

## Nucleare ad uso civile: da Hiroshima e Nagasaki ad oggi

### Una nuova forma di energia – sviluppi tecnici

Nel dopoguerra, lo sviluppo di armi continuò su entrambi i lati della "cortina di ferro", ma un nuovo obiettivo era quello di sfruttare la grande potenza atomica, ora drammaticamente (anche se tragicamente) dimostrata, per produrre energia.

Nel corso dello sviluppo di armi nucleari, l'Unione Sovietica e l'Occidente avevano acquisito una serie di nuove tecnologie e gli scienziati si resero conto che l'enorme calore prodotto nel processo poteva essere sfruttato per l'uso diretto o per la generazione di elettricità. Era anche chiaro che questa nuova fonte avrebbe consentito lo sviluppo di sorgenti di energia compatte di lunga durata che avrebbero trovato molteplici impieghi, non da ultimo nel campo della navigazione, soprattutto per i sottomarini.

Il primo reattore nucleare a produrre elettricità (anche se parliamo di una quantità irrisoria) fu il piccolo reattore Experimental Breeder (EBR-1) progettato e gestito dall'Argonne National Laboratory, situato in Idaho negli USA ed avviato nel dicembre 1951. Nel 1953 il presidente americano Eisenhower propose il suo programma "Atoms for Peace", che riorientò significativamente gli sforzi di ricerca verso la generazione di elettricità e stabilì la rotta per lo sviluppo dell'energia nucleare civile negli Stati Uniti.

Nell'Unione Sovietica erano in corso lavori in vari centri per perfezionare i progetti di reattori esistenti e svilupparne di nuovi. Nel maggio del 1946 nacque l'Istituto di fisica e ingegneria energetica (FEI) nell'allora città chiusa di Obninsk, 100 km a sud-ovest di Mosca. Nel giugno 1954 il primo generatore di elettricità nucleare al mondo ha iniziato a funzionare presso la FEI di Obninsk. Il reattore, chiamato AM-1 (Atom Mirny - 1), era raffreddato ad acqua e moderato con grafite, serviva da prototipo per altri progetti di reattori ed ha prodotto elettricità fino al 1959 venendo poi utilizzato fino al 2000 come struttura di ricerca o per la produzione di isotopi.

Lo sforzo principale degli Stati Uniti si è avuto al comando dell'ammiraglio Hyman Rickover, che ha sviluppato il reattore ad acqua pressurizzata (PWR) per uso navale (in particolare sottomarino). Il PWR utilizzava combustibile di ossido di uranio arricchito ed era moderato e raffreddato con acqua normale (leggera). Il prototipo di reattore navale Mark 1 fu avviato nel marzo 1953 in Idaho e il primo sottomarino a propulsione nucleare, lo *USS Nautilus*, fu lanciato nel 1954. Nel 1959 sia gli USA che l'URSS lanciarono le loro prime navi di superficie a propulsione nucleare.

Poiché gli Stati Uniti avevano un monopolio virtuale sull'arricchimento dell'uranio in Occidente, lo sviluppo britannico prese una strada diversa e portò a una serie di reattori alimentati da uranio metallico naturale, moderati da grafite e raffreddati a gas. Il primo di questi, di tipo Magnox da 50 MWe, chiamato Calder Hall 1, è stato avviato nel 1956 ed ha funzionato fino al 2003. La Gran Bretagna ha poi abbracciato l'avanzato reattore raffreddato a gas (utilizzando combustibile di ossido arricchito).

### Sviluppo commerciale

Negli Stati Uniti, Westinghouse progettò il primo PWR da 250 MWe a scopo interamente commerciale, lo Yankee Rowe, avviato nel 1960 e funzionante fino al 1992.

Nel frattempo l'Argonne National Laboratory sviluppò un reattore ad acqua bollente (BWR).

Il primo di questa classe di reattori, il Dresda-1 da 250 MWe, progettato da General Electric, fu avviato all'inizio del 1960.

Lo sviluppo canadese dei reattori prese una strada completamente diversa poiché utilizzava il combustibile naturale all'uranio e l'acqua pesante come moderatore e refrigerante. La prima unità venne avviata nel 1962. Questo progetto, CANDU, tutt'ora continua a venir perfezionato.

La Francia iniziò con un progetto a gas-grafite simile a Magnox e il primo reattore fu avviato nel 1956. I modelli commerciali funzionarono dal 1959 in poi. Trovò poi stabilità nelle tre generazioni successive di PWR standardizzati, che rappresentavano una strategia molto conveniente.

Nel 1964 furono messe in servizio le prime due centrali nucleari sovietiche. Un reattore a canale di grafite con acqua bollente da 100 MWe iniziò a funzionare a Beloyarsk (Urali). A Novovoronezh



(regione del Volga) venne costruito un nuovo, piccolo (210 MWe) reattore ad acqua pressurizzata (PWR) noto come VVER (veda-vodyanoi energetichesky reaktor - reattore raffreddato ad acqua).

Il primo grande RBMK (1.000 MWe - reattore a canale ad alta potenza) venne avviato a Sosnovy Bor vicino a Leningrado nel 1973 e nel nord-ovest artico entrò in funzione un VVER con una capacità nominale di 440 MWe, che venne sostituito da una versione da 1000 MWe, che fu da lì in poi un progetto standard.

In Kazakistan il primo prototipo commerciale di reattore a neutroni veloci al mondo (il BN-350) è stato avviato nel 1972 con una capacità di progetto di 135 MWe (netti) e producendo elettricità e calore per dissalare l'acqua del Mar Caspio.

Negli Stati Uniti, nel Regno Unito, in Francia e in Russia una serie di reattori sperimentali a neutroni veloci ha prodotto elettricità a partire dal 1959, l'ultimo di questi è stato chiuso nel 2009. Ciò ha lasciato il BN-600 russo come l'unico reattore veloce commerciale, fino all'arrivo, nel 2016, del BN-800.

In tutto il mondo, con poche eccezioni, sono stati scelti progetti ad acqua leggera per i programmi ad energia nucleare, così che oggi il 69% della capacità mondiale è PWR.

## **Il disastro di Černobyl'**

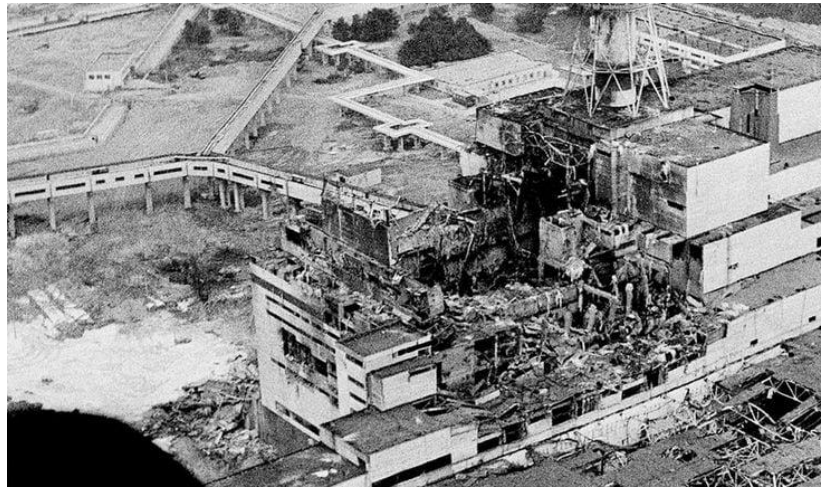
Černobyl', una città dell'Ucraina settentrionale, fu fortemente colpita dalla seconda guerra mondiale e sotto l'Unione Sovietica divenne un centro di riparazione navale basato sul fiume Pripyat. A causa della sua scarsa popolazione e del facile accesso all'acqua, quell'area fu scelta dal Ministero dell'Energia dell'URSS per la costruzione di una centrale per la produzione di energia elettrica che si sarebbe trovata a 20 chilometri dalla città di Chernobyl. La realizzazione della centrale nucleare iniziò nel 1970 e, allo stesso tempo, nelle vicinanze venne eretta la città satellite Pripyat. Dopo l'avvio del primo reattore nel 1977 la città di Chernobyl si popolò di 14.000 abitanti. Con i suoi collegamenti di trasporto (autobus, treni e persino battelli) divenne un centro regionale con grandi prospettive. I piani dei sovietici riguardo l'impianto di Chernobyl erano ampi: sarebbe dovuto diventare la più grande centrale nucleare del mondo con ben 12 reattori, ciascuno con una produzione di energia di 1000 MWe. All'epoca del disastro c'erano 4 reattori in funzione e altri 2 erano già in costruzione.

L'incidente della centrale nucleare di Černobyl' è avvenuto il 26 aprile 1986 ed è stato il più grande disastro nucleare nella storia dell'umanità. L'esplosione avvenne nel quarto blocco dell'impianto, situato a soli 120 km dalla capitale dell'Ucraina, Kyev, e vicino al confine con la Bielorussia. La centrale di Černobyl' era a quel tempo una delle più grandi al mondo ed era dedicata a un programma militare strategico per l'esercito sovietico.

Oltre al fatto che il reattore aveva un basso livello di automazione e non aveva un sistema di sicurezza aggiornato, i fattori che concorsero a determinare l'esplosione furono molteplici.

Nella notte fatale del 26 aprile era in corso un esperimento che avrebbe dovuto testare la portata inerziale del turbogeneratore. L'abbassamento della produzione di energia fino quasi all'arresto della reazione nucleare a catena, seguito da un brusco aumento della produzione di energia da parte degli operatori, insieme all'arresto dell'acqua di raffreddamento al nocciolo del reattore, ha provocato il surriscaldamento del combustibile e la distruzione del nocciolo del reattore. All'1:24 ora locale, tra i 40 ed i 60 secondi dopo l'inizio dell'esperimento, si sono verificate due grandi esplosioni. Secondo alcuni che investigarono sull'incidente, togliere tutte le barre di controllo dalla zona attiva del reattore, insieme alla crescente capacità di potenza del reattore, avrebbe reso inevitabile l'esplosione. Fu registrato che i sistemi di sicurezza erano chiusi o addirittura fuori servizio al momento della prima e che la combinazione di vapore radioattivo e idrogeno abbia fatto saltare la copertura di 1.200 tonnellate dal reattore distruggendo il tetto. Dopo pochi secondi ci fu una seconda esplosione che, secondo diversi studi indipendenti, con la combustione dei neutroni pronti aveva caratteristiche di un'esplosione nucleare con una resa di 0,3 kilotoni (pari a circa 300 tonnellate di TNT). Subito dopo l'incidente gli altri reattori furono spenti e la gestione della centrale messa in regime di crisi e gestita da un bunker sottostante.

La polvere radioattiva iniziò a diffondersi e a contaminare l'ambiente vicino e lontano. Il primo passo nel processo di contenimento dell'incidente fu l'estinzione delle fiamme nella sala del reattore e del tetto della sala macchine centrale. I primi a giungere sul luogo dell'incidente furono i vigili del fuoco



del dipartimento speciale della centrale elettrica, insieme ai vigili del fuoco della città di Chernobyl e di Pripjat. Tuttavia questi ultimi non conoscevano la causa dell'incendio e quindi versarono semplicemente acqua sulle rovine del reattore in fiamme. Ciò peggiorò la situazione causando diverse esplosioni minori ed una grave contaminazione radioattiva. Per evitare che la radioattività si diffondesse ulteriormente nell'ambiente, il reattore venne riempito con cinquemila tonnellate di boro, dolomite, sabbia, argilla e composto di piombo, lanciate da elicotteri che sorvolarono l'area nei giorni immediatamente successivi all'incidente.

Il disastro nucleare di Chernobyl portò sostanze radioattive all'altitudine di 1,5 chilometri nell'aria. A questa altezza, il vento da sud-est condusse una prima nube radioattiva fino alla Scandinavia per poi tornare di nuovo in Ucraina. La seconda nuvola contaminata volò invece attraverso la Polonia verso la Cecoslovacchia e poi verso l'Austria.

La città è stata evacuata 9 giorni dopo il disastro. Il livello di contaminazione con cesio-137 era di circa 555 kBq/m. Per quanto ne sappiamo oggi, non c'è posto al mondo in cui non fossero presenti nubi radioattive originate dall'incidente di Chernobyl.

Nel 2003, il Programma di sviluppo delle Nazioni Unite ha lanciato un progetto, denominato Černobyl' Recovery and Development Program (CRDP), per il recupero delle aree colpite. Attualmente la città è invasa dalla vegetazione e vi vivono molti tipi di animali. Secondo le informazioni del più recente censimento raccolte per un lungo periodo di tempo, si stima che oggi vi vivano più mammiferi rispetto a prima del disastro.





### **Black out e rinascita del nucleare**

Dalla fine degli anni '70 al 2002 circa, l'industria nucleare ha subito un progressivo declino fino a raggiungere la stagnazione. Il numero di reattori entrati in funzione dalla metà degli anni '80 è stato di poco superiore ai ritiri corrispondenti, sebbene la capacità sia aumentata di quasi un terzo e la produzione del 60%. La quota del nucleare nell'elettricità mondiale dalla metà degli anni '80 è stata abbastanza costante intorno a quote del 16-17%. Molti ordini di reattori degli anni '70 furono annullati e, di conseguenza, il prezzo dell'uranio scese. Le compagnie petrolifere che erano entrate nel business dell'uranio si salvarono e ci fu un consolidamento dei produttori di uranio. Tuttavia, alla fine degli anni '90, in Giappone, fu messo in servizio il primo dei reattori di terza generazione, il Kashiwazaki-Kariwa 6, un BWR avanzato da 1350 MWe. Fu il sintomo di un'imminente ripresa.

Nel nuovo secolo diversi fattori si sono combinati per rilanciare le prospettive per l'energia nucleare. La prima è stata la realizzazione dell'entità dell'aumento della domanda di elettricità prevista in tutto il mondo, in particolare nei paesi in rapido sviluppo. In secondo luogo, la consapevolezza dell'importanza della sicurezza energetica, ovvero l'importanza primaria per ogni paese di avere accesso a un'energia che avesse prezzi accessibili e che fosse in grado di soddisfare la domanda in ogni momento. Terzo, la necessità di limitare le emissioni di carbonio a causa delle preoccupazioni per il cambiamento climatico. Questi fattori hanno coinciso con la disponibilità di una nuova generazione di reattori nucleari e nel 2004 è stata ordinata la prima unità di terza generazione per la Finlandia: un PWR europeo (EPR) da 1600 MWe. Un'unità simile è in costruzione in Francia e due nuove unità Westinghouse AP1000 sono in costruzione negli Stati Uniti. Ma i piani in Europa e Nord America sono oscurati da quelli in Asia, in particolare Cina e India. La Cina, in particolare, da sola pianifica un enorme aumento della capacità energetica nucleare per il 2030 ed avanza una proposta di più di 100 unità di grandi dimensioni ampiamente sostenuta a livello popolare e dal governo. Molte di queste sono basate sugli ultimi progetti occidentali, o sono loro adattamenti, altre sono parte di progetti sostanzialmente locali.

## Oggi

Circa il 10% dell'elettricità mondiale è generata da 440 reattori nucleari nel globo. Sono in costruzione altri 50 reattori, pari a circa il 15% della capacità nucleare attualmente esistente.

Il 2018 ha registrato una fornitura di 2563 TWh di elettricità, rispetto ai 2503 TWh del 2017 ed è stato il sesto anno consecutivo in cui la generazione di energia nucleare globale è aumentata, con una produzione superiore di 217 TWh rispetto al 2012.

Ben 12 paesi nel 2018 hanno prodotto almeno un quarto della loro elettricità dal nucleare.

La Francia ottiene circa tre quarti della sua elettricità dall'energia nucleare, l'Ungheria, la Slovacchia e l'Ucraina ne ottengono più della metà, mentre Belgio, Svezia, Slovenia, Bulgaria, Svizzera, Finlandia e Repubblica Ceca ne ottengono un terzo o più. La Corea del Sud normalmente ottiene più del 30% della sua elettricità dal nucleare, mentre negli Stati Uniti, Regno Unito, Spagna, Romania e Russia circa un quinto dell'elettricità è prodotta in questo modo. Il Giappone è abituato a fare affidamento sull'energia nucleare per più di un quarto della sua elettricità.

