

LUISS 

Corso di laurea in Economia e Management

Cattedra **Energy Economics**

**Energia nucleare:
studio sulla sostenibilità della risorsa nucleare**

Prof. Bollino Carlo Andrea

RELATORE

Bernardi Claudia; 241421

CANDIDATO

Anno Accademico **2022/2023**

Sommario

1. Introduzione	3
Capitolo 1. Scienza e Storia del Nucleare	7
1.1 Cos'è l'energia nucleare?	7
1.2 La storia dell'energia nucleare	9
1.3 Breve focus storico sull'Italia	14
Capitolo 2. Cina: la migliore potenzialità per il nucleare	15
2.1 Situazione globale e focus sull'Asia	15
2.2 La Cina	17
2.3 Regolamentazione e sicurezza	20
2.4 Percezione del nucleare degli abitanti della Cina: analisi di un Case Study	22
Capitolo 3. L'energia nucleare è sostenibile?	24
3.1 Concetto di “Sostenibilità”	24
3.2 Interventi Europei: Green Deal e Tassonomia UE	25
3.3 Pro e Contro dell'energia nucleare	28
Conclusione	31
Bibliografia	34
Ringraziamenti	41

Introduzione

«Il “Cambiamento climatico” è un cambiamento nel clima riconducibile direttamente o indirettamente all’azione umana che altera la composizione dell’atmosfera globale».

Così viene definito il concetto di *climate change* nella UNFCCC (*United Nations Framework Convention on Climate Change*, 1992), trattato internazionale realizzato nel 1992 dalla UNCED (*United Nations Conference of Environment and Development*) con il chiaro obiettivo di arrivare a una diminuzione nell’emissione dei gas serra per evitare e prevenire interferenze nella composizione dell’atmosfera che possano risultare dannose per il sistema climatico. In altre parole nel 1992, con questo trattato non vincolante, si inizia a dare una definizione del fenomeno che ad oggi è all’origine della più grande sfida che l’umanità si sta trovando ad affrontare: il riscaldamento globale. Quello con il quale ci stiamo confrontando già da lungo tempo, ma che è stato caratterizzato da una forte accelerazione nell’ultimo secolo, è infatti un *trend* di innalzamento della temperatura dell’atmosfera causato da quelle che sono definibili come “interferenze antropogeniche”. Si tratta del risultato della crescente attività umana sul mondo circostante per mezzo di aerosol e gas che rappresentano dei *drivers* per il cambiamento climatico e che, prodotto dell’attività umana stessa, vengono rilasciati e si accumulano nell’atmosfera intensificando in maniera dannosa il fenomeno dell’“effetto serra”. La concentrazione eccessiva di gas nell’atmosfera impedisce al calore delle radiazioni solari che vi entrano di fuoriuscirne e di ritornare nello spazio e tutto ciò porta ad un generale aumento della temperatura terrestre. Questo fenomeno peggiora se i gas in questione fanno parte dei cosiddetti “*Long-Lived Greenhouse Gases*”, come il metano (CH₄), il monossido di diazoto (N₂O) o il diossido di carbonio (CO₂), che hanno tempistiche di sopravvivenza nell’atmosfera generalmente molto elevate e che dunque, man a mano che vengono emessi, aumentano la loro concentrazione nell’atmosfera e di conseguenza anche la temperatura. Ma per quale motivo è possibile definire questo fenomeno come la più grande sfida mai affrontata dall’umanità? Possiamo ottenere una risposta a questa domanda considerando che una variazione nella temperatura atmosferica che potrebbe sembrare trascurabile può portare a gravi sconvolgimenti climatici e modificare i modelli meteorologici con conseguenti effetti su biosfera ed ecosistemi. Si tratta di effetti che negli ultimi anni sono stati toccati con mano, come il crescente fenomeno di scioglimento di ghiacciai e nevi perenni che, assieme all’aumento generale del volume delle acque e quindi al loro innalzamento mette a rischio le zone costiere; a ciò si aggiunge anche un crescente pericolo per la vita marina derivante dall’acidificazione delle acque, diretta conseguenza del cambiamento climatico; ancora, è possibile osservare come il rapido riscaldamento terrestre rappresenti un enorme rischio per qualunque specie vivente presente sul pianeta, alcune di queste riusciranno a salvarsi attraverso migrazioni di massa, ma molte altre saranno destinate all’estinzione. In aggiunta a ciò è possibile ricondurre ai cambiamenti climatici anche la comparsa di un numero crescente di eventi meteorologici estremi, quali fenomeni di siccità, inondazioni, tifoni e uragani, che con la devastazione che li caratterizza rappresentano un pericolo per i sistemi di allevamento, pesca e produzione agricola, che li rende dunque causa del generale aumento della malnutrizione.

Più nel dettaglio secondo i dati raccolti dal NOAA (*National Oceanic and Atmospheric Administration*) nel Rapporto Annuale sul Clima, la temperatura terrestre, che dal 1880 era stata caratterizzata da una crescita di circa 0.08 gradi Celsius ogni dieci anni, a partire dal 1981 ha raddoppiato questo *trend*, raggiungendo un aumento di 0.18 gradi Celsius ogni dieci anni. In particolare l'anno 2021 ha rappresentato il sesto anno più caldo sulla base dei dati della NOAA, nonché il quarantacinquesimo anno consecutivo con una temperatura che supera la media del ventesimo secolo. Questo fenomeno viene poi accompagnato da un'estensione registrata di ghiaccio marino nell'Artide e nell'Antartide inferiore alla media e da una maggiore attività globale di cicloni tropicali (*NOAA's Annual Global Climate Report, 2021*).

Guardando al futuro del pianeta, secondo gli studi portati avanti dall'Agenzia statunitense per la protezione dell'ambiente (US EPA), salvo l'ipotesi di una riuscita e ingente diminuzione nell'emissione dei gas serra il *trend* di crescita della temperatura globale non farà che peggiorare, con “una temperatura media globale che crescerà nei prossimi cento anni almeno del doppio rispetto al secolo passato” (Stocker et al., 2013) e con effetti negativi sia sulla media globale delle precipitazioni, “destinata ad aumentare, ma con cambiamenti in quantità e intensità che varieranno significativamente di regione in regione” (Ibidem), sia sul fenomeno di diminuzione dell'area occupata dai ghiacci dell'Artide e dell'Antartide.

Gli studi portati avanti sul preoccupante stato in cui versa il pianeta e la presa consapevolezza di una realtà che, per il bene di tutti, va modificata, hanno dato negli ultimi anni nuovo risalto ad eventi di protesta di portata mondiale. Basti pensare al movimento “*Friday for Future*” iniziato da Greta Thunberg con l'obiettivo di rendere quello dei problemi climatici un tema di spicco dell'agenda politica internazionale e di ridurre le emissioni eliminando i combustibili fossili per fermare il fenomeno di innalzamento delle temperature e tutte le sue conseguenze. Parallelamente all'intensificarsi dell'attenzione mediatica su questo problema, hanno iniziato ad emergere e a strutturarsi un numero sempre maggiore di comitati dedicati alla denuncia della questione ambientale e allo stesso tempo nuova attenzione è stata data alle soluzioni e agli strumenti nazionali e internazionali volti a proteggere l'ambiente; esempio di ciò a livello europeo sono il *Green Deal* e la Tassonomia EU. Il primo rappresenta un vero e proprio piano, comprensivo di diverse attività e regolamentazioni, volto a raggiungere l'obiettivo di diminuire le emissioni di CO2 almeno del 55% entro l'anno 2030. La seconda invece, di cui parleremo più approfonditamente nel quinto capitolo di questo elaborato, rappresenta un sistema di classificazione degli investimenti presenti nell'economia volta ad indicare agli investitori quali siano effettivamente sostenibili. Ma quindi, a fronte di tutto ciò che abbiamo detto, quali sono le possibili strade per migliorare la situazione ambientale?

Nel corso degli ultimi anni sono state proposte, discusse e messe in atto molteplici iniziative riguardanti i più svariati ambiti dell'attività umana: partendo dal sistema di “mercato delle emissioni” dell'Unione Europea, nel quale i permessi per emettere CO2 devono essere acquistati da industrie e centrali elettriche, passando per obiettivi nazionali per i settori di edilizia, agricoltura e trasporti, arrivando a una forte regolamentazione della deforestazione, riconoscendo il ruolo chiave che le foreste giocano nel contrastare i cambiamenti climatici. Ultima, ma non per importanza, è la strada delle fonti di energia alternative ai combustibili fossili. Esempio di ciò sono le fonti di energia rinnovabili, chiamate così perché hanno la caratteristica di reintegrarsi con un ritmo superiore a

quello in cui vengono consumate, permettendo anche alle generazioni future di usufruirne e che inoltre non immettono nell'atmosfera sostanze inquinanti o CO₂. Nell'ambito delle fonti alternative però se ne può trovare un'altra che da diversi anni ormai e specialmente negli ultimi tempi è al centro di un acceso dibattito tra chi la definisce la strada più rapida per far rientrare l'emergenza climatica e chi invece la considera un pericolo per l'ambiente e per l'uomo: l'energia nucleare.

Si tratta dell'energia che si sprigiona dalla reazione di fissione nucleare di elementi come l'uranio o il plutonio e che, manifestandosi sotto forma di calore, può essere sfruttata per produrre energia elettrica. Non possiamo farla rientrare nella categoria delle energie rinnovabili in quanto i combustibili utilizzati nella fissione sono sì presenti in natura, ma in quantità limitate, cosa che, assieme alla caratterizzazione *capital intensive* del settore della tecnologia nucleare, porta di fatto grandi costi di realizzazione per lo sviluppo di questo specifico ambito. Nel dibattito che ruota attorno a questa fonte chi si schiera a favore sottolinea in particolare le emissioni di diossido di carbonio pressoché nulle derivanti dal nucleare, nonché l'ingente quantità di energia che è possibile produrvi. Dall'altra parte chi vi si oppone risponde presentando il problema della difficile gestione delle scorie nucleari e, in generale, il possibile pericolo che le centrali possono rappresentare per la popolazione.

Il dibattito, che come detto è acceso già da molti anni, ha trovato nuova spinta dalla recente proposta della Commissione Europea di includere tra le attività economiche considerate sostenibili della Tassonomia Europea anche alcune specifiche attività energetiche del settore nucleare e del gas. Proposta che è stata recentemente accettata, non senza un percorso sofferto, e con la quale il nucleare, sotto limiti ben precisi, è entrato a far parte della Tassonomia EU a partire dal primo gennaio 2023. Si tratta di una scelta senza precedenti che potrebbe rivoluzionare il modo di intendere l'energia nucleare, una scelta comunque estremamente discussa e, se da un lato spinta e voluta dall'industria in generale, dall'altro esclusa inizialmente dallo stesso TEG (*Technical Expert Group*), che non la considerò nel processo di redazione dei criteri della Tassonomia stessa.

Il dibattito riguardante il nucleare è chiarissimo anche solo studiando il processo che ha portato all'accettazione della proposta. Inizialmente infatti, il 14 giugno del 2022, in un incontro congiunto tra l'ECON (*Economic and Monetary Affairs Committee*) e l'ENVI (*Environment, Public Health and Food Safety Committee*), «il MEPs ha adottato un'obiezione alla proposta della Commissione [...]. Il MEPs riconosce il ruolo del nucleare [...] nel garantire una riserva stabile di energia durante la transizione verso un'economia sostenibile, ma considera gli standard tecnici proposti dalla Commissione per supportare la loro inclusione non conformi ai criteri per le attività economiche sostenibili a livello ambientale così come sono presentate nell'Articolo 3 della Regolamentazione della Tassonomia» (EU Parliament, 14/06/2022).

Tuttavia, nonostante la partenza burrascosa, la risoluzione positiva per la proposta è avvenuta durante la plenaria del Parlamento europeo, tra il 4 e il 7 luglio 2022. La mozione proposta precedentemente contro l'inclusione di attività energetiche nei settori del gas e del nucleare non ha infatti raggiunto la maggioranza assoluta di 353 deputati ed è stata rifiutata, con conseguente accettazione della proposta della Commissione. Con questa il nucleare viene ufficialmente classificato come “attività di transazione che contribuisce alla mitigazione del cambiamento climatico” (Parlamento Europeo, 06/07/2022).

Ci troviamo dunque in un momento storico che necessita certamente tutto l'impegno possibile da un punto di vista ambientale, ma che si trova comunque ad essere diviso da opinioni e visioni diverse. In virtù di ciò con questo elaborato si aspira a trattare il nucleare nella sua complessità, in quanto fonte di energia potenzialmente di grande importanza per la lotta al cambiamento climatico, ma allo stesso tempo al centro di una perenne diatriba. Nei prossimi capitoli verrà fornita una panoramica sull'energia nucleare partendo dalle sue caratteristiche tecnico-scientifiche e iniziando ad affacciarsi alla possibilità, sulla quale si stanno interrogando diversi ricercatori europei, di utilizzare come fonte di energia pulita non solo la fissione nucleare, ma anche la fusione. Proseguendo tratteremo della storia dell'energia nucleare, ripercorrendo la sua scoperta, il modo in cui è stata utilizzata e come questo utilizzo si è evoluto, per poi discutere del ruolo e del possibile sviluppo che il nucleare ha in Cina, l'area con maggiore potenzialità in questo ambito. Successivamente, fornito questo quadro generale, si procederà ad affrontare la questione della sostenibilità, partendo dall'origine del concetto stesso e passando per la regolamentazione internazionale riguardante le fonti di energia sostenibili che più ci interessa dati i recenti sviluppi già accennati: la Tassonomia EU. Infine prenderemo consapevolezza delle diverse opinioni presenti su questo tema e del percorso travagliato che la proposta dell'energia nucleare ha avuto nella Tassonomia EU, per poi arrivare a trarre a nostra volta delle conclusioni.

Capitolo 1. Scienza e Storia del Nucleare

1.1 Cos'è l'energia nucleare?

Quando parliamo di “energia nucleare” facciamo riferimento a un tipo di energia derivante direttamente dai nuclei degli atomi, o meglio, da una loro “modificazione” ed è proprio questa azione su microscopiche quantità di materia a generare rilevanti risultati in termini energetici. Questa operazione sugli atomi e il conseguente rilascio di energia può avvenire attraverso due diverse operazioni: la più famosa e utilizzata “fissione nucleare” e l’opposta “fusione nucleare”, attualmente vista come una grande opportunità futura.

Per quel che riguarda la fissione nucleare e il suo funzionamento urge sottolineare come essa si basi sulla divisione del nucleo di atomi di elementi chimici pesanti in termini di massa, in particolare i più utilizzati in tal senso sono l’Uranio-235 e il Plutonio-239.

Ma come avviene questa divisione? L’intero processo inizia con un atomo, mettiamo per esempio proprio di Uranio-235, che viene colpito a grande velocità da un neutrone; questa collisione porta alla divisione del nucleo dell’Uranio, che si trova a scindersi in due nuclei di atomi con massa minore, come ad esempio Krypton e Bario. Questa scissione di per sé rilascia un’ingente quantità di energia, che viene aumentata dall’innescarsi di un vero e proprio effetto a catena. Infatti quando l’Uranio si scinde, oltre a formare ulteriori nuclei “minori”, rilascia anche alcuni neutroni (di solito da uno a tre) e tra questi almeno uno si scontrerà con un altro atomo di Uranio, che a sua volta si scinderà e libererà altri neutroni che continueranno la catena.

L’energia complessiva che si produce attraverso questa reazione nucleare si palesa sotto forma di radiazioni e di calore; è quest’ultimo in particolare che nelle centrali nucleari viene trasformato in elettricità e utilizzato come risorsa; a questo proposito giova fermarsi a considerare il lavoro che avviene nelle stesse.

Il fulcro di questo processo sono i reattori nucleari, strumenti “protagonisti” delle centrali, con l’ausilio dei quali si possono innescare e controllare i processi di fissione nucleare. I reattori hanno al loro interno anzitutto un nucleo, detto anche “nocciolo”, che è formato dal materiale fissile (ad esempio, come detto, l’Uranio-235) e all’interno del quale avviene la reazione vera e propria. Tuttavia ciò non basta per assicurare la formazione di quella catena di fissioni citata in precedenza e che garantisce un fluire di energia stabile e questo perché se è vero che sono i neutroni rilasciati dalla fissione a crearne delle altre, è anche vero che proprio i neutroni generati in questo modo viaggiano a velocità altissime, alle quali gli sarebbe quasi impossibile scontrarsi con successo con un altro nucleo e creare così un’ulteriore fissione. Proprio per aumentare le possibilità di una reazione a catena, all’interno dei reattori, troviamo un “moderatore”, ovvero un materiale, spesso semplice acqua, che ha il compito di rallentare i neutroni e rendere così i loro scontri con i nuclei efficaci. È così possibile creare la reazione a catena di fissioni, che a loro volta producono calore che viene trasportato, attraverso un agente refrigerante, in un ulteriore circuito dove da questo viene prodotto il vapore che, incanalato nelle turbine, ne fa muovere le pale, trasferendo l’energia all’alternatore che la renderà elettrica.

Questo è il funzionamento generale, tenendo sempre presente che esistono differenti tipologie di reattori nucleari le cui differenze si possono basare sul modo in cui il vapore giunge alle turbine (*Pressurized Water Reactors*, dove il vapore viene formato in appositi generatori separati e *Boiling Water Reactor*, dove invece viene convogliato e utilizzato direttamente il calore formatosi nel nucleo del reattore), oppure sui materiali usati come moderatore e refrigerante (negli *Heavy Water Reactors* il moderatore è l'“acqua pesante”, contenente deuterio al posto dell'idrogeno, mentre ad esempio nei *Gas-Cooled Reactors* il moderatore è la grafite e come agente refrigerante viene usato un gas).

Dopo aver esposto le generalità del funzionamento della fissione è giunto ora il momento di spendere qualche parola a proposito dell'ulteriore reazione sui nuclei atomici capace di sprigionare energia nucleare: la fusione nucleare. La teoria di questo procedimento è diametralmente opposta a ciò che è stato visto precedentemente; infatti in questo caso l'energia si sprigiona non dalla divisione di un nucleo, ma dalla combinazione dei nuclei di due atomi “leggeri” sotto l'aspetto della massa e che avviene in un particolare stato della materia chiamato “plasma”, un gas formato da ioni ed elettroni. Questo incontro di nuclei sprigiona una quantità di energia pari a quattro volte quella generata dalle fissioni nucleari, oltre ad essere un tipo di procedimento che, a differenza di molti altri, non produce gas serra e non rilascia nell'atmosfera diossido di carbonio. Per questo è attualmente sperimentato e studiato in più di cinquanta paesi dove i ricercatori stanno definendo le modalità per un futuro utilizzo di questa fonte di energia nel passaggio a un modello energetico completamente rinnovabile. A questo punto ci si potrebbe chiedere per quale delle due non sia questa la reazione nucleare più diffusa e utilizzata, ma il motivo risiede nella grande complessità inerente l'atto di ricreare le condizioni necessarie affinché la fusione avvenga.

Basti pensare che la fusione nucleare è la reazione che ritroviamo nel Sole e nelle altre stelle, dove la collisione tra i nuclei avviene ad altissime temperature (anche più di cento milioni di gradi Celsius) che permettono agli stessi di superare la loro repulsione naturale e di fondersi. Altra condizione necessaria è che i nuclei si devono trovare in uno spazio tendenzialmente ristretto, in modo che ci sia maggiore possibilità che collidano, anche qui nel Sole la condizione è agevolata dalla grande pressione generata dalla sua ingente forza di gravità.

Ecco spiegato per quale motivo la fissione nucleare ha avuto una grandissima prevalenza sulla fusione, nonostante quest'ultima garantirebbe quantitativi di energia molto maggiori a fronte di una pericolosità e di possibilità di inquinamento abbastanza effimere.

Come già detto è in atto un'intensa rete di collaborazione e coordinamento a livello di ricerca internazionale nei riguardi di questa particolare fonte di energia e, sotto la spinta e lo scambio di risultati e informazioni determinato dalla IAEA (*International Atomic Energy Agency*), si può affermare che lo studio stia facendo significativi passi in avanti, con la capacità di ricreare in esperimenti condizioni sempre più vicine a quelle richieste per il successo dell'operazione., basti pensare alla Cina, che è recentemente riuscita a generare e mantenere il plasma al altissima temperatura e a confinarlo per quasi sette minuti, un record per gli esperimenti nel campo.

1.2 La storia dell'energia nucleare

Quello che porta all'odierna conoscenza e allo sfruttamento dell'energia nucleare come risorsa potenzialmente fondamentale per la transizione a un'energia sempre più sostenibile è un lunghissimo processo fatto di sensazionali scoperte e tragici incidenti. Queste novità iniziano ad affacciarsi nella comunità scientifica già nel lontano 1789, per poi proseguire e definirsi in maniera migliore tra la fine dell'Ottocento e la prima metà del Novecento, dove gli anni del secondo conflitto mondiale portano alla ricerca spasmodica di un modo per controllare un'arma basata sul principio dell'energia nucleare, la bomba atomica. Superata una delle pagine più buie della storia moderna, gli studi sull'energia nucleare tornano a concentrarsi principalmente su un suo sfruttamento a fini civili e, in particolare, si arriva a un numero sempre crescente di studi volti ad assicurare una maggiore affidabilità, sicurezza ed efficienza di uno strumento che, in termini di emissione di CO₂ e di indipendenza energetica dei paesi che lo sfruttano, risulta avere grandi potenzialità.

Facendo un passo indietro analizziamo però suddetti periodi e l'evoluzione della storia dell'energia nucleare. Abbiamo detto che la primissima scoperta importante in questo ambito è quella fatta nel 1789 dal tedesco Martin Klaproth che scopre e nomina l'Uranio, elemento presente in natura in discrete quantità. Si tratta di una scoperta importante per la storia del nucleare, anche se allora non lo si poteva immaginare, in quanto, come abbiamo accennato precedentemente, l'Uranio è l'elemento maggiormente utilizzato nel procedimento di fissione nucleare. Per la scoperta delle grandiose proprietà radioattive dell'Uranio si dovranno però attendere quasi un secolo e il lavoro del fisico francese Antoine-Henri Becquerel. Urge però specificare, in relazione a questa scoperta, che non tutto l'Uranio appare essere adatto ai processi di fissione; infatti l'Uranio naturale ha al suo interno diversi isotopi: l'Uranio 238 (formato da 92 protoni e 145 neutroni) e presente in grandissima percentuale e l'Uranio 235 (con 3 protoni in meno nel nucleo), presente solo per una bassissima percentuale. Ebbene dei due è quest'ultimo quello più adatto alla fissione, con un 90% di possibilità, se colpito da un neutrone, di dividersi e produrre energia e il rilascio di ulteriori neutroni.

La tappa immediatamente successiva di questo processo è caratterizzata dagli anni a cavallo tra Ottocento e Novecento, ispiratissimi nelle numerose scoperte legate agli atomi e alle radiazioni. Nel 1895 il tedesco Wilhelm Rontgen scopre infatti le "radiazioni ionizzanti" (onde elettromagnetiche con un'energia tale da liberare gli elettroni dagli atomi con cui vengono in contatto), con l'ausilio di un tubo in vetro sottovuoto e di corrente elettrica, che gli permettono di identificare un flusso di raggi X. Subito dopo, nel 1896, il già citato Antoine-Henri Becquerel scopre, sperimentando sull'Uranio, una radiazione diversa dai già verificati raggi X: il mondo della scienza ha così modo di conoscere i raggi Beta. Altre colonne portanti di questa storia fatta di continue scoperte sono i coniugi Marie e Pierre Curie, che si pongono di continuare gli studi di questi fenomeni partendo in particolare dall'analisi dei raggi X e dei raggi Beta. I due vogliono scoprirne l'origine e arrivano a teorizzare che questi raggi provengano dallo stesso atomo. Inoltre, analizzando la composizione di minerali come la calcolite e la pechblenda, scoprirono che al loro interno, come sospettavano, risiedono nuovi elementi radioattivi fino ad allora sconosciuti: il Polonio e il Radio (dal latino per "raggio"). Proprio dalla scoperta di quest'ultimo viene dato il nome di "radioattività" al processo di decadimento dei nuclei atomici instabili che porta all'emissione delle

radiazioni ionizzanti scoperte precedentemente. Per queste scoperte sulla radiazione spontanea i due otterranno il premio Nobel per la Fisica nel 1903. Nel 1900 vengono inoltre scoperti i raggi Gamma per opera del chimico francese Paul Ulrich Villard. Negli stessi anni troviamo l'attività scientifica di Ernest Rutherford, che con i suoi esperimenti ha influenzato grandemente la teoria della reazione nucleare e dell'atomo stesso. Anzitutto Rutherford dimostra effettivamente la reazione nucleare attraverso un esperimento nel quale, con l'ausilio di raggi Alfa diretti a un atomo di azoto, verifica come l'azione crei, a partire da quell'atomo di azoto, diversi isotopi (atomi con uguale numero atomico, ma massa diversa) di ossigeno. Altra importantissima svolta ad opera di Rutherford la abbiamo nella comprensione dell'atomo stesso e della sua struttura; egli infatti rifiuta la visione preponderante ai tempi (basata sul modello di J. J. Thomson) e teorizza una struttura di tipo "planetario". Tutto ciò avviene dall'analisi dei risultati di un esperimento in cui, ancora una volta, protagonisti sono i raggi Alfa che, prodotti da una sorgente radioattiva di Polonio, vengono lanciati su una sottile lamina d'oro e poi intercettati, per tracciarne la traiettoria, da uno schermo di solfuro di zinco. È proprio analizzando su quest'ultimo le traiettorie che Rutherford non si ritrova nella struttura che all'epoca si pensava fosse quella degli atomi e teorizza che l'atomo sia in realtà formato per lo più da spazio vuoto; che abbia un nucleo di carica complessivamente positiva e che sia circondato da elettroni che gli girano attorno. Si tratta di una visione estremamente rivoluzionaria per il tempo e che verrà successivamente ripresa e perfezionata da Niels Bohr negli anni Quaranta del Novecento in quello che sarà il modello definitivo che ancora oggi viene utilizzato: un nucleo circondato da orbite di elettroni poste su più livelli. Ulteriore passo avanti si fa nel 1932, anno in cui James Chadwick riesce a scoprire l'esistenza del neutrone e ne calcola la massa, di poco maggiore di quella dei protoni; già precedentemente era stato ipotizzato che esistesse un ulteriore elemento nell'atomo che avesse carica neutra, ma mentre l'ipotesi più accreditata lo vedeva come "accorpato" agli elettroni, Chadwick dimostra come in realtà questa particella subatomica sia parte integrante del nucleo assieme ai protoni. Capiamo benissimo come si tratti di una scoperta fondamentale per il futuro dell'energia nucleare in quanto riguarda l'esistenza stessa di uno dei protagonisti indiscussi dei processi di fissione nucleare. Ebbene la tappa fondamentale, risultato di questi oltre quarant'anni di intensa ricerca scientifica a livello mondiale, la troviamo nelle scoperte che avvengono tra il 1938 e il 1939, alle porte dello scoppio della seconda Guerra Mondiale. È infatti nel 1938 che a Berlino, ad opera di Otto Hahn e Fritz Strassman, viene dimostrata per la prima volta l'avvenuta fissione nucleare; i due chimici infatti, bombardando un campione di Uranio con dei neutroni, individuano il formarsi di Bario e di altri elementi con massa nettamente inferiore di quella dell'Uranio. Sulla scia di questo esperimento lavorano Lise Meitner e Otto Frisch che spiegano come probabilmente l'incontro del neutrone con il nucleo dell'atomo che ne viene bombardato porti ad una divisione del suddetto nucleo in parti non eguali tra di loro; per la prima volta inoltre viene misurata la quantità di energia rilasciata da questa fissione, pari a circa duecento milioni di Elettrovolt. Immediatamente dopo venne ulteriormente dimostrato come il processo di fissione, oltre a una discreta quantità di energia, rilasciasse anche altri neutroni: si affaccia così per la prima volta l'ipotesi della creazione della catena di reazioni di fissione nucleare che ad oggi è alla base del funzionamento dei reattori nucleari. Le prime sperimentazioni in tal senso avvengono a New York, in un gruppo di scienziati che conta lo stesso Enrico Fermi, trasferitosi in America per via delle leggi razziali dilaganti in Italia.

Ed è proprio qui che, affianco agli esperimenti che confermano ciò che era stato teorizzato poco prima, ci si rende conto di diversi dettagli estremamente importanti. Anzitutto si scopre che l'Uranio maggiormente funzionale a una riuscita fissione è, come già detto in precedenza, l'Uranio-235 e si definisce un meccanismo, chiamato "arricchimento" per riuscire ad aumentare la sua percentuale, di norma molto bassa. Inoltre lo stesso Fermi propone l'ipotesi di come l'eccessiva velocità dei neutroni rilasciati dal processo di fissione possa essere controproducente per l'efficace crearsi di una catena di reazioni e propone l'utilizzo di un materiale "moderatore" che possa rallentare l'andamento dei neutroni. Nel frattempo a Parigi, sulla spinta di queste scoperte, viene dimostrato da Francis Perrin come la reazione a catena si possa sostenere tramite un misto di Uranio e acqua e che ipotizza inoltre l'utilizzo di un materiale che possa assorbire i neutroni in eccesso evitando una catena di fissioni incontrollata e dando quindi il potere di definirne i limiti: vengono così raggiunte le tappe mancanti alla comprensione totale del funzionamento della fissione nucleare, avendo non solo trovato un modo per sprigionare una quantità enorme di energia, ma anche come controllare la reazione responsabile di ciò. Fino a questo momento gli studi svolti in questo campo avevano avuto impatti concentrati per la quasi totalità in ambito medico; adesso, a fronte di queste nuove consapevolezza, ci si apre a un numero infinito di possibilità.

Ebbene si giunge, contemporaneamente al raggiungimento di questo apice di scoperte, per le quali ci si era preparati per decenni, allo scoppio della Seconda Guerra Mondiale.

Si apre così un capitolo completamente diverso nella storia dell'energia nucleare, dove la possibilità di controllare la produzione di un quantitativo così grande di energia incontra gli intendi bellici di più di un Paese, determinando l'inizio di una ricerca volta alla creazione di un'arma più distruttiva di qualunque altra conosciuta dall'umanità.

Celebre è in tal senso la lettera che Albert Einstein scrive al presidente Roosevelt condividendo le sue preoccupazioni riguardo la direzione che nell'evento bellico una scoperta come quella dell'energia nucleare potesse prendere e suggerendo un controllo e, in caso di bisogno, tempestivo intervento in tal senso, da parte del governo. Dopo aver ricevuto la lettera, Roosevelt fa creare un "Uranium Committee", finalizzato allo studio delle potenziali applicazioni belliche di queste nuove scoperte.

Inutile dire come Einstein ci avesse visto lungo; infatti nel 1940 Heisenberg inizia a proporre la possibilità di utilizzare l'Uranio-235 per creare un effetto esplosivo che avrebbe superato di gran lunga quello dei normali esplosivi a base di tritolo. Nello stesso anno Carl Friedrich von Weizsacker scopre come ottenere il Plutonio, un elemento estremamente esplosivo, che avrebbe poi caratterizzato uno degli ordigni nucleari utilizzati verso il finire della Guerra.

A questo punto, seppur ci si trovi in una fase iniziale del Conflitto, le potenzialità di queste scoperte vengono accolte sotto più fronti e vengono istituiti programmi nucleari in diversi Paesi, primo fra tutti la Germania. Quella del programma nucleare tedesco è invero una storia alquanto altalenante che, benché il paese fosse dotato di grandi menti fisiche e chimiche e di infrastrutture tecnologiche valide, ha conosciuto moltissime problematiche e, alla fine, un grande fallimento. Quando scoppia la Guerra infatti è l'Agenzia per gli armamenti dell'esercito (HWA) a prendere il controllo dell'apparato per le ricerche sull'Uranio e quest'ingerenza contribuisce a un forte squilibrio interno che risulterà in un continuo cambio di dirigenti e responsabili. Nell'organizzazione dello studio vengono identificati tre rami principali: la realizzazione di un reattore; l'approvvigionamento di acqua pesante e la

produzione di Uranio; la separazione degli isotopi. Iniziano però a presentarsi i primi problemi tra cui la quasi totale mancanza di acqua pesante in Germania, ma anche l'ignorare la necessità di barre di materiali capaci di assorbire i neutroni per stabilizzare il progetto. Va anche considerato che, nella fase della Guerra più vittoriosa per i tedeschi, si ritiene, probabilmente sulla spina di un illusorio ottimismo, di diminuire drasticamente le risorse concesse a questo progetto e questo, sommato a tutta una serie di intoppi tecnici nella progettazione e a una scarsa comunicazione tra i gruppi di studiosi, porta alla fine al fallimento del progetto. La Germania non riuscì dunque in quegli anni a definire la massa critica necessaria per la fabbricazione di una bomba e neanche un metodo efficiente per separare l'Uranio-235: l'unico vero contributo che i tedeschi daranno a questo tema riguarderà una nuova metodologia tramite cui arrivare ad un arricchimento degli isotopi.

Ora, abbiamo detto che i tedeschi non furono gli unici a mettere su apparati scientifici nel tentativo di dominare questa nuova potenziale arma ed è infatti proprio questo progetto tedesco a spronare all'azione anche la Gran Bretagna e, successivamente, gli Stati Uniti. Siamo nel 1941 e ancora non si è riusciti a dare vita a una reazione a catena di fissioni nucleari né a isolare in modo efficiente l'Uranio-235 dall'isotopo Uranio-238. La necessità prima a questo punto è però quella di anticipare la Germania in qualsiasi scoperta significativa in questo campo e per questo vengono mobilitati ingenti capitali finanziari e scientifici: nasce con queste prerogative il "*Metallurgical Laboratory*" a Chicago. Proprio qui si trasferisce Enrico Fermi l'anno seguente e si unisce alla ricerca in quello che poi sfocerà nel cosiddetto "Progetto Manhattan". Si riesce in pochi mesi a raggiungere le quantità richieste dall'esperimento di Uranio e grafite, fino ad arrivare alla data che più di tutte marca la storia del nucleare: il 2 dicembre del 1942 Enrico Fermi, dopo anni di ricerche, riuscì nella prima reazione a catena di fissione autosostenuta in assoluto. A questo punto gli sforzi si dirigono verso lo sfruttamento delle acquisite conoscenze pratiche per la costruzione di un ordigno nucleare. Molti dei partecipanti a questi ultimi studi, come il fisico Bruno Rossi, temevano la distruzione che un'arma del genere avrebbe potuto apportare, ma la minaccia data dagli studi della Germania porta necessariamente a tentare il tutto per tutto. Gli studi avanzano, i risultati anche, ma nel frattempo la Guerra giunge alla sua conclusione, con la resa della Germania nel 1945. A questo punto i dubbi sull'utilizzo della neonata bomba atomica dilagano: la Germania era stata ormai superata e battuta, perché utilizzare un'arma di così ampia distruzione se il nemico che l'aveva ispirata non c'è più? Rimaneva il Giappone a combattere e per risolvere la questione senza sacrificare vite umane in molti propongono di riunire i capi internazionali e dimostrare l'utilizzo dell'arma in uno spazio ampio e isolato, senza utilizzarla in modo diretto. La primissima esplosione atomica risale al cosiddetto "*Trinity Test*", nel deserto del Nuovo Messico: la bomba atomica è realtà tangibile. Nonostante le petizioni degli scienziati che avevano lavorato al progetto che pregavano di considerare le conseguenze morali nell'utilizzo di questa arma contro il Giappone; gli Stati Uniti, la Gran Bretagna e l'Unione Sovietica chiedono prima la resa incondizionata al Giappone e, di fronte a un fermo rifiuto, gli Stati Uniti sganciano le due bombe nucleari rispettivamente a Hiroshima e Nagasaki, uccidendo centinaia di migliaia di civili tra l'esplosione vera e propria e le malattie derivanti dall'esposizione alle altissime radiazioni. A questo punto della storia il nucleare è passato da risorsa per infinite possibilità a strumento di inimmaginabile distruzione; causa delle enormi perdite e dei danni diretti e indiretti che fece, fu la prima e ultima volta che venne usata un'arma nucleare in un evento bellico.

Il terminare della Seconda Guerra Mondiale non determina però una caduta della visione dell'energia nucleare come arma, che continuerà per diversi anni nel corso della Guerra Fredda, un lungo periodo di tensione tra le due superpotenze mondiali degli Stati Uniti e dell'Unione Sovietica; periodo caratterizzato dall'incombente fantasma del potenziale scoppio di una guerra nucleare, che fortunatamente rimase solo potenziale.

Oltre però all'idea dell'"arma nucleare" le nuove conoscenze che si acquisiscono superato il Conflitto Mondiale risultano nell'aggiunta di una visione nuova al ruolo che il nucleare può avere: non più solo elemento di distruzione di massa, ma strumento per produrre energia. Mentre infatti si cercava di sviluppare la bomba atomica si era scoperto che il calore che viene rilasciato nel processo di fissione può essere utilizzato direttamente per creare elettricità. Inizia così una nuova fase del nucleare nel dicembre 1951 in Idaho, quando il primo piccolo reattore nucleare finalizzato alla produzione di energia elettrica viene messo in funzione; gli Stati Uniti danno così il via a un programma volto a un approfondimento di questa nuova funzione civile dell'energia nucleare. Celebre è in questo senso il discorso pronunciato dall'allora Presidente degli Stati Uniti Eisenhower e intitolato "Atomi per la Pace", che segna la visione di un potenziale e necessario utilizzo pacifico della risorsa nucleare.

Anche l'Unione Sovietica segue questa scia innovativa e dà vita al "*Institute of Physics and Power Engineering*" (FEI) che attiva nel 1954 il primo generatore di elettricità alimentato da energia nucleare. Studi vengono portati avanti e numerosi progressi vengono fatti, con la conseguente creazione di diverse tipologie di reattori nucleari e diverse capacità in termini di produzione di energia.

Nel 1957 viene creata la AIEA (Agenzia Internazionale per l'Energia Atomica), uno organismo autonomo intra-governativo che nasce all'interno del circuito delle Nazioni Unite con lo scopo primario di portare avanti la ricerca e le potenzialità dell'energia nucleare assicurandosi al contempo che non venga usata per scopi bellici e distruttivi. Gli anni Sessanta e Settanta del Novecento sono i più fiorenti per l'energia nucleare; si è visto il suo potenziale distruttivo, ma la Guerra appare ormai lontana e inoltre sono state scoperte nuovi interessanti utilizzi di questa potente risorsa. La conseguenza è che ormai l'energia nucleare si diffonde in Europa e viene utilizzata sempre di più. Una fase di forte dubbio arriva però in seguito a una serie di incidenti che avvengono tra la fine degli anni Settanta e la fine degli anni Ottanta. Prima c'è l'evento di Three Mile Island (Pennsylvania), 1979, in cui un malfunzionamento a livello del circuito di refrigerazione provoca una reazione a catena che termina con la parziale fusione del nocciolo e il rilascio di radiazioni. Se in questo caso i danni in termini di vite umane si riescono a evitare, così non è per l'incidente che avviene meno di un decennio dopo; il ben più famoso e tristemente tragico evento di Chernobyl (Ucraina) del 1986. Qui, durante un test di sicurezza su uno dei reattori nucleari della centrale, il reattore, che già si trovava in una condizione instabile, viene ulteriormente sollecitato (contrariamente a quanto previsto dai protocolli di sicurezza) e quando si cerca di spegnerlo esso si potenzia oltre ogni limite di sicurezza. Ciò porta a due diverse esplosioni e a diversi incendi che, assieme al rilascio di una nube di materiale altamente radioattivo nelle aree limitrofe, contaminano in modo disastroso l'ambiente. Sono sessantacinque i morti accertati e sull'ordine di migliaia i casi di malattie derivanti dalle radiazioni rilasciate.

Se già questi eventi iniziano ad installare la paura nelle menti di molte popolazioni, portando a mettere in discussione la credibilità della sicurezza dell'energia nucleare, di certo non aiuta l'ulteriore incidente di Fukushima del 2011. Un terremoto particolarmente violento e il conseguente tsunami colpiscono infatti la centrale

che, non adeguatamente protetta, subisce ulteriori danni dovuti a esplosioni interne e, anche qui, il rilascio di radiazioni. Al seguito di questi eventi i movimenti anti-nucleare non fanno che crescere e sono diversi i paesi che decidono di abbandonarlo definitivamente, come ad esempio la Germania e l'Italia. Ad oggi i paesi più concentrati sull'utilizzo del nucleare e sul suo sviluppo sono Belgio, Slovacchia e Francia e in tutti e tre più della metà dell'energia elettrica prodotta deriva dal nucleare. Attualmente l'energia nucleare rappresenta il 10% di quella prodotta nel mondo, divisa nelle 440 centrali nucleari esistenti, ma la AIEA ritiene che questo numero crescerà entro il 2050 e che la quota prodotta sarà sempre maggiore. Non faticiamo a vedere come si tratti di un'ipotesi plausibile, soprattutto ora, con l'impegno internazionale a un'evoluzione energetica in senso "green" e l'accettazione dell'energia nucleare tra le attività considerate sostenibili dalla Tassonomia EU, di cui ci occuperemo più avanti in questo elaborato.

1.3 Breve focus storico sull'Italia

Appare importante fare una piccola digressione sulla personalissima esperienza dell'Italia nel campo del nucleare. In un periodo che va dagli albori degli anni Sessanta del Novecento ai primi anni Ottanta l'Italia appare infatti come una delle nazioni con maggiori potenzialità a livello nucleare e non ci si può certo aspettare altro dal paese che ha dato i natali a Enrico Fermi, lui, che il reattore nucleare lo aveva padroneggiato. Allora si avevano tre centrali nucleari rispettivamente a Latina, Garigliano e Trino Vercellese a cui si aggiunge nel 1976 la centrale nucleare ad acqua bollente dislocata presso Caorso. Certo, non erano mancati gli scandali e gli stop (esempio lampante è stata la condanna del Direttore generale del CNEN per abuso di atti d'ufficio), ma lo sviluppo prosegue e i progetti per nuovi insediamenti fioriscono (Moncada Lo Giudice, 2010). Questo almeno fino all'evento di Chernobyl del 1986 che, sommato ad altre problematiche interne e tensioni politiche, determina uno stop a questo sviluppo. Come comprensibile questo evento sconvolge la popolazione e nasce un'onda di terrore verso il nucleare e la possibilità che ciò che è accaduto possa ripetersi in Italia. I cittadini vengono chiamati l'8 novembre del 1987 a votare in un referendum abrogativo contenente tre distinte domande sul nucleare (si potrebbe anche discutere la decisione di richiedere un referendum all'indomani di un incidente così disastroso ed emotivamente segnante, ma non è questa la sede). Queste tre domande con cui la popolazione italiana si confronta riguardano non le centrali nucleari già esistenti e una loro possibile chiusura, ma semplicemente le norme che donavano ai progetti di costruzione di nuovi impianti nucleari delle "corsie di passaggio" più rapide e semplificate. Si raggiunge circa l'80% dei "sì" in tutti e tre i quesiti e questo segna la fine del nucleare in Italia; vengono infatti smantellate le centrali già esistenti, trasformando l'Italia da paese potenzialmente indipendente (o quasi) a livello energetico a paese fortemente dipendente dall'importazione estera.

Capitolo 2. Cina: la migliore potenzialità per il nucleare

2.1 Situazione globale e focus sull'Asia

Dopo aver esaminato in maniera diffusa e generale la storia dell'energia nucleare, appare ora il caso di studiare quale sia la situazione che attualmente, a livello globale, ci si trova ad affrontare. In questo ambito le potenzialità maggiori, per studi, piani di costruzione di reattori e, in generale, una mentalità sempre volta al nucleare, le detiene l'Asia. Analizzando infatti il *World Nuclear Performance Report* del 2022, nel quale sono riportati, tra le altre cose, gli andamenti della produzione di energia nucleare dal 1970 ad oggi, appare chiaro come nella maggior parte dell'Europa, come anche nel Nord America, si stia assistendo a un trend al ribasso, questo sempre con l'esclusione di alcuni paesi specifici che invece in questo campo risultano essere virtuosi. Prima fra tutti in quest'ultimo gruppo troviamo la Francia, che basa il 70% della sua produzione energetica sul nucleare, con ben cinquantasei reattori nucleari disposti sul paese, almeno otto la cui costruzione è stata pianificata e con una produzione evitata di tonnellate di CO₂ di circa 11320 (*World Nuclear Association*, 2022). Appare comunque congruo evidenziare come nell'ultimo anno il paese abbia dovuto affrontare delle problematiche abbastanza pressanti riguardo la messa in sicurezza dei suoi impianti, che ha portato alla necessità di operare nel corso del 2022 con l'ausilio energetico di solo metà dei propri reattori. Nonostante queste sopravvenute problematiche il nucleare è ovviamente ben lungi dall'essere abbandonato ed è stato intrapreso dalle autorità competenti un programma di messa in sicurezza su larga scala.

Come detto però il continente con la maggiore spinta verso l'energia nucleare è l'Asia ed è quest'ultima che andremo ad analizzare nel corso del presente capitolo. È qui che troviamo infatti, sempre secondo uno studio condotto dalla *World Nuclear Association* relativo al 2022, circa centoquaranta reattori nucleari operativi sparsi sul territorio, ma soprattutto un'enorme e continua spinta di proposte per ulteriori costruzioni, di cui per ora programmate ne sono circa un'ottantina. A questi dati è necessario aggiungere anche una nota sull'eccezionale rapidità della costruzione stessa che, sommata al funzionamento dei già presenti impianti, porta a presupporre che all'Asia non manchi molto per raggiungere gli stessi livelli dell'Occidente riguardo la produzione di energia nucleare.

Interessante è anche considerare la differenza degli andamenti di questi dati tra Asia ed Europa alla luce della storia del nucleare esposta nel capitolo precedente. Se è vero infatti che all'indomani dell'incidente di Fukushima l'energia nucleare ha subito un arresto temporaneo in Asia (e ciò appare totalmente naturale e fisiologico in quanto essa è stata colpita in maniera diretta), è vero anche gli anni successivi sono stati caratterizzati da un trend più che positivo; una crescita tendenzialmente costante e più pronunciata rispetto all'andamento negli anni precedenti il 2011, e che ha portato l'Asia, nel vicino 2021, molto prossima al raggiungimento del Centro Europa in termini di Terawattora prodotti (*World Nuclear Association*, 2022).

Se non il contrario, quasi, è avvenuto invece in Europa, che pur non essendo stata colpita in modo diretto dalla suddetta tragedia, ha comunque visto rallentare i propri trend ascendenti, con interi paesi che, presi dal timore suscitato da Fukushima, hanno rinunciato completamente al nucleare (esempi lampanti Italia e Germania) e altri che recentemente sembrerebbero star valutando di percorrere la stessa strada. Si tratta per altro di una scelta che in molti casi ha creato delle problematiche: ricordiamo il periodo storico in cui stiamo vivendo, in cui l'uscita da una pandemia e la verticale crescita di domanda energetica per una ripresa economica ha portato a doversi affidare ai combustibili fossili che, oltre alle problematiche di sostenibilità, hanno rivelato avere una linea di fornitura "debole" (Bilbao y León, 2022) di fronte l'inaspettata invasione russa in Ucraina e la guerra che ne è seguita. Si tratta quindi di un contesto geo-politico molto particolare che influenza ovviamente il mercato tutto, compreso quello energetico.

Dopo aver fatto questa piccola riflessione è il caso però di tornare alle considerazioni sull'Asia, dove questo forte e crescente sviluppo del nucleare è stato senza ombra di dubbio guidato e trainato dalla Cina, che non ha però agito in solitudine, ma è stata accompagnata da India, Giappone e Corea del Sud (*World Nuclear Association, 2023*). Di seguito analizzeremo brevemente l'andamento del nucleare in questi ultimi paesi per poi dedicare il resto del capitolo alla Cina in particolare.

Iniziando dall'India possiamo dire che attualmente vi si possono trovare ventidue reattori nucleari operativi, accompagnati da circa otto in fase di costruzione e altri dodici la cui realizzazione è già stata programmata. La mentalità di base, possiamo vederlo bene, è quella di una crescita che deve andare di pari passo con la grande opera di rinnovo del sistema delle infrastrutture e che, secondo i progetti del governo Indiano, mira a raggiungere in meno di un decennio la produzione di 22,5 Gigawatt l'anno (*World Nuclear Association, 2022*). A questo chiaramente contribuiscono gli esperimenti fatti utilizzando l'elemento del Torio in un processo che lo trasmuti, attraverso una serie di decadimenti, in Carbonio pronto alla fissione; l'India sta così sviluppando, in maniera assolutamente innovativa, la creazione di una nuova strada nel mondo dell'energia nucleare.

Andando avanti nell'esposizione troviamo la Corea del Sud, uno dei paesi più rilevanti per l'energia nucleare a livello mondiale, non solo per i reattori che detiene (venticinque operativi e almeno tre in costruzione), ma anche e soprattutto per le sue grandi capacità e conoscenze tecniche in questo ambito. D'altronde è comprensibile come un paese che ha sempre avuto il nucleare come parte della propria strategia economica e che attualmente lo utilizza per produrre il 25% del suo fabbisogno elettrico, possa essere tra i primi in termini di conoscenze e ricerche (*World Nuclear Association, 2023*). A dire il vero si è temuto per qualche tempo in un'inversione del trend nucleare della Corea del Sud, più precisamente quando nel 2017 è stato eletto come Presidente Moon Jea-in. Quest'ultimo aveva infatti presentato un programma volto a diminuire, con l'obiettivo di eliminare, l'utilizzo dell'energia nucleare nel corso dei quarantacinque anni successivi. Questa direzione è stata poi modificata quando nel 2022 è stato eletto Presidente Yoon Suk-yeol, che ha ribadito l'importanza fondamentale dell'energia nucleare nel paese e ha avviato un piano di finanziamenti volti a un suo continuo sviluppo (*World nuclear Association, 2023*).

Passiamo infine a trattare del Giappone, che col nucleare ha avuto negli ultimi dieci anni circa una storia definibile come "travagliata". Infatti si era partiti con una grandissima spinta al nucleare, che, ai tempi di Fukushima,

provvedeva al 30% del fabbisogno di elettricità del paese. Dopo l'incidente però, comprensibilmente, il nucleare ha avuto un breve periodo di stop, almeno per quanto riguarda gli ambiziosi piani che il Giappone aveva, tra cui figurava l'aspettativa di arrivare al 2017 con una produzione di elettricità raddoppiata e, nel lungo termine, di svilupparsi ulteriormente. A seguito però degli sconvolgenti eventi del 2011 si è sì deciso di continuare a vedere l'energia nucleare come una potente risorsa, soprattutto con l'emergere nell'ultimo anno dell'obiettivo di svincolarsi energeticamente dalla Russia, ma rimanendo comunque per il momento su un livello di produzione elettrica del 20% (*World Nuclear Association, 2023*). Questo dovuto anche al fatto che, sebbene il Giappone sia fornito di ben trentatré reattori nucleari sparsi sul suo territorio e due attualmente in costruzione, almeno sedici di questi si trovano ancora coinvolti nel lungo processo di ispezioni, messa in sicurezza e approvazioni alla ripartenza nato all'indomani del disastro e che, come visto, è ancora in corso (*World Nuclear Association, 2023*).

2.2 La Cina

Arriviamo dunque a questo punto a parlare della Cina, il paese che risulta in assoluto il più specializzato nell'ambito dell'energia nucleare, ma soprattutto quello con le maggiori potenzialità di sviluppo in questo settore, sia per le sue altissime capacità, sia per le motivazioni che spingono il paese a considerare il nucleare come parte necessaria e integrante del suo sistema strategico; ma andiamo per gradi.

Anzitutto occorre dipingere la situazione generale della Cina, che si trova ad operare con ben cinquantaquattro reattori nucleari attualmente in uso e, sotto la spinta di uno sviluppo estremamente rapido, con ventidue in costruzione e quarantasei attualmente in attesa di programmazione. L'ausilio di tutti questi ha portato all'ottimo risultato di limitare le emissioni di CO₂ delle 2051 tonnellate che sarebbero state emesse dalla Cina qualora i reattori non fossero stati in funzione (*World Nuclear Association, 2022*). Lo sviluppo di questo paese in questo ambito specifico è stato eccezionalmente rapido, tanto che solo nel decennio che va dal 2011 al 2021 il numero di reattori nucleari sul territorio è aumentato di quasi il doppio (*World Nuclear Association, 2023*). Altro elemento da tenere a mente quando si parla della Cina e del nucleare è il suo essere un paese "fuoriclasse" per quel che riguarda lo studio e la costruzione dei reattori, ambiti nei quali ormai la Cina è assolutamente autosufficiente. Nonostante questo le tipologie di reattori in azione sono estremamente diversificate tra loro e non manca certo l'utilizzo di tecnologia occidentale, sempre però nell'ottica di sviluppare e migliorare. Tutto lo sforzo strategico del nucleare per la Cina conduce a due obiettivi fondamentali: da una parte aumentare sempre di più le quote di energia pulita prodotte, dall'altra specializzarsi talmente tanto nella "catena di montaggio" del nucleare da divenire un riferimento tra i fornitori delle componenti a livello globale.

Urge però a questo punto, dopo aver realizzato un quadro molto generale, considerare quale sia la motivazione principale per la quale la Cina, come abbiamo visto, spinge a uno sviluppo sempre più rapido e completo dell'energia nucleare. Il cardine primo infatti di tutto questo processo è l'obiettivo di risolvere forse il più grande problema di questo paese: l'inquinamento dell'aria e la larga emissione di gas serra.

La Cina infatti è, assieme agli Stati Uniti, la fonte di più di un quarto delle emissioni annuali su scala globale (Maizland, 2021).

A contribuire a questa condizione sono stati tutte una serie di fattori concomitanti; primo fra tutti la notevole (e rapida) crescita economica conosciuta da questo paese nel suo fortunato processo di industrializzazione che l'ha portata, negli scorsi dieci anni, ad essere il paese con la più alta emissione di gas nocivi per l'ambiente a livello globale. A questo chiaramente contribuisce il fatto che due terzi del consumo di energia in Cina si basa su ciò che deriva dalle centrali a carbone (centrali termoelettriche che generano elettricità partendo dal processo di bruciare il carbone). Invero, col crescere della sensibilità sulle tematiche ambientali, si è cercato nel 2016 di porre un limite a questo andamento proibendo di costruire nuove centrali a carbone, se non fosse che questo provvedimento, scaduto due anni dopo, non è stato mai rinnovato e la Cina ha presto recuperato quel livello di utilizzo di carbone che si era riusciti ad abbassare (Maizland, 2021). La Cina continua quindi ad investire largamente sull'energia non rinnovabile e questo accade sia in una dimensione nazionale, che in quelle che sono le scelte di finanziamento internazionali. Aggravante in tutto questo ragionamento appare inoltre essere la forte popolazione del paese, che conta ad oggi circa un miliardo e mezzo di abitanti e di questi moltissimi vivono in aree urbane, rendendo la Cina paese di origine di alcune tra le città più popolate al mondo. Questo ovviamente ha forti impatti sulla crescita, considerevole, della domanda di energia, ma anche sul numero di autoveicoli in circolazione che in Cina, nell'ultimo ventennio è cresciuto di ben otto volte, con la risultante di un livello di emissioni ancora maggiore (Maizland, 2021).

Il risultato di questi andamenti è stato non solo, come detto, un altissimo livello di inquinamento dell'aria, ma anche sempre più episodi di contaminazione del suolo e di scarsità di acqua. Tutto questo, se mandato avanti come è stato fino ad oggi, potrebbe portare a delle conseguenze, per l'ambiente, ma per la stessa popolazione del paese, veramente disastrose. Non è ignoto infatti quali siano gli effetti del riscaldamento globale: se la temperatura media globale dovesse continuare a salire, complici le emissioni di cui abbiamo parlato, il livello del mare si alzerebbe in modo tale che moltissime zone della Cina sarebbero completamente sommerse, lasciando milioni di persone senza le proprie case. A questo si aggiungono rischi connessi a tutta una serie di stravolgimenti climatici che il riscaldamento globale provoca, tra cui alluvioni, disastri naturali ed eventi atmosferici sempre più imprevedibili. Oltretutto un livello così elevato di inquinamento porta a dei fortissimi pericoli per la stessa popolazione, che si trova a vivere la sua quotidianità in un ambiente la cui salubrità risulta sempre più compromessa; basti vedere come almeno un milione di persone l'anno muoiano per le conseguenze di un'aria fortemente inquinata (problemi respiratori, cardiovascolari etc. etc.), per non parlare delle malattie derivanti dall'inquinamento dell'acqua (Maizland, 2021).

Ovviamente la Cina ha preso coscienza di questa realtà e il Presidente Xi Jinping ha fissato una serie di obiettivi da conseguire per migliorare la difficile situazione, tra questi una significativa riduzione delle emissioni di CO₂ e un utilizzo sempre più intenso di forme di energia rinnovabili. Ed è proprio in questo processo di transizione a un'energia pulita che si colloca la valenza strategica che l'energia nucleare ha in questo paese, con dei grandissimi risvolti in termini della potenzialità di ulteriori grandi sviluppi futuri in quest'ambito.

Parlando adesso del viaggio dell'energia nucleare in Cina, possiamo evidenziare come questo sia iniziato durante gli anni '80 del secolo scorso, con la costruzione dei primissimi impianti nucleari. Questi erano inizialmente davvero pochi e la vera spinta in una crescita numerica la si può osservare solo nei primissimi anni 2000, quando,

previsti da un apposito piano economico di sviluppo, si arriva ad averne attivi un totale di otto (*World Nuclear Association, 2023*). Si tratta ovviamente di numeri considerevolmente bassi se pensiamo a quanti la Cina ne ha in funzione ad oggi, ma è proprio in quegli anni che, questa visione ottimistica sul nucleare e gli ottimi risultati ottenuti in quest'ambito, ne consolidano la presenza fissa nei piani strategici. Da quel momento infatti è possibile assistere a una rapida crescita, con la maggior parte delle province costiere del paese che richiede espressamente l'autorizzazione alla costruzione di nuovi impianti nel loro territorio. Ed è proprio su questa spinta che negli anni si va a creare la situazione osservabile oggi, con la Cina come uno dei leader del mondo del nucleare.

Appare congruo anche porre dei cenni a quella che è la struttura organizzativa dello sviluppo nucleare, che nei decenni si è sempre basata su degli obiettivi ben precisi quali una forte diversificazione nelle tecnologie degli impianti e una massimizzazione dell'indipendenza del paese da un punto di vista di capacità di progettazione, costruzione e approvvigionamento. Per quel che riguarda il primo elemento, è possibile ravvisarlo se si vanno ad analizzare i dati derivanti da uno studio aggiornato al 2023 della *World Nuclear Association* che rileva le differenti tipologie di reattori nucleari utilizzate; la più diffusa appare essere la tipologia di reattori nucleari cosiddetti "ad acqua pressurizzata" (*Pressurized Water Reactor*), tra cui spiccano i modelli CAP1000 e Hualong One. Oltre a questi si ravvisa però un interesse non indifferente allo sviluppo dei *High Temperature Gas-Coded Reactor*, a cui segue una programmazione il cui oggetto è la costruzione di un numero maggiore di "Reattori Nucleari Europei ad Acqua Pressurizzata" (*European Pressurized Reactor*). Ulteriori importanti studi di sviluppo vertono poi su reattori particolari, chiamati "a neutroni veloci" (*Fast-Neutron Reactors*), nei quali non vi è la necessità, come visto invece nel capitolo precedente, di un materiale moderatore poiché l'intero procedimento di fissione si basa su neutroni che si muovono molto velocemente. Ultima nota in questa lista, certamente non esaustiva, ma che mira a illustrare la varietà dei principali reattori utilizzati in Cina, è rappresentata da un ulteriore progetto: la costruzione di centrali nucleari galleggianti (*Floating Nuclear Power Plant*). La Cina infatti, in un processo che parte nel 2014 con un accordo di collaborazione con la Russia, ad oggi si trova ad essere il terzo paese nel mondo ad essere riuscito a padroneggiare questa particolare tipologia di impianti.

Ciò che può essere detto infine circa gli studi continui che la Cina porta avanti riguarda la seconda strada per il nucleare, la fusione. Abbiamo esposto in precedenza come si tratti di un procedimento molto complesso da ottenere, ma che, se padroneggiato, porterebbe a una rivoluzione nell'energia pulita, aumentando esponenzialmente il carico di energia che una sola operazione può rilasciare e diminuendo al contempo drasticamente le probabilità di pericolosi incidenti e di produzione di scorie difficili da smaltire. Ebbene è anche in questo ambito che la Cina, ormai da diversi anni, ha avviato un intenso programma di studi e ricerche, con l'obiettivo ultimo di raggiungere in futuro il primato nel controllo della fusione nucleare (*World Nuclear Association, 2023*). Per ora ancora deve essere compiuto il passo decisivo per ottenere un vero e proprio sfruttamento della reazione, ma la Cina ci si sta avvicinando sempre di più. Lo dimostra la notizia, risalente al recentissimo 12 aprile 2023, secondo cui proprio nel paese in questione gli scienziati sarebbero riusciti a far raggiungere al reattore di fusione nucleare EAST (*Experimental Advanced Superconducting Tokamak*) il traguardo di mantenere il plasma necessario al processo di reazione alle elevatissime temperature richieste per circa sette minuti raggiungendo così un nuovo record nel panorama della fusione nucleare a livello mondiale (Tiwari, 2023).

Si tratta di un piccolo passo, sì, ma che è sicuramente orientato nella direzione giusta per delle future rivoluzioni energetiche ed economiche. Arrivati a questo punto l'unica cosa necessaria da fare è attendere nuovi sviluppi, ma possiamo affermare che le prospettive siano più che ottimistiche.

2.3 Regolamentazione e sicurezza

Non è sbagliato assumere che un paese che vanta un così grande sviluppo del nucleare si sia dotato, già da decenni, di una forte rete di sicurezza e regolamentazione per un ambito così particolare. Vediamo quindi come la regolamentazione riguardante la sicurezza del nucleare sia stata affidata alla *National Nuclear Safety Administration* (NNSA), ente organizzativo, amministrato dal Ministero dell'Ecologia e dell'Ambiente (precedentemente conosciuto come Ministero della Protezione Ambientale), che ha a sua volta il compito di tutelare la salubrità dell'ambiente tutto del paese e di abbassare i livelli di inquinamento.

I compiti dell'NNSA sono molteplici e variano dal centralizzare la creazione e regolamentazione di linee guida concernenti un utilizzo in sicurezza dell'energia nucleare e delle radiazioni, alla creazione di piani di emergenza per far fronte in modo rapido ed efficiente ad eventuali incidenti; dalla determinazione di veri e propri piani operativi circa lo smaltimento delle scorie radioattive, all'individuazione di standard di qualificazione dei reattori nucleari e ancora, dall'organizzazione e attuazione di numerose ispezioni e azioni di monitoraggio sugli impianti presenti, alla comunicazione diretta dei dati concernenti i livelli di sicurezza dei materiali utilizzati alla IAEA (*International Atomic Energy Agency*). È inoltre lo stesso organismo ad occuparsi di fornire le licenze che servono per operare nelle varie fasi della catena di montaggio del nucleare: per l'approvvigionamento e il trasporto di materiali sensibili, ma anche per le tutte le operazioni di montaggio, costruzione e operatività all'interno degli impianti nucleari, oltre che tutte le azioni necessarie allo smaltimento delle risultanti scorie (*National Nuclear Safety Administration*, 2020). Abbiamo visto riguardo ciò, nel paragrafo precedente, come nei primi anni del 2000 le province della Cina che desideravano la costruzione di impianti nel loro territorio abbiano dovuto prima chiedere l'autorizzazione dell'autorità; appare quindi coerente in questa sede illustrare brevemente quale sia la catena necessaria per il rilascio delle licenze con ad oggetto la costruzione di centrali nucleari in determinati siti. Il processo passa prima di tutto attraverso una selezione preliminare del luogo, che, qualora rispetti precisi criteri, determina un primo lasciapassare per un progetto; successivamente però interviene la NNSA, che verifica la sussistenza di tutta una serie di requisiti ambientali e di sicurezza. Se anche questo passaggio risulta un successo, iniziano le costruzioni della struttura effettiva che si vede concessa la libera operatività dopo il superamento di alcuni test (*World Nuclear Association*, 2023).

Ma concentriamoci a questo punto sulla NNSA, un organismo che ha avuto uno sviluppo molto lungo nel corso degli anni. È stato infatti creato nel luglio del 1984, in un progetto di regolazione e sicurezza che ha portato anche all'istituzione di sedi regionalmente dislocate (nelle importanti città di Shanghai, Guangdong e Chengdu) per l'analisi delle radiazioni e di altri fattori che potessero rappresentare indici significativi di controllo. Nei primi anni della sua attività quest'istituzione ha provveduto ad implementare delle prime, "acerbe" forme di supervisione,

sistemi regolamentatori e piani di concessione di licenze, che però si trovavano in uno stadio fondamentalmente basico. Il primo vero sviluppo lo si ha avuto tra la fine degli anni '90 e il primo decennio del 2000, quando la NNSA è stata incorporata nell'allora *State Environmental Protection Administration* (odierno Ministero dell'Ecologia e dell'Ambiente) e sono stati implementati e sviluppati, su questa spinta ad una maggiore attenzione al fenomeno dell'inquinamento, i primi veri piani non solo di controllo, ma anche di prevenzione di fenomeni dannosi a livello ambientale e connessi ai residui dell'attività radioattiva. Significativo risulta inoltre essere il sistema di *partnership* che si è andato creando proprio in quegli anni con tutta una serie di centri di studio (*Tsinghua University*) e istituti (tra i quali possiamo contare ad esempio il *China Institute for Radiation Protection* o il *China Institute of Atomic Energy*), volto a una continua comunicazione e supporto da un punto di vista tecnico alla regolamentazione (*National Nuclear Safety Administration, 2023*). Fino ad oggi questo sistema non ha fatto altro che svilupparsi ulteriormente e migliorarsi. Il singolo dipartimento della NNSA si è moltiplicato e, soprattutto potendo contare sul sistema di cooperazione visto poco anzi, la capacità regolamentaria non ha fatto altro che aumentare, con regole aggiornate e caratterizzate sempre di più da solidità e specificità, arrivando a coprire e organizzare ogni ambito del settore. Ci troviamo quindi in una situazione in cui la Cina appare aver raggiunto i migliori risultati in assoluto a livello di protocolli di sicurezza. Nel 2013 si è inoltre introdotta in questa organizzazione una visione maggiormente "aperta" all'internazionalità e alle potenzialità tecniche che una collaborazione con altri paesi può avere. La Cina ha quindi prima stretto degli accordi con i più vicini Giappone e Corea del Sud, basati su uno scambio continuo di informazioni rilevanti, per poi stringere un accordo anche con l'Organizzazione per la Cooperazione e lo Sviluppo Economico (OECD) e più in particolare con la sua Agenzia Nucleare. Vediamo così come ci sia un cambiamento parziale nel paradigma, che risulta assolutamente basato sulla rinnovata consapevolezza del fatto che solo una condivisione di scoperte e linee guida generali possa effettivamente assicurare un livello maggiore di sicurezza su un piano internazionale (*World Nuclear Association, 2023*).

Chiaramente occorre specificare che questa innovativa consapevolezza e questo sviluppo virtuoso derivano in larga parte dalle considerazioni svolte all'indomani di Fukushima. L'evento ha infatti portato la Cina a dare assoluta priorità al meccanismo di ispezione e controllo delle centrali e all'inglobamento nel proprio sistema organizzativo degli standard di sicurezza proposti dalla IAEA stessa. Ricordiamo come proprio in reazione all'incidente, nell'anno successivo, il Ministero dell'Ecologia e dell'Ambiente abbia approvato un rinnovato piano di cinque anni riguardante la sicurezza nucleare e la prevenzione dell'inquinamento causato dalle scorie che considerava la necessità di una spesa di circa tredici miliardi di dollari per implementare la sicurezza degli impianti (*World Nuclear Association, 2023*). Nello stesso piano si riporta la presa consapevolezza di come la presenza sul territorio cinese di variegata tipologie di reattori, ognuna con degli standard diversi, debba portare necessariamente a un raddoppiato sforzo nell'ambito del controllo, con l'obiettivo ultimo e primario che il rilascio di radiazioni non causi "inaccettabili effetti sull'ambiente o sulla popolazione" (*12th 5-year Plan for Nuclear Safety and Radioactive Pollution Prevention and Vision for 2020; 2012*).

2.4 Percezione del nucleare degli abitanti della Cina: analisi di un Case Study

Dopo aver sottolineato e trattato la struttura dell'energia nucleare in Cina, il suo assetto organizzativo e le misure di sicurezza e dopo aver mostrato il suo ruolo di *asset* strategico all'interno del piano economico del paese è doveroso analizzare brevemente anche la componente "umana" presente in questo processo di sviluppo.

Se è vero infatti che la direzione generale dell'economia viene decisa dai vertici che governano il paese è anche vero che, come la storia ci insegna, l'opinione e la predisposizione della popolazione nei confronti delle iniziative intraprese, soprattutto riguardo temi così delicati, è fondamentale per garantire un corretto e soprattutto duraturo svolgersi dei piani di sviluppo. È quindi necessario e non trascurabile cercare di indagare quale sia la predisposizione della popolazione cinese. Cosa pensano i cittadini dell'utilizzo dell'energia nucleare? Abbiamo detto precedentemente che sono numerosissime le centrali sparse sul territorio, ebbene qual è il pensiero della popolazione circa la vicinanza dei reattori? L'esperienza di incidenti passati ha provocato nell'opinione pubblica preoccupazioni e proteste al nucleare anche in questo paese?

Ebbene per rispondere a queste domande ci serviremo dei risultati di uno studio del 2022 (*"Public Attention, perception and attitude towards nuclear power in China: a large-scale empirical analysis based on social media"*). Gli autori di questa ricerca, convinti dello stretto legame tra l'opinione pubblica preponderante e il futuro dell'energia nucleare, hanno indagato sull'andamento del pensiero popolare tra il 2015 e il 2019. Il tutto è stato attuato sfruttando le piattaforme dei social media, con l'obiettivo di avvalersi delle molteplici ricerche e informazioni che vi si possono trovare sotto forme differenti. Per fare questo è stata scelta una delle piattaforme maggiormente utilizzate in Cina, chiamata "Sina Weibo", che rappresenta un'unione tra una piattaforma di comunicazione, di *micro-blogging* e un mezzo di diffusione di notizie. Partendo da questa base quello che è stato fatto è stato isolare determinate parole chiave relative all'energia nucleare, recuperare i dati che ne risultavano e successivamente filtrandoli a seconda delle caratteristiche anagrafiche e geografiche degli utenti analizzati. Ciò che è stato anzitutto rilevato attraverso questa metodologia è stato il crescente numero di discussioni sulla materia nel corso degli anni analizzati. Questi veri e propri dibattiti aperti sul tema hanno, nei primi periodi considerati, temporalmente più prossimi all'incidente di Fukushima, registrato un'impennata nella preoccupazione verso il nucleare, che una buona percentuale degli utenti analizzati risultavano ritenere pericoloso. È emerso inoltre come proprio in questo primo periodo l'opinione pubblica facesse tendenzialmente maggiore attenzione alla dislocazione geografica delle centrali; addirittura è stata rilevata una preferenza dei cittadini a pagare affinché i reattori non fossero situati vicini alle zone delle loro abitazioni. Questa diffusa preoccupazione, registrata soprattutto geograficamente nelle zone adiacenti gli stabilimenti nucleari, ha lasciato poi il posto, negli anni seguenti, a una tendenziale stabilizzazione nel dibattito. È stato infatti rilevato che, col proseguire dello sviluppo nucleare e del raggiungimento degli obiettivi economici e ambientali, l'opinione pubblica in materia è divenuta più mite. In particolare è stato evidenziato come, nella maggior parte dei casi, le preoccupazioni derivassero da una non adeguata informazione, condizione diffusa tra la popolazione e che statisticamente aumentava le probabilità di giudicare il nucleare sulla base di *bias* cognitivi generati dalle notizie su incidenti passati. Proprio in risposta a questa tendenza è stato rilevato come il diffondersi, negli anni finali dello studio, di articoli informativi,

video di scienziati e altro materiale divulgativo riguardo al nucleare e ai suoi benefici nella lotta all'inquinamento abbia innalzato i livelli di gradimento generali della pubblica opinione, che attualmente risulta per la maggior parte guardare positivamente alla costruzione di nuovi impianti nucleari, con dei numeri che si trovano ad oggi tra i più alti al mondo (Gong et al., 2022). Questo studio dimostra dunque non solo come un saggio utilizzo dei mezzi di comunicazione e una condivisione col pubblico della scienza e dei risultati dei progetti possano favorire uno sviluppo rapido ed efficiente, ma risulta anche un dato importante per farci capire una delle molteplici ragioni per le quali l'energia nucleare ha avuto (e continua ad avere) in Cina un successo enorme, con prospettive sempre più rosee e promettenti per il futuro.

Capitolo 3. L'energia nucleare è sostenibile?

3.1 Concetto di “Sostenibilità”

Arriviamo dunque a questo punto al concetto fulcro della trattazione di questo elaborato: la sostenibilità. Si tratta di un ideale che nasce in tempi relativamente recenti ed è frutto dell'esperienza di secoli di crescita a livello industriale e della presa consapevolezza degli effetti che questa può avere, sia da un punto di vista ambientale che da un punto di vista economico-sociale. Sappiamo benissimo come, a partire da quella che conosciamo come la Prima Rivoluzione Industriale, e continuando poi con le successive, l'umanità abbia vissuto periodi di intense scoperte e crescita produttiva; ebbene di certo allora, sulla spinta dell'innovazione, le preoccupazioni non erano volte alla condizione dell'ambiente, alle risorse utilizzate e alla loro disponibilità e tantomeno ai risvolti sociali che la stessa crescita industriale poteva avere. Si tratta di concetti che infatti iniziano ad affacciarsi in ambito ufficiale solo nel 1987, con il cosiddetto “Rapporto Brundtland” (*Our Common Future*), in cui la Commissione Mondiale sull'Ambiente e lo Sviluppo introduce per la prima volta l'idea di sostenibilità. Lo sviluppo sostenibile viene infatti qui definito come “uno sviluppo che soddisfa i bisogni del presente senza compromettere la capacità delle generazioni future di soddisfare i propri” (WCED, 1987); si tratta di una pietra miliare nella storia della sostenibilità, in quanto marca la prima presa di coscienza circa la scarsità delle risorse presenti sul pianeta. Non solo, per la primissima volta si inizia a guardare al di là del solo sviluppo e benessere della propria generazione e si considera di pensare al tenore di vita che si avrà nel futuro, in un'ottica di equità intergenerazionale” (Silvestri, 2015). Da qui in avanti si percepirà un vero e proprio dovere nei confronti di chi “verrà dopo” di mantenere determinati livelli di salvaguardia dell'ambiente e della sua salubrità, che sempre più vengono considerati come condizione necessaria al benessere della popolazione. È proprio da qui che iniziano le primissime opere di sensibilizzazione delle masse circa questa condizione.

Ma quando oggi ci riferiamo alla “sostenibilità” in realtà non parliamo solo ed esclusivamente dell'ambiente e della scarsità delle sue risorse; si tratta infatti di un concetto molto più ampio e complesso, che ha vissuto, dal 1987 ad oggi, una forte evoluzione e arricchimento. Lo possiamo vedere nel 2002, con il Vertice Mondiale sullo Sviluppo Sostenibile e la redazione della “Dichiarazione di Johannesburg”. In essa infatti viene ridefinito il concetto di sostenibilità attraverso l'elencazione di sfide da affrontare e obiettivi da raggiungere per determinare uno sviluppo sostenibile. Tra queste sfide figurano infatti, accanto a un utilizzo responsabile delle limitate risorse ambientali, anche la lotta alla povertà, alla fame, ai conflitti armati e alle discriminazioni, tutti considerati elementi che possono minare lo sviluppo sostenibile, che proprio qui acquisisce la sua connotazione di “benessere dei popoli”, concetto omnicomprensivo di tanti e variegati requisiti. Inizia inoltre a farsi strada la consapevolezza che solo una collaborazione, estesa e priva di limiti geo-politici, possa portare a una risoluzione di queste problematiche.

Questa evoluzione di consapevolezza la possiamo ravvisare anche a livello di legislazione e obiettivi internazionali e soprattutto, per quel che ci interessa in questa trattazione, europei. L'intervento comunitario a favore e protezione della sostenibilità come obiettivo di politica unitaria, è stato determinante e tempestivo.

Pensiamo a come già nel 1986, con l'Atto Unico Europeo, sia stato aggiunto un titolo apposito dedicato all'"Ambiente" e come poi successivamente, nel 1992, con il Trattato di Maastricht, sia stato aggiunto agli obiettivi primari dell'Unione Europea il "promuovere un progresso economico e sociale equilibrato e sostenibile" (TUE, 1992).

Questa inclusione della sostenibilità tra gli obiettivi fondamentali delle politiche europee ovviamente non finisce qui; con il Trattato di Lisbona del 2007 (entrato poi in vigore nel 2009) si afferma, all'interno del Trattato sul Funzionamento dell'Unione Europea, che compito della stessa Unione sia "favorire lo sviluppo sostenibile dei paesi in via di sviluppo sul piano economico, sociale e ambientale, con l'obiettivo di eliminare la povertà" (TFUE, 2007), congiuntamente al "contribuire alla messa a punto di misure volte a preservare e migliorare la qualità dell'ambiente" (Ibidem). Vediamo quindi come l'Unione Europea abbia fatto, fin da subito, della sostenibilità uno degli elementi centrali nella definizione della sua politica, acquisendo, come si esplicita nel Trattato sul Funzionamento dell'Unione Europea, la piena competenza di intervento in ogni ambito della politica volta alla sostenibilità ambientale. È infatti proprio l'Unione, attraverso il lavoro della sua Commissione, a creare dei programmi pluriennali volti alla salvaguardia dell'ambiente; programmi che si basano su quattro principi fondamentali: Precauzione, ovvero scegliere la "via più sicura" in presenza di incertezze scientifiche riguardo l'impatto ambientale di qualcosa; Azione Preventiva; Risoluzione dei danni ambientali attraverso una correzione alla fonte del problema e infine il principio secondo cui chi provoca certi livelli di inquinamento deve correggere la situazione sostenendo tutte le spese correlate al danno provocato. Proprio a questo proposito l'Unione Europea istituisce dei criteri minimi che gli stati membri devono incontrare in occasione delle ispezioni, oltre alla necessità della previsione, all'interno dei suddetti stati, di sanzioni penali nei casi di inquinamento e di trasgressioni più gravi (ad esempio casistiche quali commerci illegali o scarichi illeciti di sostanze nocive).

3.2 Interventi Europei: Green Deal e Tassonomia UE

Tra gli interventi e gli strumenti utilizzati all'interno dell'Unione Europea per promuovere una transizione ad uno sviluppo energeticamente "pulito" e sostenibile, i più importanti per la nostra trattazione risultano essere il Green Deal e la Tassonomia UE.

Certamente la spinta definitiva all'implementazione di questi (ma anche di altri strumenti aventi simili obiettivi) è stata data dall'esperienza della pandemia di Covid-19, che ha non solo sensibilizzato ulteriormente circa tematiche inerenti alla salute, ma che ha anche causato gravi danni all'economia a livello internazionale, con la conseguente necessità di trovare un modo per dare ad essa nuovo slancio e, nel contempo, lavorare su una progressiva transizione a un modello economico più "green". Sulla scorta di questa idea il Consiglio Europeo ha ad esempio dato vita al Next Generation EU, un fondo di 750 miliardi di euro con lo scopo di sostenere economicamente gli stati membri nel processo di ripresa dalla pandemia, attraverso investimenti nelle innovazioni digitali e nei processi economici sostenibili. È proprio da questo strumento europeo, tra l'altro, che vengono i fondi per il Green Deal.

Quando parliamo di Green Deal Europeo trattiamo di uno strumento fondamentale nell'impegno dell'Unione nei confronti della sostenibilità, con il quale l'Europa affronta in modo diretto il problema dato dall'emergenza climatica e si occupa contemporaneamente di riformare la stessa società in un'ottica "verde".

La Commissione ha presentato il Green Deal Europeo per la prima volta nel 2019 e nell'anno successivo esso è stato approvato nei suoi ambiziosi obiettivi. Si tratta di un "piano di azione" che determina e dà rilevanza giuridica a una serie di obiettivi per l'Europa tutta e che comprende e implementa pacchetti di interventi normativi volti al superamento delle sfide proposte. Da questo punto di vista è possibile trovare alcuni obiettivi cardine che riguardano: una diminuzione del 55% del livello di emissioni entro il 2030; il raggiungimento di una neutralità climatica (ovvero una produzione di CO₂, al netto della quantità rimossa, pari a zero) e infine un obiettivo "conseguenza" dei precedenti che riguarda l'abbassamento del livello del riscaldamento globale a meno di 1.5 gradi Celsius. A questi tre obiettivi numerici si affiancano poi tutta una serie di traguardi considerati fondamentali non solo nel campo ambientale, ma anche in quelli economici e sociali, sostenuti attraverso interventi normativi proposti dalla stessa Commissione: parliamo qui di un impegno sostenibile a trecentosessanta gradi.

Vediamo infatti come ci si concentri su tutti gli aspetti della vita: si mira sì a tutelare (per garantire la vita delle generazioni future) suolo, acqua, aria e biodiversità; a investire sullo sviluppo tecnologico nel campo dell'energia rinnovabile e a promuovere un implemento del sistema dei trasporti pubblici, ma si vanno a tutelare ampiamente anche economia e vivere sociale. Nel primo caso rendendo, attraverso questa transizione economica, le industrie più competitive in un'era in cui gli investitori sono sempre più educati su questi temi e risultano essere maggiormente interessati a un beneficio sociale e ambientale di lungo termine rispetto a un profitto immediato (Pellegrini, 2023). Nel secondo caso avendo come obiettivi ultimi, attraverso l'implementazione di produzioni sostenibili e la protezione dell'ambiente, una generale offerta di cibi qualitativamente migliori e più sani, accompagnata da una riduzione dei prezzi degli stessi. A questo si aggiunge anche l'ulteriore obiettivo di diminuire la disoccupazione creando nuovi posti di lavoro attraverso la formazione di personale necessario nel processo di trasformazione del paradigma produttivo.

Accanto al Green Deal e alle sue proposte normative abbiamo poi un ulteriore strumento che sta guidando questo processo di transizione: la Tassonomia Europea per la Finanza Sostenibile.

Si tratta di un elemento introdotto nell'ambito della strategia di sostenibilità europea con il Regolamento 852 del 2020 e ha come idea fondante la consapevolezza che, per il raggiungimento degli obiettivi del Green Deal Europeo precedentemente esposti, non basta una mobilitazione di risorse finanziarie pubbliche (come nel caso dei fondi del Next Generation EU), ma serve una modalità per includere nel processo di transizione economica anche gli investimenti di tipo privato. Abbiamo d'altronde già accennato come ad oggi la consapevolezza degli investitori sia notevolmente maggiore e come le conoscenze e le preoccupazioni circa la situazione climatica siano sempre più diffuse e condivise. Ci troviamo infatti in un momento storico in cui questa forte voglia di partecipazione a un miglioramento per la società, che non interessa più solo le istituzioni o le organizzazioni internazionali, ma anche i singoli cittadini, ha portato a un cambiamento nel paradigma di "competitività" delle imprese. Ad esse oggi è infatti richiesto dagli interessati più dei semplici dividendi e delle occasioni di profitto; si richiedono infatti una maggiore responsabilità nell'organizzazione interna e nelle condizioni dei lavoratori;

un'implementazione di processi produttivi sempre più sostenibili e delle prove tangibili dell'impegno che le stesse aziende mettono nel contribuire al benessere della società al di là del semplice aspetto redditizio. È proprio da questo cambio di paradigma che del resto deriva l'introduzione di prospetti sull'attività non incentrati sul lato finanziario, bensì su quello di responsabilità sociale (Pellegrini, 2023).

Ebbene la Tassonomia è stata creata proprio per assecondare questa volontà degli *shareholder* di partecipare al processo, indicando nel modo più corretto e trasparente le varie possibilità per gli investimenti sostenibili. Si tratta fondamentalmente di una lista che indica agli investitori e alle pubbliche istituzioni, secondo specifici criteri tecnici, se una determinata attività sia classificabile come "sostenibile". Anzitutto il funzionamento della Tassonomia si basa su sei obiettivi principali: mitigazione del cambiamento climatico, transizione a un'economia circolare, adattamento al cambiamento climatico, prevenzione e controllo dell'inquinamento, protezione e utilizzo sostenibile dell'acqua e delle risorse marine e infine protezione di ecosistemi e biodiversità. L'attività di un'impresa, per rientrare tra gli investimenti sostenibili secondo la Tassonomia, deve anzitutto concorrere ad almeno uno degli obiettivi appena elencati, ma deve inoltre rientrare in una serie di criteri tecnici di *benchmark* definiti da esperti sia sulla base dei sei traguardi, sia con riguardo alle caratteristiche del settore di appartenenza dell'attività considerata. Inoltre il processo produttivo della stessa deve necessariamente svolgersi secondo i requisiti di garanzia di sicurezza sociale voluti dalle normative europee e internazionali. Abbiamo poi un ultimo, fondamentale requisito, che deve essere rispettato: il "*Do Not Harm Criteria*"; ovvero un principio che afferma come un'attività sostenibile non possa nel suo svolgimento procurare danni al raggiungimento di anche solo uno dei sei obiettivi. Se l'attività analizzata rispetta tutte quante le prerogative precedenti, allora può entrare a far parte della Tassonomia come attività manifestamente sostenibile, presenza che di certo garantisce una spinta in termini di competitività, soprattutto perché la Tassonomia stessa promuove una grande trasparenza, rendendo consultabili i dati dei requisiti richiesti sia all'investitore privato che alle istituzioni pubbliche, il tutto attraverso l'EU Taxonomy Compass, uno strumento digitale creato per rendere visivamente immediati i dati dei criteri tecnici. Negli ultimi mesi si è parlato molto della Tassonomia, soprattutto riguardo un settore in particolare e il suo difficile rapporto con uno dei criteri richiesti.

Parliamo qui dell'energia nucleare, fino a poco tempo fa non considerata all'interno della Tassonomia stessa. Ebbene i motivi di questa esclusione erano chiari: se è vero che l'energia nucleare segue alcuni degli obiettivi richiesti (come la mitigazione del cambiamento climatico), è anche vero che veniva considerata attività non idonea proprio in virtù del *Do Not Harm Criteria*. Si riteneva infatti (e molti lo ritengono ancora), che si trattasse di un settore di attività troppo "controverso" da un punto di vista ambientale, a causa del difficile smaltimento delle scorie, ma anche in generale considerando le contrastanti opinioni e le questioni di sicurezza che a livello sociale questo argomento suscita. Dopo un percorso travagliato, che vedremo meglio nella conclusione di questa trattazione, l'energia nucleare è stata ufficialmente accettata nella Tassonomia UE dal primo gennaio 2023, generando tante opinioni diverse e soprattutto l'emersione di una domanda fondamentale: quindi il nucleare è veramente sostenibile?

3.3 Pro e Contro dell'energia nucleare

Dopo le informazioni riportate sinora è chiaro ormai come l'energia nucleare sia la fonte energetica che più di tutte ha portato, complici le sue vicissitudini, a opinioni contrastanti alla base dell'acceso dibattito che tutt'ora è in corso tra chi crede che essa sia la chiave per arrivare a un nuovo paradigma energetico e chi invece ne teme le ripercussioni. Andiamo ora ad analizzare quali sono le caratteristiche di questa particolare industria che sono fondamento di queste visioni diametralmente opposte.

Iniziamo analizzando gli indubbi punti di forza dell'energia nucleare, iniziando col dire che, chi ne appoggia fortemente lo sviluppo, la vede come uno strumento strategico necessario al raggiungimento di una crescita sostenibile e soprattutto al superamento di alcune delle maggiori sfide di questo tempo, da un punto di vista che è sia ambientale, che sociale ed economico.

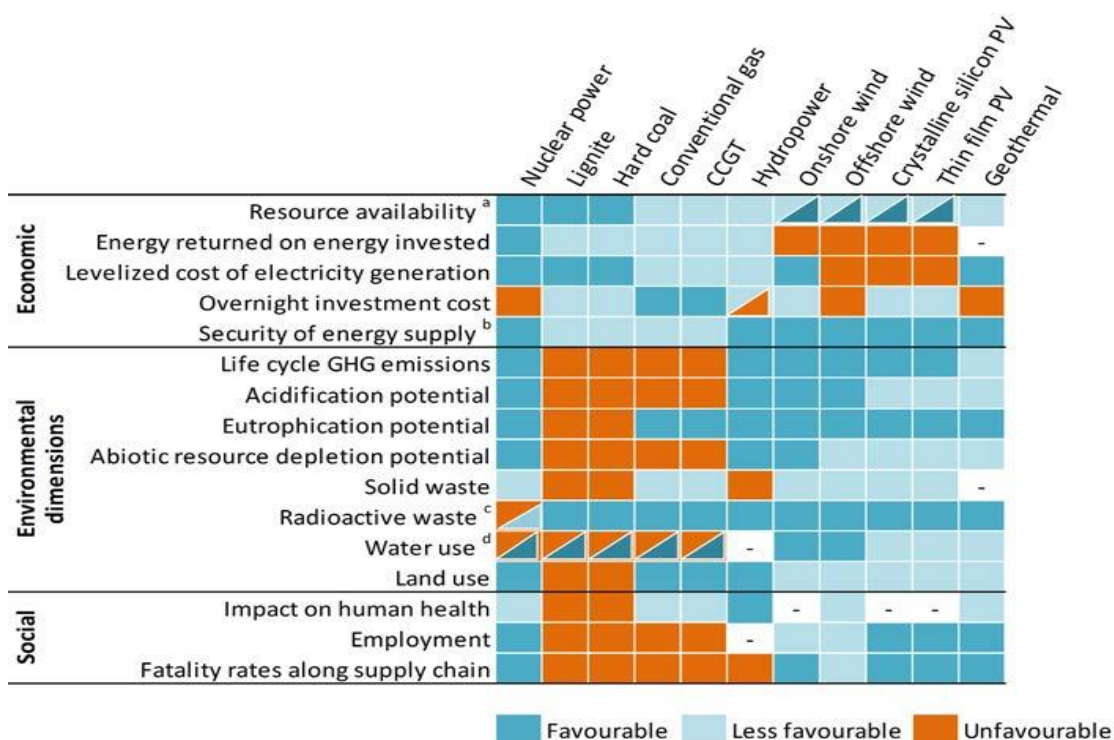
Da una prima prospettiva, prettamente ambientale, si può sottolineare come l'energia nucleare, se messa a confronto con le altre fonti energetiche, risulti la più "ambientalmente" efficiente: anzitutto infatti, proprio in quanto processo che avviene in uno spazio prettamente definito, a fronte delle grandissime quantità di energia che produce, necessita per i suoi impianti di tratti di terreno di dimensioni relativamente discrete rispetto sia al quantitativo di energia prodotta, sia alle dimensioni delle altre tipologie di impianti energetici. Secondo poi, se è vero che l'acqua gioca un ruolo fondamentale nell'intero processo, come visto in precedenza, è anche vero che grazie allo sviluppo di sistemi di raffreddamento ibridi se ne può diminuire notevolmente la necessità. Allo stesso tempo urge sottolineare come, sebbene vengano prodotti degli scarti dal lavoro degli impianti nucleari, è anche vero che in quanto a volume essi sono molto minori di quelli prodotti da altre fonti di energia. Si potrebbe a questo opinare che si tratta di scorie considerate più pericolose a causa dell'impatto che possono avere sull'ambiente e sulla salute umana e, sebbene questo sia vero, bisogna considerare anche come la loro pericolosità abbia determinato nei confronti delle stesse una maggiore attenzione, sia in termini di gestione e contenimento, che di controllo. Abbiamo accennato però a come i benefici non siano solo ascrivibili a un ambito ambientale, ma si estendano anche a quello economico-sociale. Pensiamo infatti a come l'energia nucleare, contrariamente a quanto si pensi, risulti essere più economica rispetto alle altre fonti energetiche (International Atomic Energy Agency, 2016). Ovviamente si tratta di un'industria che ha elevatissimi costi di avviamento, ma riguardo alle spese del processo produttivo in sé esse risultano abbastanza limitate. Non vi sono infatti eccessive problematiche nel reperimento delle materie prime; l'Uranio è presente in natura in modo diffuso e in quantità che fanno prospettare un sostenimento degli attuali livelli produttivi di energia nucleare per molti anni a venire. A questo si deve aggiungere anche il fattore dei "costi mancati" inteso nei riguardi di eventuali spese associate ai livelli di inquinamento, che qui non sussistono, o ancora a spese legate ad aumenti di prezzi dei materiali dovuti a fattori geo-politici (pensiamo alla guerra in Ucraina), che qui non troviamo perché il nucleare permette una sostanziale indipendenza a livello energetico per chi ne fa uso con una conseguente eliminazione delle problematiche date da eventi potenzialmente dannosi a un livello di relazioni internazionali. Possiamo altresì sottolineare, con il nucleare, un giovamento nell'ambito dei costi sociali, dove rientrano le varie casistiche di diminuzione della salute generale dovuto a un eccessivo inquinamento dell'aria. Come abbiamo visto già precedentemente parlando della Cina

infatti, un ambiente pregno di aria contaminata da industrie inquinanti porta a un proliferare di malattie legate agli impianti respiratori; ricordiamo che questo è uno degli elementi che ha spinto e continua a spingere la Cina nel suo sviluppo del nucleare. Interessante in questo senso sarebbe analizzare come, di fatto, la quantità di decessi causati da incidenti legati all'energia nucleare (fattore temuto dai più) sia di molto minore rispetto al numero di persone che muoiono per le conseguenze dell'inquinamento; si parla nel primo caso, prendendo il disastro di Chernobyl, di circa quaranta morti, a fronte di milioni legate all'inquinamento (Jogalekar, 2013). Proprio il miglioramento dell'aria rientra infatti tra i vantaggi sul piano sociale dell'energia nucleare, dove è accompagnato dalla forte spinta all'occupazione che una forte industria nucleare può assicurare; si tratta infatti di un settore che andrebbe a formare e occupare un largo numero di lavoratori specializzati, dando così un'importante spinta all'economia. Infine tra le caratteristiche che rendono allettante il nucleare urge sottolineare l'esistenza, a fronte della "sensibilità" del settore stesso, di puntuali standard di sicurezza a livello mondiale.

Dall'altra parte, di fronte a questi vantaggi dell'energia nucleare, dobbiamo anche considerare le motivazioni che tutt'oggi spingono una buona fetta dell'opinione pubblica a rifuggire questo settore e a non reputarlo la "chiave di volta" per la transizione verso la sostenibilità.

Indubbio è che gran parte dei timori verso il nucleare derivino dalle passate esperienze con lo stesso: basti pensare ai disastrosi eventi della Seconda Guerra mondiale, che hanno impresso nelle persone una visione dell'energia nucleare distruttrice invece che "alleata". Nonostante infatti ad oggi esistano regolamentazioni circa un utilizzo pacifico dell'energia nucleare, si continua a temere che una diffusione globale di questo settore possa rendere più semplice un eventuale proliferare di armi nucleari (Igini, 2023). Sullo stesso piano è possibile trovare molte preoccupazioni attorno ai rischi derivanti da malfunzionamenti e incidenti all'interno delle stesse centrali nucleari; a nulla da questo punto di vista sembrano valere, agli occhi degli oppositori del nucleare, le sicurezze date dagli standard internazionali definiti in merito. Sempre sul fronte "pericolosità", motivo di grande e generale angustia è dato dagli scarti dell'attività nucleare; si tratta infatti di insiemi di agenti chimici ad altissima tossicità e con durata di migliaia di anni che risultano essere pericolosi non solo per l'ambiente, ma anche per la salute della popolazione. Sebbene come detto precedentemente gli scarti sono relativamente pochi, se si considerano le intense attività nucleari in giro per il mondo e gli anni di funzione di questa industria i numeri iniziano a cambiare; infatti ad oggi, dagli anni '50, sono state prodotte circa duecentocinquantamila tonnellate di scarti nucleari, attualmente divise per il mondo e conservate in modo da non arrecare danno. Occorre sottolineare come questo processo di conservazione degli scarti, proprio per la necessità di isolarli e mantenerli in quella condizione per lunghissimo tempo, rappresenta un costo non indifferente per i governi dei paesi che si servono di questa industria. Parlando di costi possiamo ancora sottolineare che, se è vero ciò che si diceva precedentemente circa l'economicità della gestione del ciclo produttivo del nucleare, è anche vero che i costi di avviamento per questa particolare industria risultano essere altissimi; si parla qui di miliardi utilizzati per costruire impianti, reperire per la prima volta i materiali, seguire e rispettare tutti i numerosissimi standard di sicurezza e i design standardizzati delle centrali stesse, oltre a investire in tempistiche di costruzione, anch'esse abbastanza importanti. Sempre costosa è la prospettiva di vita futura dell'Uranio; se è vero infatti che esso è presente in grandi quantità e che esse ci fanno

supportare un'autonomia produttiva di diversi anni, è anche vero che non si tratta di una fonte rinnovabile, è quindi destinato a terminare e quando questo accadrà i costi di reperimento dello stesso saliranno enormemente. Infine urge sottolineare che anche la scelta dei siti su cui far costruire degli impianti nucleari non è necessariamente scontata, ma dipende da tutta una serie di requisiti tecnici e di sicurezza: viste le ingenti quantità di acqua che generalmente si necessitano è infatti preferibile che la centrale si trovi nelle vicinanze di acqua, ma ciò non basta, viene richiesto anche che la posizione sia in qualche modo adatta a “riparare” la centrale in casi di eventi atmosferici straordinari e potenzialmente deleteri da un punto di vista di sicurezza.



“Nuclear Power and Sustainable Development”. International Atomic Energy Agency. (2016)

Conclusione

Nel corso di questo elaborato abbiamo avuto modo di verificare come l'energia nucleare sia, tra le fonti di energia pulita, quella più controversa, con tanti sostenitori quanti sono i suoi detrattori. Questa varietà di posizioni sull'argomento non ci deve certo cogliere di sorpresa essendo il risultato di anni di eventi, esperienze e studi su questo settore specifico che, nella sua complessità, è caratterizzato sì da molti pregi e potenzialità, ma da altrettante delicate problematiche. Esempio lampante di ciò l'abbiamo avuto nel secondo capitolo, dove abbiamo visto come una grande varietà di opinioni in merito, accompagnate da non poche preoccupazioni, risultino presenti anche in Cina, il paese che più di tutti sfrutta questa tipologia di energia. Queste peculiarità del nucleare di certo gli fanno guadagnare il primato come "sfida" moderna, tanto per gli esperti del settore quanto per le autorità che si occupano di regolamentarlo. Ebbene è proprio in questo ultimo anno che il dibattito sul nucleare, accompagnato da questa eterogeneità di opinioni contrastanti, si è acceso nuovamente in risposta alla proposta della Commissione europea, il 2 febbraio del 2022, di includere gas e nucleare tra le attività considerate sostenibili dalla Tassonomia UE e pertanto di presentarle in questo modo agli investitori privati. Ovviamente la proposta in sé conteneva, viste le note sensibilità del settore del nucleare, tutta una serie di condizioni, in cui figuravano requisiti generali, tra cui il rispetto degli standard e delle direttive Euratom per il trattamento delle scorie, accompagnati però da condizioni relative a specifiche attività definite in modo tecnico su un criterio di limiti alla produzione di gas serra, misurati in grammi in chilowattora (g CO₂e/kwh). Parliamo qui di una produzione inferiore a 270 g CO₂e/kwh per le attività di costruzione di nuovi impianti nucleari e per l'innovazione e messa in sicurezza delle centrali già esistenti con l'obiettivo di aumentarne la durata dell'attività; a ciò si aggiunge una richiesta di emissioni inferiori al tetto di 100 g CO₂e/kwh per la ricerca e implementazione di centrali nucleari innovative. Fermo restando che questa era la proposta generale portata avanti dalla Commissione, la risposta ottenuta è stata meno omogenea di quanto ci si aspettasse, elemento che ha dato vita a un difficile processo per questa stessa iniziativa. Anzitutto nel giugno del 2022, in seno al Parlamento europeo è stata approvata una mozione contraria alla proposta sul nucleare, portata avanti dalla Commissione per i problemi Economici e Monetari e dalla Commissione Ambiente. Le motivazioni dietro a questa iniziativa volta a bocciare la proposta della Commissione si legano, oltre alle opinioni negative che in molti condividono sul nucleare, a una generale idea di voler evitare il fenomeno del "greenwashing" presentando agli investitori privati come sostenibile un'attività che non da tutti è ritenuta tale. Se è vero che in seguito a questo evento si è temuto per le sorti dell'iniziativa, è vero anche che la situazione si è ribaltata quando nel mese successivo, in seduta plenaria, il Parlamento europeo ha rifiutato il veto alla proposta, sebbene con una differenza di pochi voti (328 contro 278 e 33 astenuti).

Questo processo di accettazione del nucleare tutt'altro che facile, che ha avuto la meglio per uno scarto minimo, ci mostra enormemente come l'energia nucleare sia ad oggi ancora origine di grandissimi dibattiti che la portano ad essere allo stesso tempo incentivata e temuta. Ulteriore prova di ciò sono le accesissime discussioni a livello tecnico-scientifico che sono seguite alla proposta e alla sua accettazione.

Anzitutto è bene sottolineare come la Commissione, nella stesura dell'iniziativa, abbia fatto uso del Centro Comune di Ricerca, che l'ha supportata con un report tecnico frutto di un attento studio delle caratteristiche

dell'energia nucleare in relazione in particolare al criterio del “Do Not Significant Harm” della Tassonomia, quello che più di tutti si trovava in contrasto con l'attività nucleare. In questo report, favorevole all'iniziativa, è stato evidenziato come l'energia nucleare sia assimilabile alle altre forme di energia pulita per quanto concerne le emissioni derivanti dall'attività; simile situazione, se non addirittura migliore nel nucleare, è stata evidenziata per l'utilizzo del suolo da parte delle centrali. Questa visione tendenzialmente positiva del nucleare in termini di sostenibilità è stata poi da diversi sostenuta, basti pensare allo SHEER (Scientific Committee on Health, Environmental and Emerging Risks), che ha solo annotato la necessità di far rientrare tra le considerazioni precedenti anche una stima degli effetti diretti e indiretti di eventuali incidenti negli impianti e di analizzare in modo migliore la questione di contenimento e mantenimento dei rifiuti tossici.

Molti altri hanno avuto reazioni e considerazioni diametralmente opposte e questo è possibile riscontrarlo sì da un punto di vista di opinione pubblica e di associazioni per la tutela dell'ambiente, ma anche nell'ottica degli investimenti finanziari sostenibili che è alla base della stessa Tassonomia. In quest'ultimo ambito la reazione più forte è stata quella dell'Eurosif (European Sustainable and Responsible Investment Forum), che ha parlato non solo di dubbi concreti riguardo i criteri tecnici di *screening* per l'attività nucleare, ma anche di una potenziale “perdita di credibilità” (Eurosif, 2022) della Tassonomia stessa nei confronti degli investitori privati derivante da questa inclusione di un'attività considerata non necessaria per il raggiungimento degli obiettivi di sostenibilità. Ovviamente, come ripetuto più volte in questo elaborato, le controversie dell'energia nucleare sono ben note all'opinione pubblica e, assieme ai traumatici eventi storici che hanno contrassegnato la sua storia, combattono costantemente contro le potenzialità del nucleare che sempre più cercano di emergere. Urge considerare, quando si accende una discussione circa i vantaggi e gli svantaggi di questa attività, che ci troviamo in un periodo storico estremamente delicato, dove le problematiche legate al riscaldamento globale e al cambiamento climatico ci si presentano innanzi e sono sempre più fonte di preoccupazione. Fatto salvo tutto ciò che è stato detto finora, in un periodo in cui è necessario agire in modo incisivo e migliorare la situazione ambientale nel minor tempo possibile, appare impensabile eliminare del tutto dalle possibilità delle istituzioni un tipo di energia come il nucleare e le numerose potenzialità che detiene. Vero è, come abbiamo evidenziato nello scorso capitolo, che le criticità di questo settore sono diverse, ma possiamo anche sottolineare come ogni attività abbia le sue criticità e proprio per questo è fondamentale analizzarle e trattarle nel modo più corretto. Se è vero infatti che il nucleare è potenzialmente pericoloso, nelle sue scorie e nell'ipotesi (remota) di incidenti, è anche vero che proprio questa consapevolezza dei rischi determina l'esistenza e il continuo aggiornamento e controllo di standard e criteri più severi di quelli di qualunque altra fonte di energia. D'altronde negli ultimi anni siamo stati messi di fronte a inaspettati eventi non solo ambientali, ma anche in termini di relazioni internazionali, pensiamo alla guerra tra Russia e Ucraina; situazioni che hanno messo in grave difficoltà l'economia di tutti quei paesi che non erano indipendenti da un punto di vista energetico. Ebbene vediamo quindi come la scelta di rilanciare il nucleare e la fiducia in questa attività risulti strumentale non solo in termini ambientali, ma anche economici.

Vale la pena, per dei timori su elementi che possono essere controllati, rinunciare alle numerose potenzialità e benefici che il nucleare potrebbe portare?

La risposta che questo elaborato vuole arrivare a dare è un no. No, non è sostenibile rinunciare al mondo che l'energia nucleare apre, non in queste situazioni di emergenza e soprattutto non quando per la prima volta, a livello tecnico ed europeo, l'energia nucleare viene riconosciuta come attività sostenibile e pertanto, strumento fondamentale per la transizione *green* in atto.

Bibliografia

Introduzione

United Nations Framework Convention on Climate Change, 1992

NOAA's Annual 2021 Global Climate Report

Stocker, T.F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex and P.M. Midgley, (2013), "Climate Change 2013: The Physical Science Basis", contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.

EU Parliament (14/06/2022), "Taxonomy: MEPs object to Commission's plan to include gas and nuclear activities"

Parlamento Europeo (06/07/2022), "Tassonomia: sì all'inclusione di attività dei settori del gas e del nucleare"

Capitolo 1

1.1

Barbarino, Matteo e Chatzis Irena. "What is fusion, and why is it so difficult to achieve?". *IAEA* (2021).

<https://www.iaea.org/bulletin/what-is-fusion-and-why-is-it-so-difficult-to-achieve>

Galindo, Andrea. "What is nuclear energy? The science of nuclear power". *IAEA* (2022).

<https://www.iaea.org/newscenter/news/what-is-nuclear-energy-the-science-of-nuclear-power#:~:text=Nuclear%20energy%20is%20a%20form,fusion%20-%20when%20nuclei%20fuse%20together.>

"Nuclear Power Reactors". *IAEA*.

<https://www.iaea.org/topics/nuclear-power-reactors>

Petrone, Angelo. "Il sole artificiale della Cina batte nuovo record". *Scienze Notizie*. (2023).

<https://www.scienzenotizie.it/2023/04/14/il-sole-artificiale-della-cina-batte-nuovo-record-5368202>

1.2

"Outline History of Nuclear Energy". *World Nuclear Association* (2020).

<https://world-nuclear.org/information-library/current-and-future-generation/outline-history-of-nuclear-energy.aspx>

Bonolis, Luisa. “Storia della bomba atomica, quando la fisica andò in guerra”. *Galileo*. (2003).

<https://www.galileonet.it/storia-bomba-atomica-energia-nucleare/>

Gandolfi, Antonio. “Pierre Curie”. *Associazione per l'insegnamento della fisica*.

<https://www.aif.it/fisico/biografia-pierre-curie/>

Pascolini, Alessandro. “Origine delle armi nucleari e programmi nella Seconda Guerra Mondiale”. *Città della scienza*. (2016).

<http://www.cittadellascienza.it/centrostudi/2016/11/origine-delle-armi-nucleari-e-programmi-nella-seconda-guerra-mondiale/>

“L’esperimento di Rutherford”. *Dipartimento di matematica e fisica Unicatt*.

http://www.dmf.unicatt.it/~sangalet/PLS/Buone_pratiche/Esperimento_Rutherford.pdf

“Utilizzazione dell’energia nucleare a livello mondiale”. *Ufficio Federale dell’Energia*. (2020)

<https://www.bfe.admin.ch/bfe/it/home/approvvigionamento/energia-nucleare/compiti-dell-ufe/utilizzazione-dellenergia-nucleare-a-livello-mondiale.html>

1.3

Asdrubali, Francesco e Moncada Lo Giudice, Gino. “Fattore N: tutto quello che c’è da sapere sull’energia nucleare”. Armando Editore. (2010)

Capitolo 2

2.1

Bilbao y León, Sama. “Preface” of the *World Nuclear Performance Report 2022*. *World Nuclear Association*. (2022)

<https://world-nuclear.org/getmedia/9dafaf70-20c2-4c3f-ab80-f5024883d9da/World-Nuclear-Performance-Report-2022.pdf.aspx>

“Asia’s Nuclear Energy Growth”. *World Nuclear Association*. (2023)

<https://world-nuclear.org/information-library/country-profiles/others/asias-nuclear-energy-growth.aspx>

“World Nuclear Performance Report 2022”. *World Nuclear Association*. (2022)

<https://world-nuclear.org/getmedia/9dafaf70-20c2-4c3f-ab80-f5024883d9da/World-Nuclear-Performance-Report-2022.pdf.aspx>

2.2

“Asia’s Nuclear Energy Growth”. *World Nuclear Association*. (2023)

<https://world-nuclear.org/information-library/country-profiles/others/asias-nuclear-energy-growth.aspx>

“Nuclear Power in China”. *World Nuclear Association*. (2023)

<https://world-nuclear.org/information-library/country-profiles/countries-a-f/china-nuclear-power.aspx>

Maizland, Lindsay. “China’s fight against climate change and environmental degradation”. *Council on Foreign Relations*. (2021)

<https://www.cfr.org/backgrounder/china-climate-change-policies-environmental-degradation>

Tiwari, Sakshi. “China’s artificial sun breaks its own record to mantain ‘Highly confined, extrimely hot’ plasma for 403 seconds” *The EurAsian Times*. (2023)

<https://eurasianimes.com/chinas-artificial-sun-breaks-its-own-record-to-maintain/>

Ministero dell’Ecologia e dell’Ambiente. “12th 5-year Plan for Nuclear Safety and Radioactive Pollution Prevention and Vision for 2020”. (2012)

2.3

“Overview” on the *National Nuclear Safety Administration*.

<https://nnsa.mee.gov.cn/english/nnsa/overview/>

“Nuclear Power in China”. *World Nuclear Association*. (2023)

<https://world-nuclear.org/information-library/country-profiles/countries-a-f/china-nuclear-power.aspx>

2.4

Gong, Ping; Wang, Li; Wei, Yigang; Yu, Yunjiang. “Public Attention, perception and attitude towards nuclear power in China: A large-scale empirical analysis based on social media”. *Journal of Cleaner Production*. (2022)

Capitolo 3

3.1

Silvestri, Michela. “Sviluppo sostenibile: un problema di definizione”. (2015).

[https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/55648258/gentes-2015-2-215-libre.pdf?1517075523=&response-content-disposition=inline%3B+filename%3DSviluppo sostenibile un problema di defi.pdf&Expires=1682763233&Signature=SutQnitnp8hJfwPxIwjifNkMjTWuJyvwzPiYcw9rjZkC1ZIGoHl60-1VV4ZacLEREwcnv6bG6yStCuV~qtgpiFb3gEKzO3n8cudwc2hBKifSRx2e0YIrCpoulOhJrXBHynThS0NqaMiaWJvBTp9k0k7P3IfJb1WRCXNYKh3E0DbOiPLTL9SItxCg-rXFpGdrB9tVx3SAaBzY9AOzicNmaLiWLVh66SBWm7Wud-zY16YBwMxQSZUn8ADtXqGogHCmhkYlfxxAvv2XvN-rRJwFX~bRpV5GD1NMU-3DiD-kX3dOIsgZlg4mHkI2CS8bjQDDiMGKlh029KZc3VkpqadCDjw_&Key-Pair-Id=APKAJLOHF5GGSLRBV4ZA](https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/55648258/gentes-2015-2-215-libre.pdf?1517075523=&response-content-disposition=inline%3B+filename%3DSviluppo+sostenibile+un+problema+di+defi.pdf&Expires=1682763233&Signature=SutQnitnp8hJfwPxIwjifNkMjTWuJyvwzPiYcw9rjZkC1ZIGoHl60-1VV4ZacLEREwcnv6bG6yStCuV~qtgpiFb3gEKzO3n8cudwc2hBKifSRx2e0YIrCpoulOhJrXBHynThS0NqaMiaWJvBTp9k0k7P3IfJb1WRCXNYKh3E0DbOiPLTL9SItxCg-rXFpGdrB9tVx3SAaBzY9AOzicNmaLiWLVh66SBWm7Wud-zY16YBwMxQSZUn8ADtXqGogHCmhkYlfxxAvv2XvN-rRJwFX~bRpV5GD1NMU-3DiD-kX3dOIsgZlg4mHkI2CS8bjQDDiMGKlh029KZc3VkpqadCDjw_&Key-Pair-Id=APKAJLOHF5GGSLRBV4ZA)

WCED. “Our Common Future”. *United Nations*. (1987).

WWSD. “La Dichiarazione allo sviluppo sostenibile di Johannesburg. (2002).

Trattato sull’Unione Europea. (1992).

Trattato sul Funzionamento dell’Unione Europea. (2007).

“Politica ambientale: principi generali e quadro di riferimento”. *Parlamento Europeo*.

<https://www.europarl.europa.eu/factsheets/it/sheet/71/politica-ambientale-principi-general-e-quadro-di-riferimento#:~:text=L%27Atto%20unico%20europeo%20del,uso%20razionale%20delle%20risorse%20naturali.>

3.2

“Un Green Deal Europeo”. *Commissione Europea*.

https://commission.europa.eu/strategy-and-policy/priorities-2019-2024/european-green-deal_it

“Realizzare il Green Deal Europeo”. *Commissione Europea*.

https://commission.europa.eu/strategy-and-policy/priorities-2019-2024/european-green-deal/delivering-european-green-deal_it

“Green Deal europeo: la chiave per un’UE sostenibile e climaticamente neutrale”. *Parlamento Europeo*. (2023).

https://www.europarl.europa.eu/news/it/headlines/society/20200618STO81513/green-deal-europeo-la-chiave-per-un-ue-sostenibile-e-climaticamente-neutrale?&at_campaign=20234-Green&at_medium=Google_Ads&at_platform=Search&at_creation=RSA&at_goal=TR_G&at_audience=green%20deal%20europeo&at_topic=Green_Deal&at_location=IT&gclid=CjwKCAjw6vyiBhB_EiWAQJRoprdrv_raj3jTHeLx_58D6sSrFTPVfVv6_p8Ux0zAmr6TCwlzyAK_IshoCM-oQAvD_BwE

[Green&at_medium=Google_Ads&at_platform=Search&at_creation=RSA&at_goal=TR_G&at_audience=green%20deal%20europeo&at_topic=Green_Deal&at_location=IT&gclid=CjwKCAjw6vyiBhB_EiWAQJRoprdrv_raj3jTHeLx_58D6sSrFTPVfVv6_p8Ux0zAmr6TCwlzyAK_IshoCM-oQAvD_BwE](https://www.europarl.europa.eu/news/it/headlines/society/20200618STO81513/green-deal-europeo-la-chiave-per-un-ue-sostenibile-e-climaticamente-neutrale?&at_campaign=20234-Green&at_medium=Google_Ads&at_platform=Search&at_creation=RSA&at_goal=TR_G&at_audience=green%20deal%20europeo&at_topic=Green_Deal&at_location=IT&gclid=CjwKCAjw6vyiBhB_EiWAQJRoprdrv_raj3jTHeLx_58D6sSrFTPVfVv6_p8Ux0zAmr6TCwlzyAK_IshoCM-oQAvD_BwE)

D’Onofrio, Stefania. “Finanza sostenibile: arriva il Regolamento Tassonomia per un “linguaggio” condiviso in UE”. (2022).

<https://www.stantec.com/it/ideas/sustainable-finance-the-taxonomy-regulation-arrives-for-a-shared-language-in-the-#::~:~:text=Il%20regolamento%20Tassonomia%20è%20stato,per%20potersi%20qualificare%20come%20ecosostenibile>

Pellegrini, Mirella. “Diritto pubblico dell’economia”. Wolters Kluwer. (2023).

“Tassonomia verde, l’Europa scrive il vocabolario della finanza sostenibile”. *Etica SGR*. (2023).

<https://www.eticasgr.com/storie/approfondimenti/tassonomia-verde>

3.3

“Sustainable Development”. *Nuclear Energy Institute*.

<https://www.nei.org/advantages/sustainable-development>

“Energy Access Outlook 2017”. *International Energy Agency*. (2017).

<https://www.iea.org/reports/energy-access-outlook-2017>

“Nuclear Power and Sustainable Development”. *International Atomic Energy Agency*. (2016).

<https://www-pub.iaea.org/MTCD/Publications/PDF/Pub1754web-26894285.pdf>

Igini, Martina. “The Advantages and Disadvantages of Nuclear Energy”. (2023).

<https://earth.org/the-advantages-and-disadvantages-of-nuclear-energy/>

Jogalekar, Ashutosh. “Nuclear power may have saved 1.8 million lives otherwise lost to fossil fuels, may save up to 7 million more”. (2013).

<https://blogs.scientificamerican.com/the-curious-wavefunction/nuclear-power-may-have-saved-1-8-million-lives-otherwise-lost-to-fossil-fuels-may-save-up-to-7-million-more/>

“10 Reasons to oppose nuclear energy”. *Green America*.

<https://www.greenamerica.org/fight-dirty-energy/amazon-build-cleaner-cloud/10-reasons-oppose-nuclear-energy>

“Nuclear explained”. *Energy Information Administration*. (2022).

<https://www.eia.gov/energyexplained/nuclear/nuclear-power-and-the-environment.php>

Conclusion

Centro Comune di Ricerca (JRC). “Technical Assessment of Nuclear Energy with respect to the “do not significant harm” criteria of Regulation”. (2021).

<https://publications.jrc.ec.europa.eu/repository/handle/JRC125953>

Mengarelli, Jacopo. “Sei d’accordo con la Tassonomia europea che considera sostenibili gas e nucleare?”. *Scienza in rete*. (2022).

<https://www.scienzainrete.it/articolo/sei-daccordo-con-tassonomia-europea-che-considera-sostenibili-gas-e-nucleare/jacopo>

Eurosif. “The inclusion of gas and nuclear undermines the credibility of the EU Taxonomy”. (2022).

<https://www.eurosif.org/news/the-inclusion-of-gas-and-nuclear-undermines-the-credibility-of-the-eu-taxonomy/>

“Il Parlamento UE riapre la partita della tassonomia”. *Economia circolare*. (2022).

<https://economiecircolare.com/tassonomia-parlamento-eu/>

“Tassonomia: sì all’inclusione di attività dei settori del gas e del nucleare”. *Parlamento europeo*. (2022).

<https://www.europarl.europa.eu/news/it/press-room/20220701IPR34365/tassonomia-si-all-inclusione-di-attivita-dei-settori-del-gas-e-del-nucleare>

Ringraziamenti

Mi sembra irrealmente trovarmi a scrivere questi ringraziamenti e devo ammettere che parte di me ancora non crede che io ci sia finalmente arrivata.

Quelli che hanno portato a questo preciso momento sono stati anni difficili, che mi hanno messa di fronte a ostacoli e sofferenze non indifferenti; mentre scrivo queste parole però posso finalmente dire, con assoluta certezza, che sono ancora in piedi e che, nonostante tutto, quella sofferenza non ha avuto la meglio.

Se sono arrivata fino a qui però lo devo soprattutto alle persone che hanno condiviso le mie giornate e mi hanno aiutata a ricordare la forza che ho dentro.

Grazie alla mia mamma e a mia sorella, che mi hanno tenuta tra le braccia quando tutto diventava troppo pesante e mi hanno ricordato chi sono e dove risiede il mio valore. Grazie per le infinite risate e le battute che capiamo solo noi. Grazie per essere la migliore famiglia di sole donne che potessi desiderare. Grazie per essere una costante della mia vita da sempre. Grazie per non aver mai perso fiducia in me. Siete i regali più belli che questo mondo mi abbia dato.

Grazie ai miei amati nonni, Antonio e Antonia (detta Antonietta) per avermi cresciuta a fiabe infinite, merende con pane e pomodoro e racconti sulla loro infanzia. Grazie per preoccuparvi sempre per me, anche quando io non mi preoccupavo per me stessa. Grazie per chiamarmi ancora coi nomignoli di quando ero bambina e per ricordarmi sempre che, a qualsiasi età, sarò la vostra “passerotta”. Grazie, perché mi avete permesso di credere nelle favole anche a ventidue anni.

Grazie al mio papà, che non ha mai dubitato nemmeno per un secondo e che è convinto che ogni cosa che io faccia sia giusta. Grazie per avermi supportata in ogni mia scelta e spinta a seguire ogni mia passione. Grazie per le infinite ore al telefono a parlare di storia. Grazie per ogni volta che da piccola ti chiedevo come si formassero le nuvole e tu, pazientemente, me lo spiegavi (anche se succedeva con cadenza settimanale).

Grazie a Valentina, sappi sempre che sei parte integrante della mia famiglia e ti voglio molto bene.

Grazie a chi non può assistere di persona a questo mio traguardo, ma che sono sicura mi stia guardando ovunque sia: nonno Marcello, nonna Enza, questo è anche per voi e per i giorni che non abbiamo mai avuto. Grazie per i momenti che avete condiviso con me, anche se nel caso di nonna ricordo poco. Vi porto sempre nel cuore assieme alla consapevolezza di essere stata tanto amata e lo farò per sempre.

Grazie anche alle anime meravigliose che ho trovato lungo questo tortuoso cammino, perché se è vero che a tratti la vita mi ha tolto tanto, mi ha anche fatto dono di persone splendide, che mi hanno presa per mano e accompagnata fino ad oggi. Il destino mi ha portata da voi e oggi capisco perché.

Grazie a Beatrice, perché anche se lontana ti ho sempre sentita vicina al mio cuore; nessuna distanza fisica potrà mai mettersi tra la nostra amicizia (e le nostre maratone di kdrama).

Grazie a Giulia, incontrata quasi per caso e diventata una costante della mia quotidianità; grazie per le chiacchierate notturne durate ore, per le sessioni di pittura e per aver condiviso con me tanto di te.

Grazie a Lorenzo, una delle anime più pure che abbia mai incontrato; grazie per la tua effervescenza che ha aiutato la mia a uscire da dove si era rinchiusa.

Grazie a Maria Teresa, in cui ho trovato un'amica speciale; grazie per volermi così tanto bene (tutto ricambiato) e per passare ore a parlare dei libri letti.

Grazie a Lucrezia, che mi ha insegnato, tra un consiglio libroso e un altro, a non farmi mettere i piedi in testa e a lottare per il rispetto di limiti che devono essere solo miei.

Grazie a Maria Teresa, che dal liceo mi tiene per mano e controlla che io non mi stressi troppo; a tutte le cadute che abbiamo fatto ridendo nei corridoi della scuola. Siamo cresciute, ci puoi credere?

A tutti voi dico grazie, perché incontrarvi è stato come incontrare me stessa e conoscere voi è stato come imparare a guardarmi con occhi diversi. La Claudia che sono oggi conserva in sé tante piccole cose che vengono proprio da voi tutti e sento di dover dire che non sarei riuscita ad arrivare a questo punto senza questa meravigliosa rete di supporto che mi avete creato attorno.

Infine, grazie a me. Per non aver fatto vincere la paura o l'ansia, la tristezza o l'angoscia. Grazie a me per essere, ancora una volta, la persona più resiliente che conosca. Grazie a me per aver lottato e lottato e non essermi mai arresa. E soprattutto grazie a me per aver imparato, con non poca difficoltà, che essere gentili con gli altri va bene, ma solo se lo si è anche con sé stessi.