, mentre circa 35 milioni di tonnellate sono riconducibili agli incendi causati dal conflitto. La ricostruzione delle zone urbane distrutte richiederà un grande impegno economico ed enormi consumi di energia, risorse e materie prime oltre all'impiego di mezzi e macchinari pesanti. Si calcola infatti che la riedificazione e la ristrutturazione delle città colpite libererà in atmosfera circa 70 milioni di tonnellate di anidride carbonica. Anche settori non direttamente legati agli scontri vengono però influenzati dal conflitto; infatti, l'aviazione civile e la produzione di energia in Europa hanno risentito della guerra portando ad un aumento non irrisorio nella produzione di gas ad effetto serra. Di seguito verranno analizzati questi aspetti e l'interesse di questo studio si poserà, oltre che sui gas climalteranti, sulle emissioni di altre sostanze pericolose e che influiscono sulla qualità dell'aria. Infine, si osserveranno gli effetti ambientali che il conflitto sta avendo sul suolo, sulle acque e sugli ecosistemi.

Sommario

1	Introduzione.....	7
1.1	Contesto e problematica.....	7
1.1.1	L'impatto ambientale delle guerre.....	7
1.1.2	Il conflitto russo-ucraino.....	10
1.2	Obiettivi.....	11
1.3	Inquadramento.....	12
2	Materiali e metodi.....	15
2.1	Materiali.....	15
2.2	Metodi.....	17
3	Risultati e discussione.....	19
3.1	Emissioni di gas climalteranti.....	20
3.1.1	Combustione di carburante.....	22
3.1.2	Incendi legati al conflitto.....	25
3.1.3	Esplosione di bombe, missili e munizioni.....	30
3.1.4	Futura ricostruzione di edifici e strutture.....	31
3.1.5	Deviazione delle rotte aeree civili e commerciali.....	35
3.1.6	Regresso dei metodi di produzione di energia.....	37
3.2	Altri inquinanti.....	39
3.2.2	Emissioni di NO _x	39
3.2.3	Emissioni di PM _{2,5}	40
3.2.4	Emissioni di amianto.....	41
3.3	Suolo.....	42
3.4	Biodiversità.....	43
3.5	Acque.....	44
3.6	Radiazioni.....	46
4	Conclusioni.....	49
5	Bibliografia.....	51
6	Sitografia.....	57

1 Introduzione

1.1 Contesto e problematica

Il conflitto russo-ucraino sta avendo gravi ripercussioni sulla società, quali perdite di vite umane, aumento dei problemi di salute fisica e mentale, collasso economico, danni alle infrastrutture, diminuzione della sicurezza alimentare e aumento del numero di rifugiati. Tutti questi fattori hanno effetti che si protrarranno nel tempo ripercuotendosi anche sulle generazioni future, compromettendo le possibilità di sviluppo dei Paesi coinvolti, le relazioni tra i popoli e gli equilibri globali (Pereira et al, 2022a, Pereira et al, 2022b). Sebbene le conseguenze sulla società e sull'economia siano drammatiche, l'impatto che la guerra sta avendo sull'ambiente non può assolutamente essere trascurato (Solokha et al, 2023). Il seguente studio vuole concentrarsi su questi ultimi aspetti ma, per comprendere appieno e contestualizzare i concetti che verranno affrontati, è stato ritenuto necessario menzionare, sotto questo punto di vista, le ripercussioni di precedenti guerre. Inoltre, prima di analizzare l'impatto climatico e ambientale di questo conflitto, saranno analizzate brevemente la situazione geopolitica dell'area di interesse e le cause che hanno portato al conflitto.

1.1.1 L'impatto ambientale delle guerre

Innumerevoli studi hanno provato, anche con discreto successo, a descrivere e quantificare i danni che i conflitti militari hanno apportato al pianeta. Sebbene si tratti di stime che, per ovvi motivi, non possono avere accuratezze elevate, i risultati danno indicatori utili a comprendere le conseguenze ambientali delle guerre.

È risaputo che i conflitti armati causano danni oltre che alla società e all'uomo, anche all'ambiente che lo circonda. La produzione di gas e sostanze nocive, tuttavia, non si limita a deteriorare le aree prossime ai combattimenti e gli effetti negativi hanno risvolti anche su scala continentale e addirittura globale. La qualità dell'aria precipita a causa delle emissioni di polveri sottili, ossidi di azoto e anidride carbonica mentre il riscaldamento globale risente delle enormi quantità di gas climalteranti prodotti da tutte le attività legate, direttamente o indirettamente, alla guerra.

Già nel periodo preindustriale, durante le guerre, venivano date alle fiamme le colture nemiche, ampie aree di foreste e terreni venivano distrutti per soddisfare la grande richiesta di materie prime. I corsi d'acqua venivano deviati o avvelenati per mettere in difficoltà le popolazioni da conquistare. Alcune fonti riportano che il celebre condottiero Gengis Khan riuscì a espugnare l'odierna Baghdad distruggendo le fonti di approvvigionamento idrico della città (Swintek, 2006).

Tuttavia, è solo in età contemporanea che le guerre hanno assunto caratteristiche tali da rendere le loro conseguenze veramente rilevanti, con un impatto ambientale e climatico significativo se non, in alcuni casi, irreversibile. Infatti, nel corso del ventesimo secolo e in particolare con l'avvento del ventunesimo, la tecnologia ha fatto enormi passi da gigante e con essa, purtroppo, anche l'industria bellica. Tuttavia, il miglioramento delle prestazioni degli armamenti dal punto di vista militare non ha portato ad alcuna diminuzione della produzione di gas climalteranti durante le guerre, ma solo ad una maggior potenza distruttiva. Si stima, ad esempio, che già durante la Prima guerra mondiale (1914-1918) in Francia, vennero distrutti oltre 1000 km² di terreni agricoli e quasi 2000 km² di foreste nel corso della sola battaglia di Somme (Swintek, 2006).

Ulteriori scoperte scientifiche portarono, durante la Seconda guerra mondiale (1939-1945), alla produzione e all'utilizzo di armi con una potenza distruttiva decisamente maggiore che culminò nel 1945 con l'uso della bomba atomica. Albert Einstein, uno dei più celebri scienziati del ventesimo secolo, ebbe un ruolo significativo nello sviluppo nucleare, dichiarandosi però profondamente preoccupato riguardo le conseguenze che tali armi avrebbero avuto sia dal punto di vista umano e sociale che dal punto di vista ambientale (Hassan, 2023).

Durante la Guerra del Golfo (1991) l'intensità e la portata dell'offensiva della coalizione alleata e la sistematica distruzione dei pozzi petroliferi del Kuwait da parte delle truppe irachene durante la loro ritirata hanno portato ad un disastro ambientale senza precedenti (Menhinick, 2016). Si calcola che furono sganciate almeno 84 mila tonnellate di bombe nei 43 giorni effettivi in cui avvennero gli scontri (Egerup, 2004) e che più di 700 pozzi petroliferi furono fatti esplodere, bruciando una media giornaliera di quasi 6 milioni di barili per quasi dieci mesi causando emissioni stimate tra i 130 e i 140 milioni di tonnellate di CO₂ (Menhinick, 2016). Nel frattempo, circa 11 milioni di barili di petrolio greggio provenienti da unità di stoccaggio, oleodotti sabotati e petroliere si sono riversati nel Golfo

Persico, danneggiando tra i 400 e gli 800 km di costa (Roberts, 1992; Menhinick, 2016). Fu il più grande sversamento di petrolio della storia, superando di gran lunga i circa 3 milioni di barili riversati nel 1979 nel Golfo del Messico a causa del disastro del pozzo *Ixtoc I* e i quasi 4 milioni dell'incidente che nel 2010, al largo delle coste della Luisiana, sempre nel Golfo del Messico, ha coinvolto la *Deepwater Horizon*. L'impatto del petrolio sulla qualità dell'aria e del terreno, sugli habitat terrestri e marini e sulla biodiversità è stato immediato, grave e duraturo, danneggiando le risorse naturali e minacciando la salute umana.



Figura 1 - Incendi ai giacimenti petroliferi di Burgan, Kuwait. (Bruno Barbey, National Geographic)

Anche parte del suolo europeo, alla fine del secolo scorso, è stato segnato da gravi conflitti armati. Durante le guerre jugoslave, infatti, la quantità totale di ordigni utilizzati è stimata tra le 22 mila e le 79 mila tonnellate. Si contano inoltre innumerevoli siti industriali e impianti energetici danneggiati e distrutti da bombe e missili. Gli attacchi contro gli impianti petrolchimici hanno portato a livelli critici di inquinamento atmosferico. In particolare, si raggiunsero concentrazioni altissime di cloruro di vinile, anidride solforosa e clorocarburi. Le circa 150 mila ore di volo delle missioni NATO (*North Atlantic Treaty Organization*) nello spazio aereo sopra agli stati della allora Jugoslavia hanno portato alla dispersione di grandi quantità di NO_x e gas climalteranti. (Kurykin, 2001).

1.1.2 Il conflitto russo-ucraino

Sebbene la data di inizio della guerra tra Russia e Ucraina sia considerata il 24 febbraio 2022, il conflitto russo-ucraino cominciò molto tempo prima. Tra il 21 e il 22 novembre 2013 in Ucraina ha avuto inizio una serie di manifestazioni filo-europee, che prendono il nome di *Euromaiden*, per protestare contro la scelta del governo di sospendere le trattative mirate alla conclusione di un accordo di libero scambio tra Ucraina e Unione Europea. Le proteste sfociarono in una vera e propria rivoluzione e l'allora presidente Viktor Yanukovich fu destituito e costretto alla fuga il 22 febbraio 2014. Venne accusato dalla sua nazione di aver indirizzato al presidente russo Vladimir Putin una lettera in cui sollecitava l'intervento armato dell'esercito russo e delle forze di polizia sul suolo ucraino per ristabilire l'ordine e impedire le manifestazioni della popolazione. La Repubblica autonoma di Crimea rispose a sua volta con delle manifestazioni filorusse seguite dall'intervento di forze militari russe, prive di insegne, volto alla conquista delle più importanti infrastrutture e dei centri amministrativi della regione. Con l'intervento ufficiale delle forze armate russe, l'11 marzo 2014, la Crimea venne annessa alla Russia. In diverse città ucraine scoppiarono rivolte filorusse che sfociarono in scontri armati tra le forze secessioniste e l'esercito ucraino. Negli anni le trattative portarono i governi russo e ucraino a siglare trattati di pace che però vennero violati da entrambe le parti fino ad arrivare all'invasione dell'Ucraina da parte della Russia il 24 febbraio 2022. Lo scontro tra queste due nazioni è considerato in Europa il conflitto più devastante dal 1945 ad oggi (Vanholder et al, 2022).



Figura 2



Figura 3

Figura 2 e 3- Accumulo di infrastrutture e veicoli vicino alla città russa di Yelnya, circa 260 km a nord del confine con l'ucraina. (19 ottobre 2021 – 29 dicembre 2021, Planet)

L'impatto ambientale di una guerra di questo calibro, considerando la mobilitazione di un elevato numero di mezzi di trasporto e l'utilizzo di un gran quantitativo di armamenti, sta avendo ed avrà, anche a lungo termine, effetti devastanti sia sugli ecosistemi naturali che sulla salute umana. Bisogna inoltre considerare che le bombe colpiscono raffinerie, depositi di carburante e impianti industriali, mentre intere foreste bruciano. Falde e terreni vengono contaminati e molti centri di depurazione delle acque e dighe sono stati distrutti (Mastrodonato, 2023). Gli stessi comandi ucraini hanno fatto saltare innumerevoli sbarramenti idrici a nord della capitale, rovinando infrastrutture ed ecosistemi, pur di rallentare l'avanzata delle colonne corazzate russe che si impantanano nelle aree allagate (Cremonesi et Gabanelli, 2023). Anche Svitlana Grynchuk, assistente del ministro dell'Ambiente dell'Ucraina, durante la Cop27 parla del conflitto non solo come una guerra, ma anche come un vero e proprio ecocidio.

1.2 Obiettivi

Con questo studio si vogliono analizzare le varie sfaccettature dell'impatto climatico e ambientale che il conflitto russo-ucraino sta avendo ed avrà sugli stati coinvolti e non solo. In particolare, si vogliono quantificare le emissioni in atmosfera e i danni causati dall'inquinamento, dal deterioramento del suolo, dal danneggiamento della biodiversità e degli ecosistemi e dall'alterazione dei sistemi idrici. Viene posta particolare attenzione sulle emissioni di gas climalteranti e il calcolo della corrispettiva quantità di anidride carbonica equivalente (CO₂e), analizzando il ruolo che hanno nella loro produzione le varie attività connesse alla guerra. L'obiettivo ultimo è quindi quello di mostrare quanto il conflitto russo-ucraino abbia un ruolo importante a livello ambientale, causando danni sia alle regioni direttamente interessate, sia a zone più o meno vicine, andando a toccare anche aspetti climatici su più ampia scala. L'analisi di questo conflitto vorrebbe inoltre dare un'idea chiara dell'impatto che una guerra ha sul pianeta, permettendo la comprensione su scala più ampia della gravità, anche sotto il punto di vista climatico e ambientale, di tutti i conflitti.

1.3 Inquadramento

La ricerca si focalizza soprattutto sulle regioni più coinvolte dal conflitto, in particolare la zona sudorientale dell'Ucraina (Lugansk e Donetsk). Queste zone, in cui avvengono principalmente i combattimenti, sono infatti fondamentali per capire gli effetti della guerra. In particolare, come si può vedere più avanti, la maggior parte delle esplosioni, degli incendi, del movimento di mezzi pesanti e più in generale delle attività legate alle operazioni militari avviene qui. Bisogna sottolineare che a risentire delle problematiche ambientali generate dal conflitto o da attività ad esso legate non saranno solamente gli stati coinvolti; infatti, i fenomeni di inquinamento possono spostarsi verso aree più o meno vicine (Meng et al, 2023).

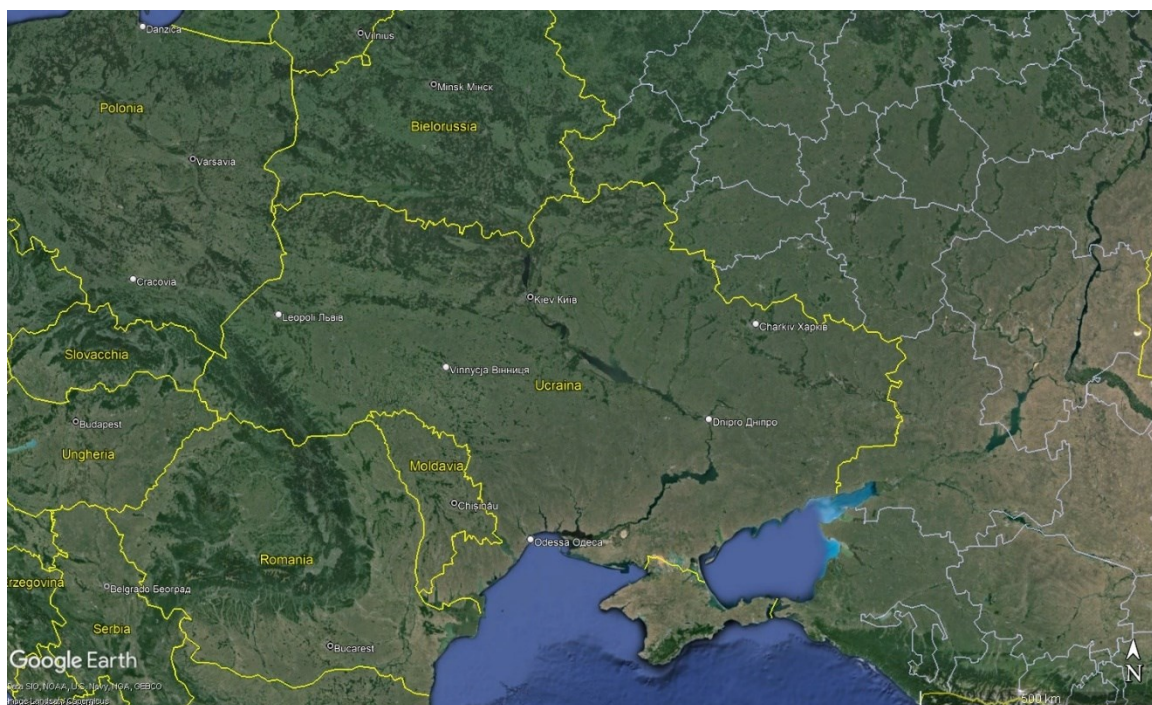


Figura 4 – Mappa di inquadramento delle zone di interesse: Ucraina e Paesi confinanti. (Google Earth Pro, 2 marzo 2024)

Si porrà inoltre l'attenzione ai cambiamenti che il conflitto ha imposto, anche indirettamente, al resto dell'Europa e del mondo. La guerra in corso ha influenzato e influenzerà le fonti di produzione energetica di tutti quegli stati che dipendevano dal gas proveniente dalla Russia, prima della guerra maggior fornitore di gas naturale in Europa (Cavuto, 2022). Infatti, le nazioni europee che hanno deciso di sostenere la causa ucraina hanno diminuito drasticamente i rapporti commerciali con la Russia, in particolare l'importazione di combustibili fossili. Per sopperire al fabbisogno energetico, alcuni di

questi stati, hanno dovuto cambiare, almeno in parte, le loro fonti di energia e si sono visti costretti ad utilizzare metodi più arretrati e meno ecologici per produrla. Sarà analizzato anche il fatto che per alcune compagnie aeree si è reso necessario l'allungamento delle rotte civili perché, oltre a non poter volare sopra le zone direttamente interessate dalla guerra, alcuni paesi hanno chiuso i loro spazi aerei impedendo il sorvolo a velivoli di compagnie appartenenti a Paesi considerati nemici. Si stima inoltre che, a conflitto finito, la ricostruzione di infrastrutture e città sarà causa di emissioni di quasi 50 milioni di tonnellate di anidride carbonica. Dal punto di vista economico, aggiungendo la necessità di bonifica del territorio e di gestione degli ordigni inesplosi, si calcola che dopo la guerra saranno necessari circa 1000 miliardi di euro (Bompan, 2023).

Paradossalmente, d'altro canto, la guerra porta allo spopolamento delle aree più colpite e alla conseguente riduzione delle attività umane. In queste zone diminuisce quindi l'impatto antropico sull'ambiente e sugli ecosistemi favorendo un recupero della vegetazione e della biodiversità. Questo fenomeno è stato osservato, ad esempio, in Afghanistan (Zhang et al, 2023), nella zona demilitarizzata coreana (Lawrence et al, 2015) e nella "zona morta" di Cipro (Constantinou et al, 2020).

2 Materiali e metodi

2.1 Materiali

Per la ricerca di informazioni di carattere scientifico è stata consultata la piattaforma *Scopus* e altre piattaforme dedicate alla pubblicazione di articoli scientifici come *Google Scholar* e *Nature* andando ad approfondire le fonti di questi articoli per trovare dati e notizie utili. Sono stati esaminati report dell'IPCC (*Intergovernmental Panel on Climate Change*), del JRC (*Joint Research Center*) della Commissione Europea e fonti provenienti da EFFIS (*European Forest Fire Information System*) che è una delle tre componenti di EMS (*Emergency Management Services*) di Copernicus. Sono inoltre stati utilizzati dati numerici provenienti dalla presentazione di Lennard de Klerk alla *Climate Change Conference* delle Nazioni Unite a Bonn. Il suo discorso alla conferenza è disponibile su *Youtube* e i risultati del suo studio sono scaricabili (si possono trovare i *link* di entrambi nella sitografia alla fine dell'elaborato). Altri dati utilizzati provengono dall'università di economia di Kiev KSE (*Kiyv School of Economics*). Alcune informazioni di cronaca o comunque di carattere generale sono invece state prese da testate giornalistiche nazionali ed internazionali. Si vuole tuttavia sottolineare che per eseguire calcoli sono stati utilizzati ed elaborati solo dati numerici provenienti da report ufficiali e articoli scientifici.

Gli autori di ogni articolo sono citati in testo ed è inoltre presente la bibliografia in ordine alfabetico alla fine dell'elaborato. Alcuni articoli, non presentando l'autore, saranno comunque citati e sarà presente il riferimento alla provenienza dell'articolo (es: Greenpeace, 2023). Anche questi saranno presenti nella bibliografia finale. Ogni immagine è accompagnata dalla didascalia contenente (tra parentesi) la fonte di provenienza. Come materiali di supporto sono stati consultati siti e programmi per la visualizzazione di mappe esplicative o foto. I *link* per accedervi sono riportati in ordine cronologico di consultazione in fondo all'elaborato nella sezione "sitografia" mentre di seguito sono brevemente descritte le loro funzionalità.

La NASA (*National Aeronautics and Space Administration*) fornisce un sistema di osservazione dei dati e delle informazioni detto EOSDIS (*Earth Observing System Data and Information System*); in particolare la sezione FIRMS (*Fire Information for Resource Management System*) permette di visualizzare gli incendi e le anomalie termiche sul planisfero. Attraverso EOSDIS è anche possibile osservare dati storici e in tempo reale

della temperatura della superficie terrestre, della qualità dell'aria e della quantità di polveri e aerosol.

Planet fornisce immagini e dati satellitari giornalieri, alcune delle foto presenti in questo progetto provengono da questa piattaforma che permette, in alcuni casi, di visualizzare le aree di interesse prima e dopo un particolare evento che le ha colpite. Alcune delle immagini acquisite dal satellite di Planet sono condivisibili e utilizzabili a scopo non commerciale (atto BY-NC 2.0) *.

È inoltre stata consultata una mappa creata da Greenpeace in collaborazione con l'ONG (organizzazione non governativa) ucraina Ekoair. Essa illustra i casi in cui il grave danno all'ambiente ucraino è stato causato dall'aggressione russa, dimostrandolo con immagini satellitari. Greenpeace riferisce di essere riuscita a fornire prove solo per il 10 per cento dei disastri ambientali connessi al conflitto, a causa della difficoltà nell'acquisire immagini satellitari valide. Questo processo di riconoscimento dei danni è fondamentale non solo per il monitoraggio e la futura ricostruzione ecologica, ma anche per un eventuale richiesta di risarcimento da parte dell'Ucraina. La consultazione di questa mappa ha permesso di individuare alcune delle zone soggette a danni ambientali consistenti o con un elevato rischio di catastrofi di questo tipo.

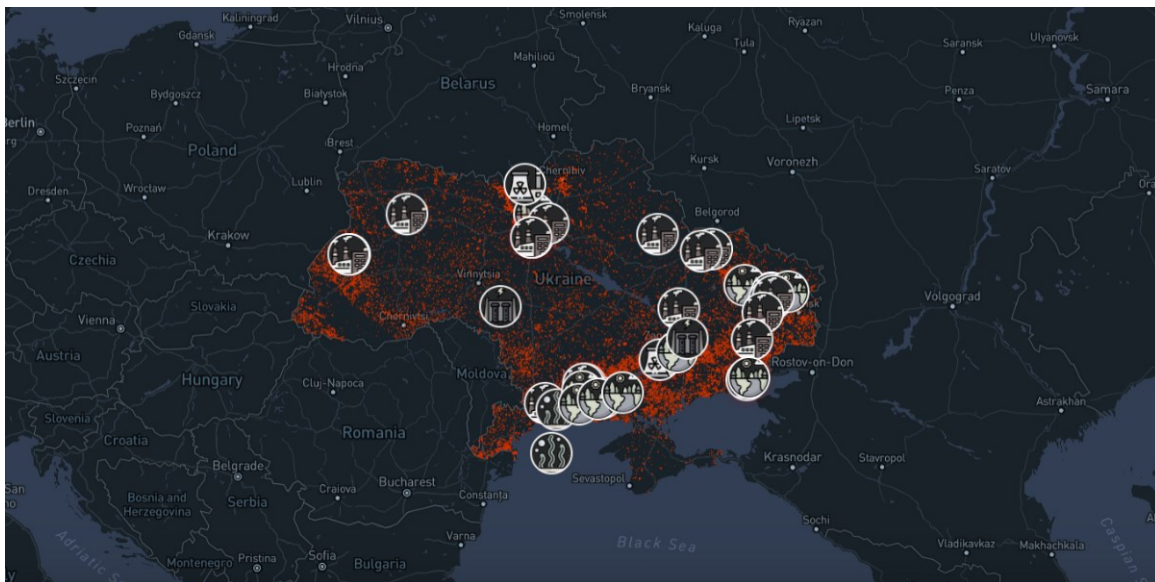


Figura 5 - Mappa per la visualizzazione di danni ambientali, incendi e anomalie termiche. (Danni ambientali in Ucraina, Greenpeace in collaborazione con Ekoair, 2022.)

*Atto CC BY-NC 2.0 | Attribuzione-Non commerciale 2.0 Generico | Creative Commons

Per visualizzare le rotte aeree (modificate a causa del conflitto) è stato sfruttato il software *Flightradar24* che permette di seguire in tempo reale il percorso dei voli e avere informazioni circa i tempi di viaggio, la compagnia aerea che se ne occupa e il tipo di aereo.

2.2 Metodi

Questa tesi è stata progettata e sviluppata sulla base di analisi della bibliografia scientifica, della letteratura grigia e di risorse documentali e di reportistica reperite sul web.

Oltre ai dati relativi al periodo del conflitto sono stati utilizzati anche dati raccolti prima dello scoppio della guerra. Questo approccio permette di fare un confronto tra i due scenari e offre una più chiara visione circa il reale effetto che la guerra sta avendo sul clima e sull'ambiente. Le immagini sono state inserite anche a questo scopo: infatti spesso mostrano le differenti condizioni in cui versa una area di studio prima e dopo essere stata interessata dagli scontri o l'evoluzione che una situazione segue. Sono state prese in considerazione anche alcune informazioni relative ad altri conflitti che potessero in qualche modo risultare utili al fine di calcolare l'impronta carbonica e i danni ambientali della guerra russo-ucraina.

Oltre alle operazioni di raccolta di dati sono stati effettuati calcoli e costruite tabelle mediante l'utilizzo del programma *Microsoft Excel*[®]. La totalità di queste è infatti stata creata dall'autore con l'utilizzo del programma appena citato, così come la maggior parte dei grafici. I grafici non prodotti dal sottoscritto sono facilmente riconoscibili poiché presentano nella didascalia la fonte di provenienza.

3 Risultati e discussione

Il conflitto russo-ucraino sta avendo un notevole impatto sull'ambiente atmosferico, in particolare ucraino, ma anche su tutto il resto dell'Europa. Le principali fonti di emissioni di sostanze inquinanti dovute alla guerra sono le seguenti: le polveri provenienti dai siti crollati, il maggior sfruttamento del settore dei trasporti, l'incremento del consumo di prodotti petroliferi (benzina, diesel, olio combustibile pesante, cherosene), gli incendi boschivi, il danneggiamento di impianti industriali, l'esplosione e la produzione di munizioni (Kabakian, 2006; Pereira et al, 2022). Il forte aumento di emissioni in Ucraina ha fatto sì che a Kiev, il 19 marzo 2022, sia stato registrato un indice della qualità dell'aria 27,8 volte superiore alle raccomandazioni dell'Organizzazione Mondiale della Sanità (The Kyiv Independent, 2022) che impongono un limite di $5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ per il $\text{PM}_{2.5}$ e $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ per l' NO_2 . L'inquinamento, tuttavia, non si limita alle zone strettamente interessate dal conflitto, ma si estende su gran parte dell'Europa. L'espansione del fenomeno sarebbe infatti favorita dalle vaste aree di terreno pianeggiante nella zona nordorientale dell'Europa, che permette ai venti di diffondere più efficacemente queste emissioni. Sono inoltre state trovate prove di esplosioni anche sul territorio russo a Belgorod (Reuters, 2022a) e moldavo a Tiraspol (Reuters, 2022b).

Si è notato che già nelle prime settimane dopo l'inizio della guerra, l'AQI (Air Quality Index) ha subito un forte peggioramento. In particolare, a seguito dei due maggiori attacchi russi nella prima fase del conflitto, l'inquinamento dell'aria in Europa accusa un brusco aumento, raggiungendo un valore considerato "molto malsano" nella scala AQI (Meng et al, agosto 2023).



Figura 6 - Andamento AQI durante la prima fase del conflitto. (Abrupt exacerbation in air quality over Europe after the outbreak of Russia-Ukraine war, Xue Meng et al, agosto 2023.)

Dall'immagine precedente (*Figura 6*) si vede chiaramente, oltre ai due picchi, una tendenza all'aumento dell'AQI in Europa, che indica che l'impatto della guerra sulla qualità dell'aria si protrarrà per tutta la sua durata ed oltre (Meng et al, 2023). In particolare, di seguito, saranno analizzate nello specifico le emissioni di CO₂ equivalente, NO_x e PM_{2,5}.

3.1 Emissioni di gas climalteranti

I *GreenHouse Gases* (GHG), detti anche gas climalteranti o ad effetto serra, sono gas che incidono sul bilancio energetico della terra, trattenendo in atmosfera il calore. Essi sono naturalmente presenti in atmosfera, se però, come sta accadendo negli ultimi anni, la loro concentrazione aumenta, il calore viene trattenuto. Infatti, se il bilancio tra il calore che entra in atmosfera sotto forma di energia radiante e quello che ne esce non risulta nullo, si ha un accumulo di calore e un conseguente aumento delle temperature globali. L'origine di questi gas può essere sia naturale che antropogenica, tuttavia, in tempi scala umani, sono principalmente le attività antropogeniche ad influenzare i cambiamenti di quantità di gas serra in atmosfera. Tra i principali GHG troviamo il biossido di carbonio (CO₂), il vapore acqueo (H₂O), il metano (CH₄), l'ossido nitroso (N₂O), l'ozono (O₃) e i clorofluorocarburi. Vapore acqueo e ozono hanno un tempo di residenza in atmosfera molto breve e non sono quindi considerati influenti sul clima globale.

Per comprenderne l'impatto climatico è utile, più che osservare la produzione dei singoli gas in quanto tali, calcolare la quantità di CO₂ equivalente, che permette di ponderare emissioni di gas serra diversi in base ai loro effetti climalteranti. Per calcolare la CO₂ equivalente la massa di un dato gas serra viene moltiplicata per il suo potenziale di riscaldamento globale (GWP).

GWP years	gas climalterante				
	CO ₂	CH ₄	N ₂ O	CCl ₂ F ₂	CHClF ₂
20	1	72	289	11000	5160
100	1	25	298	10900	1810
500	1	7.6	153	5200	549

Tabella 1 – Global Warming Potential dei principali gas ad effetto serra.

I conflitti, in generale, portano ad un aumento dell'attività antropica non solo per la necessità di produrre armi e mezzi e per il loro utilizzo, ma anche, ad esempio, per la ricostruzione degli edifici danneggiati o distrutti. Indubbiamente questo fa sì che le

emissioni di GHG aumentino. Si calcola che in un anno siano stati prodotti circa 119 milioni di tonnellate di CO₂e legati al conflitto russo-ucraino. Questa quantità corrisponde all'ammontare prodotto nello stesso quantitativo di tempo da uno stato come il Belgio (de Klerk, 2023).

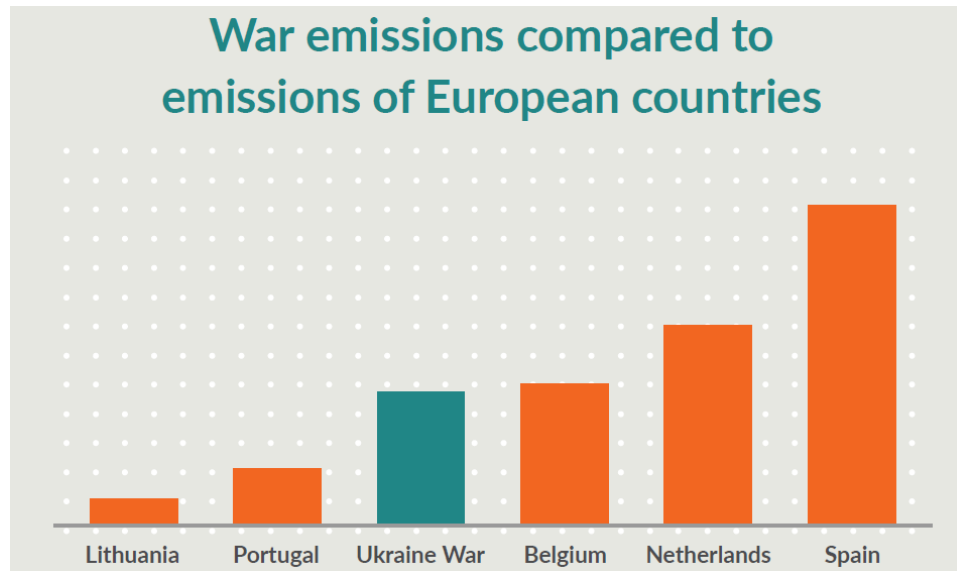


Figura 7 - Confronto tra le emissioni annue della guerra russo-ucraina e quelle di alcuni stati europei. (Climate damage caused by Russia's war in Ukraine, de Klerk, 1° giugno 2023)

Di seguito si vuole approfondire l'argomento, discutendo e quantificando le emissioni di gas climalteranti. Per analizzarle verranno suddivise in base alle diverse attività e ai diversi settori legati alla guerra che le originano. Sarà utilizzata come unità di riferimento la CO₂ equivalente. Si analizzeranno in primo luogo le emissioni derivanti direttamente dalle attività belliche che comprendono:

1. combustione di carburante per lo spostamento di soldati, mezzi leggeri e pesanti, aerei e navi;
2. l'esplosione di ordigni quali bombe, missili e proiettili;
3. la combustione di foreste e altre aree naturali, terreni agricoli e zone antropizzate originata dall'elevato numero di incendi di causa bellica;
4. la futura ricostruzione di edifici e infrastrutture abbattuti o danneggiati durante il conflitto.

L'attenzione verrà in seguito posta su tutti quei settori che, anche se non direttamente coinvolti dal conflitto, hanno dovuto adattarsi alle condizioni imposte dalla guerra,

coesistendo con essa. I settori principalmente colpiti da questo fenomeno, anche a livello europeo e globale sono:

5. l'aviazione civile: molte rotte hanno infatti subito modifiche per l'impossibilità di sorvolare lo spazio aereo sovrastante le zone interessate dal conflitto;
6. la produzione di energia, in particolare nel continente Europeo che, prima dello scoppio della guerra, dipendeva in parte dall'importazione di gas naturale dalla Russia e che si è visto costretto a trovare altre fonti per sopperire a questa improvvisa mancanza.

Sarà inoltre riportata una stima delle emissioni di CO₂ equivalente che saranno prodotte durante la futura ricostruzione di tutte quelle strutture e edifici che sono stati distrutti o danneggiati irreparabilmente dalla guerra.

3.1.1 Combustione di carburante

L'uso di carri armati e di veicoli corazzati, l'utilizzo di aerei ed elicotteri, lo spostamento delle truppe e il trasporto di armamenti, materiali bellici e approvvigionamenti necessitano di un enorme consumo di carburante. Un carro armato di medie dimensioni consuma infatti tra i due e i tre litri di carburante per ogni chilometro, arrivando fino a un dispendio di circa 5 litri per chilometro in quelli più grandi. Gli aerei da guerra consumano tra i 5 mila e i 15 mila litri per ora di volo (circa 100 metri con un litro di combustibile).

A guerra in corso, tuttavia, è molto complicato reperire dati circa il numero di ore delle missioni di volo, il numero impiegato di carri armati e di altri mezzi, nonché i chilometri percorsi da ogni singolo veicolo.

Si è optato quindi per un approccio indiretto che si basa sulla stima della quantità giornaliera di carburante utilizzato in media da ogni soldato considerando tutte le attività militari connesse sia allo spostamento di truppe e materiali, che al rifornimento di beni e servizi, che all'utilizzo di velivoli, navi e mezzi terrestri leggeri e pesanti.

L'azienda di servizi di consulenza e revisione Deloitte, una delle più importanti al mondo in questo settore, ha pubblicato nel 2009 un report chiamato Energy Security – America's Best Defense. In questo studio riguardante la crescente dipendenza dai combustibili fossili

nei periodi di guerra, viene analizzato, tra le altre cose, il consumo medio di carburante giornaliero per ciascun soldato.

L'analisi prende in considerazione i vari conflitti, dalla Seconda guerra mondiale in poi, e fa notare come il consumo medio di carburante aumenti linearmente con l'avanzare degli anni. In particolare, vengono prese in considerazione le guerre che hanno visto coinvolto l'esercito statunitense e i loro consumi di carburante. Non trattandosi di un modello basato su informazioni direttamente riguardanti gli eserciti coinvolti in questa guerra, i calcoli possono essere affetti da errore. Per questa ragione sarà in seguito definito un range entro il quale si pensa che i reali valori possano essere contenuti. Grazie alla retta di regressione possiamo stimare il consumo di carburante (giornaliero e per ogni soldato) di una guerra combattuta in questi anni.

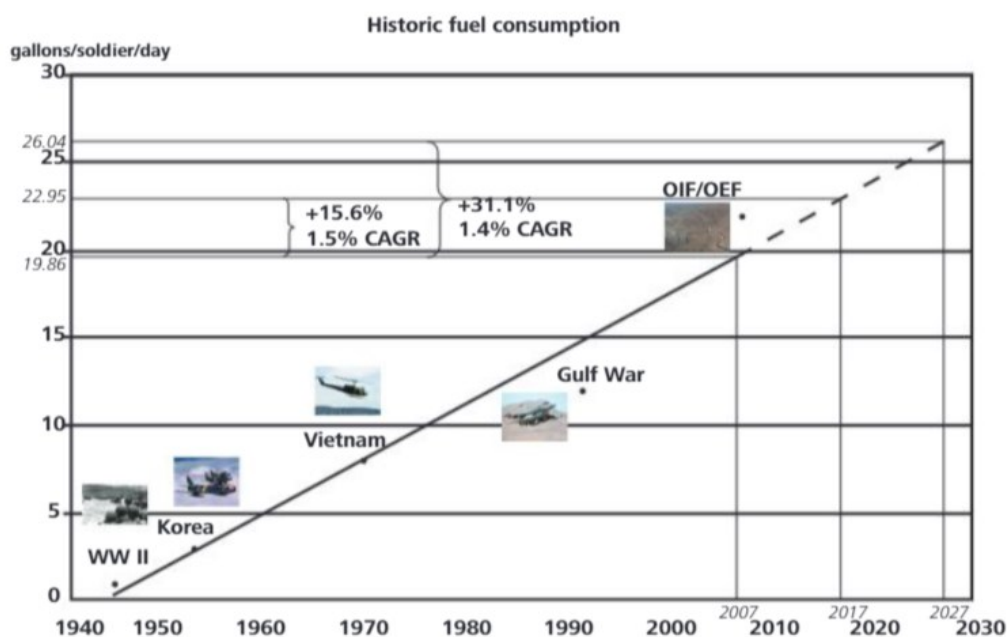


Figura 8 – Consumo di carburante al giorno per ogni soldato. (Deloitte, 8 settembre 2009)

La retta di regressione ha funzione:

$$y = 0,3091 * x - 600,51$$

con x che assume il valore 2023 (media <2022,2023,2024>). Il valore di y risulta di 24.7993 galloni di carburante. Convertendo il risultato in litri, moltiplicandolo per 3.785, si ottiene un volume V=93.865 litri per soldato ogni giorno.

Il coefficiente di determinazione, indice che misura il legame tra la variabilità dei dati e la correttezza del modello statistico utilizzato, è 0.9517.

Si stima che, mediamente, combattano al fronte circa 200 mila soldati ucraini e 350 mila soldati russi, per un totale di circa 550 mila soldati. Moltiplicando il risultato di V sopra ottenuto per il numero di soldati e per la durata, ad oggi, del conflitto (circa 730 giorni) otteniamo la quantità totale di carburante utilizzato.

$$V_{tot} = V * 550000 * 730 = 37.687 * 10^9 \text{ litri}$$

I mezzi impiegati nel corso dei combattimenti sfruttano principalmente tre tipi di carburanti:

- gasolio (la cui combustione emette circa 2,64 kg di CO₂ per litro);
- benzina (la cui combustione emette circa 2,30 kg di CO₂ per litro);
- cherosene (la cui combustione emette circa 2,52 kg di CO₂ per litro).

Assumendo una media di circa 2,5 kg di CO₂ per litro di carburante consumato, si ottiene un'emissione totale pari a:

$$E_c = V_{tot} * 2,5 = 94.218 * 10^9 \text{ kg di CO}_2$$

Ovvero circa 94 milioni di tonnellate di CO₂.

È necessario considerare che i conflitti combattuti dall'esercito degli Stati Uniti hanno avuto luogo sempre in territori lontani dai loro confini, ragion per cui il trasporto di truppe e materiali ha sicuramente richiesto un elevato quantitativo di carburante. Anche l'esercito russo, vista la vastità del territorio, ha probabilmente dovuto richiamare uomini e mezzi da territori lontani dal fronte. L'Ucraina riceve aiuti e armamenti che provenendo da moltissimi paesi, comportano l'uso di carburante per essere spostati. Vi è inoltre un fattore di incertezza legato alle possibili diversità nella composizione degli eserciti e nei mezzi utilizzati. Inoltre, l'effettivo numero di soldati che combatte al fronte è cambiato nel corso degli oltre due anni di guerra a causa delle perdite tra le fila di entrambi gli schieramenti e il reclutamento di nuove forze, in particolare da parte dell'esercito russo.

Per questo motivo, oltre all'incertezza data dal modello stesso, sarà aggiunto un ulteriore margine di errore e si andrà a considerare un intervallo che va dal 20% in meno al 20% in più del valore stimato matematicamente.

Si ottiene quindi un range che va da un valore minimo di circa 75 milioni di tonnellate di CO₂ ad un valore massimo di circa 113 tonnellate di CO₂.

3.1.2 Incendi legati al conflitto

Oltre ai bombardamenti e all'esplosione di missili e altri ordigni, gli incendi di origine bellica possono derivare da azioni tatticamente mirate a distruggere risorse, infrastrutture e materiali nemici. Vengono spesso presi di mira campi destinati all'agricoltura, depositi di armi e carburante; tuttavia, anche le foreste non sono risparmiate dagli incendi. Queste in particolare sono importanti riserve di carbonio che una volta bruciate liberano in atmosfera enormi quantità di gas climalteranti. Gli incendi possono essere innescati dall'esplosione di ordigni o volontariamente appiccati per mettere in difficoltà le forze militari nemiche.

A seguito dello scoppio della guerra, infatti, il numero di incendi ed in particolare la quantità di ettari bruciati da questi è aumentata esponenzialmente.

Se all'inizio della guerra le conquiste russe furono abbastanza rapide, dopo qualche mese la controffensiva ucraina iniziò a mettere in discussione la supremazia bellica delle forze armate russe arrestandone l'avanzata. Dopo qualche mese, infatti, si ha una stabilizzazione del fronte; gli scontri diventano più statici e il conflitto si trasforma in una guerra di logoramento.

Già nei primi mesi di conflitto si erano verificati incendi e anomalie termiche nelle zone interessate dagli scontri e nelle loro vicinanze, tuttavia, con un fronte definito, appare più nitida l'influenza che la guerra sta avendo sugli incendi.

Questo incremento è visibile anche a livello satellitare: FIRMS (*Fire Information for Resource Management System*) utilizza dati e immagini satellitari della NASA (*National Aeronautics and Space Administration*) per creare una mappa globale delle anomalie termiche, per lo più provenienti da incendi o dalla presenza di grandi quantità di fumi e vapori molto caldi. Queste anomalie sono rappresentate sulla carta dai puntini rossi. Le mappe (*Figura 9 e 10*) mostrano appunto l'enorme differenza tra l'anno antecedente allo scoppio del conflitto e il primo anno successivo all'inizio della guerra, nelle immagini in esame tra giugno e luglio. In particolare, si può osservare come sul fronte, nelle zone più interessate al conflitto, la concentrazione di incendi e anomalie termiche sia notevolmente più elevata. Le immagini fanno riferimento alle 4 settimane che vanno dal 4 giugno al 1° luglio rispettivamente del 2021 e del 2022.

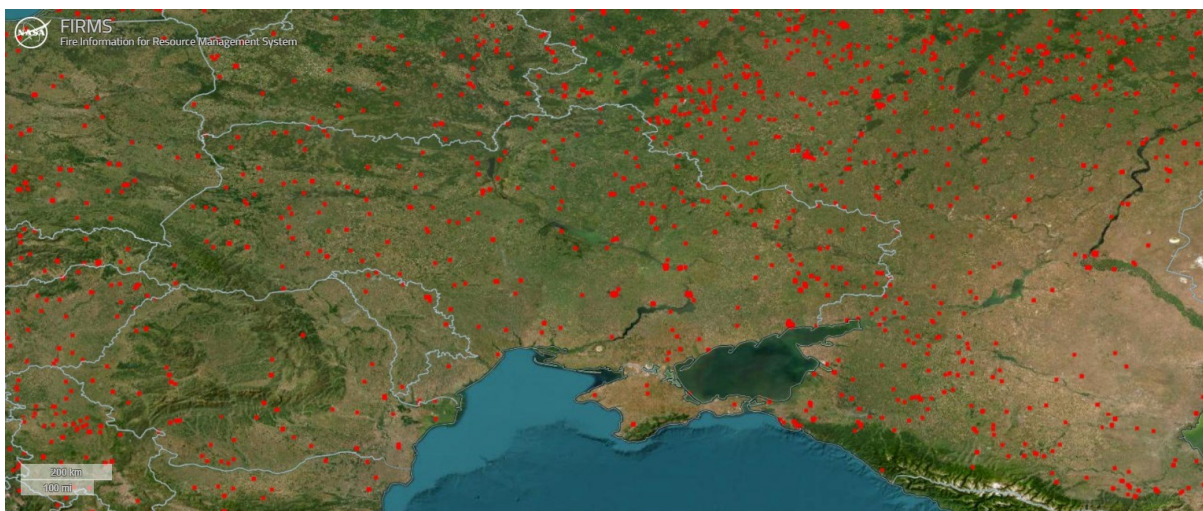


Figura 9 – Incendi in Ucraina nelle 4 settimane dal 04/06/21 al 01/07/21, prima dell'inizio della guerra. (FIRMS, 20 febbraio 2024)

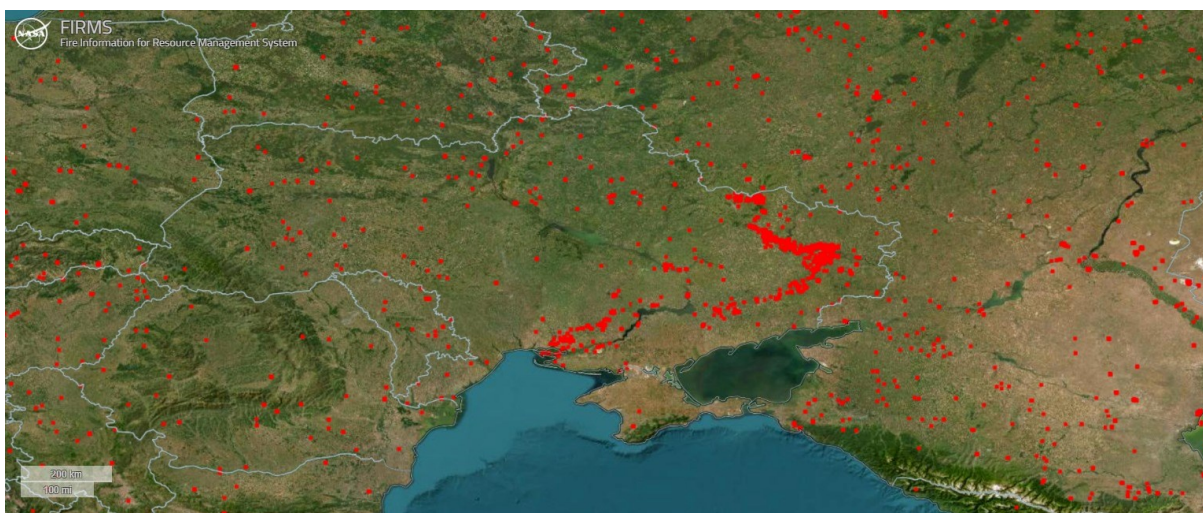


Figura 10 - Incendi in Ucraina nelle 4 settimane dal 04/06/22 al 01/07/22, prima dell'inizio della guerra, (FIRMS, 20 febbraio 2024)

Il sistema informativo geografico EFFIS (*European Forest Fire Information System*) è una delle tre componenti di EMS (*Emergency Management Services*) di Copernicus, ramo del programma spaziale dell'Unione Europea volto all'osservazione della Terra, studiando in particolare il pianeta nelle sue caratteristiche climatiche e ambientali. Secondo i dati riportati da EFFIS, che considera però solo gli incendi che interessano superfici maggiori o uguali a 30 ettari, la superficie di territorio ucraino bruciata nel 2022, anno di inizio del conflitto, è di circa 260 mila ettari, contro i circa 27 mila dell'anno precedente; mentre nel 2023, con la guerra ancora in corso, sarebbero andati a fuoco circa 214 mila ettari. Le stime del JRC (*Joint Research Center*) per la Commissione Europea, che considerano anche gli incendi di minore entità, rivelano che nel primo anno di guerra è stata soggetta ad incendi

una superficie di quasi 500 mila ettari contro i circa 28 mila dell'anno precedente (Jesus San-Miguel- Ayanz et al.).

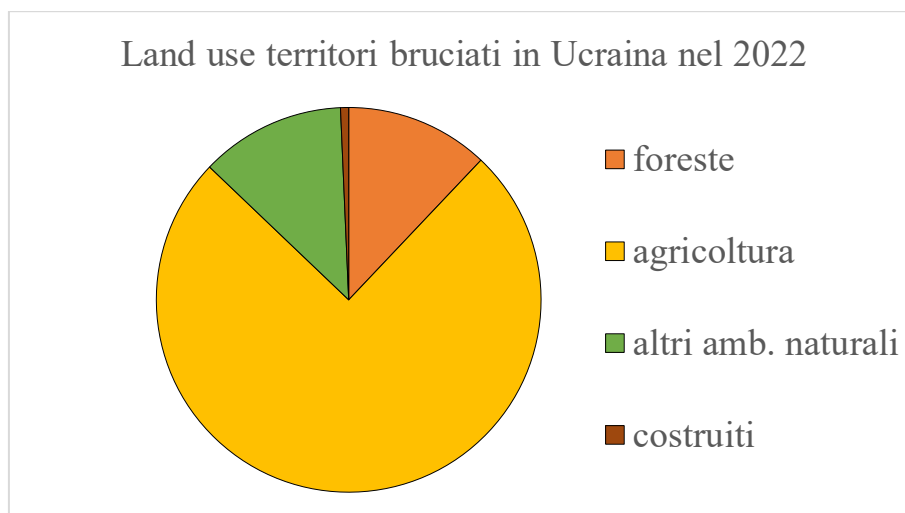


Figura 11 – Grafico della suddivisione dell'uso del suolo dei territori colpiti da incendi.

Nella tabella sottostante sono riportati i dati riguardanti gli ettari di territorio ucraino bruciati secondo le stime dei rapporti annuali del Joint Research Center, i cui dati riguardano l'anno antecedente allo scoppio della guerra e il primo anno di conflitto (San-Miguel-Ayaz et al, 2022; San-Miguel-Ayaz et al, 2023). Verrà inoltre calcolata la superficie effettiva di territorio bruciato dagli incendi causati dalla guerra sottraendo ai valori registrati durante il conflitto quelli dell'anno precedente.

land use	superficie bruciata (ettari)				
	foreste	agricoltura	altro	costruiti	totale
2021	5413	8211	14190	52	27866
2022	60184	374355	60780	3392	498711
land use	a causa del conflitto (ettari)				
	foreste	agricoltura	altro	costruiti	totale
2022	54771	366144	46590	3340	470845

Tabella 2 – Superficie di territorio ucraino incendiata nel 2021, nel 2022 e a causa del primo anno di conflitto.

Considerando che EFFIS non considera gli incendi che insistono su aree inferiori ai 30 ettari, valori riportati da questa fonte saranno sottostime dei valori reali. Tuttavia, poiché il rapporto del 2023 che il JRC stila per la Commissione Europea non è ancora reperibile, i dati provenienti da EFFIS possono rappresentare bene il rapporto di territorio bruciato nel 2023 e rispetto agli anni precedenti. Si calcola infatti che il territorio colpito dagli incendi causati dal conflitto nel 2023 sia circa l'80% di quello bruciato in conseguenza della guerra

nel 2022. Questa stima risulta verosimile poiché, come detto in precedenza, col passare del tempo il fronte si è stabilizzato e di conseguenza gli incendi interessano zone più circoscritte.

Una volta trovata la superficie bruciata come conseguenza della guerra nel 2023 si possono sommare i dati relativi ai due anni di conflitto per ottenere una stima della superficie totale colpita dagli incendi, divisa per tipo di uso del suolo.

	Superficie bruciata a causa del conflitto (ettari)				
land use	foreste	agricoltura	altro	costruiti	totale
2022	54771	366144	46590	3340	470845
2023	43816.8	292915.2	37272	2672	376676
2022-23	98587.8	659059.2	83862	6012	847521

Tabella 3 – Stima della superficie di territorio ucraino totale colpita degli incendi causati dal conflitto.

Conoscendo il *land use* dei territori colpiti dagli incendi si può fare una stima di quanti gas serra siano stati liberati dalla loro combustione. Per quanti riguarda gli incendi che hanno colpito le foreste si utilizza un approccio abbastanza semplice per il calcolo del quantitativo di gas climalteranti prodotti. Infatti, è stato stimato (Bun et al, 2024) che la combustione di un ettaro di foresta produca circa:

- 240 tonnellate di CO₂;
- 733 chilogrammi di CH₄;
- 40 chilogrammi di N₂O.

Si può allora risalire alla produzione totale di questi gas causata dagli incendi che hanno colpito le foreste (causati dal conflitto) e convertirla poi in CO₂ equivalente moltiplicando ciascun gas per il suo GWP (*global warming potential*).

FORESTE	kg GHG/ha			T GHG tot			GWP			TOT
	CO ₂	CH ₄	N ₂ O	CO ₂	CH ₄	N ₂ O	CO ₂	CH ₄	N ₂ O	CO ₂ eq
98587.8	240000	733	40	23661072	72264.86	3943.512	1	25	298	26642860.01

Tabella 4 – Produzione di gas climalteranti proveniente da incendi di foreste ucraine causati dal conflitto.

Per calcolare le emissioni di gas climalteranti prodotte dalla combustione di zone agricole e di aree naturali come praterie e zone ricche di arbusti si utilizzerà invece un metodo più complesso. L'IPCC (*Intergovernmental Panel on Climate Change*) ha fornito, nel 2006, le linee guida per gli inventari nazionali dei gas serra. Questa pubblicazione consente di

calcolare il quantitativo di gas climalteranti prodotti da vari settori e attività ma anche da disastri naturali come gli incendi. Conoscendo la copertura del suolo si può infatti risalire, grazie alle tabelle fornite dall'IPCC alla massa secca di combustibile e di conseguenza, attraverso il fattore di combustione, al totale in massa di materiale combusto.

	Area	Massa secca	Fatt. comb.	Tot. comb
	A (ha)	Mb (ton/ha)	Cf	Mtot (ton)
agricoltura	659059.2	7.1	0.8	3743456.256
altri amb nat	83862	7.6	0.72	458892.864

Tabella 5 – Incendi insistenti su terreni agricoli e ambienti naturali (non foreste) causati dal conflitto.

Seguendo le linee guida dell'*Intergovernmental Panel on Climate Change* si riesce inoltre a risalire alla quantità di gas climalteranti prodotta dalla combustione di una tonnellata di combustibile bruciato. Si può allora calcolare il totale di CO₂, CH₄ e N₂O prodotte nei primi due anni di guerra a causa degli incendi di queste aree. Moltiplicando i dati appena ottenuti per il GWP di ciascun gas prodotto si può risalire alla CO₂ equivalente.

	kg GHG per ton bruciato			GHG (ton)			Tot (ton)
	CO ₂	CH ₄	N ₂ O	CO ₂	CH ₄	N ₂ O	CO ₂ eq
agricoltura	1515	2.7	0.07	5671336	10107.33	262.041938	6002108.02
altri naturali	1613	2.3	0.21	740194.2	1055.454	96.3675014	795298.045
tot							6797406.07

Tabella 6 – Produzione di gas climalteranti proveniente da incendi di terreni agricoli e naturali (non foreste) causati dal conflitto.

Sommando la quantità di CO₂ equivalente prodotta dagli incendi che hanno interessato le foreste a quella prodotta da incendi che hanno bruciato altre zone naturali o aree destinate all'agricoltura si ottiene un totale di anidride carbonica equivalente di circa 33.4 milioni di tonnellate. A questo dato bisogna poi sommare il contributo in termini di GHG degli incendi che hanno coinvolto aree urbane e ambienti costruiti (durante i quali sono stati bruciati svariati materiali come plastica e legno) oltre ai prodotti della combustione di derivati del petrolio stoccati in depositi e dati alle fiamme. Si stima infatti che solo dopo il primo anno di guerra fossero già state prodotte oltre 2.5 milioni di tonnellate di CO₂ equivalente provenienti dalla combustione di edifici, infrastrutture e altre costruzioni antropiche.

3.1.3 Esplosione di bombe, missili e munizioni

Già dopo un anno dall'inizio del conflitto, le stime parlavano di circa 320 mila ordigni (bombe e missili di grosso calibro) esplosi sul territorio ucraino (Watts, 2023). Tra questi sono stati utilizzati anche missili Iskander contenenti 480 chilogrammi di polvere da sparo e bombe aeree ad alta potenza con circa mille chilogrammi di tritolo. Va inoltre considerato il contributo di proiettili per cannoni e carri armati, proiettili per sistemi di razzi a lancio multiplo, droni esplosivi, proiettili da mortaio, oltre 8 milioni di mine antiuomo e anticarro, granate e cartucce per armi leggere (Bum, 2024) In particolare, nei periodi in cui gli scontri sono stati più intensi, è stato calcolato che, solo dall'esercito russo, siano stati sparati più di 60 mila proiettili al giorno (de Klerk, 2023).



Figura 12 – Lanciarazzi pesante multiplo russo TOS-1. (Vectorkel)

Perché le reazioni chimiche possano avvenire, nella maggior parte degli esplosivi utilizzati in ambito militare, è presente un elevato contenuto di ossigeno che durante la detonazione, a temperature elevate, si combina con atomi di carbonio e idrogeno formando CO_2 , CO e altri gas, alcuni dei quali ad effetto serra.

Si stima infatti che il lancio di missili e proiettili e la loro esplosione nel punto di impatto abbiano causato la produzione di circa 284 mila tonnellate di CO_2 equivalente in un anno e mezzo di guerra (Bun, 2024). Questo valore raggiunge circa le 380 mila tonnellate se si considerano i due anni di conflitto. Tuttavia, la maggiore causa alla base delle emissioni di

CO₂ legate agli armamenti non risiede nel loro utilizzo, ma nella loro produzione. Stime conservative affermano che, considerando anche questo contributo, la CO₂ equivalente emessa in correlazione con l'utilizzo di armi nella guerra tra Russia e Ucraina si aggirava, dopo il primo anno, intorno ai due milioni di tonnellate (de Klerk). Si calcola quindi, che dopo due anni dall'inizio del conflitto, la produzione e l'utilizzo di bombe, missili, proiettili e mine ha causato l'emissione di circa quattro milioni di tonnellate di anidride carbonica equivalente.

3.1.4 Futura ricostruzione di edifici e strutture

Al di là dell'impatto economico e sociale e di tutte le ripercussioni negative che la distruzione degli edifici sta avendo ed avrà sull'Ucraina, è importante, in particolare per questo studio, analizzare la quantità di gas climalteranti che saranno prodotti a causa della futura ricostruzione delle città interessate dal conflitto. Infatti, più del 40% della CO₂ equivalente calcolata come prodotto della guerra è in realtà stimata sull'energia, i materiali, i trasporti e tutto ciò che sarà necessario per riedificare le città distrutte dagli scontri (de Klerk, 2023). La produzione di anidride carbonica proveniente dalla costruzione di un edificio varia notevolmente a seconda delle dimensioni e dai materiali impiegati per realizzarlo, nonché dalla loro provenienza. Si stima ad esempio che un'abitazione possa portare all'emissione di un quantitativo di CO₂ compreso tra le 15 e le 100 tonnellate (Moseman, 2022). Questo valore può variare notevolmente; infatti, per la costruzione di una casa, oltre ai materiali usati comunemente nelle costruzioni (cemento, mattoni, acciaio) ma anche materiali diversi come alluminio, plastica, legno, vetro e rame. L'impronta carbonica di questi materiali può cambiare in base alla loro origine, all'estrazione della materia prima, alla lavorazione che subiscono, e alla lunghezza del percorso che devono percorrere per arrivare alla loro destinazione finale. Ad ogni modo le emissioni di gas climalteranti derivanti dalla costruzione di edifici sono enormi; basti pensare che l'industria del cemento è una delle principali, a livello globale, per produzione di anidride carbonica e che per creare una tonnellata di questo materiale si emette in atmosfera circa lo stesso quantitativo di CO₂ in termini di massa (Di Stefano, 2021).

Nell'ultimo anno il conflitto tra Russia e Ucraina è diventato più statico, il fronte è più definito e tutte quelle azioni militari volte ad indebolire il nemico radendo al suolo case e palazzi e distruggendo edifici sono diminuite. I bombardamenti aerei si sono ridotti in

favore di combattimenti e azioni militari via terra. Nonostante ciò, si calcola che, dopo appena un anno dall'inizio della guerra, i danni che l'Ucraina ha subito dal punto di vista della distruzione di edifici, infrastrutture e altre costruzioni ammontano ad un totale di circa 140 miliardi di dollari arrivando ad oltre 150 miliardi dopo un anno e mezzo (Kyiv School of Economics, 2023).

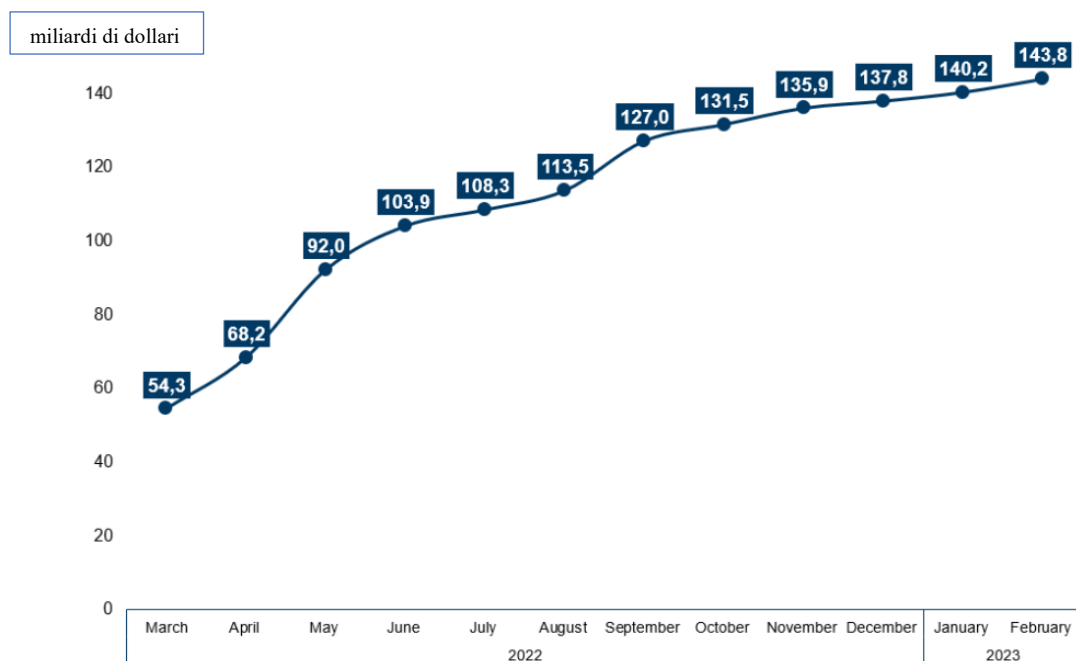


Figura 13 – Andamento anni economici a edifici e infrastrutture in miliardi di dollari nel primo anno di guerra (KSE, marzo 2023)

In particolare, nell'autunno del 2023 si contavano circa 148 mila case e oltre 19 mila condomini distrutti. Il numero di ponti abbattuti supera i 340 e si registrano più di 25 mila chilometri di strade devastate e almeno 18 aeroporti danneggiati. Considerando anche altre infrastrutture come ferrovie, fognature e parchi, si arriva ad un totale di quasi 40 miliardi di dollari. I danni al settore industriale superano gli 11 miliardi di dollari che comprendono almeno 426 imprese private in aggiunta a quelle pubbliche. Anche il settore dell'istruzione ucraina, dal punto di vista edile, ha accusato gli attacchi russi; sono infatti state distrutte o danneggiate oltre 3,5 mila strutture educative tra scuole materne, primarie e secondarie o istituti superiori e universitari. Si contano oltre 1200 strutture mediche distrutte di cui quasi 400 ospedali (KSE (Kyiv School of Economics), 2023).

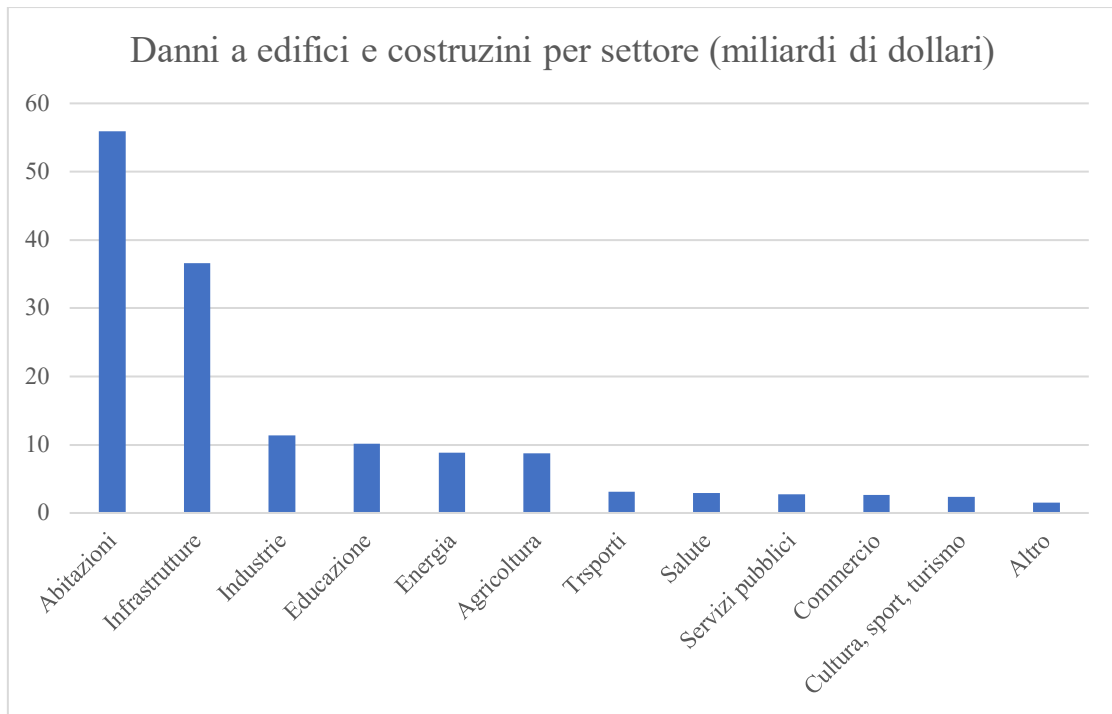


Figura 14 – Divisione per settori dei danni (in miliardi di dollari) a costruzioni e edifici ucraini.

Come si può vedere nella figura sottostante le regioni più soggette a danni riguardanti edifici e infrastrutture sono quelle più interessate dal conflitto, ovvero Donetsk, Kiev, Luhansk, Kharkiv, Mykolaiv, Chernihiv, Kherson e Zaporizhia.

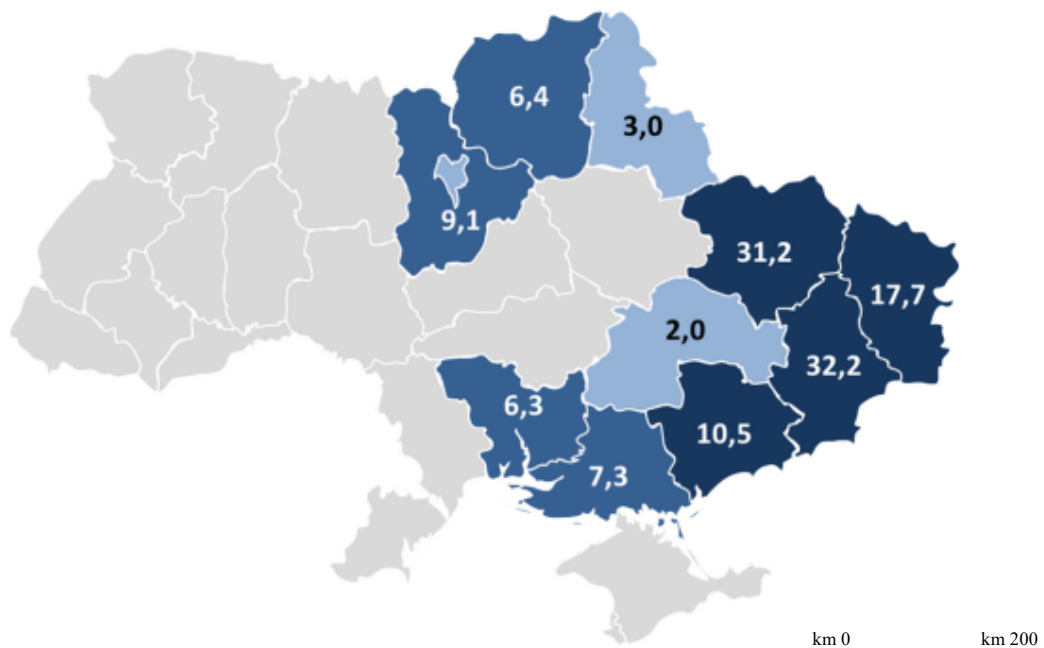


Figura 15 – Danni in miliardi di dollari divisi per regioni (KSE, marzo 2023)

I danni a edifici e infrastrutture accusati dall'Ucraina richiederanno la ricostruzione di intere porzioni di città. Si stima che la riedificazione delle strutture distrutte e danneggiate dopo un anno di conflitto causerà una produzione di anidride carbonica equivalente superiore alle 50 milioni di tonnellate (de Klerk). Considerando l'andamento logaritmico dei danni (quantificati a livello economico) visibile in *Figura 13* si calcola che a due anni dall'inizio della guerra, la CO₂ equivalente necessaria alla ricostruzione ucraina si aggiri attorno alle 70 milioni di tonnellate.



Figura 16



Figura 17

Figura 16 e 17 – Ponte sul fiume Desna prima e dopo la distruzione (Planet, 26 e 28 febbraio 2022)

Durante il conflitto, sono avvenuti anche innumerevoli attacchi strategici alla rete elettrica e, per fare fronte alla carenza di elettricità, sono stati importati in Ucraina oltre 120 mila generatori, alcuni anche molto grandi per soddisfare il fabbisogno energetico di interi quartieri urbani. Kiev riferisce inoltre che i bombardamenti hanno distrutto la quasi totalità degli impianti per la produzione di energia eolica e buona parte di quelli per la produzione di energia solare. In questo modo, il settore delle energie rinnovabili, che, anche se nato da poco, produceva in Ucraina l'11% dell'elettricità nazionale è quasi completamente fuori uso (Cremonesi et Gabanelli, 2023).

3.1.5 Deviazione delle rotte aeree civili e commerciali

In seguito all'inizio del conflitto, la chiusura dal punto di vista civile e commerciale dello spazio aereo ucraino e i divieti di sorvolo emessi sia dai paesi occidentali che dalla Russia, costringono molti voli a compiere tratte più lunghe e conseguentemente più dispendiose sia in termini economici che di tempo e carburante.

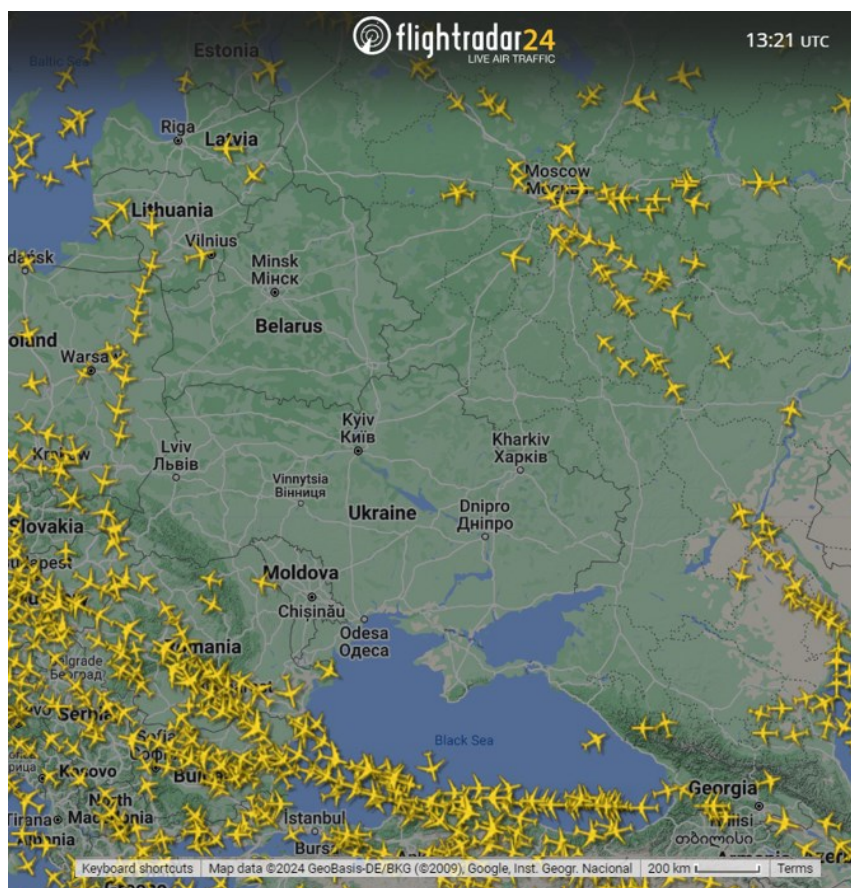


Figura 16 – Spazio aereo ucraino evitato dalle rotte civili. (flightradar24, 26 febbraio 2024)

Oltre a non poter sorvolare, a causa dei pericoli direttamente connessi alla guerra, lo spazio aereo sovrastante le zone interessate dal conflitto, la Russia ha imposto alle compagnie aeree di Stati Uniti, Unione Europea e dei Paesi a loro alleati, il veto di sorvolare il territorio russo e viceversa. Le rotte devono quindi letteralmente aggirare le zone in cui il traffico aereo è proibito o considerato pericoloso creando problemi sia di carattere economico, logistico ed organizzativo, che di durata dei viaggi che consumano quindi molto più carburante producendo enormi quantità di gas climalteranti. Ad esempio, un volo Londra-Tokyo, che normalmente durava 11 ore, dopo lo scoppio della guerra richiede una rotta diversa e il viaggio arriva a durare fino a 15 ore (de Klerk, 2023).

ASIAN CITY PAIRS: CHANGES IN DISTANCE FLOWN PRE/POST-UKRAINE INVASION

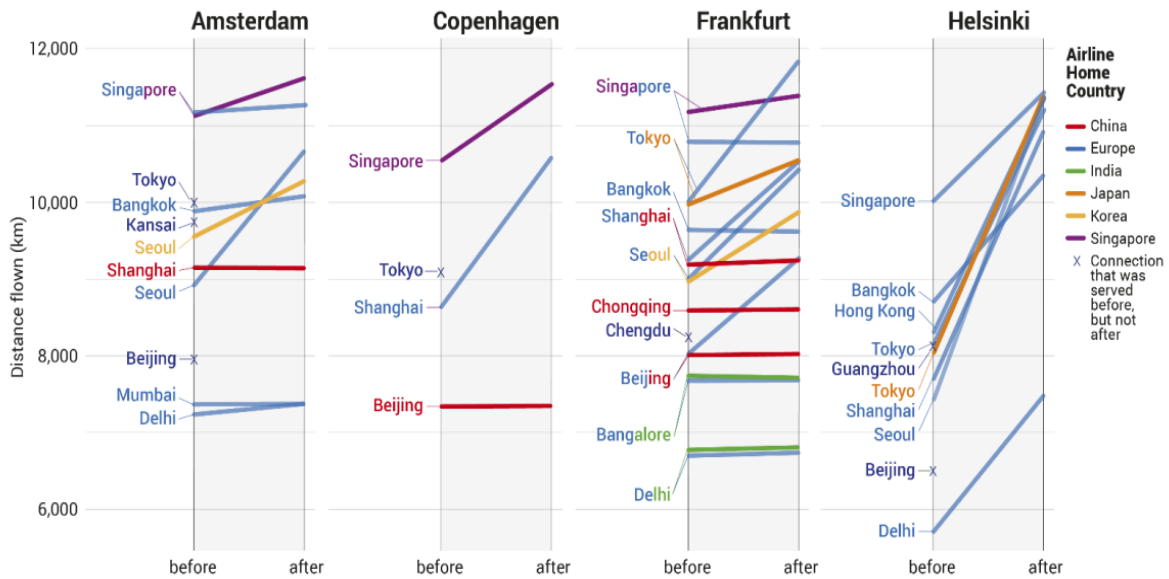


Figura 17 – Lunghezza di alcune rotte Europa-Asia prima e dopo l’inizio del conflitto (Eurocontrol, 12 aprile 2022)

Oltre a essere economicamente svantaggioso, la necessità di compiere voli più lunghi impone un più elevato consumo di carburante; questo fa sì che vengano emesse in atmosfera maggiori quantità di GHG. Considerando la totalità dei voli costretti a deviare a causa del conflitto, è stato calcolato che nel primo anno che ha seguito lo scoppio della guerra russo-ucraina, l’aviazione civile abbia prodotto circa 12 milioni di tonnellate di anidride carbonica in più rispetto all’anno precedente (de Klerk, 2023). Si stima quindi che a due anni dall’inizio del conflitto, l’allungamento delle rotte sia causa di oltre 20 milioni di tonnellate di anidride carbonica.

Si stima, ad esempio, che durante un volo intercontinentale di sola andata con decollo da Helsinki (Finlandia) ed atterraggio a Bangkok (Thailandia) vengano prodotte circa 1.5 tonnellate di CO₂ per ogni passeggero (myclimate). Il volo, che “in linea d’aria” sarebbe di circa ottomila chilometri, aumenta di circa un terzo il percorso che deve compiere per evitare le zone che non possono essere sorvolate, aumentando di conseguenza le emissioni di gas climalteranti. Considerando l’aereo del volo che è stato preso in esame (Airbus A350-900), il totale dei passeggeri ammonterebbe a circa 300 (Finnair, 2024). Si calcola quindi che un volo di sola andata da Helsinki a Bangkok produca, a causa dell’allungamento della rotta dovuto alla guerra, circa 150 tonnellate di anidride carbonica in più rispetto al periodo precedente al conflitto.

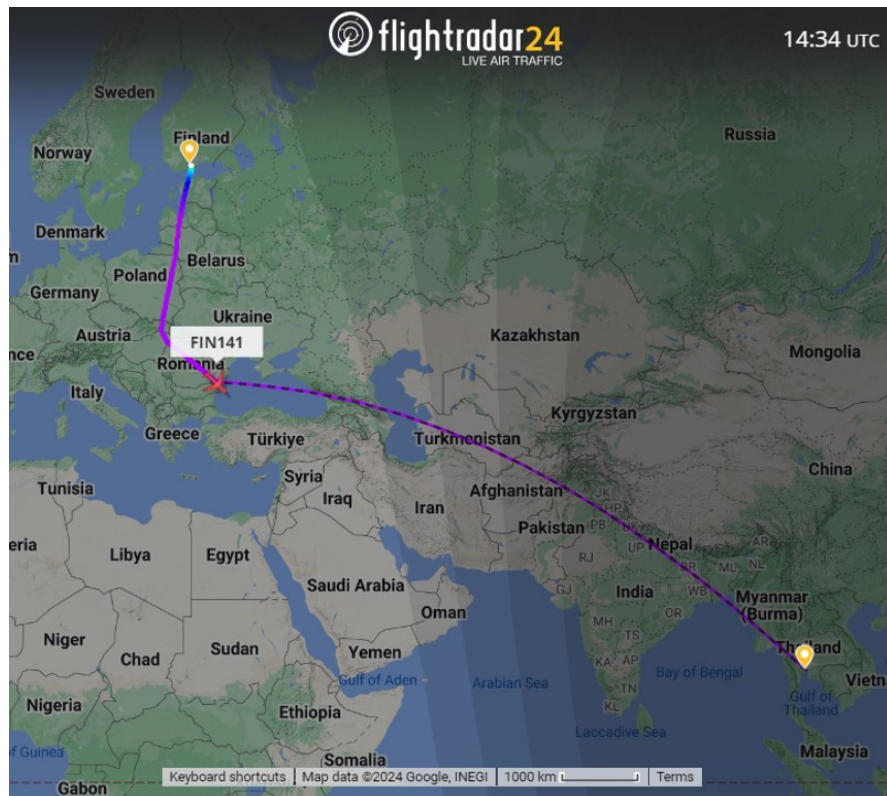


Figura 18 – Allungamento rotta Helsinki-Bangkok per aggirare le zone interessate dal conflitto o “vietate”.
(flightradar24, 26 febbraio 2024)

3.1.6 Regresso dei metodi di produzione di energia

Si considerano quindi le emissioni causate dall'aumento dell'utilizzo del carbone come fonte di energia nel resto d'Europa. Nel 2022 il prezzo del gas naturale ha subito un notevole aumento dovuto alla guerra russo-ucraina. Nello stesso anno il continente ha registrato una estrema siccità, con un conseguente calo della produzione di energia idroelettrica. In quel periodo anche il nucleare subiva un arresto in Europa a causa delle improvvise interruzioni della produzione di energia di alcune centrali in Francia e della chiusura di alcune unità tedesche. Questa crisi del sistema elettrico europeo è stata fortunatamente mitigata da una maggior produzione eolica e solare e da un calo della richiesta di elettricità, probabilmente a causa dell'aumento dei prezzi. Il restante deficit, però, è stato colmato attraverso combustibili fossili, in particolare di carbone (più economico del gas). La Germania, ad esempio, ha riaperto i reattori a lignite di Jaenschwalde e quelli a carbone di Niederaussem, inseriti dall'ONG britannica Ember al sesto e al terzo posto tra i più inquinanti d'Europa per produzione di CO₂. La produzione di

un kWh di energia elettrica proveniente dalla combustione del carbone produce però circa il doppio delle emissioni di CO₂ rispetto alla stessa quantità prodotta utilizzando gas naturale (Aresta, 2011).

Questo valore varia notevolmente a seconda di vari fattori, compresa la qualità del combustibile fossile, il tipo di impianto di generazione elettrica e le tecnologie di controllo delle emissioni impiegate. Di seguito si possono vedere i valori di emissione stimati per la produzione di un kWh a seconda che l'impianto utilizzi carbone, petrolio o gas naturale.

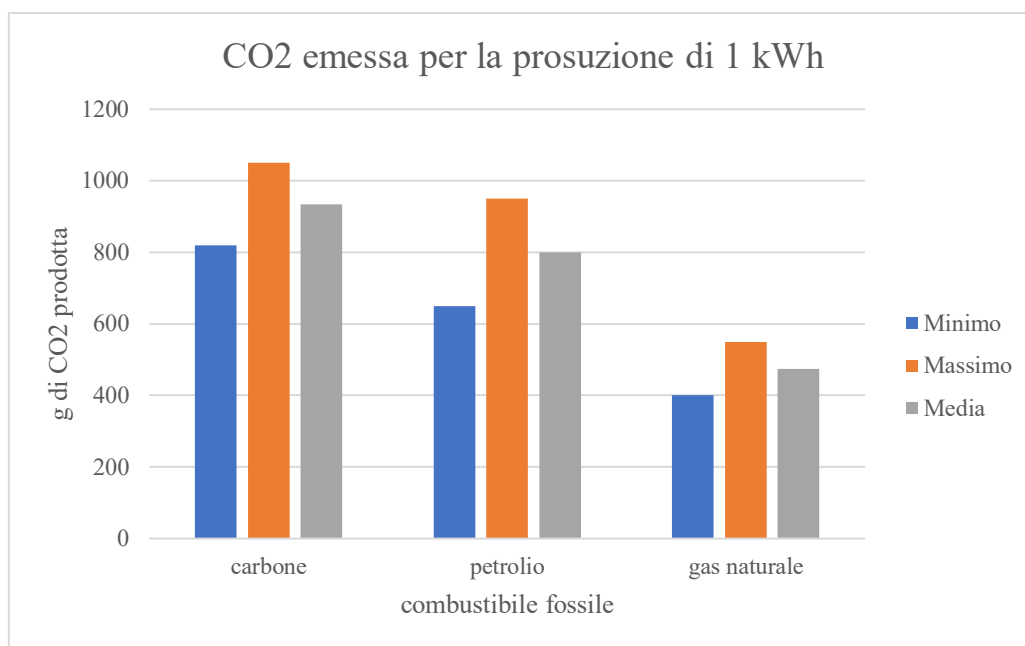


Figura 19 – Anidride carbonica emessa dai principali combustibili fossili (carbone, petrolio, gas naturale) per la produzione di 1 kWh

Nel 2022 l'energia prodotta da centrali a carbone è aumentata del sette per cento rispetto al 2021 e con essa sono aumentate le emissioni legate al settore energetico europeo di quasi quattro punti percentuali, ovvero 26 milioni di tonnellate di CO₂ (Jones, 2023). La maggior quantità di emissioni prodotte, però, non è da attribuire totalmente all'aumento del prezzo del gas; come riportato sopra, infatti, la crisi dell'idroelettrico e del nucleare ha avuto un ruolo importante nel parziale ritorno al carbone. Tuttavia, le emissioni causate dall'aumento dell'utilizzo del carbone come fonte di energia a discapito del gas naturale di provenienza russa ricoprono un ruolo da non sottovalutare nella quantificazione delle emissioni di gas climalteranti causati dalla guerra in Ucraina. Si stima invece che negli anni a venire, visto la richiesta in continuo calo e la sempre maggior quantità di energia prodotta da fonti

rinnovabili, le emissioni legate alla produzione energetica siano destinate a diminuire (Jones, 2023).

3.2 Altri inquinanti

3.2.2 Emissioni di NO_x

Con NO_x si indicano gli ossidi di azoto e le loro miscele: sostanze ritenute tra gli inquinanti atmosferici più pericolosi.

In particolare, studiando la quantità di biossido di azoto (NO₂) e la sua influenza sull'indice della qualità dell'aria, si nota che l'improvviso scoppio della guerra tra Russia e Ucraina ha portato ad un aumento del livello di nitrati non solo nelle zone in cui il conflitto è in corso, ma anche in quelle vicine (Signorile, 2023). L'AQI riferito al biossido di azoto è infatti peggiorato nel periodo successivo allo scoppio della guerra. Gli studi, per poter fornire dati accurati e significativi, hanno considerato anche le condizioni meteorologiche, le attività antropiche indipendenti dal conflitto e la situazione post-pandemica (Meng et al, 2023). Isolando le emissioni di biossido di azoto di origine bellica da quelle non legate ad essa, si ha infatti maggior chiarezza circa l'effetto della guerra sulle emissioni di NO₂.

Gli ossidi di azoto hanno origine dalle combustioni ad alta temperatura; gli incendi e le esplosioni legate alla guerra sono, assieme all'enorme consumo di carburante, la causa principale dell'aumento di NO_x registrato nell'aria. L'azoto è inerte a temperature contenute, ragione per cui non sarebbe un normale prodotto delle combustioni ideali. A causa delle elevate temperature che si raggiungono durante la combustione nei motori, le molecole di N₂ presenti nell'aria si dissociano in azoto atomico che, risultando estremamente reattivo, reagisce con l'ossigeno, anch'esso in forma atomica a causa della combustione, formando ossidi di azoto. Il successivo abbassamento di temperatura fa sì che questi non possano dividersi riformando azoto e ossigeno molecolare, creando come prodotto di scarto gli ossidi di azoto. L'NO_x inoltre può essere prodotto anche a partire da combustibili, che contenendo una minima parte di azoto, durante la combustione lo rilasciano sotto forma di ossidi. Durante il conflitto, infatti, svariati depositi di carburante (a Mykolaiv, Vasylykiv, Rovenky, Borodianka e Chernihiv) hanno subito bombardamenti; ci sono inoltre stati numerosi incendi in depositi di petrolio, stazioni di servizio, discariche

e impianti di riscaldamento. Anche l'incidenza degli incendi boschivi è aumentata notevolmente. Le esplosioni dei missili e l'utilizzo di armi ed artiglieria pesante sono un'ulteriore causa dell'aumento di ossidi di azoto.



Figura 20 – Incendio del porto di Berdyansk (Planet, 25 marzo 2022)

3.2.3 Emissioni di $PM_{2,5}$

Con $PM_{2,5}$ si identifica il “particolato fine”, ovvero le particelle il cui diametro è inferiore o uguale ai 2,5 micron. Queste particelle sono caratterizzate da lunghi tempi di permanenza in atmosfera e sono in grado di penetrare in profondità nel sistema respiratorio umano, causando gravi danni alla salute. Assieme alle PM_{10} (sempre dannose ma meno pericolose delle $PM_{2,5}$) formano le cosiddette polveri sottili.

Una delle fonti di $PM_{2,5}$ sono le moderne attrezzature belliche. In particolare, bombe ed esplosivi, che nello scontro tra Russia e Ucraina vengono utilizzate quotidianamente. La loro detonazione produce e solleva in atmosfera grandi quantità di polveri sottili. Queste armi, infatti, bersagliando qualsiasi tipo di struttura e portando al crollo degli edifici, danno luogo ad un processo di rottura e sgretolamento dei materiali che crea particelle di diverse

dimensioni, tra cui anche $PM_{2,5}$. (CEOBS, 2022). Bisogna inoltre prendere in considerazione le emissioni incontrollate di calore (Meng et al, 2023). Gli studi hanno infatti dimostrato che la generazione di $PM_{2,5}$ aumenta significativamente a temperature elevate (Aw et Kleeman, 2003; Zhao et al, 2022) e, come riportato in precedenza, la guerra aumenta sensibilmente il numero di incendi. Un'altra rilevante sorgente di $PM_{2,5}$, ma anche di NO_x e PM_{10} , è la combustione dei motori di aerei, auto e mezzi di trasporto in generale. I veicoli bellici in particolare hanno un forte impatto da questo punto di vista; un carro armato, ad esempio, consuma dai 200 ai 700 litri di combustibile per 100 chilometri (più di 50 volte il consumo di una normale automobile).

Gli studi confermano ciò che, considerando il forte legame tra attività belliche e produzione di polveri sottili, era normale ipotizzare. La quantità di $PM_{2,5}$ in atmosfera, infatti, è aumentata notevolmente nel periodo seguente allo scoppio della guerra (Meng et al, 2023).

3.2.4 Emissioni di amianto

L'amianto (o asbesto) è un materiale fibroso presente anche in natura, molto utilizzato in passato soprattutto in ambito industriale e nella produzione civile. Le fibre di amianto presentano infatti caratteristiche molto vantaggiose in questi settori poiché sono molto durevoli anche se soggette a temperature elevate e all'azione di agenti chimici e atmosferici, risulta inoltre notevolmente resistente all'azione meccanica; è flessibile al punto da poter essere filato ed è un ottimo isolante acustico avendo qualità fonoassorbenti. Tutte queste caratteristiche, sommate al basso costo e al fatto che i minerali da cui viene prodotto sono diffusi in natura, ha fatto sì che, in particolare nel secolo scorso, venisse ampiamente usato per molteplici scopi, dall'edilizia alla semplice produzione di oggettistica. I tre principali minerali da cui deriva sono il crisotilo, l'amosite e la crocidolite, dai quali si produce rispettivamente l'amianto bianco, bruno e blu (INAIL, 2022).

I minerali di amianto non sono pericolosi se vi si ha un contatto diretto. Tuttavia, se intaccati, tendono a sfaldarsi riducendosi in fibre molto sottili che si disperdono in aria aumentando il pericolo di essere inalate. Gli individui esposti all'inalazione sono soggetti a gravi patologie come il tumore ai polmoni, l'amianto risulta infatti una sostanza cancerogena anche in dosi basse e non esiste una soglia al di sotto della quale non ci sia

rischio (Redazione Green Planner, 2022). Per questo motivo sono state introdotte limitazioni al suo uso che ne hanno determinato, in Italia, la messa al bando nel 1992.

In Ucraina l'utilizzo di questa sostanza nell'edilizia è stato vietato però solo nel 2020 (Eurocorporation, 2022). La quasi totalità degli edifici del Paese colpito dal conflitto risalenti al periodo sovietico ha componenti fatte in amianto. Nei centri urbani del Donbass, in particolare, si trovano molti edifici risalenti a quest'epoca. La zona è tra le più coinvolte dai combattimenti e la distruzione delle parti in amianto degli edifici libera nell'aria particelle inalabili dall'uomo. Il minerale è stato utilizzato abbondantemente anche nel resto dell'Ucraina e secondo l'Osservatorio Nazionale Amianto, le fibre polverizzate nell'aria potrebbero produrre decine di migliaia di morti nei prossimi anni (Cremonesi et Gabanelli, 2023).

3.3 Suolo

Il conflitto russo ucraino sta infliggendo enormi danni al suolo, specialmente quello su cui si sta combattendo la guerra. L'esplosione di bombe e il passaggio di mezzi, soprattutto pesanti, distruggono la copertura del suolo e aumentano fenomeni di compattazione e di erosione (Abdo, 2018). Anche dal punto di vista dell'inquinamento il terreno su cui si sta combattendo sta accusando molto l'impatto della guerra. Gli attacchi su edifici, infrastrutture e impianti, che ne causano la distruzione e il deterioramento, stanno lasciando il suolo contaminato da metalli pesanti e altre sostanze tossiche (Cremonesi et Gabanelli, 2023). Le esplosioni di bombe aumentano drasticamente la presenza di metalli nel suolo, come evidenziato in diversi studi (Certini et al, 2013; Bromandi et al, 2020; Pereira et al, 2020) e si stima che già dopo un anno dall'inizio del conflitto fossero state abbandonate circa 230 mila tonnellate di rottami metallici provenienti da carri armati ed altre attrezzature belliche (Watts, 2023). Nei suoli delle aree bombardate si è infatti verificato un aumento del contenuto di metalli pesanti come manganese, ferro, cobalto, rame, cadmio, cromo, piombo e nichel, ma anche di sostanze radioattive (Solokha et al, 2023). Viste le difficoltà di eseguire analisi e ricerche in sito a causa del conflitto, i risultati provengono da studi satellitari o da analisi fatte su altri conflitti. Studi precedenti infatti hanno rilevato un aumento di metalli pesanti nelle zone interessate dalla Guerra del Golfo (Hussain et Gondal, 2008); nelle zone interessate da attività militari in Kuwait (Sadiq et al, 1992); sui suoli bombardati durante la Seconda guerra mondiale nei pressi di Berlino (Thestorff et Makki,

2022). È inoltre stata osservata una riduzione nel suolo dell'attività biotica e delle infiltrazioni d'acqua, ma anche di nutrienti chiave come carbonio e azoto (Solokha et al, 2023).

3.4 Biodiversità

L'Ucraina, pur occupando solo il 6 per cento del territorio europeo, riesce a rappresentare il 35 per cento della sua biodiversità ospitando più di 70 mila specie tra animali e vegetali, di cui quasi 1400 sono specie protette (Mastrodonato, 2023). Le foreste ricoprono quasi 10 milioni di ettari (più del 16 per cento della superficie del paese), di cui 59 mila sono foresta primaria, non alterata dall'uomo (Signorile, 2023).

Gli incendi bruciano i boschi, i bombardamenti e le esplosioni distruggono ecosistemi sia terrestri che acquatici e il passaggio di mezzi e macchinari pesanti riduce notevolmente la copertura vegetale del terreno. Visti i continui *blackout* elettrici e la mancanza di gas per il riscaldamento, il taglio delle foreste, anche per il riscaldamento domestico, è inevitabile (Signorile, 2023). Tutto questo porta ad una perdita di *habitat* e biodiversità nelle aree interessate dal conflitto. Infatti, circa un terzo delle foreste dell'Ucraina è stato danneggiato e il 20 per cento delle aree protette è a rischio (Mastrodonato, 2023). Numerosi parchi naturali e riserve sono sotto l'occupazione russa mentre ne sono già stati distrutti decine di migliaia di chilometri quadrati. Gli studi dicono che 750 specie vegetali e 600 animali sono a rischio (Cremonesi et Gabanelli, 2023). Si stima che siano legate allo scoppio e al perdurare della guerra le morti di oltre 50 mila cetacei. Molti uccelli marini che negli anni erano tornati a colonizzare le coste ucraine hanno visto il loro *habitat* distrutto. In Ucraina transitava inoltre un gran numero di uccelli migratori per spostarsi dall'Europa all'Asia, ma, a causa del conflitto, la maggior parte degli esemplari sono morti o hanno dovuto cambiare rotta col rischio di perdersi (Mastrodonato, 2023). Questi sono solo alcuni esempi di specie in difficoltà a causa della guerra.

Al contrario di ciò che si può pensare, però, le guerre possono avere anche effetti positivi sugli ecosistemi. Le popolazioni coinvolte nei conflitti tenderebbero infatti ad abbandonare le attività agricole favorendo lo sviluppo della vegetazione e il ritorno ad ecosistemi più naturali ed incontaminati. Casi di questo genere sono già stati osservati in passato ad esempio in Vietnam, Siria, Nicaragua e nei territori dove è stata combattuta la guerra

jugoslava. In Ucraina però sembrerebbe che i benefici che la natura trae da questo fenomeno siano minimi rispetto ai danni che la guerra sta arrecando agli ecosistemi (Solokha et al, 2023).

3.5 Acque

Sin dalle prime fasi del conflitto i danni alle fonti di approvvigionamento idrico ucraine sono stati evidenti. Infatti, mentre da un lato l'esercito russo cercava di indebolire le difese nemiche privandole di fonti di accesso alle risorse idriche, dall'altro le forze armate ucraine hanno allagato territori per rallentare l'avanzata dei mezzi corazzati invasori. Il 2 aprile 2022, ad esempio, lo stesso governo ucraino ha dovuto autorizzare la distruzione di una delle chiuse della diga idroelettrica Oskilsky, in modo da poter contrastare l'avanzata dell'armata russa. Si è così prosciugato il bacino idrico della diga, che serviva a mantenere costante la disponibilità di acqua delle regioni del Donetsk e del Luhansk, sino a Mariupol (Signorile, 2023). Dopo i bombardamenti da parte dell'esercito russo alle infrastrutture, avvenuti tra novembre e dicembre 2022, quasi 16 milioni di cittadini non hanno avuto accesso all'acqua potabile o hanno avuto difficoltà a reperirla (Cremonesi et Gabanelli, 2023).

Anche dal punto di vista dell'inquinamento la guerra sta provocando gravi danni ai bacini idrici. Infatti, nell'acqua fluiscono i residui dei bombardamenti di qualsiasi tipo di edificio (anche impianti industriali, chimici, acciaierie), che contengono sostanze tossiche come piombo, bauxite, mercurio, uranio impoverito, soda caustica, zinco e nichel (Cremonesi et Gabanelli, 2023). Oltre a queste sostanze pericolose, ai fiumi, e di conseguenza a laghi e mari, arrivano liquami non filtrati. Infatti, una volta colpiti i depuratori (o gli impianti elettrici che li alimentano), il loro funzionamento viene compromesso e le acque reflue non trattate raggiungono i corpi idrici.

Dal punto di vista idraulico, l'impatto più grande lo ha probabilmente avuto la distruzione della diga Nova Kakhovka, sul fiume Dnipro, avvenuta il 6 giugno 2023. Il suo abbattimento ha infatti riversato nel fiume un'enorme quantità d'acqua, rompendo gli argini e facendolo esondare. L'acqua, oltre ad allagare campi, aree protette ed insediamenti urbani; ha portato con sé almeno 150 tonnellate di olio idraulico e di altre sostanze pericolose come agrotossine e prodotti petrolchimici. Gli inquinanti, non solo si sono

riversati sui terreni vicini al fiume, ma sono stati trasportati fino al mar Nero con il rischio di arrivare a contaminare anche le coste della Bulgaria e della Romania. Con la distruzione della diga, inoltre, tutte quelle aree (agricole, urbane, industriali) che utilizzavano le acque del bacino di Nova Kakhovka si trovano a dover fare fronte ad enormi difficoltà di approvvigionamento idrico (Fesanella, 2023).

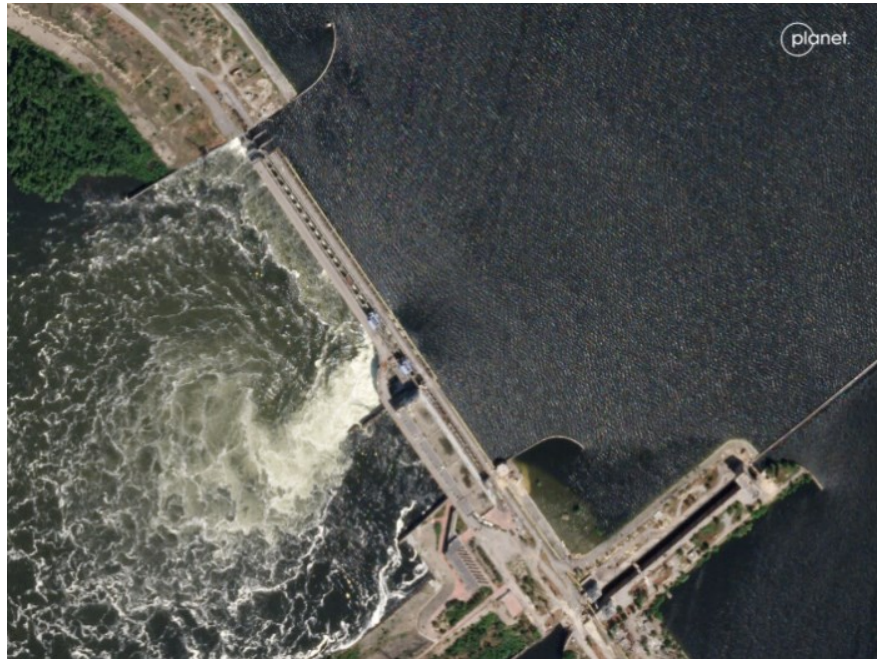


Figura 21

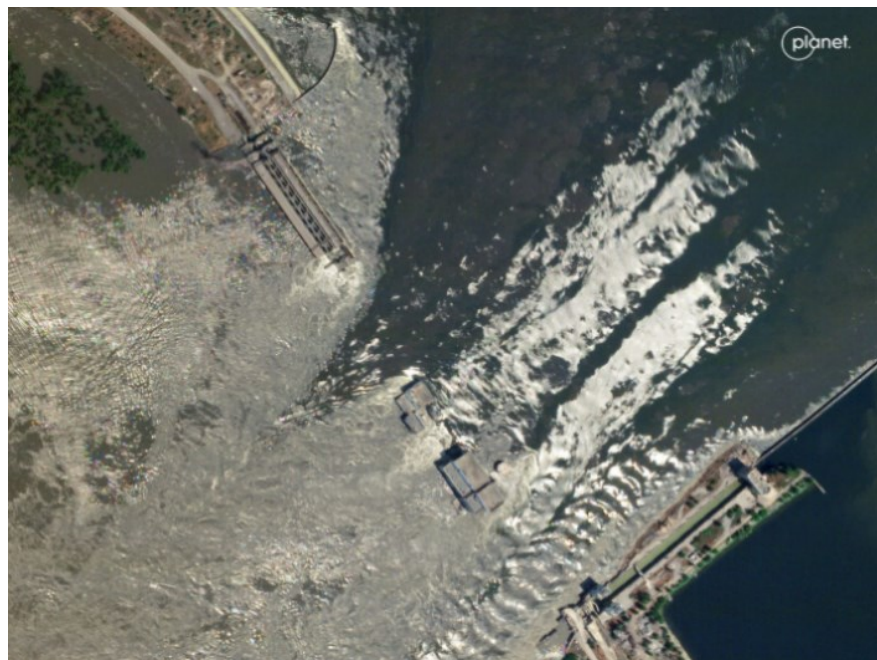


Figura 22

Figura 23 e 24 – Diga di Nova Kakhovka, prima e dopo la distruzione (Planet, 1 e 6 giugno 2023)

3.6 Radiazioni

Il 4 marzo 2022 l'esercito russo occupa la centrale nucleare di Zaporizhzhia, una delle dieci centrali più grandi al mondo (Greenpeace Luxembourg, 2022). L'edificio è stato conquistato dai russi a seguito di pesanti combattimenti. Dopo che la centrale è stata colpita, cinque dei sei reattori sono stati messi in modalità di arresto freddo, mentre il sesto è rimasto a temperatura e pressione elevate per produrre il vapore acqueo necessario a mantenere il sito in sicurezza (Pascolini, 2023). Dal momento dell'occupazione ci sono state diverse segnalazioni riguardo la distruzione di infrastrutture della centrale, danni alle linee elettriche ed esplosioni nei locali dell'impianto, nonché interruzioni dell'erogazione di energia, fondamentale anche per il sistema di raffreddamento delle unità. La centrale continua a essere gestita dal personale ucraino che viene monitorato e ispezionato dai soldati russi (Greenpeace Luxembourg, 2022). Lo stabilimento non è stato progettato per resistere ad un attacco militare. Bombardamenti, esplosioni ed incendi nei pressi dell'impianto potrebbero distruggere il guscio protettivo dell'unità, riguardo al quale vi erano già state delle perplessità sulla sicurezza tecnica (Marchetti, 2022). Inoltre, una prolungata perdita di potenza o danni ai sistemi di raffreddamento potrebbero danneggiare i reattori e portare a perdite di radiazioni (Greenpeace Luxembourg, 2022). Nell'immagine seguente (*Figura 25*) si può notare la vicinanza degli incendi all'impianto.



Figura 23 – Incendi vicino alla centrale di Zaporizhzhia. (Planet, 26 agosto 2022)

Per quanto riguarda il pericolo radioattivo è importante considerare anche la zona di Chernobyl, occupata dai russi a partire dall'inizio del conflitto fino a fine marzo 2022, con l'obiettivo di controllare la via più rapida verso Kiev partendo dal confine bielorusso. I militari hanno attraversato senza dispositivi di protezione la Foresta Rossa, pineta altamente tossica che circonda il sito della centrale (Mirone, 2022) scavando trincee, movimentando macchinari pesanti e maneggiando materiale radioattivo a mani nude. Tali attività, oltre a portare alla probabile morte dei soldati entro un anno (Caragnano, 2022), portano indietro di decenni il recupero dell'ecosistema naturale del luogo. Dopo che l'armata russa ha lasciato il sito, sono state condotte delle ricerche che hanno evidenziato un'eccessiva quantità di radiazioni nel suolo. Sono infatti stati riportati alla luce materiali radioattivi che si trovavano in profondità, rendendo le vecchie mappe di contaminazione non più valide e i percorsi considerati "sicuri" pericolosi. L'occupazione della zona di Chernobyl ha portato anche ad un'interruzione della ricerca scientifica nel luogo: sono stati derubati laboratori e distrutti campi di ricerca scientifica (Greenpeace).

4 Conclusioni

Analizzando i dati e le informazioni a disposizione, si ottiene una visione più ampia e precisa riguardo le conseguenze del conflitto. Infatti, nonostante l'impossibilità di conoscere tutti i danni prima della fine della guerra, i risultati delle stime sono inequivocabili. Secondo gli esperti il valore approssimativo della produzione di gas climalteranti si avvicina a quella di uno stato come il Belgio (de Klerk, 2023). Vengono rilasciate in atmosfera grandi quantità di sostanze pericolose, il suolo e le acque vengono inquinate e il territorio distrutto. I centri urbani vengono demoliti dai bombardamenti liberando polveri e sostanze cancerogene come l'amianto, le foreste bruciano creando anomalie termiche e rilasciando gas ad effetto serra e dannosi, lo stesso vale per gli incendi di strutture (in particolare depositi di carburante e materiali infiammabili). Le attività belliche a Chernobyl hanno riportato in superficie materiale radioattivo, mentre la centrale nucleare di Zaporizhzhia è minacciata dall'occupazione russa.

Si vuole inoltre sottolineare che, considerando che la guerra è ancora in corso, i calcoli e i dati citati in questo studio sono probabilmente sottostime dei valori reali in quanto non è dato sapere con esatta precisione il quantitativo di ordigni esplosi, ettari di territorio bruciati, depositi di carburante e petrolio incendiati e di tutte quelle attività belliche che causano produzione di gas ad effetto serra o altre sostanze pericolose. Nella maggior parte dei casi vengono presi in considerazione per gli studi solo i dati di cui si hanno prove certe e quando invece si utilizzano stime per approssimare il valore delle informazioni di interesse si tende ad effettuare i calcoli con un approccio conservativo. I risultati esposti ed analizzati sono quindi da considerare un indice parziale del reale andamento dei danni subiti dal territorio ucraino e dal clima a livello globale. Infatti se sul piano ambientali gli effetti della guerra sono percepiti soprattutto nelle zone interessate dagli scontri e in quelle limitrofe, arrivando al massimo ad intaccare in alcuni casi estremi i Paesi adiacenti all'Ucraina (inquinamento del Mar Nero e delle coste che bagna); dal punto di vista climatico, l'enorme quantitativo di gas ad effetto serra prodotti dal conflitto incideranno sul clima mondiale contribuendo ad alterare gli equilibri già messi in crisi dall'inquinamento proveniente da altre attività antropiche. Il quantitativo di gas climalteranti prodotti dai settori legati al conflitto russo ucraino.

Nel febbraio 2023, il ministro dell'ambiente e delle risorse naturali dell'Ucraina Ruslan Strilets afferma che l'invasione russa ha causato più di 2300 crimini ambientali, di cui più

di 1000 denunciati alle autorità competenti. Già dopo un anno di guerra i danni ambientali stimati superavano i 51 miliardi di dollari. La segnalazione di questi eventi è importante per ottenere eventuali risarcimenti dalla Russia, ma soprattutto per organizzare e mettere in atto piani di bonifica, recupero e ripristino delle aree colpite (Fanasella, 2023). Anche di questo si è parlato durante la Conferenza internazionale sulla ripresa dell'Ucraina a Londra, il 21 e 22 giugno 2023. La presidente della Commissione Europea, Ursula von der Leyen, ha specificato che il piano per la ricostruzione ucraina è incentrato sulle energie rinnovabili. Anche il presidente ucraino, Volodymyr Zelensky, sosteneva e sostiene l'importanza della trasformazione verde dell'economia del suo Paese che ambisce a diventare uno dei fornitori chiave di energia pulita e idrogeno verde per l'Europa.

5 Bibliografia

Abdo Hazem Ghassan. "Impacts of war in Syria on vegetation dynamics and erosion risks in Safita area, Tartous, Syria." *Regional and Environmental Change*, 17 febbraio 2018, <https://link.springer.com/article/10.1007/s10113-018-1280-3>

Anonimo. "Ucraina, cosa succede se esplose la centrale nucleare di Zaporizhzhia? Risponde l'esperto." *Sky tg24*, 5 luglio 2023, <https://tg24.sky.it/mondo/2023/07/05/ucraina-centrale-nucleare-zaporizhzhia-se-esplose>

Aresta Michele. "CO₂ rifiuto o risorsa?" *Società Italiana di Fisica*, dicembre 2011, <file:///C:/Users/Utente/Downloads/gdf0729.pdf>

Aw Jeremy et Michael J. Kleerman. "Evaluating the first-order effect of intraannual temperature variability on urban air pollution." *Advancing earth and space sciences*, 26 giugno 2003, <https://agupubs.onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1029/2002JD002688>

Baccini Federico. "Verde e leader dell'energia pulita: così sarà la ricostruzione dell'Ucraina delineata a Londra." *Green Economy Agency*, 21 giugno 2023, <https://geagency.it/verde-e-leader-dellenergia-pulita-come-sara-la-ricostruzione-dellucraina/>

Bompan Emanuele. "Ucraina, danni collaterali all'ambiente." *Oltremare*, Agenzia Italiana per la Cooperazione allo Sviluppo, marzo 2023, <https://www.aics.gov.it/oltremare/articoli/pianeta/ucraina-danni-collaterali-allambiente/>

Broomandi Parya, Guney Mert, Karaca Ferhat, Ryeol Kim Jong. "Soil contamination in areas impacted by military activities: a critical review." *Sustainability*, 2020, <https://www.mdpi.com/2071-1050/12/21/9002>

Bun Rostyslav, Ialongo Iolanda, Jonas Mathias, Kovalyshyn Vasyl, Marland Gregg, Nahorski Zbigniew, Oda Tomohiro, Puliafito Enrique, Romanchuk Zoriana, See Linda, Yashchun Orysia. "Tracking unaccounted greenhouse gas emissions due to the war in Ukraine since 2022." *Science of The Total Environment*, 1° marzo 2024, <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0048969724000135>

Caragnano Natasha. "La missione "suicida" dei soldati russi a Chernobyl: "Troppa radioattività, non vivranno più di un anno"." *La Repubblica*, 9 aprile 2022, https://www.repubblica.it/esteri/2022/04/09/news/chernobyl_soldati_russi_esposti_alle_radiazioni-344793499/

Cavuoto Maria Chiara. "Guerra Russia-Ucraina: le conseguenze per l'energia in Europa." *Close-up engineering*, daily energy magazin, 25 febbraio 2022, <https://energycue.it/guerra-russia-ucraina-conseguenze-energia-europa/33069/>

CEOBS. "How does war damage the environment?" *CEOBS (Conflict and Environment Observatory)*, 4 giugno 2020, <https://ceobs.org/how-does-war-damage-the-environment/>

Certini Giacomo, Riccardo Scalenghe, William I. Woods. “The impact of warfare on the soil environment.” *Earth-science reviews*, dicembre 2013, <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0012825213001414?via%3Dihub>

Constantinou C. M., Eftychiou E, Hadjimichael M. “Ambivalent greenings, collateral conservation: negotiating ecology in a United Nations buffer zone.” *Political geography*, marzo 2020, <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0962629818305195?via%3Dihub>

Cremonesi Lorenzo et Gabanelli Milena. “Invasione dell’Ucraina: la catastrofe ambientale che pagheremo tutti.” *Corriere della sera dataroom*, 19 giugno 2023, <https://www.corriere.it/dataroom-milena-gabanelli/invasione-dell-ucraina-catastrofe-ambientale-che-pagheremo-tutti/22b00e1c-0d33-11ee-a463-2efa0d37ea3a-va.shtml>

De Klerk Lennard. “Climate damage caused by Russia’s war in Ukraine.” *UN Climate Change*, 1° giugno 2023, <https://en.ecoaction.org.ua/climate-damage-by-russia-12-months.html>

Di Stefano Daniele. “CEMENTO: IL MATERIALE PIÙ DISTRUTTIVO DEL MONDO O UNA LEVA DELL’EVOLUZIONE?” *Renewblw Matter*, 17 gennaio 2022, <https://www.renewablematter.eu/cemento-il-materiale-piu-distruttivo-del-mondo-o-una-leva-dellevoluzione#:~:text=Usiamo%20oltre%204%20miliardi%20di,una%20delle%20prese nze%20pi%3%B9%20familiari>.

EUROCONTROL. “Data Snapshot.” *Eurocontrol*, 12 aprile 2022, <https://www.eurocontrol.int/sites/default/files/2022-04/eurocontrol-data-snapshot-29.pdf>

Eurocorporation. “Rifiuti causati dalla guerra in Ucraina e smaltimento amianto.” *Eurocorporation, consulenza e gestione rifiuti*, <https://www.eurocorporation.it/news/news-aziendali/rifiuti-causati-dalla-guerra-ucraina-smaltimento-amianto>

Fanasella Fabrizio. “I crimini ambientali dell’esercito russo in Ucraina investiranno l’Europa intera.” *Linkiesta*, 28 febbraio 2023, <https://www.linkiesta.it/2023/02/impatto-ambientale-guerra-ucraina-russia/>

Fanasella Fabrizio. “L’incalcolabile impatto ambientale della distruzione della diga di Kakhovka.” *Linkiesta*, 8 giugno 2023, <https://www.linkiesta.it/2023/06/danni-ambiente-esplosione-diga-ucraina-nova-kakhovka-agricoltura/>

Greenpeace Luxemburg. “Greenpeace radiation investigation at Chernobyl to assess accuracy of IAEA data.” *Greenpeace Luxembourg*, 18 luglio 2022, <https://www.greenpeace.org/luxembourg/fr/actualites/14672/greenpeace-radiation-investigation-at-chernobyl-to-assess-accuracy-of-iaea-data/%C3%B9>

Greenpeace. “Mapping the Russian military threat to Ukraine’s nuclear reactors and facilities.” Greenpeace, <https://www.greenpeace.org/international/explore/energy/russian-military-threat-ukraine-nuclear-reactors-facilities-map/>

Hassan Midya. “The Environmental Impact of WWII.” ME-T journal, 4 giugno 2023, <https://me-t.org/journal/en/research-studies/The-Environmental-Impact-of-WWII>

Hussain T. et Gondal M. A. “Monitoring and assessment of toxic metals in gulf War oil spill contaminated soil using laser-induced breakdown spectroscopy.” Environmental monitoring and assessment, 4 aprile 2007, <https://link.springer.com/article/10.1007/s10661-007-9694-2>

INAIL. “Amianto” INAIL, 06 giugno 2022, [Amianto - INAIL](#)

Valentina Iorio. “Che cosa sono i gasdotti Nord Stream 1 e 2, e quanto sono importanti per l’Italia e l’UE?” L’Economia, 27 settembre 2022, https://www.corriere.it/economia/consumi/22_settembre_27/nord-stream-1-2-quanto-sono-importanti-gasdotti-l-ue-l-italia-cc2eb3a0-3e6a-11ed-a7d0-8fb77372b6c6.shtml

Jones Dave. “European Electricity Review 2023.” 31 gennaio 2023, <https://ember-climate.org/insights/research/european-electricity-review-2023/>

Kabakian Vahakn. In book: Lebanon Rapid Environmental Assessment for Greening Recovery, Reconstruction and Reform, Chapter: War and Air Pollution, Publisher: United Nations Development Programme, pp. 8-1 - 8-22. (2006)

Keith Paustian, N.H. Ravindranath, Andre van Amstel. “2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories; vol. 4: Agriculture, Forestry and Other Land Use” IPCC Publications, 2006, <https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/vol4.html>

KSE. “Report on Damages to Infrastructure Caused by Russia's War against Ukraine One Year after the Start of the Full-Scale Invasion.” KSE (Kijv School of Economics), marzo 2023, https://kse.ua/wp-content/uploads/2023/03/ENG_FINAL_Damages-Report_.pdf

KSE. “The total amount of damage caused to the infrastructure of Ukraine” KSE (Kijv School of Economics), 3 ottobre 2023, <https://kse.ua/about-the-school/news/the-total-amount-of-damage-caused-to-the-infrastructure-of-ukraine-due-to-the-war-reaches-151-2-billion-estimate-as-of-september-1-2023/#:~:text=In%20total%2C%20167%2C200%20housing%20units,an%20additional%200.35%20thousand%20dormitories>

Kurykin Serhiy. “Environmental impact of the war in Yugoslavia on south-east Europe.” Parlimetary Assembly of the Council of Europe, 10 gennaio 2001, <https://assembly.coe.int/nw/xml/XRef/X2H-Xref-ViewHTML.asp?FileID=9143&lang=EN#:~:text=78%20industrial%20sites%20and%2042,damaged%20by%20bombs%20or%20missiles.&text=7.,involving%20over%20100%20toxic%20substances>

Lawrence Michael, Stemberger Holly L.J., Struthers Daniel P., Zolderdo Aaron J. “The effects of modern war and military activities on biodiversity and the environment.” Environmental Reviews, 17 settembre 2015, <https://cdnsiencepub.com/doi/10.1139/er-2015-0039>

Egerup J., Jerneloef A, Linden O, “The Environmental Impacts of the Gulf War 1991.” IIASA Interim Report, 2004, <https://pure.iiasa.ac.at/id/eprint/7427/>

Marchetti Ilaria. “La centrale nucleare ucraina di Zaporizhzhia, la più grande d'Europa.” Rai news, 4 marzo 2022, <https://www.rainews.it/articoli/2022/03/la-centrale-nucleare-ucraina-di-zaporizhzhia--f5d31657-58d3-44bc-9eb3-e97a79c18db9.html>

Mastrodonato Luigi. “La guerra in Ucraina ha un impatto ambientale devastante.” Lifegate daily, 17 febbraio 2023, <https://www.lifegate.it/guerra-ucraina-impatto-ambientale>

Meng Xue, Bingqing Lu, Chao Liu, Zekun Zhang, Jianmin Chen, Hartmut Herrmann, Xiang Li. "Abrupt exacerbation in air quality over Europe after the outbreak of Russia-Ukraine war." Environment international, agosto 2023, <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0160412023003938?pes=vor#b0240>

Menhinick Laurence. “What the environmental legacy of the Gulf War should teach us.” CEOs, 18 marzo 2016, <https://ceobs.org/what-the-environmental-legacy-of-the-gulf-war-should-teach-us/>

Mirone Luca. “I russi hanno lasciato la centrale di Chernobyl.” Ansa, 1° aprile 2022, https://www.ansa.it/sito/notizie/mondo/2022/03/31/russi-via-da-chernobyl-ammalati-per-le-radiazioni_2e49f0c0-33cc-4e89-b7b2-5df020680f52.html

Moseman Andrew. “How much CO2 is emitted by building a new house?” Climate Portal, 9 dicembre 2022, <https://climate.mit.edu/ask-mit/how-much-co2-emitted-building-new-house#:~:text=Depending%20on%20size%2C%20materials%2C%20and,100%20tons%20of%20CO2>

Pascolini Alessandro. “Non c'è pace per la centrale di Zaporizhzhia.” Affarinternazionali, 29 giugno 2023, <https://www.affarinternazionali.it/pace-zaporizhzhia/>

PAX. “Environment and Conflict Alert Ukraine: A first glimpse of the toxic toll of Russia's invasion of Ukraine.” PAX, 9 marzo 2022, <https://paxforpeace.nl/news/environment-and-conflict-alert-ukraine-a-first-glimpse-of-the-toxic-toll-of-russias-invasion-of-ukraine/>

Pereira Paulo, Ferdo Bašić, Igor Bogunovic, Damia Barcelo. “Russian-Ukrainian war impacts the total environment.” Science of the total environment, 1 settembre 2022, <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S004896972202962X?via%3Dihub>

Pereira Paulo, Damià Barceló, Panos Panagos. “Soil and water threats in a changing environment.” Environmental research, luglio 2020, <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0013935120303947?via%3Dihub>

Pereira Paulo, Wenwu Zhao, Lyudmyla Symochko, Miguel Inacio, Igor Bogunovic, Damia Barcelo. “The Russian-Ukrainian armed conflict will push back the sustainable development goals.” Geography and sustainability, Settembre 2022, <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2666683922000591?via%3Dihub>

Redazione Bruxelles. “La Germania riapre due centrali a carbone tra le più inquinanti d’Europa.” Europa today, 5 ottobre 2023, https://europa.today.it/economia/germania-riapre-due-centrali-carbone-inquinanti-europa.html#_ga=2.91434650.1827996063.1697301599-1998738160.1697301599

Redazione Green Planner. “Guerra in Ucraina e amianto: un appello urgente di Ona.” Green Planner Magazine, 15 novembre 2022, <https://www.greenplanner.it/2022/11/17/guerra-ucraina-rischio-amianto/>

Reuters. “Russian governor reassures residents after new explosions area near ukraine.” 5 maggio 2022, <https://www.reuters.com/world/europe/russian-governor-reassures-residents-after-new-explosions-area-near-ukraine-2022-05-02/>

Reuters. “War rumours bewilder Moldova's pro-Russian separatist enclave.” 6 maggio 2022, <https://www.reuters.com/world/europe/war-rumours-bewilder-moldovas-pro-russian-separatist-enclave-2022-05-06/>

Roberts Adam. “Environmental Destruction in the 1991 Gulf War.” Cambridge University, 13 gennaio 2010, <file:///C:/Users/Utente/Downloads/S0020860400071151a.pdf>

Sadiq M., K. M. AlThagafi, A. A. Mian. “Preliminary evaluation of metal contamination of soils from the Gulf War activities.” Bulletin of environmental contamination and toxicology, novembre 1992, <https://link.springer.com/article/10.1007/BF00200774>

San-Miguel-Ayaz Gesù, J., Durrant, T., Boca, R., Maianti, P., Liberta`, G., Artes Vivancos, T., Jacome Felix Oom, D., Branco, A., De Rigo, D., Ferrari, D., Pfeiffer, H., Grecchi, R. and Nuijten, D. “Advance report on forest fires in Europe, Middle east and North Africa 2021.” JRC Commissione Europea, 18 marzo 2022, <https://publications.jrc.ec.europa.eu/repository/handle/JRC128678>

San-Miguel-Ayaz Gesù, J., Durrant, T., Boca, R., Maianti, P., Liberta`, G., Oom, D., Branco, A., De Rigo, D., Ferrari, D., Roglia, E. and Scionti, N. “Advance report on forest fires in Europe, Middle east and North Africa 2022.” JRC Commissione Europea, 11 aprile 2023, <https://publications.jrc.ec.europa.eu/repository/handle/JRC133215>

Signorile Lisa. “La guerra in Ucraina è anche un disastro ambientale.” Il Tascabile, 2023, <https://www.iltascabile.com/scienze/ucraina-guerra-disastro-ambientale/>

Solokha Maksym, Pereira Paulo, Symochko Lyudmyla, Vynokurova Nadiya, Demyanyuk Olena, Sementsova Kateryna, Inacio Miguel, Barcelo Damia. "Russian-Ukrainian war impacts on the environment. Evidence from the field on soil properties and remote sensing." *Science of the total environment*, 1° dicembre 2023, <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0048969723047472#bb0305>

Swintek Philip. "The Environmental Effects of War." Fordham University, 2006, https://fordham.bepress.com/environ_theses/71

The Kyiv Independent. "Kyiv air quality is at unhealthy level." 19 marzo 2022, <https://kyivindependent.com/kyiv-air-quality-is-at-unhealthy-level/>

Thestorf Kolja et Makki Mohsen. "Soils and landforms of war — pedological investigations 75 years after World War II." *Geomorphology*, 15 giugno 2022, <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0169555X22000824?via%3Dihub>

Transatlantic Dialogue Centre. "The impact of war on the environment." Transatlantic Dialogue Center, <https://tdcenter.org/2022/05/16/how-the-war-affects-the-ukrainian-environment/>

United Nations. "Global Impact of the War in Ukraine: Billions of People Face the Greatest Cost-of-Living Crisis in a Generation." The USA, United Nations, 8 giugno 2022, <https://www.unep.org/resources/publication/global-impact-war-ukraine-billions-people-face-greatest-cost-living-crisis>

Vanholder Raymond, De Weggheleire Anja, Ivanov Dmytro, Luyckx Valerie, Slama Slim, Sekkarie Mohamed, Sever S. Mehmet, Shroff Rukshana. "Continuing kidney care in conflicts." *Nature reviews nephrology*, 30 maggio 2022, <https://www.nature.com/articles/s41581-022-00588-7>

Wald Charles et Captain Tom "America's Best Defence." Deloitte, 8 settembre 2009, <https://www.calameo.com/read/0000469922e70496e5dcb>

Watts Jonathan. "The 'silent victim': Ukraine counts war's cost for nature." *The Guardian*, 20 febbraio 2023, [The 'silent victim': Ukraine counts war's cost for nature | Ukraine | The Guardian](https://www.theguardian.com/environment/2023/feb/20/ukraine-war-nature)

Zhang Zhijie, Jingyi Ding, Wenwu Zhao, Yue Liu, Paulo Pereira. "The impact of the armed conflict in Afghanistan on vegetation dynamics." *Science of the total environment*, 15 gennaio 2023, <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0048969722062374?via%3Dihub>

Zhao Xueyan, Jing Wang, Bo Xu, Ruojie Zhao, Guangjie Zhao, Jian Wang, Yinhong Ma, Handong Liang, Xianqing Li, Wen Yang. "Causes of PM2.5 pollution in an air pollution transport channel city of northern China." *Environmental science and pollution research*, 24 novembre 2021, <https://link.springer.com/article/10.1007/s11356-021-17431-4>

6 Sitografia

https://www.youtube.com/watch?v=6yW1hWQmgpc&list=PLBcZ22cUY9RL6ptbdJJzqb aZn62ZPOha_&index=37 minuto 14-27, de Klerk, “Climate damage caused by Russia’s war in Ukraine” Climate Change Conference delle Nazioni Unite a Bonn (consultato il 7 ottobre 2023)

https://maps.greenpeace.org/maps/gpcee/ukraine_damage_2022/ (consultato il 6 febbraio 2024)

<https://en.ecoaction.org.ua/climate-damage-by-russia-12-months.html> de Klerk, Climate damage caused by Russia’s war in Ukraine (consultato il 12 febbraio 2024)

<https://worldview.earthdata.nasa.gov/> (consultato il 20 febbraio 2024)

https://co2.myclimate.org/en/portfolios?calculation_id=6758557 (consultato il 26 febbraio 2024)

<https://www.finnair.com/it-it/informazioni-sul-volo/la-flotta-finnair> (consultato il 26 febbraio 2024)

<https://firms.modaps.eosdis.nasa.gov/map/#d:24hrs:@0.0,0.0,3.0z> (consultato il 20 febbraio 2024)

<https://www.planet.com/> (consultato il 3 marzo 2024)