



ALMA MATER STUDIORUM
UNIVERSITÀ DI BOLOGNA

DEPARTMENT OF PHYSICS AND ASTRONOMY "A. RIGHI"

SECOND CYCLE DEGREE

PHYSICS

Il 2 dicembre 1942: Tra pratica scientifica, prospettive e narrazione

Supervisor
Prof. Eugenio Bertozzi

Co-supervisor
Dott.ssa Laura Rigotti

Defended by
Giorgio Traini

Graduation July 2026

Accademic Year 2025/2026

*Il futuro ci spaventa perché i vincitori
sono gli unici che scriveranno la storia.*

Psicologi

Abstract

La storiografia del Progetto Manhattan tende a ordinare gli eventi in funzione del loro esito, riducendo la prima reazione nucleare a catena controllata (Chicago, 2 dicembre 1942) a semplice premessa della bomba atomica. Questa tesi tratta invece quella giornata come un evento autonomo, un "punto cieco" della narrazione: costantemente presente ma raramente analizzato nella propria densità storica ed epistemologica. La domanda è come una sua ricostruzione, attraversata da una pluralità di prospettive, permetta di mettere in discussione le forme narrative consolidate e di restituire la pratica scientifica nel suo svolgersi. L'analisi adotta due lenti complementari. La prima è una cronologia a scala variabile, ispirata alle temporalità di Braudel e alla riflessione di Mercator e Latour sulla rappresentazione: la Chicago Pile-1 viene ricostruita come oggetto tecnico e collettivo lungo cinque scale progressive, dagli anni alle ore, in cui la criticità appare non come un istante, ma come soglia governata al termine di un processo materiale e contingente. La seconda sposta l'osservazione dal tempo allo sguardo, attraversando l'evento tramite le prospettive situate di sette protagonisti ciascuno con un proprio orizzonte di sapere e ignoranza. L'impostazione si fonda sulla corrente della microstoria, sulla polifonia di Bachtin, sulla percezione situata di Merleau-Ponty e sulla conoscenza situata di Haraway, Daston e Galison; la ricostruzione tecnica poggia sugli articoli originali dalla scoperta del neutrone alla fissione, quella prospettica su memorie e testimonianze dirette. Dal confronto tra le due lenti emerge un diverso statuto storiografico della Chicago Pile-1: non anticipazione dell'arma atomica, ma caso esemplare attraverso cui osservare come il sapere scientifico venga costruito, controllato e raccontato.

Contents

Abstract	i
Elenco delle Figure	iv
1 Stato dell'arte e problema storiografico	1
1.1 Framework Teorico	1
1.1.1 Introduzione	1
1.1.2 La costruzione della narrazione dominante	2
1.1.3 Il problema storiografico: teleologia, convergenza narrativa e frammentazione	5
1.1.4 La percezione del lettore rispetto alla Narrazione Dominante . .	10
1.2 Dal problema storiografico al progetto di ricerca	11
1.2.1 Il 2 dicembre 1942 come "punto cieco" della narrazione	11
1.2.2 Origine e posizionamento di ricerca	12
1.2.3 Domanda di ricerca e obiettivi	13
2 La Pila di Fermi come oggetto tecnico e teorico	15
2.1 Premessa Metodologica: una cronologia descrittiva della pratica scientifica	15
2.1.1 I limiti della ricostruzione tecnico-retrospettiva	15
2.1.2 Dalla cronologia mercatoriana alla stratificazione temporale . .	16
2.1.3 Descrivere la scienza mentre si costruisce	18
2.2 Gli anni: la lunga durata della possibilità scientifica	19
2.2.1 Dalla Scoperta del Neutrone alla formazione del gruppo di Chicago	19
2.3 I mesi: dalla possibilità scientifica al progetto sperimentale	25
2.4 Le settimane: la costruzione della pila	32
2.5 I giorni: la preparazione dell'esperimento finale	39
2.6 Le ore: il 2 dicembre 1942	45
2.7 Dalla scala temporale all'evento	50
3 Una giornata, molte prospettive	51
3.1 Prospettive metodologiche	51
3.1.1 Dal tempo allo sguardo: la microstoria come pratica della prospettiva	51
3.1.2 Dalla scala alla voce: Bachtin e la polifonia del significato	53
3.1.3 Dalla voce al soggetto: Pirandello tra identità e prospettiva . . .	54
3.1.4 Dallo sguardo situato alla conoscenza situata	55
3.1.5 L'oggettività come pratica storica	57

3.2	Enrico Fermi: la prospettiva della criticità	59
3.3	Leó Szilárd: la prospettiva del dubbio	61
3.4	Arthur Compton: la prospettiva della mediazione	64
3.5	Leona Woods: la prospettiva della strumentazione	66
3.6	George Weil: la prospettiva dell'operatività	67
3.7	Ted Petry: la prospettiva dell'inconsapevolezza	69
3.8	Laura Fermi: la prospettiva del segreto	71
3.9	L'evento ricomposto dalle prospettive	72
4	Interpretare l'evento: storia e narrazione nella costruzione del significato	74
4.1	Dalla Narrazione dominante alla costruzione di una narrazione alternativa	74
4.2	I vantaggi della lente temporale	75
4.3	I vantaggi della lente prospettica	75
4.4	Effetti su lettore e lettrice	76
4.5	Limiti delle due narrazioni separate	77
4.6	Verso una narrazione integrata	78
5	Oltre la narrazione dominante, rileggere il 2 dicembre 1942	79
5.1	Dalla lettura iniziale alla costruzione di due lenti di ricerca	79
5.2	Il nuovo statuto della Chicago Pile-1	80
5.3	Limiti del lavoro e sviluppi futuri	80
5.4	Conclusioni generali	81
	Bibliografia	82

List of Figures

- 1 Melvin A. Miller, *Chicago Pile-1 sotto le West Stands dello Stagg Field*, 1946. Disegno della prima pila nucleare costruita presso l'Università di Chicago, raffigurata come struttura stratificata di grafite, uranio e ossido di uranio.
Fonte: Argonne National Laboratory / U.S. Department of Energy 37
- 2 Gary Sheehan, *Birth of the Atomic Age*, 1957. Ricostruzione pittorica della Chicago Pile-1 nel momento del raggiungimento della prima reazione nucleare a catena autosostenuta e controllata, 2 dicembre 1942, Stagg Field, University of Chicago.
Fonte: National Archives and Records Administration, Records of the Atomic Energy Commission 46

1 Stato dell'arte e problema storiografico

1.1 Framework Teorico

1.1.1 Introduzione

Il Progetto Manhattan occupa da decenni una posizione dominante nella narrazione storica della fisica del Novecento. Il suo impatto scientifico, etico e militare ha contribuito a cristallizzare un racconto ormai familiare: una sequenza di decisioni, scoperte e scienziati che conducono, quasi inevitabilmente, alla realizzazione della bomba atomica. Proprio questa apparente chiarezza narrativa, tuttavia rischia di nascondere più di quanto riveli.

La grande presenza di studi, opere divulgative e testimonianze dirette risulta però spesso frammentata e concentrata sull'esito finale della storia. Questo produce due effetti storiografici distinti ma tra loro intrecciati: una saturazione interpretativa e una deriva teleologica, entrambi capaci di alterare profondamente la comprensione degli eventi.

Con saturazione interpretativa si intende quella condizione in cui l'abbondanza stessa delle fonti, memorie, biografie, documentari, ricostruzioni accademiche, anziché aprire nuove prospettive tende a consolidare un insieme ristretto di interpretazioni dominanti. I medesimi episodi vengono riletti, i medesimi protagonisti interrogati, le medesime svolte drammatizzate, fino a che il racconto non acquista la solidità apparente di un fatto naturale piuttosto che di una costruzione storiografica. In questo senso, la saturazione non indica eccesso di conoscenza, ma paradossalmente una forma di impoverimento: la moltiplicazione dei testi non corrisponde a una moltiplicazione degli sguardi.

A questo si intreccia il problema della teleologia, ovvero la tendenza a organizzare retrospettivamente gli eventi in funzione di un esito già noto. Quando la bomba atomica occupa la posizione di conclusione necessaria della narrazione, tutto ciò che la precede, le scoperte scientifiche, le decisioni politiche, i dubbi degli scienziati, le contingenze belliche, viene riletto alla luce di quella fine, come se ogni passaggio fosse stato, in qualche misura, orientato verso di essa. Ne risulta una storia in cui le alternative scompaiono, le incertezze si dissolvono e la complessità del processo decisionale viene ridotta a una sequenza di cause ed effetti coerenti. La teleologia, in altri termini, trasforma ciò che fu aperto e contingente in qualcosa che appare, a posteriori, chiuso e inevitabile.

È proprio da questa doppia trappola, la ridondanza delle interpretazioni e l'attrazione gravitazionale dell'esito finale, che una lettura storiograficamente più avvertita del Progetto Manhattan dovrebbe cercare di sottrarsi.

All'interno di questo quadro, alcuni passaggi del processo scientifico e tecnico risultano assorbiti in una narrazione che li interpreta come passaggi intermedi in funzione del risultato finale. Tra questi, assume un rilievo particolare la giornata del 2 dicembre 1942, giorno in cui viene realizzata la prima reazione nucleare a catena controllata sotto

la guida di Enrico Fermi.

In questo lavoro di tesi, questo evento verrà preso come punto di osservazione privilegiato, perché pur essendo riconosciuto come un momento cruciale nella storia della fisica, viene spesso trattato come un passaggio necessario ma narrativamente subordinato rispetto all'epilogo. In altre parole, la sua importanza risulta evidente, ma raramente viene esplorata nella sua autonomia storica e epistemologica.

Questo lavoro si propone di indagare come diverse modalità di narrazione contribuiscano a formare in modo differente il significato di questo evento.

Da ciò ne deriva un duplice obiettivo: da una parte, restituire alla giornata del 2 dicembre 1942 una densità storica propria; dall'altro mostrare come l'utilizzo di diverse prospettive sia narrative sia di personaggio, permetta di aprire nuove domande su cosa significhi raccontare la scienza.

1.1.2 La costruzione della narrazione dominante

Prima di addentrarci nella giornata del 2 dicembre 1942, dobbiamo analizzare come e perché si possa creare una narrazione dominante.

Hayden White (1928–2018), tra i più influenti teorici della storiografia del Novecento e principale esponente della riflessione contemporanea sulla narrazione storica, ha dedicato la propria ricerca all'analisi delle forme discorsive attraverso cui il passato viene organizzato e reso intelligibile. Il suo pensiero si colloca all'intersezione tra filosofia della storia, teoria della letteratura e retorica, con particolare attenzione al modo in cui i testi storici adottano strutture narrative proprie della tradizione letteraria. In opere fondamentali come *Metahistory* 1973 e nel saggio *The Value of Narrativity in the Representation of Reality* (1980), White ha mostrato come gli storici, nel dare forma ai fatti, ricorrano implicitamente a modelli narrativi, tragico, comico, epico, ironico, che non si limitano a vestire il contenuto storico, ma ne orientano attivamente la costruzione del significato. Come afferma lo stesso White:

"la narratività [...] è un modo di dare agli eventi reali la forma di una storia, e non un riflesso neutrale della loro struttura intrinseca". [1]

In questa prospettiva, la narrazione si configura non come un semplice strumento descrittivo, ma come un dispositivo retorico capace di conferire ordine, coerenza e intelligibilità a una realtà che, di per sé, non si presenta strutturata narrativamente. Il processo narrativo implica necessariamente una selezione degli eventi, la loro disposizione in una sequenza temporale dotata di senso e l'individuazione di relazioni causali che ne giustificano lo sviluppo selezionando, gerarchizzando e collegando gli elementi secondo schemi riconoscibili. Tali operazioni producono un effetto di continuità e finalità che rende gli eventi comprensibili, ma al contempo introducono un elemento interpretativo che non può essere eliminato, soltanto riconosciuto. Ne consegue che ogni rappresentazione narrativa del reale comporta una forma di costruzione del significato che

riflette convenzioni culturali e scelte retoriche specifiche, mai neutrali. Raccontare la realtà significa dunque già interpretarla: la narrazione non restituisce semplicemente ciò che è accaduto, ma organizza gli eventi entro una struttura che ne orienta la comprensione, attribuendo loro una coerenza e, spesso, una valenza morale che non sono intrinseche ai fatti stessi, ma introdotte dal gesto stesso del narrare. È proprio all'interno di questo processo che diventa possibile interrogare la formazione di una narrazione dominante: un dispositivo che, attraverso specifiche strategie retoriche e strutturali, stabilisce quali eventi siano degni di essere ricordati, in quale sequenza e secondo quali relazioni di causa ed effetto. È in questo scarto, tra l'accaduto e il raccontato, che si annida, secondo White, la dimensione inevitabilmente costruttiva di ogni discorso storico. Infatti, la realtà è composta da eventi discontinui ed è carica di incertezza, mentre la narrazione trasforma questi eventi scollegati e incerti in sequenze coerenti e necessarie. Utilizzando questa lente teorica per il caso storico del Progetto Manhattan, si può osservare che gli eventi non erano naturalmente diretti verso la bomba atomica, ma è la narrazione a organizzarli retrospettivamente come se lo fossero.

Il Progetto Manhattan fu il programma di ricerca militare-scientifico avviato dagli Stati Uniti nel 1942, in piena Seconda Guerra Mondiale, con l'obiettivo di sviluppare un'arma nucleare prima che la Germania nazista riuscisse a farlo. Coordinato dal generale Leslie Groves e diretto scientificamente da J. Robert Oppenheimer, il progetto mobilitò oltre centomila persone tra fisici, ingegneri e tecnici, distribuiti in siti segreti disseminati tra Los Alamos, Oak Ridge e Hanford. Il 16 luglio 1945, nel deserto del New Mexico, il test Trinity sancì la prima esplosione nucleare della storia; il mese successivo, le bombe sganciate su Hiroshima e Nagasaki posero fine al conflitto nel Pacifico, inaugurando al contempo l'era atomica.

Questa sequenza di eventi, tuttavia, non si presentò mai con la linearità che le ricostruzioni successive tendono ad attribuirle. Le decisioni furono spesso contrastate, i percorsi scientifici tutt'altro che privi di vicoli ciechi, e le implicazioni morali del progetto divisero profondamente gli stessi scienziati che vi lavoravano. Eppure la narrazione dominante ha progressivamente appiattito questa complessità, organizzando il tutto entro una traiettoria coerente e orientata verso un unico esito.

Un esempio particolarmente emblematico di questo meccanismo è offerto da *The Making of the Atomic Bomb* di Richard Rhodes, pubblicato nel 1986 e vincitore del Premio Pulitzer. [2]

Già il titolo rivela l'impostazione narrativa dell'opera: il gerundio *making*, il farsi, il costruirsi, presuppone un processo orientato, una progressione che conduce necessariamente verso il proprio oggetto. La bomba non emerge come l'esito contingente di un intreccio caotico di decisioni politiche, pressioni belliche e scoperte scientifiche, ma come il termine logico di una storia che sin dall'inizio sa dove sta andando. Rhodes costruisce una narrazione avvincente e riccamente documentata, che segue una traiettoria quasi epica: dalle scoperte della fisica nucleare europea degli anni Trenta fino

all'esplosione su Hiroshima, ogni capitolo sembra preparare e giustificare il successivo. In questo modo, anche un'opera storiograficamente accurata finisce per partecipare, sul piano retorico e strutturale, alla costruzione della narrazione dominante: quella di un destino scientifico e militare che si compie. La narrazione dominante del Progetto Manhattan, quindi, non è dovuta solamente al risultato di cosa viene raccontato, ma di come viene raccontato.

In relazione a questo importante evento storico è presente una vasta letteratura: sono presenti sia fonti primarie sia report, ma anche articoli e analisi moderne rispetto agli eventi. Si denota comunque una certa uniformità narrativa. Questa uniformità, che delinea la narrazione dominante, si può riconoscere attraverso tratti comuni presenti nei vari articoli e libri sul tema.

Primo fra tutti è la centralità dell'esito degli eventi, ovvero la produzione della bomba; tutto ciò che avviene prima viene letto in funzione di questo evento, togliendo valenza e autonomia agli altri eventi.

Inoltre, si evince come il racconto spesso abbia una direzione e sembri svilupparsi come una sequenza coerente togliendo casualità e incertezza caratterizzanti del processo scientifico.

Un altro punto fondamentale per la costruzione della narrazione dominante, è la focalizzazione su luoghi e figure come Los Alamos e Oppenheimer che tolgono valore agli altri luoghi e personaggi che nella narrazione risultano come secondari.

Infine, si denota una compressione degli eventi intermedi che, anche quando vengono trattati raramente vengono trattati come eventi autonomi.

Questa relativa stabilità narrativa non implica una riduzione della complessità degli studi esistenti, ma suggerisce l'esistenza di criteri impliciti di selezione e organizzazione del racconto, che orientano l'attenzione verso determinati eventi e ne marginalizzano altri. Tale uniformità può essere interpretata proprio alla luce della riflessione di White sulla funzione della narritività nella rappresentazione della realtà: la narrazione storica non si limita a registrare gli eventi, ma li investe di una "morale", di una direzione di senso che li trascende e che risponde a esigenze culturali e retoriche ben precise.

In questo senso, la centralità della bomba atomica non appare soltanto come una scelta tematica, ma come il risultato di una configurazione narrativa che organizza retrospettivamente gli eventi secondo una logica di coerenza e compimento. Come sostiene Hayden White, la narrazione storica "*endows reality with form*" e impone agli eventi "*the formal coherency that only stories possess*".[3]

La narrazione dominante, dunque, non è il semplice effetto della ripetizione di temi ricorrenti, ma il risultato di una forma di organizzazione arbitraria, nel senso tecnico che White attribuisce al termine, degli eventi del passato: una costruzione retorica che seleziona, gerarchizza e orienta, trasformando la contingenza storica in apparente necessità.

1.1.3 Il problema storiografico: teleologia, convergenza narrativa e frammentazione

Le considerazioni fatte precedentemente permettono di ricondurre la relativa uniformità delle narrazioni dedicate al Progetto Manhattan a un problema di natura storiografica, che investe, non soltanto i contenuti del racconto, ma le forme attraverso cui esso viene costruito e reso intelligibile.

Infatti, se la narrazione costituisce una forma del passato capace di attribuire coerenza e direzione a eventi altrimenti discontinui, diventa allora necessario analizzare in che modo questa organizzazione operi concretamente all'interno della storiografia del Progetto Manhattan.

Nel dettaglio, occorre chiedersi quali siano i meccanismi attraverso cui gli eventi vengono selezionati, ordinati e interpretati, e in che misura tali processi contribuiscano a costruire una rappresentazione che appare unitaria, coerente e orientata.

In questa prospettiva, il problema storiografico non si esaurisce nell'individuazione di una narrazione dominante, ma riguarda piuttosto le dinamiche che ne determinano la formazione, che verranno analizzate in questo paragrafo.

La prima dinamica che emerge è sicuramente una forte teleologia attorno alla bomba nucleare. Il concetto di teleologia in ambito storiografico, indica una modalità di interpretazione del passato in cui gli eventi vengono letti e organizzati alla luce del loro esito finale. In questa prospettiva, il significato delle fasi intermedie non viene studiato e valutato in modo autonomo, ma viene progressivamente ridefinito in funzione del fatto che esse conducono all'evento finale.

Tale impostazione teleologica è stata ampiamente criticata nella storiografia della scienza. In particolare, in *The Structure of Scientific Revolutions* (1962), Thomas Kuhn ha evidenziato come le ricostruzioni retrospettive tendano a rappresentare lo sviluppo scientifico come lineare, cumulativo e inevitabile, oscurando invece la dimensione di contingenza, conflitto e discontinuità che caratterizza i processi storici reali.

Con ricostruzione retrospettiva si intende quel procedimento storiografico, spesso inconsapevole, attraverso cui chi scrive la storia organizza gli eventi del passato a partire dalla conoscenza dell'esito finale, selezionando e ordinando le vicende in modo tale che esse sembrino condurre naturalmente verso quel risultato già noto. Non si tratta di una falsificazione deliberata, ma di un effetto strutturale della posizione dello storico: sapere come è andata a finire rende inevitabilmente difficile restituire la reale apertura del momento in cui le decisioni venivano prese, quando l'esito era ancora incerto e le alternative ancora praticabili. Il presente dello storico, in altri termini, colonizza retrospettivamente il passato degli attori storici, attribuendo loro una direzione che essi stessi non potevano ancora vedere.

Nel contesto della storia della scienza, Kuhn mostra come questo meccanismo produca manuali e narrazioni in cui le scoperte appaiono concatenarsi con fluidità, ciascuna preparando il terreno per la successiva, e in cui i vicoli ciechi, le ipotesi abban-

donate e i dibattiti irrisolti vengono sistematicamente espunti dal racconto. Ne risulta un'immagine della scienza come impresa cumulativa e autoevidente, che nasconde invece la natura profondamente discontinua e conflittuale del sapere scientifico reale.[4] Applicata al Progetto Manhattan, questa critica invita a interrogarsi su quante decisioni appaiano oggi inevitabili soltanto perché la narrazione dominante ha già provveduto a cancellare le strade che non furono percorse.

La teleologia si manifesta nella tendenza a interpretare l'intero sviluppo del progetto come un percorso orientato verso la realizzazione della bomba atomica. In questa configurazione, spesso, gli eventi vengono organizzati e selezionati in funzione dell'esito, oscurando o marginalizzando le alternative o le possibilità non realizzate.

Ciò che ne deriva è una rappresentazione in cui il processo appare dotato di una propria direzione intrinseca, come se l'epilogo della bomba costituisse un punto di arrivo implicito fin dalle fasi iniziali. La distorsione che ne deriva non è necessariamente intenzionale, ma è la conseguenza di un meccanismo interpretativo che agisce a posteriori, riorganizzando il significato degli eventi alla luce di ciò che è noto.

Analizzando il caso specifico del Progetto Manhattan, è possibile osservare come il racconto pubblico sia stato costruito fin dall'inizio intorno alla bomba come punto di arrivo necessario, esercitando un'influenza determinante anche sulla letteratura storica specializzata.

A questo proposito risulta particolarmente significativa la prospettiva di Spencer Weart, storico e fisico americano che ha dedicato gran parte della propria ricerca al rapporto tra scienza, cultura e immaginario collettivo. In *Nuclear Fear: A History of Images* (1988), Weart analizza come le rappresentazioni culturali del nucleare, dalle immagini della distruzione atomica alle metafore della potenza cosmica, abbiano strutturato la percezione pubblica della tecnologia nucleare ben al di là dei dati tecnici e scientifici. La sua prospettiva, situata all'intersezione tra storia della scienza e storia culturale, consente di individuare i meccanismi attraverso cui determinati simboli e narrazioni si sedimentano nell'immaginario collettivo fino a diventare quadri interpretativi difficilmente contestabili. Come osserva Weart, le immagini associate all'energia nucleare tendono a organizzarsi attorno a polarità emotive profonde, salvezza e annientamento, progresso e catastrofe, che precedono e condizionano qualsiasi valutazione razionale degli eventi.[5]

Rispetto al caso specifico del Progetto Manhattan, questa osservazione suggerisce che la narrazione dominante non si sia formata soltanto attraverso scelte storiografiche consapevoli, ma anche attraverso la sedimentazione di immagini culturali potenti, capaci di orientare la selezione e l'organizzazione degli eventi ancor prima che lo storico si accosti alle fonti. La bomba, in questo senso, non è soltanto l'esito del progetto: è il simbolo attorno a cui l'intera narrazione si è cristallizzata, retroagendo sulla memoria storica e consolidando quella traiettoria apparentemente inevitabile che la critica storiografica è chiamata a decostruire.

Inoltre, il contesto bellico e le pressioni etiche che attraversarono l'intero arco del progetto contribuirono in misura determinante a riorganizzare il modo in cui la sua storia venne raccontata e tramandata. A questo proposito, la riflessione di Peter Galison offre strumenti analitici di particolare rilevanza. Storico e filosofo della scienza tra i più autorevoli del panorama accademico contemporaneo, Galison ha dedicato una parte significativa della propria ricerca al modo in cui le condizioni materiali, istituzionali e morali della scienza in tempo di guerra hanno trasformato non soltanto le pratiche scientifiche, ma anche le forme della loro rappresentazione e memoria. In *Image and Logic* (1997) e nei suoi studi sulla fisica del Novecento, Galison mostra come la scienza non si sviluppi in uno spazio neutro, ma sia profondamente intrecciata con le strutture politiche, militari e culturali del proprio tempo, che ne condizionano tanto i metodi quanto i significati attribuiti ai risultati.[6]

Nel caso specifico del Progetto Manhattan, Galison evidenzia come il segreto militare, l'urgenza bellica e il peso morale delle decisioni prese abbiano prodotto una cultura della testimonianza particolare: gli scienziati coinvolti si trovarono a dover giustificare pubblicamente le proprie scelte in un quadro narrativo già definito dalla logica della guerra, in cui la bomba appariva come risposta necessaria a una minaccia esistenziale. Questa necessità di legittimazione retroattiva, etica prima ancora che storiografica, contribuì a irrigidire ulteriormente la narrazione dominante, selezionando e amplificando quegli elementi del racconto capaci di conferire coerenza morale a decisioni che, nel momento in cui furono prese, erano tutt'altro che prive di alternative. La guerra, in altri termini, non fu soltanto il contesto del progetto, ma divenne la cornice narrativa entro cui esso fu compreso, giustificato e consegnato alla memoria storica. In questo quadro, l'analisi della dimensione teleologica non mira a negare o svalutare l'importanza dell'esito finale, ma a evidenziare il modo in cui tale evento venga utilizzato per strutturare retrospettivamente il racconto.

L'obiettivo del lavoro di tesi, quindi, sta nel riconoscere questo tipo di dinamica per permettere di restituire maggiore complessità ai processi storici, mettendo in luce come essi siano stati costantemente attraversati da alternative, incertezze e configurazioni di sapere che non possono essere ridotte a una semplice traiettoria orientata.

Accanto alla dimensione teleologica, un ulteriore elemento che contribuisce a definire il problema storiografico è rappresentato dalla tendenza della letteratura a convergere su personaggi, luoghi e schemi narrativi ricorrenti. A fronte infatti di una produzione ampia e articolata che comprende fonti primarie, articoli scientifici e opere divulgative, si osserva una relativa omogeneità nelle modalità di selezione, organizzazione e interpretazione degli eventi.

L'effetto prodotto quindi, è la marginalizzazione relativa di eventi che, pur essendo riconosciuti come significativi, vengono inclusi nelle ricostruzioni in forma compressa o subordinata e la loro autonomia interpretativa tende a ridursi, portando il loro signifi-

cato a venire progressivamente assorbito all'interno di una struttura più ampia. Nello specifico del Progetto Manhattan questa convergenza si manifesta nella costante centralità attribuita alla fase conclusiva del progetto e ai luoghi e protagonisti ad essa associati.

L'individuazione di questa convergenza narrativa consente quindi di comprendere come la stabilità della narrazione dominante non sia soltanto il risultato di una selezione iniziale, ma anche l'effetto di un processo di reiterazione e consolidamento, attraverso il quale determinati schemi interpretativi tendono a riprodursi nel tempo. In questa modalità, la pluralità delle voci non elimina l'uniformità del racconto, ma può contribuire, paradossalmente a rafforzarla.

Infine, un ulteriore elemento che contribuisce a configurare il problema storiografico è rappresentato dalla presenza di una marcata distinzione tra differenti registri discorsivi. La letteratura attorno al Progetto Manhattan appare infatti spesso articolata lungo due direttrici principali: da una parte le ricostruzioni di carattere tecnico-scientifico, orientate all'analisi dei principi fisici e delle procedure sperimentali; dall'altra, le narrazioni di taglio storico e divulgativo, concentrate sulle dinamiche politiche, umane e morali del progetto. Questa distinzione sorge naturalmente dalla necessità di rispondere a esigenze comunicative e disciplinari differenti, ma produce al contempo una forma di frammentazione nella rappresentazione complessiva del fenomeno, in cui i diversi livelli di descrizione rimangono difficilmente integrabili tra loro.

Rispetto a questo possiamo analizzare la riflessione di Peter Galison che ci offre una chiave interpretativa particolarmente feconda. Lo storico e filosofo della scienza evidenzia come la pratica scientifica sia caratterizzata dalla coesistenza di linguaggi, strumenti e tradizioni disciplinari distinti, la cui interazione non produce mai una sintesi unitaria, ma si realizza in spazi di negoziazione circoscritti e contingenti:

"in the absence of full commensurability, coordination can still occur in local exchange practices" [6]

Anche in assenza di un linguaggio condiviso e pienamente traducibile, in altri termini, culture epistemiche differenti riescono a coordinarsi attraverso forme locali e parziali di scambio, senza che tale coordinamento implichi mai una piena convergenza di prospettive. Nel passaggio dalla pratica scientifica alla sua narrazione storica, tuttavia, questa pluralità non viene sempre mantenuta. Anziché restituire la complessità di una scienza che si fa attraverso la coesistenza e la negoziazione di culture differenti, la narrazione dominante tende a semplificare, separando nettamente il piano tecnico da quello storico e privando così il racconto della sua dimensione più profondamente ibrida. È proprio in questa operazione di riduzione che si manifesta, ancora una volta, il carattere costruttivo e selettivo di ogni rappresentazione narrativa del reale.

Bruno Latour sostiene che la conoscenza scientifica, nel momento in cui viene stabilizzata e resa pubblica, subisce una trasformazione significativa rispetto alla fase della sua costruzione. Infatti, la "scienza in azione", dominata da incertezza, sperimentazione e reiterazione, tende a essere sostituita da una rappresentazione più lineare e coerente, in cui i risultati appaiono come dati acquisiti e consolidati.[7] In questi processi, molti degli elementi che costituiscono la complessità dell'attività scientifica vengono semplificati o persino esclusi.

Nel caso del Progetto Manhattan, questa dinamica si traduce in una duplice rappresentazione: da un lato una conoscenza approfondita ma settoriale dei processi scientifici; dall'altro, una narrazione complessiva che privilegia la coerenza e la comprensibilità. Questa frammentazione assume un rilievo particolare nel caso di eventi che si collocano all'intersezione tra dimensione tecnica e significato storico.

La giornata del 2 dicembre 1942, in cui il gruppo guidato da Enrico Fermi realizzò la prima reazione nucleare a catena controllata, rappresenta un episodio emblematico in tal senso. Nelle ricostruzioni tecnico-scientifiche, essa viene analizzata in termini di condizioni di criticità, andamento della reazione e configurazione della pila; nelle narrazioni storiche, invece, assume il valore di un episodio simbolico o di passaggio intermedio all'interno di una storia più ampia. Raramente però questi due livelli vengono messi in relazione in modo sistematico.

Per questo motivo, la frammentazione dei registri non implica semplicemente una divisione dei contenuti, ma incide direttamente sulle modalità di comprensione degli eventi. La separazione infatti, può portare a una rappresentazione in cui la complessità dell'esperienza scientifica risulta distribuita su piani distinti, difficilmente ricomponibili in un quadro unitario. L'analisi di questa dinamica consente di evidenziare come la narrazione dominante non solo seleziona e organizza gli eventi, ma anche li distribuisce su livelli di significato differenti, influenzando in modo significativo la loro interpretazione.

Queste dinamiche non operano in modo isolato, ma contribuiscono congiuntamente a configurare una narrazione in cui gli eventi risultano al tempo stesso orientati, selezionati e distribuiti secondo criteri che ne influenzano profondamente il significato.

Da un lato, la dimensione teleologica tende a conferire al processo una direzione unitaria, riorganizzando retrospettivamente il ruolo delle sue diverse fasi, dall'altro, la convergenza narrativa rafforza la stabilità di determinati nuclei interpretativi. A ciò si aggiunge la frammentazione dei registri, che distribuisce la comprensione del fenomeno su piani distinti, rendendo più difficile una lettura integrata della sua complessità.

L'analisi del problema storiografico consente quindi di chiarire le condizioni entro cui tale dinamica si produce e di evidenziare la necessità di un diverso approccio interpretativo.

In questa prospettiva, la scelta di assumere la giornata del 2 dicembre 1942 come oggetto di analisi non risponde soltanto all'esigenza di approfondire un episodio specifico, ma

si configura come un tentativo di mettere in discussione le forme narrative consolidate e di esplorare la possibilità di un integrazione più articolata tra dimensione tecnica, ricostruzione storica e riflessione epistemologica.

1.1.4 La percezione del lettore rispetto alla Narrazione Dominante

La narrazione dominante non ordina gli eventi del passato ma costruisce ciò che la teoria della ricezione di Hans Robert Jauss chiama l'orizzonte del lettore, ovvero l'insieme di immagini, aspettative e riferimenti a cui si accosta un oggetto prima ancora di conoscerlo.[8]

Nella fisica nucleare e in particolar modo nel caso del Progetto Manhattan, qualsiasi persona parte quasi mai da una posizione neutra, perché il nucleare in se è già carico di associazioni sedimentate che precedono la comprensione fisica dei fenomeni. In questo senso, la narrazione dominante modifica in modo sostanziale il modo in cui il lettore è disposto a riconoscere il significato di ciò che legge.

Questo, risulta particolarmente evidente nel caso della Chicago Pile-1, visto che può essere raccontato sia come la prima reazione a catena controllata, ma anche come una tappa preliminare nella costruzione della bomba atomica. La cosa fondamentale è che la seconda lettura non è storicamente falsa ma risulta riduttiva quando questa va ad inglobare il significato totale dell'evento, trasformando l'evento in anticipazione, perdendo la percezione della scoperta scientifica e trasformandola in una traiettoria orientata verso la distruzione.

Il nucleare, considerando che già la parola stessa rimanda ad un immaginario di pericolo prima che ad un campo scientifico, trova nella narrazione dominante un fattore di stabilizzazione che lega il lettore alle immagini della bomba come il suo più naturale e riconoscibile esito. Gli studi di Spencer Weart mostrano come molte delle convinzioni diffuse sull'energia nucleare non sia frutto di dati scientifici, ma il frutto di un intreccio di immagini cardine, come il fungo atomico o la fine del mondo, che formano l'immaginario collettivo. Inoltre, Paul Boyer, in *By the Bomb's Early Light*, pubblicato nel 1985, mostra come successivamente al disastro di Hiroshima, la bomba nucleare penetrò nella cultura americana, andando a plasmare linguaggio, dibattiti e aspettative.[9] Grazie a questi lavori, si può osservare come spesso l'opinione pubblica non sia formata solamente mediante fatti e dati ma anche rispetto alle cornici interpretative con cui gli eventi vengono raccontati e presentati.

Per questo motivo, ricostruire l'evento della pila significa evitare che determinate relazioni tra questo evento e le ideologie sul nucleare diventino l'unico criterio di intelligibilità dell'evento. In questo scarto, tra l'immaginario che il lettore porta con sé e la materialità minuta della giornata, si apre lo spazio della presente ricerca: mostrare che la storia della Pila non coincide con la preistoria della bomba, ma costituisce un episodio autonomo e complesso della costruzione del sapere nucleare.

1.2 Dal problema storiografico al progetto di ricerca

1.2.1 Il 2 dicembre 1942 come "punto cieco" della narrazione

In questa sezione si mette in risalto un altro problema che si evince dalla letteratura sul Progetto Manhattan. La giornata del 2 dicembre 1942 occupa una posizione apparentemente paradossale nella storia, poiché, pur essendo riconosciuta come momento cruciale, raramente costituisce il fulcro dell'analisi.

Infatti, si riconoscono delle modalità ricorrenti di trattamento di tale evento, coerenti con la frammentazione trattata nel paragrafo precedente: una modalità tecnica, in cui viene fornita una spiegazione scientifica della pila e delle teorie che la caratterizzano, rinunciando però allo sviluppo storico e narrativo, creando un testo formale e carico di informazioni tecniche.

Una seconda modalità è sicuramente l'uso dell'episodio come simbolo: in questo senso l'evento assume il valore di momento inaugurale, spesso descritto come l'atto che segna l'ingresso dell'umanità nell'era del nucleare.

Infine una terza modalità che è già stata in parte discussa nei paragrafi precedenti, è l'utilizzo del racconto storico della giornata come tappa intermedia in un progetto più ampio.

In questo senso, il 2 dicembre 1942 può essere interpretato come un "punto cieco" della narrazione: un evento costantemente presente nelle ricostruzioni, ma raramente assunto come nodo interpretativo centrale o come oggetto di analisi autonoma.

All'interno delle dinamiche fin qui analizzate, la nozione di "punto cieco" non vuole indicare un'assenza o una dimenticanza, ma una forma di presenza non problematizzata. In questo senso, il "punto cieco" non è un limite accidentale della storiografia, ma un effetto strutturale delle modalità di costruzione del racconto. Proprio perché l'evento è costantemente presente, esso non viene percepito come problematico: la sua integrazione nella narrazione dominante tende a renderlo trasparente, sottraendolo a una riflessione critica specifica.

Assumere, quindi, il 2 dicembre 1942 come oggetto di analisi significa, in questa prospettiva, rendere visibile ciò che nella narrazione tende a rimanere implicito. Ciò comporta un cambiamento di prospettiva: non considerare l'evento esclusivamente in relazione al suo esito, ma ricostruirlo nella sua dimensione processuale. Questo spostamento di prospettiva implica, inoltre, il tentativo di superare la separazione tra registri descrittivi, integrando la dimensione tecnico-scientifica con la ricostruzione storica e con la riflessione sulle forme narrative. In questo modo, il 2 dicembre 1942 non viene semplicemente "riportato al centro", ma viene utilizzato come punto di osservazione privilegiato per interrogare le modalità attraverso cui la storia della scienza viene costruita, trasmessa e interpretata.

1.2.2 Origine e posizionamento di ricerca

L'analisi condotta nei paragrafi precedenti ha messo in evidenza come la narrazione del Progetto Manhattan sia caratterizzata da una serie di dinamiche ricorrenti - teleologia, convergenza narrativa e frammentazione dei registri - che contribuiscono a definire in modo specifico la comprensione degli eventi storici.

La scelta di assumere il 2 dicembre 1942 come oggetto di indagine non nasce soltanto dall'interesse per un episodio particolare, ma si configura come un tentativo di risposta a tali problematiche.

L'origine di questo lavoro si colloca infatti nell'esigenza di interrogare più da vicino il modo in cui eventi scientifici complessi vengono raccontati, selezionati e interpretati, sia nella letteratura sia nella divulgazione contemporanea.

In particolare, la constatazione della posizione paradossale occupata dal 2 dicembre 1942, al tempo stesso riconosciuto come momento cruciale e raramente analizzato nella sua autonomia, ha suggerito la possibilità di utilizzarlo come caso studio per mettere in discussione le modalità consolidate di costruzione del racconto storico-scientifico.

In questa prospettiva, il lavoro si colloca all'intersezione tra storia della scienza, riflessione epistemologica e analisi della narrazione. Tale posizionamento implica il rifiuto di considerare questi ambiti come separati o gerarchicamente ordinati: al contrario, essi vengono assunti come dimensioni complementari, la cui integrazione consente di accedere a una comprensione più articolata degli eventi scientifici.

La scelta di adottare un approccio di tipo monografico, centrato su un singolo evento e su una ricostruzione temporale circoscritta, si inserisce all'interno di una tradizione consolidata nella storia della scienza, ma qui viene orientata in modo specifico. Non si tratta, infatti, soltanto di approfondire un episodio, bensì utilizzarlo come dispositivo analitico capace di far emergere dinamiche che strutturano la narrazione stessa. In questo senso, il 2 dicembre non è assunto come semplice oggetto di studio, ma come punto di osservazione privilegiato attraverso cui interrogare le relazioni tra pratica scientifica, esperienza vissuta e costruzione del significato.

Questo posizionamento comporta anche una scelta metodologica precisa. Piuttosto che assumere come dato un quadro unitario dell'evento, il lavoro procede attraverso una distinzione iniziale di livelli di analisi al fine di metterne in evidenza le specificità. Solo in un secondo momento, tali livelli verranno messi in relazione, con l'obiettivo di esplorare le modalità attraverso cui essi interagiscono e contribuiscono congiuntamente alla costruzione dell'evento storico-scientifico.

In questo senso, la ricerca non si limita a proporre una ricostruzione alternativa del 2 dicembre 1942, ma intende più ampiamente interrogare le condizioni di possibilità attraverso cui eventi di questo tipo possono essere compresi, raccontati e trasmessi.

1.2.3 Domanda di ricerca e obiettivi

Alla luce delle dinamiche analizzate nei paragrafi precedenti, emerge la necessità di interrogare in modo più sistematico il rapporto tra costruzione narrativa, pratica scientifica e interpretazione storica degli eventi.

Per questo, si è scelto il caso del 2 dicembre 1942 che si configura come un terreno privilegiato per mettere alla prova tali questioni, in quanto, come già trattato, è un episodio al tempo stesso centrale e marginalizzato, presente nella narrazione ma raramente assunto come oggetto di analisi autonoma.

In questo contesto, la domanda di ricerca che guida il presente lavoro può essere formulata come segue:

"In che modo la ricostruzione del 2 dicembre 1942, considerato come evento autonomo e analizzato attraverso un pluralità di prospettive, consente di mettere in discussione le forme narrative dominanti nella storia del Progetto Manhattan e di restituire la complessità della pratica scientifica nel suo svolgersi?"

Questa domanda implica uno spostamento di prospettiva rispetto alle ricostruzioni tradizionali. Non si tratta, infatti, di aggiungere un ulteriore livello descrittivo a un evento già ampiamente noto, ma di utilizzarlo come punto di osservazione per indagare le modalità attraverso cui il significato storico e scientifico viene costruito, organizzato e trasmesso.

L'obiettivo del lavoro si articola su più livelli strettamente connessi. In primo luogo, il lavoro si propone di analizzare come diverse prospettive, tecniche, esperienziali e narrative, contribuiscano a produrre interpretazioni differenti dello stesso evento. In questa prospettiva, la pluralità non viene intesa come semplice moltiplicazione dei punti di vista, ma come strumento analitico capace di evidenziare aspetti della pratica scientifica che rimangono invisibili all'interno della narrazione unitaria.

Un ulteriore obiettivo consiste nel mettere in relazione registri discorsivi che nella letteratura risultano spesso separati, mostrando come l'integrazione tra dimensione tecnico-scientifica, ricostruzione storica e riflessione narrativa possa offrire una comprensione più articolata degli eventi scientifici.

In questo senso, il lavoro si colloca all'intersezione tra storia della scienza, epistemologia e analisi della narrazione, proponendo il caso del 2 dicembre 1942 come dispositivo per interrogare le modalità di costruzione della scienza.

Nei capitoli successivi questi elementi verranno sviluppati attraverso due lenti distinte e complementari. Il secondo capitolo propone una ricostruzione della giornata che, muovendo dalla sua dimensione tecnico-scientifica, la dispone lungo una scala temporale progressiva, restituendo il processo nel suo farsi. Il terzo capitolo affianca a questa ricostruzione un'analisi dell'evento condotta attraverso la pluralità delle prospettive dei suoi protagonisti. Il quarto capitolo, infine, mette a confronto le due lenti, interrogan-

done vantaggi, limiti e possibilità di integrazione, per riflettere sul modo in cui la forma della narrazione contribuisce a costruire il significato dell'evento scientifico.

2 La Pila di Fermi come oggetto tecnico e teorico

2.1 Premessa Metodologica: una cronologia descrittiva della pratica scientifica

Se il capitolo precedente ha mostrato come il 2 dicembre 1942 sia stato progressivamente assorbito entro una narrazione retrospettiva, l'obiettivo di questo capitolo non è più soltanto interrogarsi su come tale evento sia stato raccontato, ma piuttosto su come esso possa essere ricostruito senza aderire a quella narrazione dominante e, soprattutto, senza assumere retrospettivamente il suo esito come inevitabile.

Questo implica, tuttavia, un necessario spostamento di prospettiva: passare dal racconto di una fisica già compiuta alla fisica nell'atto stesso della sua costruzione; dal risultato ormai stabilizzato alle sequenze di decisioni, pratiche sperimentali, misurazioni e interpretazioni locali che ne hanno progressivamente reso possibile il riconoscimento. Per queste ragioni, in questo capitolo si è scelto di adottare una cronologia descrittiva a scala variabile, ispirata alla metodologia narrativa di Gerardus Mercator (1512–1594), intesa come rigorosa organizzazione temporale degli eventi e come strumento capace di restituire il processo scientifico nella sua progressiva articolazione.

A questa impostazione si affiancherà inoltre il concetto di pluralità delle temporalità storiche elaborato da Fernand Braudel (1902–1985), con l'obiettivo di trasformare il modello mercatoriano, originariamente costruito attorno a un asse temporale lineare, in un dispositivo narrativo a risoluzione progressiva, nel quale l'avvicinarsi all'evento coincide con un progressivo aumento della densità descrittiva e della profondità analitica. L'analisi procederà quindi, attraverso una progressiva compressione della scala temporale con l'obiettivo di osservare la pratica scientifica come un processo aperto, collettivo e materiale.

2.1.1 I limiti della ricostruzione tecnico-retrospettiva

Prima di addentrarci nella metodologia usata è bene fermarsi per analizzare quali siano i limiti delle ricostruzioni tecniche della Chicago Pile-1 presenti in letteratura scientifica e storica. Infatti queste presentano una caratteristica ricorrente, già tratta nel capitolo 1, ovvero tendono a descrivere il processo di progettazione e costruzione della pila come una sequenza progressiva, in cui ogni fase prepara e giustifica la successiva. I problemi vengono presentati affiancati dalle loro soluzioni e le incertezze vengono risolte immediatamente. Il risultato di ciò è che la reazione a catena controllata del 2 dicembre 1942 appare come il termine naturale di un percorso che non avrebbe potuto concludersi diversamente.

Questa metodologia di ricostruzione degli eventi storici non è una scelta consapevole ma un meccanismo strutturale quasi inevitabile, poiché chi scrive conosce già l'esito finale e di conseguenza organizza il racconto in funzione di esso.

La problematica che si scaturlisce non è legata all'accuratezza dei dati tecnici che risulta precisa ed elevata, ma piuttosto all'organizzazione stessa di questi dati e il significato che produce questa organizzazione.

Come già osservato nel capitolo precedente in riferimento alla narrazione del progetto Manhattan, la teleologia non è una distorsione accidentale della storiografia ma un vero e proprio effetto strutturale della posizione dello storico rispetto all'evento che descrive. Spostandoci nella dimensione tecnica, utilizzando questa metodologia produciamo una sorta di impoverimento del processo sperimentale, poiché la linearità del racconto lo priva della sua natura iterativa, contingente e collettiva.

Nel caso specifico della Chicago Pile-1, questo meccanismo produce conseguenze storiograficamente rilevanti. La scelta della grafite come moderatore, ad esempio, viene solitamente presentata come un'ovvia soluzione al problema tecnico, quando in realtà si arrivò a questa decisione solo dopo diverse misure sperimentali la cui interpretazione era inizialmente incerta. Un altro esempio riguarda la configurazione geometrica della pila, che viene descritta come il risultato di un preciso calcolo, quando realmente fu il risultato di una serie di approssimazioni successive, ciascuna delle quali avrebbe potuto condurre a soluzioni diverse. Questi esempi non sono solamente dettagli marginali ma elementi che vanno a costruire la natura del processo scientifico e restituirli alla loro contingenza non significa mettere in discussione la veridicità del risultato, ma comprendere più accuratamente come quel risultato fu prodotto.

Il problema metodologico che emerge è dunque il seguente: come descrivere un processo scientifico senza ricorrere alla struttura retrospettiva che ne appiattisce l'accidentalità, senza però rinunciare al rigore analitico che una ricostruzione storico-scientifica richiede. La possibile risposta che si propone in questo capitolo, passa attraverso una riflessione sulla scala temporale come strumento interpretativo.

2.1.2 Dalla cronologia mercatoriana alla stratificazione temporale

La metodologia scelta per interpretare l'evento trova le sue formulazioni più evidenti nella cartografia di Gerardus Mercator. La proiezione che porta il suo nome, elaborata nel 1569 per rispondere alle esigenze della navigazione oceanica, si pone come una rappresentazione non neutrale della superficie terrestre che però cercava di rispondere a un problema specifico, ovvero, preservare gli angoli di rotta, pur limitando le proporzioni areali.[10]

Ogni proiezione cartografica, come comprese Mercatore, è il risultato di una scelta che rende visibili alcune proprietà dello spazio e ne distorce necessariamente altre. Nell'ambito scientifico la riflessione contemporanea di Bruno Latour e Steve Woolgar sui dispositivi di iscrizione, consente di estendere questa consapevolezza anche alla

pratica scientifica, mostrando come qualsiasi forma di rappresentazione non sia una semplice riproduzione del reale, ma una sua traduzione situata.[11] Partendo da ciò, in questo progetto si è cercato di applicare questi concetti al tempo storico, delineando e costruendo una scala temporale con cui descrivere il processo. Infatti, anche la scala temporale pone degli obblighi interpretativi insiti nella scelta della scala, ad esempio se la scala del tempo scelta sarà una scala degli anni ci permetterà di analizzare e rendere visibili le linee di sviluppo sul lungo periodo ma non permetterà la visualizzazione della contingenza delle decisioni quotidiane. Al contrario una ricostruzione che opera alla scala delle ore esprime al meglio l'incertezza e le decisioni ma perde la capacità di situarli in un contesto più ampio. Perciò, la scelta della scala non è solamente un dettaglio tecnico e narrativo ma una vera e propria presa di posizione metodologica che va a determinare quali strutture saranno percepibili e quali rimarranno invisibili.

Proprio su questo punto si concentra la riflessione storiografica di Fernand Braudel, che offre gli strumenti adatti per affrontare il problema identificato nella sezione precedente. Nel saggio *Histoire et sciences sociales: La longue durée*, pubblicato negli *Annales* nel 1958, e nell'impianto metodologico de *La Méditerranée et le monde méditerranéen à l'époque de Philippe II*, Braudel elabora una concezione plurale del tempo storico che delinea lungo tre scale distinte e non riducibili l'una all'altra. La prima è il tempo lungo della struttura, *la longue durée*, che misura i processi di trasformazione lentissima delle condizioni geografiche, climatiche ed economiche entro cui si svolge la storia umana. La seconda è il tempo medio della congiuntura, *la conjoncture*, che misura i cicli di durata decennale o secolare attraverso cui le strutture si manifestano e si modificano. Infine la terza è il tempo breve dell'evento, *la courte durée*, che è il tempo degli individui e delle decisioni.[12]

L'aspetto interessante del contributo braudeliano non sta nell'identificazione di queste tre scale in quanto tali, ma nella sua insistenza sul fatto che esse coesistono simultaneamente in ogni momento storico e che nessuna di queste scale sia sufficiente a rappresentare la realtà nella sua complessità. Braudel in *Histoire et sciences sociales: La longue durée*, afferma:

"Non vi è un tempo sociale di un solo e semplice scorrere, ma un tempo sociale dalle mille velocità, dalle mille lentezze." [12]

Quindi lo storico che si limita ad una sola scala rinuncia necessariamente a comprendere ciò che le altre scale rendono visibile.

L'idea di fondo di Braudel è l'aspirazione alla storia totale, ovvero una storia che sappia muoversi attraverso le varie scale senza confonderle e non privilegiandone nessuna in modo assoluto.

In questo progetto l'impianto metodologico descritto viene applicato alla storia della pratica scientifica. La trasposizione viene giustificata dal fatto che il problema che identifica Braudel, l'insufficienza di una scala unica per descrivere a pieno la complessità storica, si manifesta anche nel caso della storia della scienza.

La struttura adottata in questo capitolo si articola in cinque scale temporali progressive, gli anni, i mesi, le settimane, i giorni e le ore, che corrispondono a livelli distinti di descrizione della pratica scientifica. Questa stratificazione cronologica, ci permette di effettuare dei veri e propri cambiamenti sistematici della lente attraverso cui il processo viene osservato, proprio come passare da una carta a piccola scala a una a grande scala che non provoca solamente un ingrandimento ma effettua una vera e propria trasformazione della rappresentazione rendendo visibili elementi prima invisibili e occultandone altri prima evidenti.

Il dialogo tra Mercator, Braudel e Latour produce quindi uno strumento metodologico composito. Da Mercator viene il principio che ogni scala di rappresentazione è una scelta interpretativa che determina cosa è visibile e cosa non lo è. Da Braudel viene la consapevolezza che le scale temporali sono molteplici, coesistenti e non riducibili, e che la comprensione storica richiede la capacità di destreggiarsi tra di esse in modo consapevole e sistematico. Da Latour viene infine la messa in discussione delle forme di rappresentazione della pratica scientifica che non descrivono il reale ma lo rendono una traduzione situata, prodotta in un contesto specifico da attori specifici con strumenti specifici. Unite insieme queste tre prospettive definiscono le condizioni rispetto cui il presente capitolo intende operare, ovvero, descrivere la costruzione della Chicago Pile-1 non come la registrazione di ciò che è accaduto, ma come una ricostruzione consapevole dei propri strumenti, dei propri limiti e delle proprie scelte interpretative.

2.1.3 Descrivere la scienza mentre si costruisce

La struttura a scale temporali progressive descritta nella sezione precedente ci impone una riflessione sul tipo di conoscenza che ciascuna scala è in grado di produrre.

Alla scala degli anni è possibile ricostruire le condizioni di possibilità entro cui un progetto scientifico diventa pensabile, la progressione del progresso scientifico, la formazione di un campo di ricerca e la maturazione delle condizioni teoriche, tecnologiche e sperimentali necessarie. In questa scala la contingenza viene compressa: ciò che è accaduto appare come il risultato di forze di lungo periodo che lo rendevano, se non inevitabile, almeno possibile, è una scala che mostra le condizioni ma non il processo attraverso cui esse si traducono in pratica.

La scala dei mesi e delle settimane rende visibile ciò che invece viene necessariamente compresso dalla scala degli anni, ovvero, le decisioni pratiche e la negoziazione continua tra teoria e il risultato sperimentale. Questa scala riprende l'idea braudeliana della *conjoncture*, in cui le strutture si manifestano attraverso scelte concrete e la contingenza riacquista il suo peso. In questo contesto il processo scientifico appare per quello che è un avanzamento per approssimazioni successive, ciascuna delle quali modifica le condizioni del passo successivo.

Infine, la scala dei giorni e delle ore fa emergere la dimensione più granulare della pratica sperimentale: la sequenza delle operazioni, la lettura degli strumenti e le decisioni

immediate, è il tempo degli individui e delle azioni. Questa scala riprende il concetto di Brudel del *courte durée*, che considera la più ingannevole perché esposta all'illusione della pura contingenza, ed è qui che il contributo latouriano diventa indispensabile, perché non bisogna solamente scegliere la corretta risoluzione temporale ma anche saper riconoscere che ogni misura, ogni resoconto, ogni annotazione è prodotto da agenti specifici con strumenti specifici in un contesto specifico, che portano dentro di loro una traduzione situata del reale e non un resoconto dello stesso.[12]

Queste scale non sono semplici sezioni di uno stesso racconto ma diverse modalità distinte di accesso alla pratica scientifica, ognuna con i propri vantaggi e i propri limiti. La comprensione storica che questo capitolo intende produrre nasce proprio dalla integrazione consapevole di tutte queste scale temporali e dalla consapevolezza che solamente il movimento tra queste scale consente di restituire la complessità del processo che ha condotto al 2 dicembre 1942.

2.2 Gli anni: la lunga durata della possibilità scientifica

Cercare di ricostruire la fisica nucleare degli anni Trenta come la preistoria della Chicago Pile-1 è un'operazione storiograficamente legittima ma epistemologicamente rischiosa. Si va infatti a presupporre che il campo scientifico che si andava formando in quel decennio fosse focalizzato rispetto ad una direzione implicita, verso il reattore, verso la bomba, e che i protagonisti lavorassero, in qualche modo, verso l'esito finale anche senza esserne coscienti. Tale prospettiva è naturalmente falsa ma risulta anche come una sorta di violenza interpretativa che tende a ridurre la complessità di un campo in formazione a semplicemente una sequenza di passaggi preparatori. La scala degli anni applicata alla storia della fisica nucleare, non è il tempo in cui si prepara qualcosa, ma è il tempo in cui si generano le condizioni di possibilità: strutture concettuali, materiali e strumentali che rendono pensabili certi problemi e impensabili altri. Descrivere quindi questo tempo significa non seguire una traiettoria ma cartografare un paesaggio in continua evoluzione, in cui le direzioni di ricerca si aprono e chiudono secondo delle logiche che non sono orientate rispetto a nessun esito prefigurato. Ciò che il 1932 rende possibile non è la costruzione della pila di Fermi, ma una serie di domande che in quell'anno non avevano ancora una risposta, e alcune di queste non avrebbero mai trovato la risposta che ci si aspettava.

2.2.1 Dalla Scoperta del Neutrone alla formazione del gruppo di Chicago

Nel 1932, nei laboratori del Cavendish a Cambridge, James Chadwick osserva una radiazione la cui natura sfugge alle interpretazioni al tempo disponibili. Pochi anni prima, i risultati ottenuti da Walther Bothe e Herbert Becker suggerivano l'esistenza di una radiazione γ con un'energia stranamente elevata, che veniva prodotta bombardando il berillio con particelle α provenienti dal polonio.[13] Questa interpretazione creava delle

incongruenze sperimentali, infatti l'energia necessaria per giustificare gli urti osservati sui nuclei leggeri era sorprendentemente elevata, quasi incompatibile con il quadro teorico presente.

Chadwick decide di spostare il problema, ovvero, invece che interrogarsi su quale fosse la radiazione emessa dal berillio, si chiede quali siano le potenzialità di quella radiazione quando attraversa la materia. L'esperimento, che mette in atto, consiste nell'inserire materiali ricchi di idrogeno, come ad esempio acqua o paraffina, lungo il cammino del fascio, misurando l'energia cinetica dei protoni espulsi successivamente agli urti con la radiazione incidente, variando sistematicamente la natura dei bersagli per isolare la dipendenza dal tipo di nucleo colpito. [14]

Il ragionamento fisico messo in atto da Chadwick, che consiste nel considerare come in un urto elastico tra due corpi di massa simile il trasferimento di energia cinetica risulta particolarmente efficiente. Estendendo al limite, considerando le masse uguali, un corpo inizialmente fermo può acquisire tutta l'energia cinetica del proiettile. Osservando le energie cinetiche dei protoni espulsi, si nota come l'agente incidente possieda una massa confrontabile con quella del protone. Quindi non più una radiazione ma una particella, con una massa comparabile a quella del protone ma elettricamente neutra poiché capace di attraversare il campo coulombiano dei nuclei senza subirne la repulsione. La scoperta apre le porte a grandi progressi scientifici: fino a quel momento penetrare il nucleo significava vincere la barriera elettrostatica che contrappone i protoni a qualunque particella carica. Il neutrone, seppur non eliminando il problema dell'interazione nucleare, permette di avvicinarsi al nucleo attraverso un percorso fino ad allora precluso. Ridefinendo, da ora in poi, lo spazio di ciò che è interrogabile e ponendo nuove domande di ricerca.

Nel 1933, nelle strade di Londra, durante una passeggiata, Leó Szilárd elabora un ragionamento senza ancora nessun fondamento sperimentale ma che rispetta una struttura logica ben precisa. Se esistesse un elemento capace di emettere in media più di un neutrone per ogni neutrone assorbito, la popolazione neutronica in un sistema, che sia sufficientemente grande, potrebbe crescere in modo esponenziale, permettendo il rilascio di una quantità di energia che nessun tipo di processo chimico riuscirebbe a emettere.

Il ragionamento di Szilárd è puramente di bilancio, non dipende quindi dalla natura dell'elemento e non richiede una tecnologia specifica, ma è teoricamente così definito e preciso da permettere allo scienziato di depositarne il brevetto nel 1934 e successivamente cederne i diritti all'Ammiragliato britannico nel 1936. [15]

Naturalmente, dopo aver definito questo processo teoricamente, Szilárd inizia una sperimentazione in cui considera come candidati il berillio e l'indio che si riveleranno inadatti. Grazie a questo pensiero si delinea la struttura del problema in modo definito, ovvero, una reazione a catena richiede un bilancio neutronico positivo, e tale bilancio

deve dipendere dalla competizione tra produzione, assorbimento e fuga degli stessi neutroni. Ma al tempo nessuno sapeva ancora quale fosse l'elemento che potesse soddisfare la condizione, lasciando quindi aperta la domanda.

Nel 1934, a Roma, il gruppo di Via Panisperna in cui era presente Enrico Fermi, affronta un problema diverso.

Il programma sperimentale del gruppo romano composto da Fermi, Amaldi, D'Agostino, Rasetti e Segrè, sceglie di seguire un approccio sistematico, bombardando con neutroni gran parte degli elementi della tavola periodica, con l'obiettivo di registrarne le radioattività indotte, e delineare una mappa delle proprietà nucleari degli elementi.[16] L'aspetto cruciale di questo esperimento, avviene quando frapponendo un filtro di paraffina tra la sorgente e il bersaglio, il gruppo nota che l'attività radioattiva indotta aumenta invece che diminuire. Questo risultato è inizialmente controintuitivo poiché uno schermo aggiunto tra la sorgente e il bersaglio aumenta l'efficacia dell'irraggiamento invece che diminuirla. La soluzione costruita dal gruppo, considera la grande presenza di idrogeno nella paraffina come la causa, visto che gli urti tra i neutroni e l'idrogeno, di massa sufficientemente comparabile, trasferiscono energia in modo efficiente, permettendo ai neutroni di rallentare fino ad energie termiche, dell'ordine di kT a temperatura ambiente, $\approx 0,025\text{eV}$. [17]

A questi livelli di energie la sezione d'urto di cattura neutronica per molti nuclei aumenta con un andamento proporzionale all'inverso della velocità del neutrone, $1/v$, che emerge dalla meccanica ondulatoria applicata all'interazione neutrone-nucleo; in altre parole, quando il neutrone rallenta sufficientemente, aumenta il tempo trascorso in prossimità del potenziale nucleare aumentando di conseguenza la probabilità di cattura.

La velocità del neutrone quindi diventa un parametro principale, poiché è il parametro che controlla la probabilità di interazione con il nucleo.

Questa scoperta non risponde ai quesiti lasciati aperti da Szilárd ma ci permette di introdurre una nuova variabile al problema, visto che controllando l'energia dei neutroni è possibile controllare la probabilità di interazione. Quindi ora il neutrone non appare solamente come una particella capace di raggiungere il nucleo ma come una variabile che può definire la probabilità di interazione. La domanda che sorge quindi è: se la velocità del neutrone modifica la frequenza degli incontri nucleari, esistono nuclei dove quell'incontro produce una trasformazione più profonda della struttura stessa del nucleo?

Nel 1938, anche se la loro ricerca parte già nel 1934, nei laboratori del Kaiser Wilhelm Institute, Otto Hahn, Lise Meitner e Fritz Strassmann affrontano proprio questa domanda ponendo l'attenzione sul nucleo più pesante allora disponibile alla ricerca sper-

imentale: l'uranio. L'interpretazione di riferimento è coerente con la fisica nucleare del tempo, secondo cui l'assorbimento di un neutrone aggiunge massa al nucleo, producendo isotopi di elementi contigui nella tavola periodica all'elemento di partenza o nel caso dell'uranio essendo il più pesante all'epoca, produceva elementi denominati transuranici con numero atomico superiore a 92.[18]

Il modello teorico utilizzato risulta affidabile e i risultati sono riproducibili, ma nel dicembre del 1938, in quel laboratorio, il gruppo di ricerca identifica tra i prodotti del bombardamento, una sostanza che ha gli stessi comportamenti chimici del bario, con un numero atomico di 56. Seppur in conflitto con il modello il risultato è chimicamente inoppugnabile e fisicamente incomprensibile, poiché non esisteva nessun modello nucleare che prevedesse la divisione di un nucleo pesante in frammenti di massa comparabile. Questo stravolge il modello precedente e porta gli scienziati ad interrogarsi su cosa accade nel nucleo. L'interpretazione viene data da Lise Meitner e Otto Robert Frisch, a Kungälv, in Svezia, applicando il modello a goccia del nucleo, dove il nucleo viene trattato come una goccia di liquido incompressibile tenuta insieme dalla forza nucleare forte e turbata dalla repulsione coulombiana tra i protoni. I due scienziati dimostrano come un nucleo pesante, proprio come l'uranio, ha la possibilità, dopo aver assorbito un neutrone, di deformarsi in maniera progressiva fino al punto di rompersi in due frammenti di massa circa uguale.[19]

La massa totale dei frammenti è inferiore alla somma della massa dell'uranio e del neutrone assorbito e questa differenza si traduce in energia cinetica dei frammenti seguendo la legge $E = mc^2$, che corrisponde a circa 200MeV per singolo evento. Questa energia è largamente superiore a quella di qualsiasi altra reazione nucleare nota al tempo.

Nel 1939, abbiamo la conferma sperimentale del modello, dallo stesso Frisch, che misura direttamente l'energia cinetica dei frammenti grazie all'utilizzo di una camera a ionizzazione.[20]

La fisica nucleare si trasforma radicalmente: il nucleo d'uranio può dividersi e nella rottura rilascia una quantità di energia maggiore di qualsiasi altro processo all'epoca conosciuto. Ma questa divisione, definita fissione, pone le basi per una nuova domanda: se la fissione del nucleo produce dei frammenti pesanti a loro volta instabili che decadono emettendo dei neutroni secondari, quanti ne vengono emessi in media per evento? La domanda risulta interessante perché se viene liberato più di un neutrone secondario questo potrebbe indurre una nuova fissione, permettendo almeno teoricamente e con un sistema sufficientemente grande di produrre una reazione a catena.

Quando la notizia della fissione raggiunge Szilárd a New York, nel 1939, il collegamento con il suo ragionamento del 1933 è inevitabile. L'elemento che mancava alla sua ipotesi

poteva essere l'uranio, ma il divario tra il concetto teorico e la realizzazione pratica era ancora molto profondo. La domanda non era più se una reazione a catena fosse concepibile teoricamente, ma era necessario ottenere delle conferme sperimentali, che accertassero che la fissione dell'uranio producesse effettivamente neutroni secondari, in un numero sufficiente da premettere una moltiplicazione neutronica.

Nel 1939, nei laboratori della Columbia University, Fermi, Szilárd e Anderson iniziano un esperimento costruendo un sistema sperimentale per rispondere alla domanda in modo quantitativo. L'apparato sperimentale consisteva nella disposizione di strati di ossido di uranio attorno a una sorgente di neutroni e misurando la distribuzione del flusso neutronico, con dei contatori a diverse distanze dalla sorgente, con l'obiettivo di determinare se il bilancio neutronico dell'uranio naturale fosse positivo o negativo.[21] I risultati sono incoraggianti ma non conclusivi, infatti l'uranio produce un quantitativo di neutroni maggiore rispetto a quelli che assorbe, ma questo risultato è affetto in modo sostanziale da grandi incertezze sperimentali.

La domanda quindi rimane ancora aperta ma viene modificata: il margine di positività del bilancio neutronico, sarà sufficiente a sostenere una reazione a catena in un sistema reale, in cui i neutroni non vengono solo assorbiti dall'uranio ma anche dispersi in tutti i materiali presenti e persi attraverso i confini del sistema?

Nel 1940 il problema si ridefinisce in funzione della domanda sopracitata: l'obiettivo è capire come i parametri cambino quando l'uranio viene inserito dentro un sistema più complesso, un sistema in cui è presente un moderatore capace di rallentare i neutroni veloci prodotti per fissione fino alle energie termiche a cui la probabilità di indurre una nuova fissione è massima. Questo passaggio dal problema dell'uranio isolato al problema del sistema uranio-moderatore introduce nuove variabili importanti come la composizione del moderatore, la sua geometria rispetto all'uranio e il modo in cui i neutroni di diverse energie interagiscono con i diversi materiali.

Si iniziano quindi a definire con precisione le possibilità di un moderatore utilizzabile che abbia una sufficiente purezza. La possibilità di rendere sostenibile la reazione a catena, con uranio naturale, necessitava l'utilizzo di un moderatore, un materiale capace di sottrarre energia cinetica ai neutroni attraverso urti elastici senza però assorbirli in maniera significativa, che rallentasse i neutroni veloci prodotti dalla fissione fino a energie termiche. Queste proprietà, risultano almeno in parte conflittuali, visto che si richiedeva una massa atomica bassa per massimizzare il trasferimento di energia, una sezione d'urto di scattering elastico elevata ma una sezione d'urto di assorbimento neutronico più bassa possibile.

I candidati scelti furono tre, tutti equamente validi.

L'acqua ordinaria, ha una sezione d'urto di scattering con l'idrogeno molto elevata, $\approx 20\text{barn}$ nella regione termica, ma la sezione d'urto di assorbimento neutronico dell'idrogeno,

$\approx 0,33 \text{ barn}$, è sufficientemente alta da compromettere il bilancio neutronico di un sistema a uranio naturale: l'idrogeno cattura troppi neutroni perché la reazione a catena possa autosostenersi senza ricorrere all'arricchimento.

L'acqua pesante, ossido di deuterio, D_2O , ha una sezione d'urto di assorbimento del deuterio di $\approx 0,0005 \text{ barn}$, quasi tre ordini di grandezza inferiore a quella dell'idrogeno ordinario, rendendola fisicamente il moderatore ideale. Il problema dell'acqua pesante però, non è fisico ma di reperibilità del materiale, mostrando come nella ricerca scientifica non sempre si può scegliere l'elemento migliore teoricamente, a causa dello scontro con la realtà. Infatti nel 1940, l'acqua pesante veniva prodotta in quantità significative da un solo impianto al mondo, la centrale idroelettrica di Vemork in Norvegia, che riusciva a produrre decine di chilogrammi al mese.[22] Il programma nucleare tedesco, avviato nel 1939, scelse proprio l'acqua pesante come moderatore riconoscendone le favorevoli proprietà fisiche.

Il terzo candidato era il carbonio in forma cristallina, ovvero la grafite, con una sezione d'urto di scattering elastico di $\approx 4.7 \text{ barn}$, che seppur inferiore a quella dell'idrogeno era sufficientemente elevata, se utilizzata in sistemi di dimensioni accurate. Inoltre la sua sezione d'urto di assorbimento del carbonio-12 puro è estremamente bassa, $\approx 0,0035 \text{ barn}$, rendendola teoricamente quasi trasparente ai neutroni termici.

La grafite quindi appare il candidato più promettente per ragioni sia fisiche che di disponibilità industriale, ma le prime misure mostrano che la grafite commerciale assorbe neutroni in maniera molto superiore a quanto le proprietà del carbonio puro risultano teoricamente. La domanda sperimentale quindi è se il risultato negativo ottenuto dall'utilizzo della grafite commerciale come moderatore sia intrinseco nel materiale oppure sia il prodotto delle impurità presenti.[23, 24, 25]

Nel 1941, sempre nei laboratori della Columbia University, il gruppo avvia parallelamente al problema riscontrato con la grafite commerciale che era in via di sviluppo, anche una serie di esperimenti sistematici riguardanti le configurazioni uranio-grafite in quello che viene chiamato dagli scienziati "exponential pile", ovvero una struttura in cui i blocchi di uranio vengono disposti secondo un reticolo regolare all'interno di una matrice di grafite, con una sorgente neutronica alla base.[26]

La logica della pila esponenziale è ben precisa: la distribuzione spaziale del flusso neutronico all'interno della struttura permette di estrarre una stima del fattore di moltiplicazione del sistema senza dover costruire una pila di dimensioni sufficienti da raggiungere effettivamente la criticità, visto che farlo richiederebbe una quantità di materiali e investimenti al momento fuori portata date le ancora varie incertezze sull'effettiva realizzazione. Le prime misure sulle pile esponenziali confermano che la geometria a reticolo, blocchi di uranio separati da regioni di grafite pura, è superiore a qualsiasi configurazione omogenea, perché consente ai neutroni di rallentare nella grafite prima di raggiungere l'uranio, riducendo la probabilità di cattura per risonanza nell'uranio-238.

Ma i valori del fattore di moltiplicazione stimati rimangono ancora sistematicamente inferiori all'unità, con i materiali in quel momento disponibili, confermando che il problema principale non è più la geometria dell'apparato ma la purezza della grafite.

Alla fine del 1941 il problema non consiste più soltanto nello stabilire se la reazione a catena sia fisicamente concepibile, ma se esista una configurazione di materiali, geometria e purezza capace di sostenerla. La trasformazione è sostanziale: si passa da una domanda qualitativa ad una quantitativa, da fisica a materiale, da una domanda di principio a una di realizzabilità. Per questo motivo la scala degli anni, la *longue durée* secondo Braudel non è più sufficiente per mostrarla nella sua globalità. Quindi nel prossimo paragrafo grazie alla scala dei mesi si analizza cosa accade quando questa domanda incontra la realtà dei laboratori, dei fornitori industriali e delle decisioni.

2.3 I mesi: dalla possibilità scientifica al progetto sperimentale

All'inizio del 1942, la reazione a catena non è più soltanto un'affascinante ipotesi teorica, ma una possibilità fisica concreta. Gli esperimenti degli anni precedenti hanno dimostrato che la fissione dell'uranio libera neutroni e che questi, almeno in linea di principio, possono innescare nuove fissioni. Tuttavia, questa consapevolezza è ancora lontana dal tradursi in un sistema sperimentale realizzabile. Il vero nodo da sciogliere non è la semplice produzione di neutroni, ma il loro destino all'interno di una configurazione reale di materiali e geometrie. Ogni neutrone liberato si trova davanti a un bivio statistico: può colpire un nucleo fissile e far proseguire la catena, essere assorbito dall'uranio-238 senza produrre reazioni utili, perdersi tra le impurità dei materiali o, infine, fuggire oltre i confini fisici del sistema. La riuscita dell'impresa si gioca interamente sul rapporto tra questi percorsi. Per questo, già a gennaio, la ricerca cambia pelle: non ci si chiede più se la fissione sia possibile, ma si inizia a ragionare in termini di un rigoroso "bilancio neutronico".

L'obiettivo è capire quanti neutroni restino effettivamente disponibili da una generazione all'altra. Questo bilancio, però, non si può calcolare in un laboratorio isolato, perché chiama in causa competenze e materiali profondamente diversi. La grafite deve rallentare i neutroni senza catturarne troppi, l'uranio deve essere puro e modellabile; gli strumenti devono saper registrare variazioni infinitesime del flusso e la geometria complessiva deve ridurre al minimo le fughe verso l'esterno. I problemi fisici si scoprono così strettamente concatenati: nessuno può essere risolto senza influenzare gli altri. Fino a questo momento, la ricerca è rimasta frammentata tra diversi poli accademici. Alla Columbia University, il gruppo di Enrico Fermi, Leó Szilárd e Herbert Anderson si è concentrato sulle prime configurazioni uranio-grafite; a Princeton, Eugene Wigner e i suoi colleghi hanno affrontato l'assorbimento di risonanza (la tendenza dell'uranio-238 a catturare i neutroni durante il rallentamento). Questa dispersione non è sinonimo di disordine, ma rappresenta il naturale modo di procedere di una ricerca aperta che si distribuisce tra laboratori e sensibilità scientifiche differenti.

Nel gennaio del 1942, tuttavia, questo modello mostra il fiato corto. La reazione a catena richiede che i calcoli di un gruppo e le misure di un altro diventino improvvisamente confrontabili e convergenti. Se una qualità di grafite appare promettente, bisogna capire se l'industria possa produrla in grandi quantità; se l'uranio metallico è fisicamente migliore dell'ossido, occorre verificare se sia ottenibile in tempi compatibili con l'esperimento. Non basta più accumulare dati, serve una struttura capace di metterli in relazione. È su questo sfondo che irrompe la guerra.

L'attacco a Pearl Harbor e l'ingresso nel conflitto degli Stati Uniti non cambiano la fisica del problema (le sezioni d'urto e la purezza dei materiali restano le stesse), ma ridefiniscono il peso storico dell'incertezza. In tempo di pace, un dubbio sperimentale si risolve con calma: si ripete la misura, si discute, si pubblica solo quando il quadro è solido. In guerra, l'incertezza resta una necessità scientifica ma diventa politicamente intollerabile. Va organizzata, incanalata e ridotta entro scadenze precise. Il programma sull'uranio si trova in bilico: non c'è ancora una dimostrazione empirica della reazione autosostenuta, ma non si può più procedere a passo accademico. Bisogna trasformare una possibilità fisica in un programma operativo.

In questa transizione entra in gioco Arthur Holly Compton, con un ruolo complementare a quello di Fermi. Se Fermi resta l'ancora fisica del progetto, l'uomo capace di muoversi tra modello teorico e apparato concreto, Compton deve agire sul piano istituzionale e logistico. Il suo compito è raccogliere le forze disperse e dare loro una veste amministrativa capace di proteggere e sostenere il lavoro dei fisici.

A metà gennaio, Compton decide di accentrare a Chicago le ricerche sulla pila. I gruppi di Columbia e Princeton vengono così indirizzati verso il Midwest. Non bisogna immaginare un trasferimento istantaneo: a gennaio la macchina è ancora in costruzione, è una decisione di concentrazione che traccia la rotta per la primavera successiva. La scelta di Chicago risponde a esigenze logistiche e industriali: riunire le ricerche per rendere i dati compatibili, avvicinare il laboratorio ai fornitori di materie prime concentrati nel Midwest e offrire al progetto, grazie all'Università di Chicago, un ambiente stabile e protetto. La centralizzazione, insomma, non è un semplice spostamento geografico, ma un cambio di paradigma: il laboratorio si trasforma da luogo di speculazione a struttura integrata capace di connettere misure, calcoli, spazi e responsabilità definite. L'intreccio tra fisica e chimica emerge chiaramente analizzando i materiali. L'uranio può presentarsi come ossido o come metallo. Il primo è più gestibile ma meno denso; il metallo, invece, concentra più atomi nello stesso volume, un vantaggio enorme per il bilancio neutronico, ma è difficilissimo da produrre in forma pura. Ciò che la fisica desidera sbatte contro ciò che la metallurgia può offrire. La grafite, scelta per rallentare i neutroni veloci e renderli adatti a causare la fissione dell'uranio-235, presenta un'insidia simile. Se contiene anche solo tracce di impurità industriali, cessa di essere un moderatore e si trasforma in un vicolo cieco per i neutroni. La grafite diventa così un materiale

da "interrogare" continuamente attraverso la misura. Questa urgenza di integrazione impatta anche sulla cultura della ricerca. I fisici, abituati all'informalità delle aule universitarie, vengono assorbiti in una struttura dominata da segretezza e pressioni esterne, dove ogni misura può orientare decisioni industriali e militari. In questo contesto, la figura di Fermi brilla per la sua capacità di tradurre domande teoriche complesse in sequenze di misure concrete, supportato da una comunità in crescita fatta di giovani ricercatori e tecnici. Gennaio si chiude senza una soluzione fisica, ma con un progresso organizzativo fondamentale: l'incertezza ha ora una forma operativa.

A febbraio, la centralizzazione a Chicago comincia a tradursi in realtà quotidiana. Non si tratta ancora di erigere la pila, ma di far coabitare discipline diverse: fisica nucleare, chimica, metallurgia e produzione industriale, il tutto sotto il cappello della sicurezza militare. Il nome scelto per la struttura, Metallurgical Laboratory (Met Lab), riflette questa ambiguità. Da un lato è una denominazione di copertura, opaca, utile a nascondere il termine "fissione" agli occhi indiscreti; dall'altro è un nome profondamente vero, perché la fisica nucleare scopre di non poter fare un solo passo senza la scienza dei materiali. Il Met Lab diventa uno spazio ibrido in cui lo stesso oggetto viene guardato con occhi diversi: per il fisico la grafite è un moderatore, per il chimico è un composto pieno di impurità da purificare, per l'industriale un prodotto da fabbricare in serie. Lo stesso accade per l'uranio. Non è più una sostanza astratta dei libri di testo, ma una materia prima di cui valutare densità, purezza e reperibilità. L'uranio metallico, più vantaggioso per concentrare il combustibile, richiede uno sforzo metallurgico enorme rispetto al più accessibile ossido. La grafite industriale porta con sé la storia del suo processo produttivo: impurità microscopiche come il boro possono assorbire neutroni in quantità sproporzionata, vanificando la reazione a catena. Il "laboratorio", quindi, cambia significato: diventa una rete di vasi comunicanti dove una misura fisica genera una richiesta chimica e un ritardo industriale ridisegna una previsione teorica. Compton e Fermi continuano a muoversi su binari paralleli e necessari: il primo stabilizza la struttura amministrativa e finanziaria, il secondo guida l'interpretazione fisica del sistema.

In questo mese la ricerca si frammenta in compiti riconoscibili: si decidono quali campioni misurare, quali strumenti calibrare e come far circolare i dati affinché non restino isolati. È un lavoro delicato, poiché il sistema non è lineare: una variazione minima nella purezza della grafite o nella disposizione dell'uranio altera l'intero fattore di moltiplicazione. L'idea che una generazione di neutroni debba produrne una successiva almeno equivalente organizza implicitamente ogni giornata di lavoro.

Nel frattempo, la segretezza inizia a modificare la circolazione delle idee. I dati non sono più solo risultati scientifici da discutere liberamente, ma frammenti di un mosaico da proteggere e condividere con cautela. Attorno ai grandi nomi si stringe una comunità tecnica di assistenti e operatori il cui lavoro manuale rende praticabile la teoria. Febbraio non produce soluzioni spettacolari, ma prepara le condizioni della conoscenza,

definendo il rapporto tra fisica e industria.

Con l'arrivo di marzo, il Met Lab sente la necessità di tradurre le ipotesi in grandezze misurabili. La domanda centrale esige numeri: quanta parte del flusso viene catturata dall'uranio-238? Quanto assorbono le impurità?

Per rispondere, il gruppo si affida alle pile esponenziali. Queste strutture subcritiche non possono autosostenersi, ma, alimentate da una sorgente esterna, permettono di studiare la diffusione e il rallentamento dei neutroni in una specifica geometria. La pila esponenziale diventa così una bussola per calcolare l'avvicinamento alla criticità senza cercarla direttamente. Misurare, in questa fase, significa gettare luce sull'invisibile. I neutroni non lasciano tracce immediate; vanno intercettati dagli strumenti e interpretati attraverso i modelli. Il cuore teorico di questo lavoro si concentra sul fattore di moltiplicazione (k), il rapporto tra i neutroni efficaci di due generazioni successive: se k è minore di uno, il sistema si spegne; se è uguale a uno, si mantiene in equilibrio; se supera l'unità, la reazione cresce. Ma k non è un numero fisso: dipende dall'architettura dei materiali. Per scompattare questa complessità, il gruppo si muove lungo le linee di quello che la teoria dei reattori codificherà come il bilancio dei quattro fattori:

$$k_{\infty} = \eta \varepsilon p f \quad (1)$$

integrato, per i sistemi reali e finiti, dal parametro della non-fuga P_{NL} . Questa formalizzazione matematica serve a chiarire la natura della sfida sperimentale: ogni tassello, dall'assorbimento della grafite alla cattura di risonanza dell'uranio-238, sposta il valore di k_{eff} .

L'uranio naturale è composto in gran parte da uranio-238 e solo in minima parte dal fissile uranio-235. Durante il rallentamento nel moderatore, i neutroni rischiano di essere inghiottiti dalle risonanze dell'uranio-238. Per evitare questo vicolo cieco, la geometria si fa fisica: uranio e grafite non possono essere miscelati a caso, ma vanno disposti in un reticolo geometrico studiato per ottimizzare il cammino statistico dei neutroni. Gli strumenti di misura, camere di ionizzazione e contatori, diventano l'interfaccia fondamentale tra il giudizio dello sperimentatore e il comportamento del sistema. Marzo si chiude con una mappa di grandezze operative più definita, ma evidenzia quanto il destino del progetto sia legato alla qualità della materia prima.

Ad aprile, il baricentro della ricerca si sposta definitivamente dai fogli di calcolo alla durezza dei materiali. Diventa evidente che i calcoli teorici devono fare i conti con una grafite e un uranio commerciali che portano con sé i difetti della loro filiera produttiva. La grafite ideale dovrebbe far perdere energia ai neutroni lasciandoli sopravvivere. Ma la grafite reale è un prodotto industriale che contiene tracce di boro. Dal punto di vista chimico e commerciale si tratta di quantità insignificanti; dal punto di vista nucleare, il boro è un assorbitore formidabile che rischia di compromettere il fattore di utilizzazione termica e condannare il sistema alla subcriticità.

Le misure di aprile si trasformano così in uno strumento di diagnosi: servono a capire se l'assorbimento sia una proprietà intrinseca del carbonio o un limite del processo di fabbricazione. Nel secondo caso, la soluzione non è cambiare fisica, ma cambiare la produzione industriale. L'uranio pone dilemmi speculari. L'ossido introduce atomi di ossigeno che riducono la densità del combustibile nello spazio; il metallo puro sarebbe perfetto, ma l'industria fatica a fornirlo. La materia cessa di essere un supporto passivo della teoria ed entra direttamente nelle equazioni. Per i fisici il boro è una sezione d'urto, per i chimici un'impurità, per i fornitori un limite tecnico: il Met Lab deve far dialogare questi linguaggi.

L'aprile del 1942 chiarisce anche i motivi della scelta della grafite rispetto ad altri moderatori. L'acqua leggera rallenta i neutroni con efficacia ma ne assorbe troppi; l'acqua pesante sarebbe ideale ma è introvabile in grandi volumi.

La grafite rappresenta il compromesso perfetto tra efficacia fisica e fattibilità industriale, a patto di ripulirla dal boro. Ogni misura genera una richiesta pressante verso l'esterno; la geometria stessa della futura pila resta sospesa, perché non si può disegnare un reticolo senza conoscere i valori reali di purezza e densità dei lotti in arrivo.

A giugno, il laboratorio si trova in una terra di mezzo: le misure sui sistemi subcritici aumentano, ma nessuna coincide ancora con la prova diretta della criticità. Il lavoro sulle pile esponenziali diventa un sofisticato esercizio di inferenza. Misurando il decadimento spaziale del flusso neutronico man mano che ci si allontana dalla sorgente, i fisici cercano di decifrare l'identità del mezzo attraversato. Se il flusso crolla rapidamente, il sistema perde troppi neutroni; se la curva è più dolce, la combinazione dei materiali si sta avvicinando alla meta.

In questo mese la misura deve tradursi in una stima della dimensione critica. Ogni dato va letto insieme alla carta d'identità chimica del campione: l'uranio metallico scarseggia, costringendo il gruppo a ipotizzare configurazioni miste con l'ossido.

Il lavoro si concentra sui "margini", quelle microscopiche variazioni di purezza e geometria che, sommate, possono determinare il successo dell'esperimento. Attraverso lo studio del decadimento del flusso, si calcola la "lunghezza di migrazione" dei neutroni, il dato che collega il micromondo degli urti atomici alla dimensione macroscopica della struttura. Più la pila è grande, minore è la perdita relativa dai bordi, ma maggiori sono lo spazio e i materiali richiesti.

Nel frattempo, la pressione esterna aumenta e lo scenario si sdoppia. Accanto alla pila sperimentale di Chicago, alcuni gruppi di ingegneri iniziano a progettare i futuri "reattori di produzione" industriali. Questi impianti dovranno operare a potenze elevate e richiederanno soluzioni complesse per il raffreddamento, la schermatura dalle radiazioni e l'estrazione del plutonio. Questa accelerazione non è sinonimo di certezza anticipata, ma testimonia l'urgenza di un programma che non può permettersi il lusso di

affrontare un problema alla volta.

I dati di giugno devono quindi essere abbastanza solidi da poter circolare tra fisici, chimici e pianificatori militari. L'incertezza si trasforma da ostacolo generico in margine valutabile.

A luglio, le pile esponenziali compiono un salto di qualità: i dati accumulati iniziano a dettare le linee del progetto concreto. Non si tratta più solo di catalogare campioni, ma di stabilire la forma della futura pila. Una struttura subcritica, per definizione, vede la propria popolazione di neutroni spegnersi a ogni generazione ($k < 1$), ma offre i dati necessari per capire cosa accadrebbe espandendo le dimensioni e modificando la disposizione del reticolo.

La disposizione dell'uranio nella grafite diventa una scelta geometrica cruciale per bilanciare processi contrastanti: moderare la velocità dei neutroni, evitare le catture parassite dell'uranio-238 e minimizzare le perdite geometriche. Il materiale inizia a trasformarsi in componente costruttivo. L'ossido di uranio viene pressato in blocchi regolari grazie a matrici dedicate, per poter essere inserito con precisione millimetrica nel cuore della grafite. Teoria e materia stringono un imbuto che riduce il campo delle forme possibili. La dimensione critica cessa di essere un concetto astratto e si converte in un bilancio di pesi e volumi: la struttura deve essere abbastanza grande da trattenere i neutroni, ma compatibile con i materiali reali a disposizione. Luglio produce un progressivo restringimento delle opzioni sperimentali. La chimica industriale continua a dettare il passo attraverso la regolarità delle forniture, e la parola "costruire" inizia a tradursi in specifiche tecniche: distanze del reticolo, numero di blocchi e rapporti tra ossido e metallo. Il mese si chiude con un'architettura pronta sulla carta, ma apre un nuovo interrogativo: come governare questo bilancio neutronico una volta raggiunta la soglia critica?

Ad agosto, l'imminenza della costruzione impone di affrontare il tema della controllabilità. Far crescere la popolazione di neutroni non basta; occorre poter leggere, regolare e interrompere il processo in ogni momento. Se la pila si avvicina alla criticità, il fattore k non è più solo un parametro teorico, ma una forza dinamica da gestire per gradi. Poiché non si possono variare la massa di uranio o la geometria della grafite a esperimento avviato, l'unica via è agire sulle perdite in modo controllato, introducendo un materiale capace di assorbire i neutroni a comando.

È il momento del cadmio. Grazie alla sua straordinaria capacità di catturare i neutroni termici, una barra di cadmio inserita nel reticolo agisce come un freno intenzionale. Estrarla gradualmente significa restituire neutroni alla catena; reinserirla significa spegnere la reazione. La criticità si profila così non come un interruttore acceso/spento, ma come un sentiero da percorrere un passo alla volta.

Tuttavia, il freno ha senso solo se si dispone di un cruscotto efficiente. I neutroni sono

invisibili ai sensi umani: la reazione va tradotta in correnti elettriche, conteggi e deflessioni di lancette. La strumentazione e le camere di ionizzazione diventano parte integrante del sistema fisico. Il controllo si struttura come una vera e propria procedura umana e meccanica: si stabilisce chi muove le barre, con quale lentezza e in risposta a quali segnali degli strumenti.

La struttura deve quindi prevedere canali fisici per il passaggio delle barre di controllo senza compromettere la continuità del reticolo. Agosto segna il passaggio dalla fisica del bilancio alla fisica dell'intervento. Se nei mesi precedenti si dava la caccia al boro per eliminare le perdite accidentali, ora si introduce il cadmio come perdita programmata e governabile.

Questa controllabilità diventa il vero biglietto da visita del progetto nei confronti dei decisori politici e militari: un sistema non controllabile sarebbe un eccellente fenomeno fisico, ma un disastroso esperimento ingegneristico.

A settembre, il Met Lab sperimenta una forte asimmetria tra i tempi della scienza e quelli della storia. A Chicago la fisica della pila è un mosaico quasi ultimato ma privo della prova regina, la criticità. Fuori dalle mura accademiche, invece, l'amministrazione del progetto passa sotto una rigida gestione militare con la nascita del Manhattan Engineer District e l'arrivo del generale Leslie R. Groves.

Groves porta nei laboratori la cultura dell'ingegneria militare: tempi contratti, compartimentazione delle informazioni e decisioni verticali. L'apparato militare non può attendere la certezza assoluta; ragiona in termini di rischi da assumere e cantieri da aprire. Si crea così una sovrapposizione paradossale: l'ingegneria e l'industria devono iniziare a progettare le strutture di produzione su larga scala prima ancora che la pila sperimentale abbia dimostrato la fattibilità della reazione a catena. Mentre Chicago si concentra sul bilancio dei neutroni, Washington pianifica i sistemi di raffreddamento, le schermature radiologiche e gli impianti chimici per la separazione del plutonio. La decisione di coinvolgere un colosso industriale come la DuPont per la costruzione dei reattori futuri incarna questa scommessa sul futuro.

La guerra comprime la classica sequenza lineare che prevede prima la scoperta, poi lo sviluppo e infine l'industrializzazione; i tre livelli avanzano in simultanea. Questa accelerazione introduce la pratica della compartimentazione. Se la scienza vive di scambi aperti, la logica militare esige che ogni ricercatore conosca solo la frazione di dati necessaria al proprio compito. Scienziati come Leó Szilárd avvertono questa restrizione come un isolamento che rischia di soffocare la ricerca.

Settembre si consuma in questa tensione: le misure di Chicago alimentano le decisioni di Washington, e le scadenze di Washington aumentano la pressione sui laboratori di Chicago. L'incertezza scientifica si trasforma in rischio amministrato.

Ottobre è il mese della materia che si organizza. I calcoli, le diagnosi sui materiali e i

sistemi di controllo devono ora confluire in un unico spazio fisico. Non si tratta ancora di impilare i blocchi, ma di allestire il cantiere sperimentale, traducendo la geometria teorica in una precisa sequenza di strati, fori e canali.

A Chicago sono finalmente confluite masse sufficienti di grafite e uranio, ma il progetto resta un esercizio di compromesso: l'uranio metallico è ancora scarso e i lotti non sono uniformi. La struttura deve nascere dalla combinazione di queste risorse imperfette. La grafite smette di essere solo un parametro fisico e si fa architettura: viene tagliata, piallata e forata per accogliere i cilindri di uranio. La polvere nera della lavorazione invade le stanze, rivelando il volto artigianale e faticoso di questa fisica d'avanguardia.

La parola "pila" conserva in questo periodo un significato letterale: è un accumulo ordinato di mattoni costruttivi, privo di vessel metallici o sistemi di raffreddamento attivi. Per ridurre la fuga dei neutroni, i blocchi squadrati devono approssimare una forma sferica o ellissoidale, riducendo il rapporto tra la superficie esterna e il volume interno. Lo spazio scelto per ospitare questo colosso non è un reattore moderno, ma il campo da squash sotterraneo delle West Stands dello Stagg Field. Un ambiente universitario riconvertito che deve sopportare un peso enorme, garantire la massima riservatezza e consentire il movimento continuo delle squadre di lavoro. Gli strumenti di misura e i canali per le barre di cadmio vengono posizionati strategicamente negli strati in costruzione, affinché l'oggetto possa "parlare" ai fisici fin dai primi istanti. Ottobre connette tutte le variabili: la grafite deve sostenere e moderare, l'uranio alimentare, il cadmio frenare e i contatori registrare. Sotto la spinta delle scadenze militari, l'incertezza scientifica viene circoscritta e consegnata alle mani dei costruttori.

2.4 Le settimane: la costruzione della pila

Nell'ottobre del 1942, le ricerche sulla reazione a catena escono dalla teoria per entrare in una fase spiccatamente concreta. Fino a quel momento, il lavoro si era concentrato sul calcolo del bilancio neutronico, sulla verifica della purezza di grafite e uranio, da trasformare in requisiti industriali, sull'uso di pile subcritiche per individuare la configurazione migliore e sulla progettazione dei sistemi di controllo. Ormai, però, questi tasselli non possono più rimanere isolati: è necessario immaginarli come parti integrate di un unico oggetto. Non si parla ancora dell'assemblaggio finale, quanto piuttosto della preparazione logistica e strutturale che lo renderà possibile. I materiali vanno raccolti, verificati e lavorati all'interno di uno spazio fisico reale; gli strumenti di misura devono essere calibrati in base alla struttura che dovranno analizzare, e le barre di controllo devono poter penetrare fisicamente nel cuore dell'apparato. La geometria smette di essere un puro output matematico per tradursi in una sequenza tangibile di strati, blocchi, fori e canali. In autunno, la sfida diventa decisamente pratica: come si predispone un sistema che non esiste ancora, ma che non è più soltanto un'ipotesi sulla carta? A rendere urgente una risposta è l'effettiva disponibilità delle materie prime.

Entro l'autunno, a Chicago si accumulano quantità di grafite, ossido di uranio e uranio

metallico sufficienti per tentare la costruzione di una pila autosostenuta, pur in condizioni non ottimali.

L'uranio metallico scarseggia, la qualità dei lotti non è omogenea e la progettazione deve adattarsi a ciò che è realmente disponibile, anziché a un ideale teorico. Si tratta di uno snodo cruciale: la struttura in preparazione non nasce da una totale libertà di design, ma da un continuo compromesso tra calcoli fisici, forniture commerciali e vincoli materiali.[23] In questo contesto, il bilanciamento tra uranio metallico e ossido di uranio resta un nodo centrale. Il metallo puro garantisce una maggiore densità di atomi nello stesso volume, ottimizzando il bilancio neutronico, ma le sue scorte sono ridotte. L'ossido è abbondante, ma sconta una densità inferiore che modifica il comportamento dei neutroni. I progettisti si trovano quindi a dover combinare materiali diversi per un fine convergente, distribuendo risorse imperfette in modo da ottenere un comportamento complessivo efficiente.

La pila si configura, sin dal principio, come un oggetto ibrido, frutto dell'incontro tra rigore fisico e pragmatismo logistico. Anche la grafite assume una duplice veste. Oltre a fungere da moderatore per rallentare i neutroni, diventa l'ossatura fisica dell'intero esperimento. La sua funzione non si esaurisce nelle proprietà microscopiche del carbonio: i blocchi devono essere tagliati, forati e ordinati in strati sovrapposti, creando un'architettura capace di trattenere i neutroni abbastanza a lungo da alimentare la generazione successiva.

Questo passaggio aiuta a ridefinire il concetto stesso di "pila". L'oggetto del 1942 non ha nulla a che vedere con un reattore moderno: mancano un vessel metallico di contenimento, un sistema di raffreddamento per le alte potenze e qualsiasi impianto di produzione energetica. La pila è, letteralmente, un monumentale assemblaggio di materiali ordinati secondo una precisa logica neutronica. Dietro un'apparente semplicità quasi elementare si cela in realtà un bilancio fisico estremamente instabile e delicato. La morfologia della struttura diventa così uno dei nodi centrali. In un sistema di dimensioni finite, i neutroni tendono a sfuggire oltre i confini esterni prima di innescare nuove fissioni, riducendo il fattore di moltiplicazione. Una configurazione compatta riduce il rapporto superficie-volume, limitando questa fuga. Tuttavia, l'esigenza teorica di una sfera perfetta deve scontrarsi con la realtà di blocchi rettangolari e spazi limitati. La pila viene così costruita approssimando la forma sferica o ellissoidale attraverso una sovrapposizione geometrica di strati squadrati. Si evita così un frequente equivoco visivo. Se l'esterno appare come un insieme geometrico di blocchi e superfici piane, dal punto di vista della fisica ciò che conta davvero è la capacità dell'intera massa di trattenere i neutroni. La spigolosità costruttiva e la compattezza fisica non sono in contraddizione, ma rappresentano il compromesso con cui si approssima la geometria ideale.

In ottobre, anche la gestione dello spazio si fa stringente. Il locale individuato sotto le West Stands dello Stagg Field è un ambiente universitario riadattato, privo dei requisiti per un esperimento nucleare. Deve reggere il peso enorme della grafite e dell'uranio,

ospitare i macchinari per la lavorazione dei blocchi, alloggiare la strumentazione e permettere il movimento delle barre di controllo e dei tecnici. La scelta del luogo non è un dettaglio di contorno, ma un vero e proprio vincolo operativo che modella l'intera architettura della pila. Le caratteristiche del pavimento, l'accessibilità e la necessità di lavorare i materiali sul posto diventano variabili del problema. Ogni configurazione studiata sulla carta deve dimostrarsi compatibile con la logica del cantiere, dove i blocchi vanno movimentati, tagliati e forati, garantendo al contempo la sicurezza degli strumenti e lo scorrimento delle barre di controllo. Lo spazio non si limita a contenere l'esperimento, ma ne detta i ritmi e le possibilità pratiche.

Emerge in queste settimane la dimensione quasi artigianale di questa fisica. I materiali non arrivano in cantiere già pronti, ma richiedono una pesante lavorazione manuale. Il taglio della grafite produce una polvere nera e pervasiva che rende l'ambiente di lavoro faticoso e sporco. Alcuni elementi restano pieni, altri vengono forati per accogliere l'uranio o per creare i canali delle barre e della strumentazione, mentre l'ossido di uranio viene pressato in forme regolari. Il disegno teorico si traduce così in una sequenza di gesti meccanici e manuali. Questa materialità dimostra come la pila non possa essere considerata il semplice riflesso di un calcolo matematico. Se l'equazione indica la via, spetta all'operaio e al fisico trasformarla in blocchi numerati e canali allineati, sapendo che ogni minima imprecisione costruttiva può introdurre scarti rispetto al modello ideale. La scommessa sta proprio nel rendere la costruzione reale abbastanza fedele alla logica fisica che la governa.

Allo stesso modo, la strumentazione viene integrata fin da subito nella struttura. I contatori e le camere di ionizzazione non sono osservatori esterni posizionati alla fine, ma sensori inseriti nei punti nevralgici per seguire l'avvicinamento del sistema alla soglia critica. Gli strumenti rappresentano il mezzo attraverso cui la pila comunica con i fisici: senza una loro corretta disposizione, la crescita della popolazione neutronica rimarrebbe invisibile.

Lo stesso approccio geometrico guida l'installazione delle barre di controllo. Se in agosto il problema era stato inquadrato in termini di assorbimento chimico (sfruttando la capacità del cadmio di sottrarre neutroni e variare il fattore k), in ottobre l'attenzione si sposta sulla loro mobilità fisica. Le barre necessitano di canali sgombri e precisi per scorrere nel cuore del flusso senza compromettere la stabilità della struttura, trasformando il controllo in una vera e propria geometria d'intervento.

A fine mese, tutti questi elementi smettono di essere problemi isolati. Grafite, uranio, barre e strumenti convergono in un unico ecosistema in cui l'efficacia del singolo componente dipende dalla corretta interazione con gli altri. Il laboratorio si trasforma in un cantiere sperimentale in cui la ricerca teorica cede il passo al coordinamento quotidiano di squadre, lavorazioni e turni. Su tutto questo continua a gravitare la pressione del contesto militare, che dopo settembre impone scadenze e responsabilità stringenti, aumentando il costo di ogni eventuale ritardo. Nonostante la rapidità richiesta,

la preparazione materiale si muove sempre sul filo dell'incertezza: la criticità non è ancora stata osservata e le stime si fondano su modelli che solo la costruzione potrà confermare o smentire. Ottobre si chiude così delineando il confine tra il progetto e l'oggetto: un passaggio in cui la pila cessa di essere un'equazione sui quaderni per diventare un sistema concreto in via di predisposizione.

Nella seconda settimana di novembre, le attività sotto le West Stands dello Stagg Field entrano nel vivo. Con lo spazio ormai allestito e i materiali stoccati, l'obiettivo prioritario diventa la trasformazione delle materie prime in veri e propri componenti ingegneristici. Il cambiamento è radicale soprattutto per la grafite. Valutata fino ad allora solo per le sue proprietà microscopiche di basso assorbimento, ora deve assumere una dimensionalità precisa, venendo sagomata in blocchi e matrici. Quello che nei calcoli era un generico "moderatore" diventa una materia nera, pesante e fragile, da maneggiare con cura. Ogni singolo blocco viene lavorato in base alla posizione che occuperà nel reticolo: alcuni restano integri per fare massa, altri vengono forati per ospitare il combustibile o per lasciare spazio ai canali di controllo e alla strumentazione.

Questo processo evidenzia come la fisica della pila risieda non tanto nei materiali in sé, quanto nella loro disposizione geometrica. L'uranio e la grafite, se isolati, non possono produrre alcuna reazione controllata; la scommessa sta nel disporli in un reticolo spaziale in cui i neutroni possano muoversi, rallentare e incontrare nuovi nuclei fissili con la massima probabilità utile. L'uranio, dal canto suo, richiede interventi differenziati. L'ossido, più abbondante, viene pressato in unità geometriche regolari per poter essere alloggiato nei nidi d'ape della grafite; il metallo puro, data la sua scarsità, viene centellinato e riservato alle zone strategiche del nocciolo. La pressatura dell'ossido converte la sostanza chimica in un pezzo industriale inseribile nel reticolo, segnando il passaggio cruciale tra la disponibilità del materiale e la sua utilità fisica.

La pervasiva polvere nera che ricopre i pavimenti e gli abiti dei tecnici documenta lo sforzo manuale dietro l'impresa. Lontano dall'essere un dettaglio pittoresco, la fatica fisica ricorda che la precisione dell'esperimento si gioca sulla regolarità del taglio e della foratura, dove ogni minima deviazione rischia di compromettere l'allineamento geometrico complessivo. Anche la catalogazione e l'archiviazione dei pezzi diventano un compito scientifico: confondere un blocco forato con uno pieno altererebbe la coerenza neutronica del sistema, rendendo indecifrabili i dati futuri.

In parallelo, prosegue il lavoro sulla strumentazione. I tecnici dispongono camere di ionizzazione e contatori all'interno della struttura in crescita, poiché la pila dovrà essere monitorata passo dopo passo. Gli strumenti hanno il delicato compito di tradurre un fenomeno invisibile ad occhio nudo in variazioni numeriche leggibili, offrendo ai fisici l'unico mezzo per "vedere" cosa accade all'interno del blocco di grafite. Lo stesso rigore guida la predisposizione dei canali per le barre al cadmio. Questi spazi vuoti non sono assenze casuali, ma varchi geometrici destinati a ospitare l'assorbitore mobile. Si con-

cretizza qui la differenza tra l'assorbimento parassita delle impurità (come il boro, che i fisici hanno cercato di eliminare perché incontrollabile) e l'assorbimento governabile del cadmio, che permette di regolare o spegnere la reazione in modo intenzionale e reversibile. La regolarità e la standardizzazione dei gesti, coordinati in turni continui da figure come Zinn, Anderson e Wilson per la parte strumentale, garantiscono l'affidabilità dell'intera struttura.[26]

La manualità si fonde con la teoria in una costante tensione tra la fretta imposta dal programma militare e l'estrema precisione richiesta dall'apparato. La settimana si conclude così con un magazzino trasformato in un catalogo di componenti pronti all'uso, portando l'incertezza fuori dai calcoli teorici per radicarla direttamente nella qualità delle operazioni pratiche.

Nella terza settimana di novembre, il progetto cambia pelle: si passa dalla preparazione dei singoli pezzi alla loro progressiva posa in opera. La pila inizia finalmente a crescere, strato dopo strato. In questa fase, l'atto del costruire si fonde indissolubilmente con quello del misurare. Non si tratta di assemblare una macchina statica per poi collaudarla alla fine; ogni nuovo piano di grafite e uranio altera il volume del sistema, ne modifica le proprietà moderatrici, sposta il bilancio neutronico e riduce la fuga di particelle verso l'esterno. Ogni strato aggiunto modifica radicalmente la risposta fisica dell'intero apparato.

Il lavoro comincia dalla posa di una base estremamente regolare. I blocchi di grafite vengono allineati con cura per garantire la stabilità meccanica della massa soprastante e per gettare le fondamenta geometriche dell'esperimento. Se i livelli iniziali presentassero disallineamenti, l'errore si propagherebbe per l'intera altezza della struttura. La crescita procede secondo un ritmo controllato che alterna piani di sola grafite a piani contenenti le celle di uranio. La manualità pesante e la precisione scientifica marciano di pari passo: mentre i tecnici maneggiano i blocchi in un ambiente saturo di polvere, i fisici verificano che ogni foro e ogni postazione del combustibile rispettino al millimetro il disegno del reticolo tridimensionale, prevenendo anomalie che renderebbero i futuri dati teoricamente inutilizzabili.

Il concetto teorico di "reticolo" si traduce così in file ordinate di componenti. La distanza tra il combustibile e il moderatore viene calibrata per ottimizzare il percorso dei neutroni che, nati veloci dalla fissione, devono viaggiare nella grafite per rallentare prima di colpire un nuovo nucleo fissile. Ciascun elemento inserito non è un semplice pezzo di materia, ma una precisa variabile inserita nel bilancio neutronico della pila. Man mano che l'altezza aumenta, gli strumenti entrano in funzione. Utilizzando una sorgente di neutroni per interrogare il sistema, i contatori registrano l'evoluzione del flusso a ogni strato posato. Questo monitoraggio continuo distingue l'assemblaggio della pila da un comune cantiere ingegneristico: il controllo è sincronizzato alla crescita dell'oggetto, consentendo di validare i modelli teorici in tempo reale ed evidenziando subito even-

tuali discrepanze. Ogni livello rappresenta quindi un banco di prova per le equazioni predittive.

Con l'aumento volumetrico, il rapporto superficie-volume si riduce, migliorando la capacità del sistema di trattenere i neutroni al suo interno. La pila non diventa solo più pesante, ma si trasforma in una trappola neutronica sempre più efficiente, aumentando di conseguenza la sensibilità delle letture e la tensione sperimentale del team.

Il lavoro scorre lungo una routine rigorosa fatta di pose, verifiche e registrazioni numeriche, sotto la costante supervisione dei dati di flusso. La grafite costituisce il corpo scuro e dominante dell'apparato, mentre l'uranio vi resta custodito all'interno, invisibile ma determinante. I canali verticali per le barre di controllo e per i sensori devono rimanere perfettamente sgombri e coassiali lungo tutta la crescita, rispettando il paradosso di una struttura che deve essere massiccia per trattenere i neutroni, ma attraversabile per poter essere governata.

La circolazione delle informazioni tra chi monta i blocchi e chi analizza i grafici diventa un fattore cruciale di sicurezza e precisione. La costruzione materiale cammina di pari passo con la stesura del registro dei dati, evitando che la massa diventi un oggetto opaco e indecifrabile. A fine settimana, la pila cessa di essere un'ipotesi e si consolida come un sistema sperimentale dinamico in piena crescita, spostando l'incertezza scientifica direttamente dentro la risposta fisica dei singoli strati accumulati.

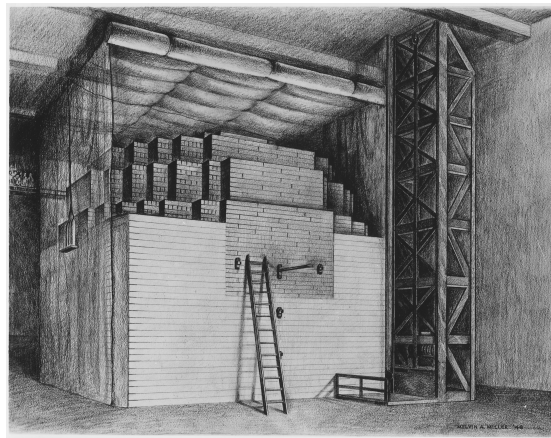


Figure 1: Melvin A. Miller, *Chicago Pile-1 sotto le West Stands dello Stagg Field*, 1946. Disegno della prima pila nucleare costruita presso l'Università di Chicago, raffigurata come struttura stratificata di grafite, uranio e ossido di uranio.

Fonte: Argonne National Laboratory / U.S. Department of Energy

Negli ultimi giorni di novembre, la pila abbandona lo status di struttura embrionale per assumere il corpo definitivo di un sistema integrato. La massa accumulata risponde ormai con grande sensibilità a ogni minima sollecitazione neutronica, riflettendo la con-

vergenza di tutti i componenti precedentemente isolati.

L'aspetto del campo da squash sotto lo Stagg Field è ormai completamente mutato: al centro del locale svetta una mole scura, imponente e geometrica di grafite e uranio. L'apparato conserva un'estetica provvisoria e quasi rudimentale, priva di schermature, tubazioni o rifiniture industriali, che evoca l'essenza stessa della parola "pila". Eppure, dietro questa apparenza elementare di blocchi neri e legname, si nasconde un bilancio fisico estremamente sofisticato.

La grafite ne rappresenta il volume visibile, fungendo sia da matrice strutturale che da moderatore spaziale. L'uranio vi è annegato secondo la geometria del reticolo, configurando una vera e propria mappa delle interazioni possibili. Anche se la costruzione procede per blocchi squadrati e superfici piane, l'intera massa è concepita per approssimare la fisica di una sfera o di un ellissoide, ottimizzando il contenimento dei neutroni e riducendone la fuga oltre i confini esterni.

Si consolida così lo scarto tra la forma geometrica visibile e il comportamento fisico invisibile dell'oggetto. A questo punto, le misure strumentali si caricano di un significato decisivo, poiché il sistema si trova in prossimità della configurazione critica prevista. Le camere di ionizzazione agiscono come veri e propri occhi, traducendo le fluttuazioni del flusso in dati numerici associati all'esatta mappatura degli strati posati. In parallelo, i canali di controllo accolgono le barre di cadmio definitive. Il movimento di inserimento ed estrazione delle barre diventa il meccanismo chiave per regolare il bilancio dei neutroni termici, esigendo un perfetto allineamento meccanico per evitare attriti o blocchi distruttivi. La pila vive di questo equilibrio tra densità e pervietà: deve essere compatta per limitare le perdite involontarie, ma permeabile per consentire l'ispezione e l'azione moderatrice volontaria delle barre.

Il cantiere mantiene ritmi serrati, conscio che ogni minima deviazione negli strati superiori andrebbe a sommarsi agli scarti inferiori, inficiando l'interpretazione dei modelli teorici. La rudezza visiva dei materiali non pregiudica la precisione funzionale del nocciolo, all'interno del quale ogni singolo elemento assolve a un compito coordinato: moderare, generare fissioni, limitare la fuga, assorbire o misurare. Il dialogo tra le squadre addette al montaggio e i fisici preposti ai contatori garantisce la perfetta tracciabilità del processo. Più la pila si avvicina al completamento, più il concetto di rischio e sicurezza si sposta dall'astratto al concreto, richiedendo la costante prontezza dei sistemi di arresto. Alla fine di novembre, l'ambiente sotto le West Stands ospita un imponente assemblaggio scuro, pronto per la verifica finale. Pur senza aver ancora fornito la risposta definitiva sulla reazione autosostenuta, l'apparato è interamente costituito e monitorato nei suoi parametri fondamentali, lasciando aperta l'unica vera domanda operativa: come si comporterà la materia quando l'intera struttura verrà portata alla sua soglia critica?

2.5 I giorni: la preparazione dell'esperimento finale

Il 30 novembre 1942, il ritmo impresso alla costruzione della pila cambia improvvisamente passo. Nelle settimane precedenti, la struttura era cresciuta come un aggregato puramente materiale: un susseguirsi di blocchi di grafite lavorati, uranio distribuito, canali predisposti per le barre e strumenti posizionati per registrare il flusso neutronico.

Fino a quel momento, il lavoro aveva conservato la tipica atmosfera del cantiere, fatta di gesti concreti: preparare, sollevare, posizionare, misurare e correggere. Ora, però, la massa complessiva raggiunta dall'installazione carica ogni singola azione di un significato più profondo. Aggiungere un nuovo strato non è più un semplice atto di ampliamento fisico; significa alterare un sistema che sta ormai sfiorando la soglia critica per cui è stato progettato.

La pila, tuttavia, non è ancora un'opera compiuta. Non si è ancora innescata una reazione autosostenuta, non è stato osservato alcun comportamento critico, né vi è la certezza che il sistema riesca a mantenere autonomamente la popolazione di neutroni. Eppure, il colosso sorto sotto le West Stands dello Stagg Field è ormai abbastanza grande da rendere le misurazioni decisive. Se nei primi strati i dati servivano soprattutto a verificare che l'andamento seguisse i modelli teorici, il 30 novembre i rilievi assumono un peso ben diverso: non sono più semplici verifiche intermedie, ma indicatori cruciali da cui dipende la scelta di procedere o fermarsi.

Questa imminente completezza trasforma anche la percezione dell'incertezza. Nei mesi precedenti, i dubbi erano frammentati in mille interrogativi: la grafite sarebbe stata sufficientemente pura? L'uranio sarebbe arrivato in forme idonee? Le pile subcritiche avrebbero fornito dati affidabili? E le barre di controllo avrebbero funzionato? Durante la costruzione, l'incertezza si era annidata nei singoli blocchi, nelle fessure, nei canali e negli strumenti. Ora, invece, si concentra interamente sul comportamento globale dell'oggetto quasi ultimato. Il dilemma non è più l'astratta plausibilità del progetto, ma la risposta reale di questa specifica pila, con i suoi materiali e la sua precisa geometria. Il fulcro della fisica del sistema resta il bilancio neutronico. Ogni strato aggiuntivo incrementa la massa di grafite e uranio, modifica il volume totale e riduce l'impatto della fuga di neutroni verso l'esterno. In una struttura troppo ridotta, infatti, molti neutroni si disperderebbero prima di poter provocare nuove fissioni. Crescendo, la pila diventa più compatta, permettendo a una frazione maggiore di particelle di restare all'interno abbastanza a lungo da essere rallentata, assorbita utilmente o misurata. Questo non assicura ancora la criticità, ma traghetta il sistema verso lo snodo cruciale dell'esperimento. Il 30 novembre è dunque un giorno di vigile attesa. La pila si presenta come un corpo imponente, ma non ancora del tutto decifrato. La grafite domina visivamente con la sua mole scura e stratificata; l'uranio, nascosto, è disseminato nella matrice; la strumentazione traduce il flusso invisibile in segnali leggibili, mentre le barre di controllo garantiscono la capacità di introdurre l'assorbimento necessario. Ogni componente ha

un proprio ruolo, ma la dinamica d'insieme emerge dalla loro combinazione: la pila non è la mera somma dei suoi blocchi, ma ciò che l'insieme di quei blocchi fa ai neutroni. Le misure raccolte in questa giornata vanno interpretate con estrema prudenza. Un incremento del flusso neutronico è un segnale incoraggiante, ma non certifica la prontezza del sistema. Occorre stabilire se tale aumento rispetti le previsioni, se sia coerente con la configurazione del momento, se gli strumenti siano calibrati correttamente e se le barre mantengano un margine di sicurezza adeguato.

Decodificare un dato non è un automatismo: richiede uno sforzo interpretativo, un costante confronto con i calcoli e una conoscenza perfetta dello stato della struttura. La pila comunica attraverso i numeri, ma quei numeri vanno calati nella storia materiale della sua costruzione. La tensione di queste ore non scaturisce da un imprevisto, ma da un processo di accumulo. Strato dopo strato, il progetto si è tramutato in un oggetto quasi finito, e proprio per questo il margine di errore appare ridottissimo. Se una misura devia dalle aspettative, non si tratta più di un'anomalia trascurabile in una fase iniziale, ma di un problema che investe un sistema ormai avanzato. Se gli strumenti registrano un andamento positivo, la fiducia non deve scivolare nella certezza; e se la struttura è vicina alle dimensioni previste, bisogna ricordare che la prossimità non coincide ancora con il traguardo.

In questo scenario, il ruolo dell'équipe diventa centrale. La complessità della pila sfugge a un unico sguardo: c'è chi supervisiona la disposizione degli strati, chi controlla i rilevatori, chi decifra i dati, chi manovra le barre e chi annota i progressi. La sicurezza non è l'esito di un'azione isolata, ma di una responsabilità distribuita. Un sistema prossimo alla soglia esige che ogni membro sia consapevole di cosa sia stato costruito, di cosa si stia misurando e di quali margini di manovra rimangano. La costruzione fisica si evolve così in una forma di vigilanza collettiva.

Il 30 novembre emerge chiaramente come la pila sia al contempo un oggetto tecnico e sociale. La sua governabilità non dipende solo dal cadmio delle barre o dalla sensibilità dei sensori, ma dalla capacità del gruppo di coordinare azioni e letture. Se si sposta una barra, occorre prevederne l'effetto; se uno strumento oscilla, bisogna capirne la coerenza; se si aggiunge uno strato, si deve valutare il suo impatto sul bilancio totale. La pila non è ancora giunta alla prova del nove, ma sta già imponendo una rigorosa disciplina comunitaria. La carica emotiva della giornata risiede proprio in questa vicinanza priva di compimento. L'oggetto è lì, tangibile, davanti agli occhi dei costruttori, ma il suo significato profondo resta sospeso. La massa di grafite e uranio è concreta e pesante, mentre il fenomeno fisico atteso rimane invisibile, rintracciabile solo attraverso la mediazione degli strumenti. Da questo divario nasce una sottile apprensione: da un lato la materialità quasi brutale della struttura, dall'altro l'impercettibile dinamica dei neutroni da decifrare. Le emozioni non nascono da certezze, ma dalla consapevolezza di essere entrati in una terra di mezzo in cui ogni gesto pesa di più. Non si tratta però di panico, bensì di una straordinaria concentrazione. Il sistema è monitorato, le barre e

gli strumenti rispondono alle procedure, i dati vengono analizzati passo dopo passo. Il lavoro, tuttavia, ha perso la flessibilità delle prime settimane. La struttura è troppo grande per essere considerata una semplice fase preparatoria, ma non ancora completa al punto da autorizzare l'esperimento vero e proprio. Il 30 novembre si configura come una soglia incompleta: l'apparato è quasi pronto, ma non si è ancora trasformato in un test definitivo. La giornata si conclude lasciando l'équipe di fronte a un interrogativo molto più serrato rispetto al passato. Non si discute più in generale sulla capacità di grafite e uranio di sostenere una reazione, sulla reperibilità dei materiali o sull'efficacia della geometria a reticolo. La domanda ora è stringente e concreta: quanti strati separano la struttura dalla volumetria ottimale? I dati seguono i modelli? Il controllo è saldo? È possibile spingersi oltre preservando la piena leggibilità e la reversibilità del sistema?

Al tramonto del 30 novembre, la pila è un corpo quasi ultimato, ma l'esperimento non è ancora autorizzato. La costruzione ha ridotto la distanza tra la teoria e la materia, senza però azzerare l'incertezza. Al contrario, l'ha resa più densa, quotidiana, intrecciata a ogni singolo gesto. Gli ultimi strati non sono semplici elementi da sommare, ma il crinale attraverso cui l'oggetto dovrà dimostrare la propria governabilità. La giornata si chiude così in una condizione di sospensione: la pila è grande abbastanza da imporre la massima cautela, ma non ancora definita al punto da tramutare quella cautela in prova scientifica.

Il 1° dicembre 1942, l'orizzonte temporale sembra contrarsi ulteriormente. La pila ha smesso di essere un cantiere in crescita indefinita: è ormai un corpo quasi perfetto, una complessa architettura di grafite e uranio scandita da canali, sensori e dispositivi di sicurezza. Il lavoro incessante degli ultimi giorni ha dato vita a una massa compatta, scura e imponente, la cui oggettività non permette più di considerarla un mero lavoro preparatorio. Eppure, è proprio questa imminente conclusione a imporre la massima prudenza: un oggetto quasi ultimato non è ancora un esperimento compiuto, così come una struttura fisicamente pronta non coincide con una reazione controllata.

Nelle ore diurne l'attività conserva ancora l'eco del cantiere, ma il significato dei gesti è radicalmente mutato. Ogni strato aggiunto e ogni controllo non sono più finalizzati alla crescita della struttura, ma a stabilire se l'assieme abbia raggiunto una coerenza tale da poter essere interrogato come un sistema unico. La mole della pila è tale da rendere ogni suo feedback sempre più eloquente; tuttavia, non basta osservarla o contarne i blocchi per prevedere cosa accadrà. La materia è pronta a rivelarsi, ma potrà farlo solo attraverso il filtro degli strumenti.

La sera del 1° dicembre, l'installazione raggiunge la configurazione finale stabilita dal progetto: una struttura stratificata di grafite e uranio che le cronache storiche quantificano in cinquantasette strati. Questo traguardo numerico, però, non va confuso con un punto di arrivo. Esso indica semplicemente che l'oggetto ha assunto la sua forma

fisica definitiva, non che il suo comportamento sia stato validato. Tra il completamento strutturale della pila e la sua conduzione alla criticità persiste uno scarto concettuale enorme: nel primo caso si conclude una costruzione, nel secondo si inaugura un esperimento.

A questo punto, la pila si offre allo sguardo come un oggetto monumentale eppure muto. È evidente nella sua fisicità, poiché occupa interamente lo spazio sotterraneo delle West Stands con la sua mole di blocchi, uranio e barre di controllo. Rimane però muta perché il cuore del fenomeno non si manifesta all'esterno. Nulla nella sua morfologia può rivelare se il sistema sia in grado di autosostenere la popolazione di neutroni; non vi sono variazioni visibili a occhio nudo o segni macroscopici sulla superficie. La risposta va cercata esclusivamente nei segnali dei quadranti e nella loro corretta decodifica. Questo iato tra la tangibilità dell'oggetto e l'invisibilità del processo genera la particolare tensione della giornata. La struttura è finalmente definita, eppure il suo significato scientifico resta congelato. Si profila una situazione quasi paradossale: dopo settimane di fatica dedicate alla grafite, all'uranio e alla sovrapposizione degli strati, l'opera esiste, ma l'evento per cui è nata non si è ancora verificato. La pila è presente sulla scena, ma la sua risposta definitiva si fa attendere.

Questa pausa, tuttavia, non è un tempo morto, bensì uno spazio denso di calcoli, verifiche e assunzioni di responsabilità. In questo frangente emerge la figura di Enrico Fermi, il cui ruolo centrale non risiede in una carismatica e solitaria garanzia del risultato, ma nella sua capacità di farsi interprete del passaggio cruciale tra teoria ed esperimento. Il suo compito è stringere un nodo saldo tra la realtà materiale della pila e le risposte attese sugli schermi, prevedendo l'andamento del flusso neutronico al variare delle barre e confrontando costantemente modelli e dati per sottrarre l'esperimento a qualsiasi forma di improvvisazione. La guida di Fermi non isola il processo, ma esalta l'importanza fondamentale del collettivo. Un reattore completo non può essere governato in solitudine: occorrono operatori alle barre, tecnici agli strumenti, sguardi fissi sui display, responsabili della sicurezza e una perfetta sincronia nel registrare e comunicare le variazioni. La scoperta scientifica che si profila all'orizzonte non nasce da un atto isolato, ma da una complessa partitura collettiva. Se Fermi coordina e interpreta, il controllo effettivo della pila si regge interamente sulla perfetta efficienza del gruppo. Questa dimensione comunitaria investe direttamente la gestione del rischio. Spingere la pila verso la criticità significa alterare deliberatamente l'equilibrio dei neutroni: sfilare parzialmente le barre, analizzare la risposta del flusso e valutare se avanzare o arrestarsi. Un passo falso non si risolverebbe in un semplice errore teorico su carta, ma impatterebbe su un sistema fisico reale, situato nel cuore di un campus universitario e circondato da persone. La prudenza, quindi, non è timore astratto, ma lucida consapevolezza che la materia, una volta condotta sulla soglia critica, deve rimanere costantemente leggibile e governabile.

Il 1° dicembre non può essere liquidato come una semplice vigilia carica di trepidazione;

è il giorno in cui si valuta la reale fattibilità del test. Conclusa la costruzione, l'oggetto deve essere ricondotto a un protocollo rigido: stabilire quali barre muovere, con quale sequenza, sotto quale sorveglianza, quali dati attendersi e quali margini di sicurezza preservare. La pila non deve solo essere ultimata, deve essere pronta a farsi attraversare da una procedura controllata.

Finché questo quadro operativo non è delineato, l'architettura resta disponibile ma non ancora autorizzata a esprimersi. La scelta di non forzare i tempi e di rinviare la prova risponde precisamente a questa logica operativa, e non a un calcolo teatrale per accrescere la solennità del momento. Una struttura appena ultimata esige di essere misurata nel suo stato finale, raccordata ai calcoli e affidata a un team coordinato. Agire significa muovere il cadmio, ridurre l'assorbimento e permettere al sistema di accostarsi a un limite fisico mai violato prima in quelle condizioni; un passo del genere richiede tempo, rigore e un profondo senso di responsabilità. Il rinvio conserva dunque uno straordinario spessore scientifico, poiché riconosce che la criticità controllata non è una mera proprietà intrinseca dell'oggetto, ma una complessa relazione tra la materia, gli strumenti, gli operatori e l'interpretazione teorica. Una pila completa ma priva di un team pronto è solo un cumulo di blocchi; se gli strumenti non vengono interpretati, il sistema resta opaco; se le barre non sono governate, si trasforma in un pericolo. La prova esige la convergenza di tutti questi fattori: il corpo fisico, la lettura strumentale, la direzione strategica, la ripartizione dei ruoli e la totale reversibilità del processo.

La giornata è attraversata da una densità emotiva peculiare, lontana sia dall'euforia, data la mancanza di un verdetto, sia dalla paura pura, poiché il lavoro svolto autorizza una ragionevole fiducia. Si tratta di una miscela più complessa: un misto di attesa, concentrazione, stanchezza e responsabilità. Dopo settimane di sforzi, la pila è finalmente tangibile, e proprio questa sua presenza rende l'incertezza più acuta. I dubbi non riguardano più i fornitori, i materiali o le stime preliminari, ma si condensano nell'imminente risposta dell'oggetto finito. Il contrasto tra la pesantezza dei materiali e l'immaterialità del fenomeno resta il nucleo concettuale della giornata. La struttura può essere pesata, descritta e contata nei suoi strati e canali, ma la sua proprietà cruciale, la capacità di autosostenere la reazione, non si vede nella forma. Deve manifestarsi come un trend misurato, il che rende gli strumenti persino più importanti della percezione visiva. Se guardare la pila mostra il corpo, leggere gli schermi significa decifrarne l'anima. Il completamento dei cinquantasette strati esalta la centralità della misura anziché ridurla. Se prima i dati si riferivano a una struttura in divenire, ora devono confrontarsi con la configurazione definitiva, rendendo il riscontro con i calcoli molto più stringente. Se il comportamento reale ricalcherà i modelli, la fiducia crescerà; se emergeranno discrepanze, queste colpiranno l'oggetto nella sua interezza. La posta in gioco si alza proprio perché la fase costruttiva è giunta al termine. Anche i dispositivi di sicurezza cambiano pelle: se durante il cantiere le barre erano solo elementi da alloggiare e meccanismi da testare, ora diventano lo strumento concreto per trasformare la pila da man-

uffatto a sistema dinamico e governabile. Una barra inserita scherma il reattore; una barra estratta riduce l'assorbimento e libera il flusso di neutroni. Ogni minima oscillazione esige una lettura e una scelta immediata: il cadmio non è solo una tutela materiale, ma l'alfabeto stesso dell'esperimento. La sicurezza, in questo contesto, non si identifica con l'immobilità, ma con la consapevolezza del come e del quando procedere. Un rigido atteggiamento difensivo avrebbe precluso la prova, mentre la fretta l'avrebbe resa incontrollabile. La posizione degli scienziati si colloca in questo delicato intervallo: la pila va testata, ma solo all'interno di un protocollo in cui ogni singola azione sia decifrabile e reversibile. La sospensione del 1° dicembre scaturisce esattamente da questa ricerca di equilibrio.

Il fattore umano si integra così pienamente nell'apparato sperimentale, non per retorica eroica, ma per una precisa necessità funzionale. Vi è chi conosce la struttura profonda della pila per averla montata, chi padroneggia i sensori, chi manovra i meccanismi di controllo, chi verifica i calcoli e chi vigila sulla sicurezza pronto a intervenire in caso di anomalie. La pila è una macchina fisica, ma la sua governabilità si fonda su un perfetto ecosistema umano.

Il 1° dicembre dimostra un punto cruciale: un esperimento non prende il via quando l'oggetto è materialmente finito, ma quando quell'oggetto viene integrato in una procedura condivisa. Fino a quel momento, la pila rimane un'intelaiatura carica di potenzialità e di rischi, la cui completezza non basta a decretarne lo status di evento scientifico. Occorrono ruoli definiti, tempi scanditi, strumenti calibrati, calcoli di riferimento e la costante possibilità di un arresto d'emergenza. La scienza non coincide solo con l'atto del costruire, ma con il metodo scelto per interrogare ciò che si è edificato.

La sera del 1° dicembre non si limita a sigillare le fatiche delle settimane precedenti, ma le condensa. L'intera parabola della pila, la purezza della grafite, la preparazione dell'uranio, l'ottimizzazione del reticolo, il montaggio degli strati e la taratura dei sensori, si trova racchiusa in un unico oggetto finalmente reale. Eppure, questo colosso non ha ancora fornito la risposta decisiva; il suo silenzio è denso di dati, aspettative e rigorosa cautela.

La giornata volge al termine su una linea di demarcazione ancora più netta rispetto a ventiquattr'ore prima. La pila è pronta come corpo, ma non è ancora un fatto scientifico compiuto. La costruzione ha consegnato una struttura materiale; ora i calcoli e le misure devono tramutarla in un sistema interpretabile, mentre il team deve essere pronto a guidare ogni fase senza mai perdere il controllo. L'incertezza non è più diluita lungo le tappe del cantiere, ma si staglia nitida di fronte all'oggetto finito. Non c'è più materia da aggiungere: resta solo da stabilire come consentire a quella stessa materia di svelare, in piena sicurezza, ciò che fino a quel momento è stato solo un modello teorico.

2.6 Le ore: il 2 dicembre 1942

La mattina del 2 dicembre la pila è ormai completa come oggetto materiale, ma non costituisce ancora un esperimento in atto. Sotto le West Stands dello Stagg Field, nel campo da squash trasformato in laboratorio, la massa di grafite e uranio si presenta come un corpo compatto, scuro e stratificato. I blocchi sono stati posizionati, i canali per le barre predisposti e la strumentazione interamente collegata; eppure, l'apparato strutturale non è sufficiente a garantire una reazione controllata. Perché il sistema si traduca in un vero esperimento deve essere inserito in una rigorosa procedura operativa: occorre stabilire lo stato iniziale, distribuire le mansioni, verificare i sistemi di sicurezza, muovere le barre in modo progressivo e interpretare la risposta degli strumenti.

Verso le 8:30 il gruppo di ricerca inizia a raccogliersi nello spazio della prova, secondo una disposizione logica che riflette la struttura stessa dell'esperimento. Sul balcone, a circa tre metri dal pavimento, si trovano Fermi, Zinn, Anderson, Compton e altri collaboratori, posizionati attorno ai quadri di controllo e agli strumenti di misura.[27] Sul pavimento sottostante, George Weil è incaricato di manovrare la barra di controllo finale, deputata a regolare l'avvicinamento alla soglia critica con estrema gradualità. Altri tecnici e scienziati sono assegnati ai dispositivi di emergenza, alla registrazione dei dati e alla sorveglianza generale del sistema. Questa distribuzione dei ruoli non risponde a una mera esigenza organizzativa, ma è parte integrante del processo sperimentale. La pila non può essere governata solo attraverso l'interpretazione teorica dei dati, ma richiede un'azione sinergica: chi segue gli strumenti rende leggibile il flusso neutronico, chi muove le barre modifica l'assorbimento, chi presidia i dispositivi d'emergenza garantisce la reversibilità della prova e chi interpreta le letture decide il passo successivo.

In quella mattina la pila non è solo un aggregato di grafite e uranio, ma un sistema integrato con il gruppo che la rende operativa.

Prima di alterare l'equilibrio del sistema, è necessario stabilire con certezza le modalità di arresto. La sicurezza della pila si fonda su diversi livelli di controllo: il primo è costituito dalle barre automatiche azionabili dal balcone; il secondo è rappresentato dalla barra di emergenza denominata "Zip", pronta a essere reinserita rapidamente in caso di comportamenti imprevisti. Un ulteriore livello di protezione prevede l'impiego di una soluzione di sali di cadmio, ad alto assorbimento neutronico, qualora i meccanismi meccanici dovessero fallire. La presenza di tali dispositivi dimostra come l'esperimento non inizi propriamente con l'incremento della reazione, bensì con la validazione delle procedure atte a interromperla.



Figure 2: Gary Sheehan, *Birth of the Atomic Age*, 1957. Ricostruzione pittorica della Chicago Pile-1 nel momento del raggiungimento della prima reazione nucleare a catena autosostenuta e controllata, 2 dicembre 1942, Stagg Field, University of Chicago.

Fonte: National Archives and Records Administration, Records of the Atomic Energy Commission

Alle 9:45 Fermi ordina l'estrazione delle barre di controllo elettriche. Il gesto si compie senza alcuna enfasi: l'attivazione di un interruttore avvia un piccolo motore che muove i dispositivi, mentre gli indicatori ne segnalano la posizione. L'attenzione del gruppo si sposta immediatamente sulla risposta strumentale, tesa a verificare l'effetto della diminuzione dell'assorbimento sulla pila. Il principio fisico di riferimento è lineare ma decisivo: le barre di controllo sono composte da materiali fortemente assorbitori che, finché restano inseriti, sottraggono neutroni e mantengono il fattore di moltiplicazione effettivo al di sotto della soglia critica. Estrarre una barra significa dunque ridurre un freno neutronico volontario, permettendo a una frazione maggiore di neutroni di proseguire il proprio percorso nella grafite e nell'uranio, senza alcuna immissione di energia esterna.

Non appena le barre automatiche vengono rimosse, i contatori subiscono un'accelerazione che tuttavia non coincide ancora con lo stato di criticità. In un regime subcritico, la riduzione dell'assorbimento determina un incremento del flusso neutronico che tende poi a stabilizzarsi su un nuovo livello. Questo rappresenta il primo snodo concettuale della mattina: l'aumento del segnale non è necessariamente sinonimo di una reazione autosostenuta. Diventa essenziale osservare se la curva del flusso raggiunga un plateau o se proceda secondo l'andamento esponenziale tipico di un sistema critico. Gli strumenti di misura si collocano così al centro della scena. Poiché i neutroni non lasciano tracce visibili all'interno del campo da squash, la loro attività deve essere tradotta in segnali interpretabili: conteggi sonori, indicatori visivi e tracciati su carta. Il registratore e la sua penna grafica rendono così intellegibile ciò che dentro la struttura rimane invisibile, sottraendo l'apparato a una condizione di mutismo sperimentale.

Poco dopo le 10:00 Fermi dispone l'estrazione manuale della barra d'emergenza "Zip", che viene fissata da Zinn alla ringhiera del balcone. Questa manovra non implica un allentamento delle condizioni di sicurezza, ma segna l'ingresso in una fase più sensibile dell'esperimento: rimosso un vincolo importante, la regolazione fine dell'avvicinamento alla soglia viene affidata alla barra manovrata da George Weil. Il sistema di arresto rapido resta comunque presidiato: la barra "Zip" è legata a una corda che Volney Wilson e i suoi collaboratori (tra cui Hilberry, pronto a intervenire con un'ascia) tengono pronta a essere recisa per far cadere il dispositivo nella pila. Tale configurazione, apparentemente rudimentale, evidenzia la natura profonda dell'esperimento, in cui l'avanguardia fisica si unisce a una combinazione di calcoli teorici, strumentazione sofisticata e interventi manuali ridondanti.

Con la rimozione di "Zip", il ruolo di Weil acquisisce ulteriore centralità. Posizionato sul pavimento nei pressi della barra finale, egli opera su un dispositivo graduato che indica con precisione la porzione geometrica ancora inserita nella pila. La posizione della barra non è un dato approssimativo, ma una variabile sperimentale esatta: a ogni millimetro corrisponde un determinato valore di assorbimento neutronico, a ogni variazione consegue una risposta del flusso e a ogni risposta si lega una decisione medica del fisico sperimentale.

Intorno alle 10:37 Fermi ordina a Weil di posizionare la barra su una tacca prestabilita. Sebbene la massa di grafite e uranio rimanga visivamente immutata, la strumentazione registra prontamente la variazione: i contatori accelerano e la penna del registratore sale lungo il grafico. L'analisi di Fermi si concentra sulla natura quantitativa di tale incremento: in un regime subcritico il flusso si assesta su un nuovo equilibrio dopo la rimozione parziale dell'assorbitore, mentre in un sistema critico la crescita assume un andamento continuo, indice dell'autosostentamento della popolazione neutronica. La discriminante non risiede nell'osservazione diretta dell'oggetto, ma nella morfologia della curva matematica. In questa prima configurazione il segnale si stabilizza, confermando che il sistema, pur avendo reagito alla riduzione dell'assorbimento, si mantiene ancora al di sotto della soglia critica. L'assenza di criticità non costituisce un fallimento, bensì una misura scientifica precisa che attesta la coerenza del modello teorico. L'esperimento procede sistematicamente attraverso la validazione di queste risposte parziali.

Verso le 11:00 la barra viene estratta ulteriormente, ripetendo una sequenza che si arricchisce a ogni passaggio. Ogni spostamento successivo interviene infatti su un sistema progressivamente più libero da vincoli neutronici, avvicinandolo alla soglia critica per gradi successivi e controllati. Fermi confronta costantemente le letture strumentali con le previsioni matematiche, agendo come centro interpretativo della prova: l'analisi dell'andamento esponenziale serve a discernere un incremento transitorio da una crescita autosostenuta. Questa fase della mattina chiarisce la struttura logica della sperimentazione, che non consiste nell'ordinaria "accensione" di un dispositivo, ma nella produzione deliberata di una serie ordinata di perturbazioni e risposte control-

late. Alle 11:25 un nuovo spostamento della barra evidenzia la crescente sensibilità del sistema. Sebbene la rapidità dei conteggi possa impressionare, Fermi mantiene un approccio prudente, verificando la corrispondenza tra l'andamento reale e l'immagine matematica della pila. Al fine di testare la perfetta governabilità dell'apparato, Fermi decide di reinserire temporaneamente le barre automatiche: il flusso decade immediatamente, i contatori rallentano e il sistema viene riportato in condizioni di assoluta sicurezza, a dimostrazione del fatto che la procedura non avanza mai per inerzia. Alle 11:35 la configurazione iniziale viene ripristinata e la prova riprende con un incremento del flusso più marcato. Il suono dei contatori si fa fitto e la penna sale rapidamente, determinando un aumento della tensione operativa nel laboratorio. Improvvisamente, il ritmo si interrompe: la barra automatica di sicurezza rientra di colpo nella pila, a causa di una soglia di scatto impostata a un livello cautelativo troppo basso. Questo arresto automatico non rappresenta un incidente di percorso, ma la prova tangibile che la pila opera all'interno di una rete integrata di sistemi di sicurezza capaci di garantire la reversibilità di ogni passo. A seguito di questo intervento, Fermi decide di sospendere la sessione per la pausa pranzo. L'interruzione non risponde soltanto a un'esigenza fisiologica, ma riflette la necessità metodologica di esaminare i dati raccolti ed evitare che la tensione emotiva infici la disciplina dell'esperimento. La mattina si conclude così con un bilancio parziale ma significativo: la macchina sperimentale si è dimostrata sensibile e governabile, sebbene la reazione autosostenuta rimanga un obiettivo ancora da conseguire nel pomeriggio.

Alle 14:00 il gruppo fa ritorno nel campo da squash per dare inizio a una fase più stringente della procedura. Le verifiche mattutine hanno validato i codici di comunicazione tra l'operatore e la macchina (assorbimento, flusso, stabilizzazione, arresto); ora quel medesimo linguaggio deve essere impiegato con rigore millimetrico. Ricollocate le barre e presidiati gli strumenti, Weil si attesta nuovamente alla barra di controllo finale.

Intorno alle 14:20 Fermi dispone un nuovo posizionamento della barra. L'estrazione parziale riduce l'assorbimento e determina una nuova crescita del flusso neutronico, traducendosi nei segnali monitorati dagli scienziati sul balcone. L'esperimento procede escludendo qualsiasi velleità spettacolare, articolandosi in una sobria grammatica sperimentale fatta di micromanovre, attese e verifiche numeriche.

Alle 14:50 un'ulteriore estrazione della barra produce un incremento del flusso talmente intenso da saturare la scala dei contatori e spingere la penna oltre i margini del grafico. Di fronte a questa accelerazione, si rende necessario modificare i rapporti di conteggio e la scala di lettura della strumentazione. L'adeguamento delle scale di misura non costituisce un dettaglio tecnico marginale, bensì la condizione epistemologica essenziale per garantire la costante leggibilità e misurabilità del fenomeno nel momento di massima intensità. La giornata si rivela così come una pratica dinamica, in cui la procedura si rimodula costantemente in funzione delle risposte fornite dal sistema. Dopo la

ricalibrazione degli strumenti la natura della tensione cambia: l'interrogativo non verte più sulla reattività generale della pila, ma sulla morfologia finale della curva.

Alle 15:20 la barra viene estratta di altri sei pollici. Il flusso cresce, ma manifesta ancora una tendenza al livellamento. Questo comportamento, sebbene rassicurante circa il controllo del sistema, attesta che la soglia critica non è stata ancora varcata.

Cinque minuti più tardi, alle 15:25, Fermi ordina l'estrazione di un ulteriore piede della barra, indicando a Compton che questo movimento dovrebbe risultare decisivo. La previsione non si fonda su un'intuizione estemporanea, ma sul calcolo predittivo derivato dal confronto con le risposte precedenti.

In seguito all'ultima manovra la curva riprende a salire, inaugurando il momento più delicato della giornata. Fermi calcola il tasso di crescita dei conteggi a intervalli regolari mediante il regolo calcolatore, ripetendo l'operazione per accertarsi che il parametro si mantenga costante nel tempo. La costanza del tasso di crescita rappresenta la prova matematica che il sistema non sta semplicemente reagendo a una perturbazione esterna, ma sta sostenendo autonomamente la propria popolazione neutronica.

Sul balcone l'intero gruppo si stringe attorno ai quadranti. Leona Marshall, Anderson e Sturm registrano i dati fisici, mentre il suono dei contatori, ormai troppo rapido per discernere i singoli impulsi, si fonde in un ronzio continuo. Malgrado la portata storica dell'evento, la scena rimane priva di manifestazioni visibili: la criticità non si offre all'osservazione diretta, ma si rivela esclusivamente attraverso la mediazione astratta dello strumento e del calcolo. Quando l'andamento del flusso prosegue la sua ascesa esponenziale senza flettere verso alcun plateau, Fermi riconosce ufficialmente il raggiungimento della reazione autosostenuta.

L'annuncio al gruppo si caratterizza per la massima sobrietà scientifica: la pila è critica. Il bilancio neutronico calcolato per mesi si manifesta infine nella forma pura del tracciato grafico. L'evento storico si compie nell'apparente immobilità della materia, strutturandosi interamente attraverso i dispositivi che ne permettono la decodifica. Conseguito lo stato critico, la pila viene lasciata operare per un breve intervallo a potenza minima, al fine di verificare la stabilità e la costante governabilità della reazione autosostenuta. Alle 15:53 Fermi ordina il definitivo spegnimento del sistema. Il reinserimento delle barre ripristina l'assorbimento volontario, riconducendo la popolazione neutronica al di sotto della soglia e certificando la perfetta reversibilità del processo. L'esperimento si conclude mantenendo la medesima sobrietà con cui era iniziato. Il celebre brindisi con la bottiglia di Chianti offerta da Wigner e siglata dai presenti si configura come un rito privato, compresso entro le rigide prescrizioni del segreto militare. La formale comunicazione del successo assumerà una veste cifrata («Il navigatore italiano è sbarcato nel Nuovo Mondo») nel dialogo tra Compton e Conant, a testimonianza di come il dato di laboratorio si converta immediatamente in informazione geopolitica strategica.

Il successo del 2 dicembre non risiede dunque nella sola attivazione della pila, ma nella validazione di una procedura sperimentale integrale capace di preparare, misurare, ri-

conoscere e arrestare una reazione nucleare a catena, trasformando un potenziale processo incontrollato in un fenomeno scientifico compiuto e governato.

2.7 Dalla scala temporale all'evento

La cronologia a scala variabile adottata in questo capitolo ha seguito la costruzione della Chicago Pile-1 dal lungo periodo in cui la reazione a catena diventa anzitutto un problema pensabile fino alle singole ore del 2 dicembre 1942, trattandola non come un episodio da interpretare alla luce del suo esito, ma come un oggetto tecnico e teorico che prende forma per approssimazioni successive. Man mano che lo sguardo si avvicina, ciò che la ricostruzione retrospettiva tende ad appiattire l'incertezza delle scelte, il carattere iterativo delle misure, il peso dei materiali, torna a rendersi percepibile. Ne risulta che la criticità non coincide con un istante, ma con il punto di convergenza di un processo lungo, materiale e collettivo: una soglia costruita attraverso la grafite e l'uranio, il cadmio e gli strumenti, il calcolo e il gesto manuale, e soprattutto una soglia governata, poiché lo stesso dispositivo che porta il sistema alla criticità è anche ciò che permette, in ogni istante, di riportarlo indietro. Questa ricostruzione ha però seguito l'evento soprattutto nel suo svolgersi tecnico e materiale; eppure ciascuna delle sue fasi, e in particolare le ore trascorse sotto le West Stands dello Stagg Field, fu al tempo stesso vissuta da soggetti diversi, ognuno dalla propria posizione. Restituire questa simultaneità richiede di spostare l'asse dell'osservazione: non più il tempo, ma lo sguardo ed è il compito a cui è dedicato il capitolo seguente.

3 Una giornata, molte prospettive

3.1 Prospettive metodologiche

Il 2 dicembre 1942 è un evento la cui definizione più nota lo ricorda come il giorno della prima reazione a catena autosostenuta e controllata. Questo tipo di definizione ne restituisce il risultato e ne evidenzia l'importanza storica e scientifica, ma non permette di capire e affrontare il modo in cui l'evento fu vissuto e successivamente ricordato. L'evento può e deve essere osservato in modi, distanze e posizioni differenti che permettono di percepire e analizzare nuovi elementi che possono emergere solamente cambiando la prospettiva da cui si guarda l'evento.

Per questo motivo, il capitolo corrente cerca di attraversare il 2 dicembre 1942 mediante alcune particolari figure, che ci permetteranno di apprezzare la loro visione diretta dell'evento. Questi personaggi non verranno introdotti come semplici testimoni o come eroi da celebrare, ma saranno dei punti di osservazione, ognuno con una particolare dimensione soggettiva.

Questa tipologia narrativa richiede una cornice metodologica capace di sostenere il passaggio dal risultato alla pluralità delle sue condizioni di visibilità. I paragrafi seguenti costruiranno dunque gli strumenti mediante i quali sarà possibile leggere il capitolo.

L'obiettivo non è inserire nella narrazione una serie di prospettive e interpretazioni, ma cercare di far emergere il significato storico dell'evento attraverso l'intreccio tra livelli di conoscenze, pratiche e ruoli.

3.1.1 Dal tempo allo sguardo: la microstoria come pratica della prospettiva

Il tipo di narrativa che verrà utilizzata in questo capitolo necessita un'introduzione teorica che non deve essere ridotta alla semplice scelta di osservare un evento da più punti di vista. L'idea è utilizzare le diverse prospettive, non come espediente descrittivo, ma piuttosto come un modello di indagine capace di mostrare come il significato di un determinato evento storico, possa emergere dall'interazione tra scala di osservazione, posizione dei soggetti e pratiche di costruzione della conoscenza. In questo senso non si vuole abbandonare l'idea di scala utilizzata nel secondo capitolo ma piuttosto definirne un cruciale spostamento. Mentre nel precedente capitolo la scala utilizzata era temporale, basata sulla stratificazione temporale braudeliana, qui diventa un scala dello sguardo, dove ciò che varia non è la lente temporale ma la posizione da cui l'evento viene guardato e la voce attraverso cui viene raccontato.

Questo spostamento si fonda sui concetti teorici proposti nella tradizione della microstoria italiana. Sviluppata a partire dalla seconda metà degli anni Settanta nella rivista *Quaderni Storici* e guidata dalle figure di Carlo Ginzburg, Giovanni Levi, Edoardo Grendi e Carlo Poni, questa corrente storiografica ha fatto della riduzione della scala di osser-

vazione il proprio principio metodologico fondante. Lo stesso Giovanni Levi, nel saggio *On Microhistory* (1991) definisce la microstoria proprio partendo da questa operazione:

"Per la microstoria, la riduzione della scala non riguarda la grandezza dell'oggetto studiato, ma costituisce una procedura analitica applicabile a qualsiasi oggetto d'indagine"[28]

In questa prospettiva, l'idea della microstoria non corrisponde all'opposto della narrazione generale e completa, ma definisce piuttosto come questa possa essere interrogata. Infatti, ridurre il campo di osservazione non significa restringere il significato, ma piuttosto rendere visibili relazioni e dettagli che le grandi narrazioni tendono a celare. La stessa convinzione si riflette nella formulazione epistemologica formulata da Carlo Ginzburg, nel saggio *Spie. Radici di un paradigma indiziario*, raccolto successivamente in *Miti emblematici, spie*. Ginzburg definisce l'esistenza di un *paradigma indiziario*, ovvero un modello di conoscenza fondato sull'attenzione al dettaglio marginale, all'anomalia, alla traccia apparentemente trascurabile, assunta come elemento rivelatore di una realtà altrimenti inaccessibile. Come egli stesso afferma:

"Se la realtà è opaca, esistono zone privilegiate, spie, indizi, che consentono di decifrarla"[29]

Rispetto a questo, gli indizi, le spie sono proprio le scale che vengono utilizzate per isolare un frammento dal contesto.

La microstoria dunque, ci permette di osservare come la complessità storica non emerga solamente attraverso l'estensione dello sguardo, ma anche attraverso la sua intensificazione.

Questo tipo di concetto teorico risulta decisivo per la struttura del presente capitolo. Il cambio di scala non significa solamente avvicinarsi come se si cercasse di aumentare il dettaglio, ma di effettuare una vera e propria modifica di ciò che diventa osservabile. Come già detto nel precedente capitolo la scelta di queste scale non è mai neutra, ma determina in modo sostanziale come si interroga l'evento e i significati che possono emergere. La giornata del 2 dicembre non viene assunta semplicemente come evento, ma viene considerata un *caso eccezionale*, come si usava nella tradizione microstorica per definire un evento capace, proprio grazie alla sua singolarità, di far luce sui problemi di vaste dimensioni.

La microstoria quindi offre il primo fondamento dell'approccio prospettico, poiché mette in risalto l'esistenza di diversi livelli di osservazione. Tuttavia, ridurre la scala implica la comparsa di pluralità, discontinuità e punti di vista non facilmente componibili. Lo stesso Levi ammette questa grande frammentazione che attraversa la microstoria. Per questo in una scala di questo tipo si deve cercare di far emergere la soggettività e le varie prospettive situate. In questo senso, l'evento storico cessa di essere una sequenza lineare ma diventa uno spazio attraversato da differenti posizioni. In questo passaggio

si evidenzia sia il limite che il vantaggio della microstoria. Riconoscere che l'evento è abitato da una pluralità di sguardi impone di interrogare non solo da quale scala lo si osserva, ma anche chi parla, da quale posizione e con quale rapporto si trova rispetto all'oggetto preso in analisi.

3.1.2 Dalla scala alla voce: Bachtin e la polifonia del significato

Una volta ridotta la scala, l'evento si frammenta in molteplici prospettive e posizioni, ed è qui che nasce la domanda:

Chi parla?

Da quale punto di vista situato e da quale coscienza si decide di analizzare e comporre il 2 dicembre 1942?

La risposta alla domanda ci arriva dalla riflessione di Michail Bachtin (1895-1975). Filosofo del linguaggio e teorico della letteratura, Bachtin nella sua ricerca analizza come all'interno di un testo voci e prospettive differenti coesistono senza però fonderle in un'unica istanza ordinatrice.

Nella monografia *Dostoevskij: Poetica e stilistica*, viene elaborato il concetto di *polifonia narrativa*. Con questo termine, Bachtin delinea quella particolare configurazione narrativa in cui le voci non vengono subordinate alla coscienza dell'autore ma ne conservano una piena autonomia, creando un intreccio di prospettive irriducibili l'una dall'altra. Riferendosi al romanzo di Dostoevskij, Bachtin scrive:

"una pluralità di voci e delle coscienze indipendenti e disgiunte, l'autentica polifonia delle voci pienamente autonome"[30]

In questa frase, si delineano le differenze tra un romanzo monologico in cui il narratore dispone i personaggi come oggetti del proprio discorso, e uno polifonico, in cui si rinuncia a questa posizione. La verità quindi non risiede in nessuna delle voci presa in modo isolato, ma in ciò che si genera dalla totalità delle prospettive.

Trasferendo questa teoria alla ricostruzione storica proposta in questo capitolo, la concezione di Bachtin ci permette di definire meglio il presupposto metodologico. Assumere il 2 dicembre 1942 come evento polifonico determina rinunciare all'idea di un'unica voce narrante, per restituire la pluralità delle coscienze che quel giorno attraversarono l'evento, ciascuna dalla propria posizione e con la propria coscienza e incertezza. Tutti i personaggi scelti non sono quindi semplicemente voci da amalgamare in un'unica versione, ma dei punti di vista autonomi la cui interazione costruisce il significato stesso dell'evento. Resta però da chiarire come questa pluralità viene poi tradotta in una scelta narrativa, definendo in modo chiaro come questa varietà di punti di vista, percepiscono e definiscono l'evento stesso. Per questo motivo la nozione di polifonia necessita di essere integrata con un'analisi del punto di vista e della focalizzazione.

3.1.3 Dalla voce al soggetto: Pirandello tra identità e prospettiva

Bachtin, permette di definire come la pluralità sia una effettiva struttura dialogica del significato. Tuttavia, questa pluralità non riguarda solamente il piano narrativo o discorsivo, ma apre le porte a una questione cruciale: se il significato emerge da una relazione tra voci e prospettive, allora bisogna interrogare anche la posizione da cui si guarda. Questo problema sulla prospettiva, viene interrogato nel Novecento sia da Pirandello, rispetto alla letteratura, sia dal Cubismo, mettendo in luce, anche se da ambiti diversi, la crisi della prospettiva unica.

Pirandello, evidenzia come il soggetto non coincide pienamente con sé stesso, ma definisce l'io come una struttura frammentata prodotta dallo sguardo degli altri, destinata a dissolversi nei centomila volti che gli altri gli attribuiscono. Stravolgendo l'idea dell'unità del soggetto che risulta come un'illusione retrospettiva, nel Cubismo, viene affrontato analogamente il problema della prospettiva però rispetto all'oggetto osservato. In questa corrente artistica l'oggetto viene scomposto e poi ricomposto attraverso diverse angolature e sfaccettature, rinunciando alla classica visione frontale e unitaria, promuovendo il concetto delle simultaneità dei punti di vista.

Questi due concetti, la crisi dell'unità del soggetto e la crisi dell'unità dell'oggetto, hanno in comune la rinuncia del punto di vista stabile e dominante e la creazione di un'unica immagine definitiva. Queste due intuizioni estetiche però non spiegano esaurientemente perché lo sguardo debba essere parziale e situato. Per questo il contributo di Maurice Merleau-Ponty (1908-1961) ci permette di trasformare queste correnti in una premessa teorica sulla struttura della percezione. Merleau-Ponty, tra i maggiori esponenti della fenomenologia, nella sua opera *Fenomenologia della percezione*, definisce come non esista uno sguardo neutro e disincarnato. L'osservatore, quindi, non è una mente che registra dall'esterno gli eventi, ma un corpo situato, immerso negli eventi, che li percepisce secondo una posizione determinata.

Merleau-Ponty effettua una profonda crisi al modello cartesiano, dove il soggetto è *res cogitans*. Nella logica cartesiana il corpo viene ridotto a una cosa tra le cose, un oggetto estraneo all'io che lo abita. La fenomenologia definita fa della percezione una forma di giudizio, come egli scrive:

"Il mondo non è ciò che io penso, ma ciò che io vivo"[31]

In altre parole, il mondo non è un oggetto che il soggetto contempla in modo distaccato, ma l'orizzonte inesauribile entro cui il soggetto è da sempre situato e non potrà mai possedere per intero.

La logica merleau-pontiana definisce quindi la percezione come un rapporto dinamico tra corpo e mondo, in cui ciò che appare è inseparabile dalla posizione di chi guarda.

La concezione di parzialità dovuta alla prospettiva non viene considerata come un difetto, ma la rappresentazione più vicina all'esperienza. Secondo Merleau-Ponty, non si può accedere agli eventi senza collocarsi rispetto ad essi, modificando il senso stesso di

prospettiva come la forma effettiva attraverso cui il mondo diventa accessibile.

Il fatto che lo sguardo sia situato, non lo separa dagli altri sguardi ma lo mette in rapporto con loro.

Merleau-Ponty inoltre critica la pretesa narrativa di una conoscenza unica e lineare, che tratta oggetti ed eventi in modo generale e non le restituisce la loro concretezza. In risposta a questo sguardo assoluto, egli oppone una visione non che osserva dall'alto ma, piuttosto, una vista che si trova in mezzo alle cose.

Da queste teorie il presente capitolo definisce il proprio metodo. I punti di vista dei soggetti scelti sono parziali e situati, e se secondo Merleau-Ponty il senso dell'evento nasce dall'incrocio di più sguardi, allora la giornata del 2 dicembre non può essere restituita solamente con una narrazione unica e lineare. Rispetto alla narrazione storica questo ci permette di andare contro alla teleologia della narrazione dominante definita nel primo capitolo.

La scelta di ricostruire il 2 dicembre 1942 attraverso una pluralità di prospettive di personaggio risponde dunque a un'esigenza teorica precisa, e non a un semplice gusto narrativo. Ciascuno degli attori presenti quel giorno occupa una posizione determinata, dispone di un proprio orizzonte di sapere e di ignoranza, vive l'evento secondo un'attesa e una temporalità che gli sono proprie. Nessuna di queste prospettive coincide con l'evento nella sua interezza; ognuna ne illumina un aspetto che le altre lasciano in ombra. Restituire questa pluralità non significa moltiplicare arbitrariamente i punti di vista, ma riconoscere che è proprio nel loro incrocio nelle convergenze, negli scarti, nelle reciproche cecità, che l'evento riacquista lo spessore e l'apertura che la narrazione teleologica gli aveva sottratto. In questo senso, la scala delle prospettive che qui si introduce si presenta come la naturale prosecuzione della stratificazione temporale del capitolo precedente: dove là si variava la scala del tempo, dagli anni alle ore, per rendere visibile la contingenza del processo, qui si varia la posizione dello sguardo, per rendere visibile la pluralità delle coscienze che quel processo hanno attraversato.

Resta tuttavia un ultimo passaggio da compiere. Finché ci si mantiene sul piano della percezione, la situatezza dello sguardo rimane un dato di fatto: la descrizione di come gli esseri incarnati vedono il mondo. Perché essa diventi una vera e propria teoria della conoscenza occorre tradurre la percezione situata in conoscenza situata. È qui che il riferimento a Donna Haraway diventa decisivo.

3.1.4 Dallo sguardo situato alla conoscenza situata

Merleau-Ponty definisce l'osservazione come esperienza situata, Donna Haraway fa un passaggio ulteriore e decisivo, passa dal concetto di situatezza percettiva alla situatezza epistemologica. Donna Haraway, a differenza di Merleau-Ponty che si concentra sul *vedere*, parla del *conoscere*, definendo la condizione della percezione, come un fondamento nella teoria della conoscenza.

La riflessione su questi temi si può trovare nel saggio *Situated Knowledges: The Science*

Question in Feminism and the Privilege of Partial Perspective, pubblicato nel 1988, in cui la storica della scienza e teorica femminista statunitense affronta un domanda cardine nello sviluppo teorico di questo capitolo:

Se ogni conoscenza nasce da una posizione determinata, come si può ancora parlare di oggettività classica?

L'idea di una conoscenza onnisciente e neutra, secondo Haraway, determina il totale cancellamento del punto di vista da cui viene invece prodotta la conoscenza. Questa metodologia viene definita da Harway come:

"Il trucco divino di poter vedere tutto da nessun luogo"[32]

In questa frase si va a determinare come, nella costruzione della conoscenza a posteriori si va a definire un osservatore ideale, incorporeo e antistorico, con la pretesa di poter osservare tutto al di sopra del mondo. In contrapposizione a questa metodologia classica, Donna Haraway, ricorda che l'osservatore è sempre immerso nel mondo che descrive, quindi la conoscenza prodotta rimane carica di tutti gli strumenti, linguaggi, interessi conoscitivi del soggetto insieme anche ai limiti dello stesso.

Le riflessioni di Donna Haraway sembrano portare ad un categorico rifiuto dell'oggettività, mentre l'obiettivo è proprio modificare e ridefinire il concetto stesso di oggettività, ponendo l'attenzione sul punto di vista in modo consapevole e responsabile.

Da questo viene definito il concetto di prospettiva parziale. Questa parzialità è una forza conoscitiva, visto che tiene conto dei limiti e permette un confronto con altre prospettive rendendo la conoscenza propria di quella prospettiva discutibile, verificabile e criticabile. Questo si contrappone alla narrazione totale dove si nascondono le condizioni da cui dipende la conoscenza e ne rende le condizioni di produzione intoccabili.

La prospettiva parziale, però, deve essere distinta dal relativismo conoscitivo, che pone le basi per un oggettivismo ingenuo, basato sul fatto che ogni prospettiva equivale ad ogni altra.

Secondo Haraway, non bisogna rinunciare all'oggettività ma esplicitare la posizione da cui si ricava la conoscenza, permettendo alla pluralità di prospettive di diventare una base di sapere rigoroso perché aperto al confronto e consapevole dei propri limiti.

Per questi motivi, i concetti espressi da Donna Haraway fungono da vertice del percorso teorico fin qui sviluppato.

Le diverse tappe affrontate hanno contribuito a spostare e radicalizzare la questione della prospettiva e dei punti di vista. La microstoria ha fornito le basi del cambiamento di scala; Bachtin aveva fatto emergere l'importanza della pluralità di voci, mettendo in risalto l'importanza della loro interazione; Pirandello estendeva al limite la frammentazione fino a portarla all'interno del soggetto stesso; il Cubismo aveva spostato l'attenzione dal soggetto all'oggetto, che viene scomposto e ricomposto secondo punti

di vista molteplici; ed infine Merleau-Ponty aveva fondato tutto ciò nella struttura incentrata e situata della percezione. Con Haraway, si definisce il passaggio conclusivo, definendo la prospettiva come una categoria epistemologica, e il concetto di conoscenza situata e fornendo lo strumento concettuale, in cui la prospettiva non è solamente un problema dello sguardo, ma un fondamento della teoria della conoscenza, per cui non si conosce nonostante il punto di vista, ma attraverso il riconoscimento critico della sua parzialità.

Ricostruire il 2 dicembre 1942 mediante una pluralità di prospettive, quindi non significa rinunciare a una conoscenza oggettiva ma cercare di ottenere una forma di oggettività più consapevole e responsabile rispetto a quella proposta dalla narrazione dominante. Assumere la parzialità di ogni prospettiva, esplicitando luogo, limiti e orizzonte di sapere o ignoranza e farle dialogare tra loro, permette di restituire all'evento la sua complessità senza però rinunciare al rigore.

Haraway consente dunque di pensare la prospettiva parziale non come limite da superare, ma come condizione di una conoscenza responsabile. Tuttavia, perché questa riflessione possa essere ricondotta più direttamente alla storia della scienza, occorre mostrare come anche l'oggettività scientifica abbia una propria storia, fatta di pratiche, strumenti e forme di disciplina dello sguardo. Non basta infatti affermare che ogni conoscenza è situata: bisogna anche comprendere come, storicamente, la scienza abbia costruito i propri criteri di oggettività attraverso protocolli, immagini, regole e dispositivi materiali. È in questo passaggio che il riferimento a Lorraine Daston e Peter Galison diventa necessario.

3.1.5 L'oggettività come pratica storica

La ridefinizione del concetto di oggettività necessita ora di essere ricondotta alla storia concreta delle pratiche scientifiche. Le affermazioni fatte finora sul sapere situato si collocano in un contesto epistemologico generale. Questo lavoro è collocato nel contesto della storia della scienza e quindi bisogna mostrare come l'oggettività possiede a sua volta una storia, fatta di pratiche, strumenti e modi di disciplinare lo sguardo.

In questo quadro si inserisce il lavoro di Lorraine Daston, storica della scienza, e di Peter Galison, storico e filosofo della scienza, e in particolare i concetti espressi nella loro opera comune *Objectivity*. Nell'opera i due scienziati conducono un'indagine che rovescia il presupposto che l'oggettività sia una virtù naturale e atemporale della scienza. Mostrano come l'oggettività stessa ha una storia, e per giunta sorprendentemente recente.

Essa non ha sempre definito la scienza, non coincide con la verità né con la certezza, ed è anzi più giovane di entrambe. Per ricostruire questa storia, Daston e Galison adottano un osservatorio privilegiato, gli atlanti scientifici: quelle raccolte di immagini attraverso cui ogni disciplina insegna ai propri membri che cosa guardare e come guardarlo. Negli atlanti, sostengono, non si formano soltanto immagini della natura, ma anche un certo

tipo di soggetto scientifico: un modo condiviso di vedere, appreso non come individui isolati, ma come membri di una comunità.

La storia che emerge da questo studio si articola in tre virtù epistemiche successive, definendo ciascuna una diversa configurazione dell'osservatore.

La prima si identifica come la verità rispetto alla natura: questa virtù si sviluppa nel Settecento in cui lo scienziato interviene sull'immagine allo scopo di rappresentare la forma essenziale e perfetta della specie.

La seconda è l'oggettività meccanica: sviluppata nell'Ottocento in cui lo scienziato deve trattenere la sua volontà interpretativa e lasciare che la natura si imprima da sé, non lasciando traccia di chi conosce.

La terza, infine, è il giudizio esperto: che emerge tra fine Ottocento e inizio Novecento, in cui ci si accorge che la registrazione meccanica, non è sufficiente per ottenere una conoscenza esaustiva, quindi le immagini devono essere selezionate, interpretate e ricondotte a schemi riconoscibili ad un occhio esperto. Il giudizio del soggetto, espulso dalla porta dell'oggettività meccanica, rientra così dalla finestra, ma in una forma nuova, disciplinata e professionale.

Queste virtù mettono in risalto come la scienza non vada ad eliminare il soggetto, ma lo configura. Quindi l'oggettività, in questa prospettiva, non è l'assenza di un punto di vista, ma il prodotto storico di pratiche attraverso cui si educa e rende condivisibile lo sguardo.

Grazie a questo percorso delineato da Galison e Daston si può trasportare il percorso teorico espresso fin ora nel contesto specifico della storia della scienza. Se Haraway aveva mostrato, sul piano epistemologico, che la prospettiva è condizione della conoscenza e non suo ostacolo, Daston e Galison mostrano, sul piano storico, come questa condizione venga concretamente disciplinata all'interno delle scienze. Lo sguardo scientifico non è mai semplicemente neutro: è educato, disciplinato, regolato da strumenti, protocolli, immagini e comunità epistemiche; e l'oggettività non nasce dalla cancellazione dello sguardo, ma dalla costruzione storica di pratiche capaci di renderlo controllabile.

Avendo definito, quindi, il modo in cui questo presente capitolo intende operare, si può determinare una ricostruzione del 2 dicembre 1942 attraverso le prospettive dei suoi protagonisti, che saranno situate e disciplinate. Le prospettive non saranno delle semplici testimonianze oggettive, ma dei modi di vedere e di sapere, ciascuno con la propria formazione e posizione rispetto all'evento. Per questa ragione l'analisi di ogni prospettiva seguirà una struttura costante, articolata in quattro momenti.

Inizialmente, verrà presentato il personaggio con caratteristiche e spunti biografici, per permettere una ricostruzione del profilo come osservatore, e permettere di collocarlo in un determinato rapporto con il sapere e la pratica sperimentale. In secondo luogo, verrà esplicitata la sua posizione rispetto all'evento, che determinerà ciò che dalla sua prospettiva può o non può essere visto e analizzato. Successivamente, si svilupperà una

ricostruzione storica della giornata, rispetto a come il soggetto l'ha raccontata, ricordata o documentata nelle testimonianze. L'ultimo passaggio sarà proprio un'analisi della sua prospettiva, per mettere in luce quale immagine dell'evento il soggetto produce e come si mette in relazione alle altre prospettive.

La struttura ci permette di trasformare le premesse astratte come la scala ridotta della microstoria, la pluralità delle voci di Bachtin, la frantumazione del soggetto e dell'oggetto, lo sguardo incarnato di Merleau-Ponty, la conoscenza situata di Haraway e l'oggettività come pratica storica di Daston e Galison, in veri e propri strumenti con cui interrogare la giornata del 2 dicembre 1942.

3.2 Enrico Fermi: la prospettiva della criticità

La prima prospettiva attraverso cui si intende ricostruire la giornata del 2 dicembre 1942 è quella di Enrico Fermi (1901-1954). Questa scelta non vuole elevare lo scienziato a unico eroe, ma piuttosto analizzare l'evento dal punto di vista più sobrio e rigoroso, quello di una verifica controllata. Nella prospettiva di Fermi, la reazione a catena autosostenuta controllata non rappresentava né una svolta politica né l'inizio simbolico dell'era nucleare, ma il passaggio, esperimento dopo esperimento, da un sistema sub-critico a un sistema critico. La ricerca di Fermi durante la giornata corrisponde allo sguardo del fisico che attende una conferma, il momento in cui previsioni teoriche, misure, materiali e procedure sperimentali ottengono il risultato della criticità.

Il profilo di Enrico Fermi rispetto all'evento si sviluppa principalmente rispetto a tre elementi che lo caratterizzano sia come scienziato, sia come persona. Il primo è la capacità di tenere insieme fisica teorica e sperimentale, permettendo uno sguardo rispetto alla Chicago Pile-1 costantemente nel punto in cui calcolo e misura si controllano a vicenda. Il secondo è sicuramente il suo lungo rapporto con il comportamento dei neutroni, che inizia nel periodo romano in via Panisperna e culmina con il Premio Nobel nel 1938, conferitogli per la dimostrazione dell'esistenza di nuovi elementi radioattivi prodotti dall'irraggiamento neutronico e per la scoperta delle reazioni nucleari provocate dai neutroni lenti. Il terzo è il riconoscimento, dopo la scoperta della fissione, della possibilità che ogni nucleo fissionato emettesse neutroni secondari capaci di innescare una reazione a catena: è da questa intuizione che prende avvio la serie di esperimenti, diretti da Fermi, destinati a culminare nella pila e nella prima reazione nucleare controllata. Ciò che egli porta con sé nel campo da squash di Chicago è, in sintesi, una competenza precisa: trasformare il problema della reazione a catena in un problema misurabile, calcolabile e, soprattutto, controllabile.

Il posizionamento di Fermi durante la giornata risulta coerente con questo profilo, infatti lui non è presente semplicemente in quanto responsabile dell'esperimento, ma è il punto in cui convergono diverse operazioni. Durante la giornata si trova in piedi nel balcone, che domina il campo da squash, si trova accanto agli strumenti e gestisce i calcoli sul comportamento della pila, la lettura dei contatori neutronici e gli ordini impartiti

agli operatori. La sua posizione è di coordinazione delle sequenze, fatta di controllo progressivo e micro-decisioni successive. Non è un caso che l'intero dispositivo fosse stato concepito come reversibile e sorvegliato. La criticità che Fermi si appresta a raggiungere non è un salto nel buio, ma una soglia che intende attraversare conservando, in ogni istante, la possibilità di tornare indietro.

Visto da questa prospettiva, la giornata assume l'andamento di una procedura più che di un evento. La mattina verso le 8:30 il gruppo inizia a raccogliersi nel campo da squash, e alle 9:45 circa, lo stesso Fermi, da il primo ordine operativo. Il ritmo è lento, monotono, scandito dall'alternarsi dell'estrazione delle barre al cadmio e poi i successivi calcoli e letture degli strumenti. Fermi è il coordinatore operativo e fu lui a fermare l'esperimento verso 11:35, per andare a fare pranzo con il gruppo. Questa scelta viene determinata in primo luogo dal fatto che Fermi per tutta la sua vita seguiva una routine, e quell'esperimento non veniva visto dalla sua prospettiva come qualcosa che avrebbe dovuto interromperla. In secondo luogo perché il livello di sicurezza impostato risultava troppo basso e questo ha comportato un reinserimento delle barre al cadmio. Alcune fonti dicono che dopo questa interruzione tecnica di sicurezza, lo stesso Fermi esclamò che fosse un buon momento per andare a pranzo, per poi riprendere nel primo pomeriggio. Anche qui vediamo come Fermi riesce a mantenere una visione critica nei confronti dell'esperimento, e trasforma l'interruzione tecnica in una pausa controllata, evitando di forzare immediatamente la ripresa. Questo ci mostra come il suo modo di governare sia sempre incentrato sul controllo delle sequenza e non di accelerazione verso il risultato, ma anche la sua attenzione all'ordine operativo e al gruppo.

Dopo pranzo, l'avvicinamento alla criticità riprende e alle 15:25 (anche se in questo orario ci sono delle incongruenze nelle fonti) viene dato l'ultimo ritiro definitivo delle barre al cadmio, trasformando la sequenza dei contatori che, fino a quel momento, avevano sempre avuto una tendenza a stabilizzarsi, mentre adesso c'è un aumento progressivo che va ad indicare una moltiplicazione neutronica tendente verso la criticità. Questo istante rappresenta il punto cruciale della prospettiva di Fermi: il segno decisivo, in cui, con il suo regolo calcolatore, non si abbandona all'emozione, né lascia che l'accelerazione dei conteggi sia una prova sufficiente per la riuscita dell'esperimento. Estrae il suo regolo, completa alcuni calcoli e verifica che l'andamento coincide con le previsioni teoriche, e solo dopo questo annuncia che la reazione è autosostenuta.

Questo dettaglio marginale, racchiude la struttura profonda del modo in cui Fermi guarda l'evento: la reazione a catena non è riconosciuta perché appare evidente ai sensi, ma perché viene calcolata, misurata e resa leggibile attraverso una procedura. L'evento, per lui, si realizza soltanto nel punto in cui misura e previsione convergono. E che si tratti di una soglia da governare e non di una forza da scatenare lo dimostra l'atto conclusivo: dopo ventotto minuti, alle 15:53, Fermi ordina di reinserire la barra di emergenza e la reazione si arresta, avendo raggiunto un fattore di riproduzione k pari a 1,0006, di

pochissimo superiore all'unità. La prima reazione a catena della storia è anche, immediatamente, la prima a essere spenta a comando.

Questa prospettiva rende visibili aspetti dell'evento che in alcune ricostruzioni teleologiche si vanno a perdere. In primis si restituisce all'esperimento la sua struttura come processo e non come istante, ridefinendo la criticità come il risultato di una progressione di estrazioni, letture, calcoli, pause, sicurezza e nuove estrazioni fino all'arresto finale. Inoltre, evidenzia come il sapere scientifico non si manifesta unicamente nello sviluppo di teorie, ma come un intreccio di formule, strumenti, ordini e decisioni. In terzo luogo, in questo punto di vista si pone al centro la misura: non è la pila che ci permette di capire che si è raggiunta la criticità, ma gli strumenti e i contatori a rendere leggibile il processo fisico. Infine, la prospettiva di Fermi tiene in sospeso il significato futuro dell'evento: nel momento in cui l'esperimento si compie, il suo senso principale è la riuscita controllata di una reazione a catena e non i risvolti etici e politici dell'evento. La prospettiva situata, come abbiamo già detto, evidenzia alcuni aspetti ma ne oscura necessariamente altri. Lo sguardo di Fermi è concentrato sulla soglia fisica e sulla sua controllabilità, lasciando in ombra la dimensione istituzionale dell'impresa, il lavoro e il gesto operativo. Fermi, quindi restituisce il 2 dicembre 1942 come una pratica di controllo della criticità: un evento che non si manifesta nella forma del gesto eroico o della rivelazione improvvisa, ma nella lenta convergenza tra previsione teorica, misura strumentale e decisione operativa. Proprio per questo essa è una prospettiva centrale, ma non autosufficiente: illumina la soglia fisica dell'esperimento, lasciando ad altre prospettive il compito di rendere visibili la costruzione materiale, la mediazione strumentale, la responsabilità istituzionale e le implicazioni storiche dell'evento.

3.3 Leó Szilárd: la prospettiva del dubbio

La prossima prospettiva, introduce alla giornata del 2 dicembre 1942 uno sguardo radicalmente opposto. Se Fermi osserva l'esperimento dal punto di vista della soglia fisica, Leó Szilárd (1898-1964) lo osserva dal punto di vista della soglia storica. Poiché, nel momento in cui la reazione diventa possibile, si aprono le porte a nuove forme di energia, potere e distruzione, e Szilárd sembra esserne sin da subito cosciente. La sua, infatti, è la prospettiva di chi legge le conseguenze dell'evento. Secondo Szilárd l'esperimento segna una trasformazione storica irreversibile, diventando l'istante in cui un'ipotesi a lungo coltivata cessa di appartenere al regno del pensabile per entrare in quello dei fatti, con tutto ciò che questo comporta.

Questa prospettiva non emerge solamente a fronte della criticità della pila. Szilárd era un uomo che viveva in anticipo sugli eventi, un esempio è la sua intuizione del settembre 1933, in cui per contraddire lo scetticismo di Rutheford nella possibilità di ottenere energia dall'atomo, trasformò nella sua mente, l'immagine di un neutrone capace, una volta assorbito da un nucleo, di liberarne altri ed alimentare un processo che si sostiene

in autonomia. Ma già in quell'intuizione, che aveva preceduto l'idea della pila di quasi 10 anni, si può notare come la sua attitudine fosse sempre incentrata sulle conseguenze, infatti cedette il brevetto all'Ammiragliato Britannico proprio per far sì che questa rimanesse segreta. Questa attitudine lo accompagnerà per tutto il corso della sua vita, e soprattutto nel 1939 alla collaborazione con Enrico Fermi, arrivando a firmare il brevetto per il primo reattore, pur essendo per indole agli antipodi: tanto Fermi era misurato ed empirico, restio a spingersi oltre ciò che la misura consentiva di affermare, quanto Szilárd era impaziente e visionario, portato a guardare al di là del dato, verso le sue implicazioni più remote. La visione di Szilárd creava in quel periodo in lui il timore che la Germania riuscisse nella costruzione della bomba prima dell'America, e fu proprio per questo che nell'estate del 1939 convinse Einstein a firmare la lettera che avvertiva Roosevelt del pericolo atomico tedesco. Quando dunque varca la soglia del campo da squash di Chicago, Szilárd non è un semplice spettatore: è l'uomo che per primo aveva immaginato la reazione a catena come possibilità fisica, e che prima di molti altri ne aveva intuito la traduzione militare e politica.

Szilárd, infatti non dirige l'esperimento, non analizza i dati, la sua è una posizione critica di osservatore, collocandosi nel punto di intersezione tra quattro dimensioni coesistenti: l'ideazione teorica, la costruzione sperimentale, la consapevolezza delle conseguenze, e la riflessione sulle responsabilità degli scienziati. Presente sul balcone tra i fisici che avevano contribuito alla pila, Szilárd osserva, ma il suo osservare non è quello dell'operatore: è quello del soggetto che riconosce nell'esperimento il momento in cui la reazione a catena passa da ipotesi a fatto tecnico. Inoltre, secondo alcune ricostruzioni, lo scienziato rimarrà nella balconata quando ormai molti se ne sono andati, evidenziando come il suo sguardo non fosse semplicemente rivolto all'esperimento ma a ciò che ne sarebbe derivato.

In questo indugio si trova il dettaglio rivelatore della prospettiva di Szilárd. La stretta di mano tra lui e Fermi, segna il momento critico, in cui lo scienziato dirà a Fermi che quel giorno sarebbe passato alla storia come un giorno buio nella storia dell'umanità. Questa non è semplicemente una citazione ad effetto, ma una scena in cui si condensa tutta la prospettiva szilárdiana, caricando l'episodio di una forte ambiguità, rendendolo contemporaneamente un momento di riconoscimento di successo e presagio di sciagura. In esso convergono la congratulazione scientifica per un esperimento riuscito, la consapevolezza tragica delle sue implicazioni, il riconoscimento dell'ambivalenza di ciò che si è appena dimostrato e il passaggio immediato dall'esperimento alla storia. Se per Fermi il momento decisivo è riconosciuto attraverso il calcolo, per Szilárd esso viene istantaneamente tradotto in responsabilità storica.

Questo punto di osservazione, si differenzia totalmente da quello di Fermi, rendendo evidenti dettagli che la prospettiva di Fermi lascia inevitabilmente in ombra. La prospettiva di Szilárd, ci mostra la doppia natura dell'esperimento, sia fisica che storica. Infatti, una volta dimostrata la possibilità di una reazione a catena, le conseguenze sci-

entifiche, politiche, militari entrano in una successione difficile da arrestare. Occorre tuttavia maneggiare con cautela questo parallelismo: nella prospettiva di Szilárd il successo dell'esperimento non rende nulla di inevitabile, ma apre un campo di possibilità nuove e inquietanti, nel quale la reazione a catena non può più essere pensata indipendentemente dalla guerra, dalla bomba e dalla responsabilità di chi quel sapere ha contribuito a produrre. In secondo luogo, questa prospettiva porta in primo piano l'ambivalenza costitutiva della scoperta scientifica: la pila di Chicago può significare al tempo stesso energia e arma, reattore e ordigno, impiego civile e impiego militare della scienza, e Szilárd coglie questa duplicità con maggiore lucidità di molti altri. In terzo luogo, essa rivela il nodo tra scienza e responsabilità, mostrando che lo scienziato non è soltanto produttore di conoscenza, ma anche soggetto chiamato a interrogarsi sulle conseguenze di ciò che contribuisce a generare: la prospettiva, in questo senso, è situata non solo perché poggia su competenze, ma perché è attraversata da una responsabilità, secondo quella dimensione etica del conoscere che risulta inseparabile dalla pratica scientifica.

Infine, emerge anche un altro aspetto che riguarda la temporalità dell'evento. Se la prospettiva di Fermi, immergeva il lettore nei minuti dell'esperimento, questa prospettiva, dilata il tempo e ci permette anche di proiettarci in avanti, verso le conseguenze delle azioni compiute in quel giorno. Il richiamo a questi sviluppi successivi non serve a raccontare ciò che Szilárd fece dopo, né a retrodatare nel 1942 la consapevolezza degli eventi del 1945, ma a mostrare che la sua prospettiva della conseguenza non è una costruzione retrospettiva: è coerente con un percorso che precede e segue la giornata di Chicago. In questo senso, lo sguardo di Szilárd non perde l'evento, ma lo piega verso un orizzonte temporale più lungo, restituendo alla giornata quella profondità storica che la sola scala dei minuti non potrebbe cogliere.

La prospettiva di Szilárd è profondissima, ma non esaustiva: illumina l'ambivalenza e l'orizzonte storico dell'evento, non la materialità minuta della pratica sperimentale. Per questo essa non sostituisce quella di Fermi come "vero" significato del 2 dicembre, ma vi si affianca come una sua necessaria controparte: là dove Fermi vede una soglia da controllare, Szilárd vede una soglia da cui qualcosa, irreversibilmente, comincia. La prospettiva di Szilárd restituisce dunque il 2 dicembre 1942 come una soglia di conseguenza. Se Fermi rende visibile la criticità come condizione fisica controllata, Szilárd mostra che quella stessa criticità apre immediatamente un orizzonte storico più ampio, nel quale il successo sperimentale non può essere separato dalle sue possibili traduzioni militari, politiche ed etiche. Proprio per questo la sua prospettiva è indispensabile, ma non autosufficiente: essa illumina l'ambivalenza dell'evento, lasciando ad altre prospettive il compito di ricostruirne la materialità sperimentale, la misura strumentale e l'organizzazione istituzionale.

3.4 Arthur Compton: la prospettiva della mediazione

Tra i presenti, nella giornata del 2 dicembre 1942, c'è un personaggio che ha una prospettiva, che possiamo definire di confine: per metà scienziato e per metà responsabile di un'istituzione, che mette in continuo dialogo il linguaggio bellico e istituzionale con quello scientifico e della fisica. Quel personaggio è Arthur Compton (1892-1962) che osserva l'evento non come un semplice apparato fisico né come l'apertura di un orizzonte di possibilità, ma piuttosto come una responsabilità che lui stesso deve assumersi all'interno di una precisa struttura.

Per cogliere a pieno questa posizione occorre tener presente chi fosse Arthur Compton e soprattutto chi fosse diventato. Ottenne il Nobel nel 1927, ottenuto per l'effetto che porta il suo nome, ovvero, la diffusione dei raggi X da parte degli elettroni, fornendo una delle prove decisive della natura corpuscolare della radiazione. Da questo riconoscimento ottenne un'autorità scientifica indiscussa, che però lo portò con lo scoppio della guerra a diventare non solamente uno scienziato ma un organizzatore scientifico. Nel 1941 venne nominato presidente della National Academy of Sciences Committee to Evaluate Use of Atomic Energy in War, e fu incaricato di valutare le possibili applicazioni belliche dell'energia atomica. Poco dopo, assumerà la direzione del Metallurgical Laboratory di Chicago, la struttura scientifica che verrà incaricata della costruzione della pila. Per questi motivi, quando Arthur Compton, arriva allo Stagg Field, la mattina del 2 dicembre 1942, il suo punto di vista non è rivolto agli strumenti o alle conseguenze, ma è uno sguardo di chi deve rendere possibile l'esperimento, secondo i termini più politici e burocratici. Seppur in veste di coordinatore del progetto, la sua competenza da fisico non è scomparsa completamente, ma si è trasformata rendendo il suo sguardo una sorta di ibrido tra laboratorio e potere.

Questa sua duplice veste si manifesta molte volte durante il 1942. Un esempio emblematico si riferisce al luogo preposto per l'esperimento, infatti la pila, sarebbe dovuta sorgere fuori dalla città, nell'Argonne Forest, ma ritardi nei lavori e l'urgenza imposta dal contesto bellico, resero il luogo preposto inagibile nei tempi richiesti. Fermi, propose di costruirla sotto le tribune dello Stagg Field, in una zona molto popolata. Compton si trovava nella posizione peggiore, perché essendo il coordinatore doveva valutare i rischi e prendere una decisione in tempi brevi. Accettare significava costruire una pila atomica priva di schermatura in mezzo alla città di Chicago, mentre rifiutare significava allungare notevolmente i tempi e non rispettare le tempistiche imposte. La sua prospettiva duale emerge nella sua decisione: dalla parte scientifica, si fida dei calcoli di Fermi, ma dalla sua parte politica, sa che non si può azzerare il rischio di una perdita di controllo, e la scelta ricade unicamente su di lui. Non a caso gli storici ufficiali della Atomic Energy Commission avrebbero più tardi parlato di una vera e propria scommessa, di un esperimento "potenzialmente catastrofico"[23] condotto nel mezzo di una grande città. La sua, in quel frangente, non è la prudenza del burocrate né l'azzardo dell'incosciente: è la decisione di chi deve trasformare una possibilità scientifica in un'azione istituzional-

mente sostenibile, assumendo un rischio che non si può annullare, ma solo soppesare, sorvegliare e giustificare.

Durante la giornata, Compton è presente semplicemente come osservatore. Si trova sul balcone, la sua è la posizione di un controllore di un progetto di cui è garante. Infatti, Fermi si rivolgerà a lui, in quanto coordinatore, nel momento in cui la reazione sta per autosostenersi. In quel breve scambio, ciò che per Fermi è la lettura di un sistema fisico, diventa, per Compton, la conferma che il rischio calcolato da lui autorizzato si sta risolvendo nel modo previsto: è il punto in cui la responsabilità scientifica e quella istituzionale, per un istante, coincidono.

Ma il gesto che meglio rappresenta la prospettiva di Compton non avviene durante il raggiungimento delle criticità, bensì leggermente più tardi al telefono, dopo che l'esperimento era stato concluso. Questa telefonata tra Arthur Compton e James Conant, presidente di Harvard e a capo della National Defense Research Committee, non è una chiamata casuale, bensì una chiamata che trasferisce il raggiungimento dell'obiettivo dallo Stagg Field alle strutture istituzionali del Progetto Manhattan. La chiamata è breve e concisa ma allo stesso tempo densa e criptica. Infatti non era stato predisposto nessun codice segreto per scambiarsi informazioni, ma Compton cosciente della portata del messaggio ne improvvisa uno sul momento, facendo riferimento al viaggio di Cristoforo Colombo. La frase scambiata fu:

"The Italian navigator has just landed in the new world"[33]

In questa frase, il navigatore italiano sarebbe Enrico Fermi e il nuovo mondo, la reazione a catena appena dimostrata. Successivamente la risposta di Conant fu se i nativi fossero amichevoli, facendo intuire di aver colto l'allusione e indagando su come fosse andato l'esperimento. Infine Compton risponde che tutti sono atterrati sicuri e felici, intendendo che fosse andato tutto secondo le previsioni.

Questo scambio è l'attimo rivelatore della prospettiva comptoniana sul piano intrinseco perché sposta l'evento da un contesto locale, ovvero il campo da squash, ad un contesto nazionale e trasmissibile. Inoltre, la scelta di crittografare il messaggio fa capire la natura politica del pensiero di Compton, che immediatamente comprende la grandezza dell'esperimento, ma rimane ancorato al suo ruolo istituzionale e comprende che essendo un risultato scientifico sottoposto alla logica della guerra, deve mantenere il segreto di Stato. Ma è soprattutto la forma del codice a tradire il suo punto di vista. Affidando l'evento alla metafora colombiana, Compton gli conferisce all'istante una forma narrativa, quella della scoperta e della conquista di un nuovo mondo, caricandolo, ancor prima che le sue conseguenze siano note, di un significato di fondazione e di possesso: in quel gesto improvvisato egli compie, senza saperlo, proprio quel lavoro di costruzione narrativa del senso che si è visto operare all'inizio di questa ricerca. Inoltre nella risposta finale emerge il suo ruolo di responsabile, ponendo l'attenzione sul fatto che non ci siano stati incidenti e non si sia mai perso il controllo.

In questo messaggio convivono le due prospettive che incarna Compton, la soddisfazione dello scienziato e l'attenzione dell'amministratore. Politicamente, infine, la telefonata è il cordone che lega la squash court alla macchina bellica: nell'istante in cui Conant riceve la notizia, l'esperimento cessa di appartenere ai suoi autori ed entra nel circuito delle decisioni statali e militari, diventando uno degli anelli iniziali del processo che, attraverso il Manhattan Project, condurrà alle scelte degli anni successivi.

La posizione di Compton permette di guardare il 2 dicembre come un evento inserito in un contesto istituzionale e generato dal contesto bellico, in più permette di osservare la pila, da un punto diverso da quello di Fermi o Szilárd, evidenziando gli aspetti burocratici e politici che circondano il progetto. D'altra parte però nasconde completamente l'esperienza materiale, rimanendo un osservatore e controllore esterno, carico di responsabilità.

3.5 Leona Woods: la prospettiva della strumentazione

L'evento che si vuole analizzare attraverso le prospettive non è qualcosa che fisicamente si può osservare. Infatti nessuno può vedere un neutrone o cogliere ad occhio nudo la moltiplicazione neutronica, tutto quello che accade nella pila risulta invisibile per i sensi umani. La prospettiva di Leona Woods si colloca proprio nel punto cruciale che le altre prospettive lasciavano implicita: come si riesce ad analizzare un fenomeno invisibile all'occhio umano e come questo può diventare percepibile?

La risposta risiede proprio nella pratica sperimentale: l'evento non si vede ma si misura, viene tradotto in segnale, reso leggibile e analizzabile attraverso apparati.

La prospettiva che Leona Woods ha rispetto all'evento è frutto della competenza tecnica ottenuta durante la sua vita. Nel 1942, all'età di 23 anni, faceva parte del gruppo di spettroscopia molecolare guidato da Robert Mulliken. Durante la sua ricerca di dottorato maturò una grande padronanza della tecnologia del vuoto e Herbert Anderson accortosi della sua abilità la reclutò nel gruppo di Fermi per la costruzione di rivelatori. Nel progetto del Chicago Pile-1, il suo contributo maggiore, che incarna anche la sua prospettiva, fu il contatore di neutroni a trifluoruro di boro. Il contatore era essenzialmente un tubo di vetro riempito di gas e tenuto a vuoto spinto, i neutroni catturati dal boro producevano impulsi elettrici proporzionali alla loro intensità, permettendo di cogliere in modo accurato il numero di neutroni, trasformando qualcosa di invisibile in qualcosa di apprezzabile e misurabile. Questi contatori inseriti dentro e attorno alla pila, creavano un ponte tra gli scienziati e l'evento fisico. Infatti, durante l'avvicinamento alla criticità, cambiava il regime del segnale, aumentando il rateo dei conteggi rendendo percepibile l'avvicinarsi alla soglia critica. Gli stessi valori che oggi definiscono quella giornata, il fattore di moltiplicazione k pari a 1,0006, la potenza di mezzo watt raggiunta dalla pila, non sono cose viste da qualcuno: sono esiti di misura, numeri che esistono soltanto in capo a un apparato capace di produrli.

Proprio in questi strumenti si trova il dettaglio rivelatore della prospettiva di Woods,

che corrisponde alla visibilità strumentale, la traduzione di un comportamento fisico in una forma comunicabile. Durante la giornata si trovava nel balcone vicino a Fermi, con il preciso compito di leggere i dati del proprio contatore e annunciare a voce alta i conteggi. Durante il raggiungimento della criticità, era la sua voce a scandire il tempo in parallelo all'aumentare del numero dei neutroni. Quindi non solo il suo strumento da voce alla pila, ma lei stessa sarà la voce dell'esperimento durante il 2 dicembre 1942.

Il raggiungimento del punto critico, dalla sua prospettiva quindi fu un segnale crescente, fatto di scatti del rivelatore sempre più fitti, fino a diventare un unico rombo continuo, il ronzio della corrente. Quel numero che non smise di salire, se non quando vennero reinserite le barre, fu a tutti gli effetti la posizione situata della prospettiva di Woods, che la rese probabilmente il personaggio che ottenne l'accesso più immediato al fenomeno, perché in sintonia con l'apparato e con gli strumenti di misura.

Questa prospettiva ci permette di evidenziare l'importanza della competenza strumentale e interpretativa senza la quale nessuna evidenza sperimentale sarebbe stata prodotta. In questo punto si può apprezzare come il sapere scientifico sia legato alla costruzione degli strumenti e alla produzione della misura, che nella narrazione classica viene data per scontata o relegata ai margini del racconto, pur essendone la condizione stessa di possibilità. Quindi la prospettiva della misura non esaurisce l'evento, ma ne mostra la condizione: ciò attraverso cui esso può essere riconosciuto come evento scientifico.

3.6 George Weil: la prospettiva dell'operatività

George Weil è il personaggio da cui si prende la prossima prospettiva per via del suo ruolo durante il 2 dicembre 1942, ovvero colui che era addetto all'estrazione dell'ultima barra di controllo al cadmio per permettere la criticità della pila. Questa posizione risulta rilevante perché nelle narrazioni dominanti spesso si tende a ridurre il tutto ad un semplice gesto. Ma partendo da questo gesto e dalla persona che lo compie, possiamo aprire una prospettiva sull'operatività sperimentale che nessuna delle altre prospettive ci permette di ottenere, ovvero l'avvicinamento alla criticità visto da un punto fisico e materiale. La sua prospettiva corrisponde a quella di uno scienziato che conosce e comprende il senso fisico e storico dell'esperimento ma nel momento il suo ruolo viene definito da un'azione concreta, è la prospettiva del punto in cui il comando diventa gesto, e il controllo teorico si fa azione sperimentale.

Nato a New York nel 1907, Weil ottiene la sua formazione ad Harvard e poi alla Columbia University, dove proprio nel 1942 consegue il dottorato con una tesi sugli spettri di raggi beta di alcuni elementi, e proprio qui incontra Enrico Fermi e entra a far parte del suo gruppo di ricerca. Il 2 dicembre a differenza di Fermi o Szilárd, non si trova sulla balconata, ma sul pavimento del campo da squash con una mano pronta sulla barra, in attesa dell'ordine di estrazione.

L'evento, visto dalla sua prospettiva permette di cogliere una divisione verticale. In

alto, sulla balconata, erano presenti gli scienziati e gli strumenti che permettevano una lettura della criticità, mentre in basso, sul pavimento, erano presenti Weil, Norman Hilberry, addetto a tagliare con un'ascia la corda che teneva l'asta di emergenza, e una squadra addetta a riversare sulla pila una soluzione al cadmio in caso di problemi. L'aspetto fondamentale è che la criticità non nasce in nessuno di questi due piani separatamente, ma nella loro unione, esattamente come l'unione tra teoria e esperienza materiale.

Il dettaglio cruciale per comprendere la prospettiva di Weil viene dal senso di privazione che provoca questa divisione netta tra i due piani. Infatti, lo scienziato accanto alla pila non può vedere gli strumenti e di conseguenza non può capire quando dovrà estrarre la barra. La sua unica fonte di informazione in quel preciso momento è Fermi. Lo stesso Weil ricordò di aver tenuto gli occhi fissi su di lui per ogni istante, aspettando un gesto o un ordine. Ricorda inoltre come Fermi fosse completamente concentrato sugli strumenti e manteneva un'espressione seria e impenetrabile, fino al momento in cui, su quel viso, comparve un sorriso. Questa immagine rivela moltissimo, perché l'uomo che compie il gesto operativo per ottenere la criticità è anche, molto probabilmente, l'unico che, anche avendo la conoscenza necessaria per comprenderlo, non può leggere il fenomeno che sta provocando. Questa prospettiva è cieca rispetto ai dati e rivolta completamente al versante operativo, una dimensione completamente opposta a quella di Fermi, che invece osserva e analizza gli strumenti ma non tocca fisicamente la barra. È proprio tra questi due sguardi agli antipodi che si trova l'evento.

La procedura che viene rappresentata nella prospettiva di Weil assume un ruolo fondamentale per contrastare la classica narrazione in cui viene rappresentato il gesto di estrarre la pila come un atto unico. Infatti, dal suo punto di vista emerge tutta la gradualità e la proceduralità dell'azione. Durante la mattina, per ore, Weil ritirò lentamente, ogni volta di più, la barra, sotto il controllo attento di Fermi. Quando l'esperimento si fermò per pranzo, reinserì completamente la barra al cadmio. Soltanto nel pomeriggio, dopo aver estratto di nuovo con cura e lentamente la barra, Fermi successivamente ad un attento calcolo, poté annunciare che la reazione si sosteneva da sola. In questa sequenza la coppia Fermi-Weil rivela tutta la sua particolarità: Fermi non tocca mai la barra, Weil non decide mai autonomamente quando ritirarla. L'uno comanda perché legge la situazione, l'altro esegue perché è il punto operativo sull'apparato, e la criticità emerge precisamente nel passaggio tra l'interpretazione e l'azione, non come opera di un singolo, ma come effetto della loro coordinazione.

Anche questa prospettiva, naturalmente, resta parziale: mostra la materialità del controllo, ma non esaurisce il significato morale, istituzionale o umano della giornata, che ad altre prospettive spetta illuminare. Fermi interpreta, Leona Woods registra, Szilárd problematizza, Compton comunica; Weil rende visibile il momento in cui il comando diventa gesto.

Vi è infine un dato che conviene richiamare con cautela, senza piegarlo a una lettura teleologica. L'uomo che il 2 dicembre 1942 avviò con la propria mano la prima reazione a catena divenne, nel dopoguerra, un critico dell'energia nucleare: dopo aver lavorato a Los Alamos e per la Atomic Energy Commission, lasciò l'establishment atomico e nel 1971 pubblicò un libro, *Nuclear Energy: Promises, Promises*, che ne denunciava i rischi e le promesse mancate, al punto che fu definito, con formula efficace, un uomo passato da attivatore ad attivista. Non si deve credere che già nel 1942 Weil prevedesse tutto questo, ma la sua traiettoria mostra come quel gesto operativo, in sé sobrio e tecnico, sia stato poi riletto alla luce dei problemi del controllo nucleare, come se la mano che aveva avviato la reazione avesse poi voluto, a suo modo, contribuire a frenarla.

3.7 Ted Petry: la prospettiva dell'inconsapevolezza

Le prospettive analizzate finora sono sempre di personaggi che in qualche modo possedevano delle chiavi interpretative precise dell'evento. Ted Petry, invece, si trova nella posizione opposta: la sua prospettiva è quella di una persona presente durante l'evento ma quasi completamente estranea al significato. Il suo punto di vista è marginale nella storia della Chicago Pile-1, ma questa marginalità lo rende ancora più prezioso e carico di dettagli nascosti alle altre prospettive.

Prima di analizzare la prospettiva, bisogna però far luce su alcuni aspetti: quando si parla di inconsapevolezza o "estraneo al significato" non si intende un'ignoranza totale. Petry era a conoscenza di essere stato reclutato per un progetto segreto finanziato dal governo, il significato che non coglie è la portata storica e scientifica dell'evento che stava contribuendo a costruire.

Theodore Frank Petry Jr., per tutti semplicemente Ted, non si trovò nella costruzione nella pila per vocazione politica o scientifica ma per necessità e anche per caso probabilmente. Ted era un ragazzino del South Side di Chicago e fu reclutato nel progetto appena uscito dalla scuola superiore all'età di 17 anni, per una paga di circa 94 dollari al mese. La scuola superiore che aveva frequentato, la Tilden Technical High School, fu un luogo in cui alcuni reclutatori cercavano personale per aiutare al progetto e fu così che ottenne il lavoro al Metallurgical Laboratory come, dalle sue parole, tuttofare. Molti giovani erano stati assunti come fattorini o aiuto per laboratorio, per diventare il meccanismo manovale per far proseguire il progetto. La sua sintesi, formulata molti decenni più tardi, restituisce bene questa condizione di inconsapevolezza: "At those times, jobs were jobs", aggiungendo che nessuno aveva detto loro che stavano costruendo una pila atomica.[34] È la frase di chi entra nella storia dalla porta di servizio, senza accorgersene.

La prospettiva di Petry dunque ci permette di guardare la giornata rispetto alla dimensione materiale e manuale dell'evento. Il suo compito riguardava la carpenteria, la piallatura, la foratura e l'impilamento degli strati di mattoni di grafite. Quindi dal suo punto di vista la pila non era un concetto scientifico da risolvere e dimostrare ma un

oggetto fisico da erigere. Il reattore, per Ted, è stato vissuto con il corpo, e per questo la sua esperienza ci permette di analizzare il rischio materiale di chi non era al corrente della portata dell'evento. Nei suoi racconti si nota come fosse veramente all'oscuro di tutto e non ci fossero dei veri e propri protocolli di sicurezza in alcune situazioni, a differenza della pila che invece aveva tutte le misure di sicurezza necessarie. Infatti lui stesso racconta come spesso andava a ritirare l'uranio o del materiale radioattivo e per trasportarlo lo metteva semplicemente in tasca.

La giornata del 2 dicembre, vista da qui, è anzitutto una giornata diversa dalle altre, di cui non si afferra la ragione. Petry ricordò di aver notato un insolito raduno di scienziati e personalità sulla balconata e di essersi chiesto che cosa stesse accadendo, mentre Fermi conduceva l'esperimento accanto alla pila. Fu una delle quarantanove persone presenti sul campo da squash sotto le tribune dello Stagg Field, e al successo seguì il sobrio brindisi: Fermi fece portare una bottiglia di Chianti rivestita di paglia, e molti dei presenti, Petry compreso, firmarono quella fascetta. La sua firma si trova ancora, a pochi centimetri da quella di Fermi, sulla bottiglia conservata agli Archivi Nazionali di Chicago. La sua consapevolezza, in quel momento, resta parziale: sa che il progetto è segreto, sa che c'entra la guerra, vede che quel giorno qualcosa è cambiato, ma non possiede il senso fisico, politico e storico di ciò a cui ha appena assistito.

Questo forse è quello che rende la prospettiva di Petry la più caratteristica ma anche la più istruttiva, perché dalla sua visione l'evento non viene esaltato o monumentalizzato, ma ricondotto ad una dimensione comune e ordinaria. Secondo Petry quello era semplicemente un lavoro come un altro. Questo demitizza l'evento e permette di evidenziare come la narrazione dominante nasconda queste prospettive e esalti la giornata come destinata ad essere ricordata.

Proprio questo carattere retrospettivo, però, va maneggiato con cautela: le parole di Petry che possediamo sono ricordi raccolti settantacinque anni più tardi, non la fotografia immediata del 1942. Non vanno lette come trasparente registrazione di ciò che pensava allora, ma come memoria e, in quanto tale, documenta anche un secondo fenomeno: il modo in cui il significato di un evento viene costruito a posteriori, quando chi vi partecipò inconsapevolmente impara, col tempo, che cosa avesse contribuito a fare.

Nella prospettiva di Ted Petry possiamo notare come, inserito all'interno dell'evento, non si renda conto di quanto storicamente e scientificamente fosse rilevante il momento a cui stava assistendo. La maturazione di questo avviene solamente a posteriori, però non invalida il suo punto di vista rispetto all'evento: l'uomo ai margini, in cui possiamo riscoprire dettagli e rivendicare il valore conoscitivo della microstoria. Restituire la prospettiva di Ted Petry significa dimostrare, sul caso concreto, che anche dal margine, anzi, soprattutto dal margine, un evento storico può essere interrogato in modo nuovo.

3.8 Laura Fermi: la prospettiva del segreto

Tutte le prospettive considerate finora, ognuna con i suoi punti di luce e ombra, condividevano un particolare: appartenevano tutte a chi era presente all'evento, dentro lo squash court, dentro il laboratorio. Quindi seppur in maniera e con consapevolezza diversa sapevano cosa stesse succedendo. Scegliendo la prospettiva di Laura Fermi (1907-1977), si introduce un punto di vista completamente esterno, che non ha gli strumenti informativi per poter comprendere l'evento. Laura Fermi è la persona più vicina sul piano umano a Enrico Fermi, ma contemporaneamente è la persona più distante dal suo esperimento scientifico. Questo paradosso tra vicinanza affettiva ed esclusione scientifica rende la sua prospettiva indispensabile.

Sarebbe però un errore ridurla al ruolo di moglie di Fermi. Laura Capon nasce a Roma nel 1907 da una famiglia di ebrei assimilati e studia scienze naturali all'università, sposa Enrico nel 1928 e con lui, a causa delle leggi razziali fasciste, scapperà dall'Italia nel 1938. Di lì a pochi anni sarebbe diventata lei stessa autrice: il racconto su cui si fonda questa prospettiva, *Atoms in the Family*, lo avrebbe scritto e pubblicato nel 1954. La sua, dunque, non è la testimonianza casuale di una spettatrice, ma la ricostruzione lucida di chi sapeva osservare un ambiente e restituirlo per iscritto, il che rende la sua esclusione dal segreto tanto più significativa.

L'esclusione dalla vita lavorativa del marito, iniziò come lei stessa ricorda, con il trasferimento a Chicago.[35] Da quel momento, tutto il lavoro del marito era completamente classificato. L'unica cosa che sapeva era che Enrico Fermi non lavorava più in un semplice laboratorio ma al Metallurgical Laboratory, dove, probabilmente l'unica cosa che gli fu concessa di sapere è che lì non lavoravano solo i metallurgisti. Questo aspetto è fondamentale, perché ci permette di osservare come il contesto della segretezza determinato dalla guerra non separa semplicemente il lavoro dal mondo esterno, ma influisce nei rapporti, nelle relazioni e trasforma la vita quotidiana in una zona opaca e sorvegliata. Laura Fermi viveva immersa in quell'opacità: ospitava gli scienziati, ne conosceva molti, percepiva crescere intorno a sé un'eccitazione di cui le sfuggiva la causa.

Questo contesto avvolge la prospettiva della protagonista durante la giornata del 2 dicembre 1942. Dal suo libro si osserva come nei primi giorni di dicembre la famiglia Fermi organizzò una festa per i "metallurgisti" che lavoravano con Enrico Fermi e le loro mogli. Il dettaglio cruciale di questa prospettiva si colloca proprio durante questa festa, visto che via via che gli ospiti arrivavano, iniziarono tutti a congratularsi con il marito.[35] Questo insospettì Laura Fermi, e un invitato in particolare fece accrescere ancor di più questo sospetto: Walter Zinn andò da lei e si congratulò, di tutta risposta lei chiese di che cosa ci si stesse rallegrando, senza però ottenere risposta. Dal suo punto di vista, l'evento quindi risulta sfuggibile e ignoto, fatto solo di strane congratulazioni inspiegabili. La criticità quindi non attraversa la sua prospettiva come fatto fisico o sperimentale, ma come un'anomalia sociale.

Successivamente, sempre più incuriosita, chiese spiegazioni in modo più diretto, e la risposta che ricevette fu ancor più rivelatrice del silenzio. Leona Woods, le sussurrò che Enrico Fermi aveva:

”affondato un ammiraglio giapponese” [35]

e i presenti stettero al gioco, alimentando l’equivoco, lasciando Laura Fermi in uno stato di confusione, perché non riusciva a comprendere se fosse uno scherzo, una metafora oppure la realtà.

Questo evento mostra come il segreto non è sempre silenzio, ma anche composto di parole che proteggono l’informazione attraverso battute o immagini assurde.

L’aspetto fondamentale di questa prospettiva è che Laura Fermi non è stata solamente la protagonista del segreto, ma l’autrice che, anni dopo, una volta venuta a conoscenza dell’evento, ne ha fatto un racconto, trasformando il suo non sapere in una narrazione consapevole, capace di mostrare dall’interno come si vivesse ai margini di un’impresa segreta.

I limiti di questa prospettiva sono evidenti, e sono il rovescio della sua forza: non consente di ricostruire la fisica della criticità, la sequenza sperimentale, i calcoli, la disposizione degli strumenti, ma non è questa la sua funzione. Ciò che essa illumina non è il centro tecnico dell’esperimento, ma il suo perimetro sociale: il segreto, la vita domestica attorno al laboratorio, la frattura sottile e profonda tra chi partecipa alla produzione del sapere e chi ne percepisce soltanto gli effetti opachi. Conviene anzi precisare che il confine messo in luce da Laura Fermi non divide gli uomini del laboratorio e le donne di casa: Leona Woods, infatti, era dentro il segreto, dentro l’apparato. Laura Fermi, invece, pur essendo la persona più vicina al suo principale artefice, ne restava fuori. La sua prospettiva sposta, più di ogni altra, la scala dello sguardo: dal centro fisico della pila alla casa, dalla criticità al silenzio, dall’esperimento alla sua opacità sociale. Laura Fermi, in fondo, non vede la pila: vede il vuoto d’informazione che la pila, tutt’intorno a sé, ha prodotto.

3.9 L’evento ricomposto dalle prospettive

Ricomporre l’evento mediante le varie prospettive proposte non vuol dire ricostruire la giornata raccogliendo frammenti di un’immagine, ma, al contrario, essere coscienti dell’immagine intera e scegliere di analizzarla mediante la pluralità delle relazioni situate che lo costruiscono.

L’analisi prospettica offre un guadagno di profondità narrativa, sottraendo l’evento alle narrazioni classiche. Inoltre la pluralità delle prospettive ci permette di demitizzare l’evento accrescendone il valore storico, poiché, il mito è chiuso e monumentale, mentre la moltitudine di prospettive che vivono l’evento permette di osservarlo e analizzarlo da diverse angolazioni.

In definitiva, la prospettiva non indebolisce il fatto storico: lo rende più comprensibile. Là dove una narrazione unica produce una scena coesa ma povera, dominata da pochi elementi che si ripetono di racconto in racconto, la composizione di sguardi situati rivela la struttura articolata che quegli elementi nascondono.

È questa la posta in gioco dell'intero capitolo, e la risposta che esso oppone alla domanda da cui era partito: il 2 dicembre 1942 non diventa più significativo perché lo si ingrandisce, ma perché lo si legge meglio, come pratica scientifica situata, collettiva, materiale e attraversata da limiti, in cui si condensano modi diversi di produrre, controllare, vivere e ricordare il sapere. La pila di Chicago cessa così di essere un punto nella cronologia del Progetto Manhattan e torna a essere ciò che fu: un evento, nel senso pieno e plurale del termine.

4 Interpretare l'evento: storia e narrazione nella costruzione del significato

4.1 Dalla Narrazione dominante alla costruzione di una narrazione alternativa

Nei due capitoli precedenti è stata proposta una narrazione sul medesimo evento. Il capitolo 2 dedicato alle scale temporali ha condotto una vera e propria ricostruzione, ridefinendo la storia della Chicago Pile-1 come processo scientifico, disponendola lungo varie scale temporali. Il capitolo dedicato alle prospettive ha fatto qualcosa di diverso: invece di fornire una seconda ricostruzione parallela, si è cercato di analizzare l'evento dal punto di vista degli sguardi di alcuni personaggi, definendo sia l'evento in sé, sia le varie prospettive che questi personaggi forniscono rispetto all'evento. Questa analisi permette di avere un duplice effetto: da una parte restituire le dimensioni umane, plurali e situate dell'evento; dall'altra, ha portato alla luce dettagli storiograficamente rilevanti che una ricostruzione puramente tecnica e cronologica perde, o sceglie di omettere. Per questi motivi, le due narrazioni non sono simmetriche: la prima ricostruisce il processo, la seconda lo analizza e lo completa.

Naturalmente, nessuna delle due tipologie si pone in completa opposizione alla narrazione dominante. Infatti, il racconto costruito dalle fonti classiche non è storicamente falso o volutamente ingannevole. Anzi, conserva al proprio interno una forza innegabile, risulta lineare, memorabile e comunicabile.

L'aspetto contestabile di questa tipologia narrativa non è nel contenuto ma nella forma: poiché la linearità che lo rende efficace è la stessa che lo rende riduttivo, trasformando la difficoltà del processo scientifico in una sequenza ordinata di passaggi che hanno una conclusione inevitabile.

Proprio in questo, si fondano le radici e l'intento di questa tesi. L'obiettivo è stato quello di restituire la veridicità all'evento sia da un punto di vista storico che scientifico conservando la sua comprensibilità. Le narrazioni proposte cercano di mantenere l'accuratezza e la leggibilità, facendo contemporaneamente comprendere come un evento si sia costruito e da quali posizioni sia stato vissuto.

La domanda che orienta l'intero capitolo nasce di qui: che cosa si guadagna quando la storia della Chicago Pile-1 non viene più raccontata soltanto come premessa dell'arma atomica, ma come processo scientifico, tecnico, collettivo e situato? La risposta, come si è visto, non riguarda soltanto l'accuratezza storiografica della ricostruzione, ma anche il modo in cui il lettore arriva a comprendere che cosa sia, e come si costruisca l'evento scientifico.

4.2 I vantaggi della lente temporale

Analizzando in modo più approfondito la narrazione utilizzata nel capitolo 2, la lente temporale consente di eliminare uno dei limiti della narrazione dominante, ovvero la compressione. Tramite l'utilizzo di diverse temporalità, il racconto dell'evento risulta come un intreccio di passaggi successivi, rallentamenti, verifiche e trasformazioni concettuali. Questo permette di ottenere una dilatazione che produce tre vantaggi distinti. Il primo permette di ottenere una narrazione anti-teleologica; infatti, la scala degli anni permette di osservare il processo di costruzione del campo scientifico, in cui l'esito del 2 dicembre 1942 non era assolutamente definito. La scala dei mesi e delle settimane consente di immergersi nella dimensione tecnica e organizzativa, definendo e delineando le scelte che furono alla base della costruzione di un esperimento scientifico; i giorni e le ore espongono all'incertezza della pratica sperimentale in atto. La lente temporale, in altre parole, non elimina la continuità storica tra questi passaggi, ma impedisce che essa venga confusa con l'inevitabilità: essa restituisce all'evento la sua contingenza, il fatto che sarebbe potuto andare diversamente e che la sua riuscita fu un risultato, non un destino.

Il secondo vantaggio riguarda come questo tipo di narrazione permette di raccontare la scienza come costruzione e non come una catena di risultati. Questo rispecchia l'idea di Latour sulla distinzione tra scienza stabilizzata e concentrata sugli eventi soglia, e la scienza nel suo farsi, rivelando il punto di condensazione di un processo lungo e ricco di scelte sperimentali.[7]

Il terzo vantaggio è il più sottile e riguarda la trasformazione del significato nel tempo. La scala temporale non serve soltanto a distinguere un prima e un dopo, ma a mostrare come uno stesso oggetto muti la sua natura nel corso del processo: la reazione a catena è dapprima una possibilità teorica, poi un problema sperimentale, quindi un problema ingegneristico e organizzativo, e solo il 2 dicembre 1942 diventa un evento controllato e misurabile.

Seguire questa metamorfosi significa riconoscere che il significato scientifico non è dato una volta per tutte, ma si forma e si trasforma lungo il percorso, e che fissare l'evento sul suo esito finale, come fa la narrazione dominante, equivale a cancellare proprio questa storia interna del suo senso.

4.3 I vantaggi della lente prospettica

La lente prospettica permette di alimentare la pluralità, che invece nella narrazione dominante viene ridotta ad un'unica prospettiva onnisciente. Osservare la giornata da una molteplicità di posizioni, significa riconoscere che un evento appartiene a tutti e tutte quelle che lo vivono sia direttamente sia indirettamente.

A differenza della lente temporale, essa non costruisce una seconda ricostruzione parallela: analizza l'evento partendo da un protagonista e mette in luce il suo punto di

vista rispetto a quell'evento. Anche per questa lente possiamo riconoscere tre vantaggi rispetto alla narrazione classica.

Il primo si basa proprio sul concetto di eliminare il protagonista unico e onnisciente. In questo modo si dà spazio a personaggi più marginali senza però sminuire l'importanza sia dell'evento sia dei protagonisti. Fermi, infatti, rimane al centro dell'esperimento, ma viene demitizzato e storicizzato. La prospettiva, in questo senso, non diminuisce la centralità di Fermi, ma impedisce che tale centralità cancelli le altre condizioni di possibilità dell'evento. È una differenza decisiva rispetto alla narrazione dominante, che tende a far coincidere l'evento con un individuo e, così facendo, a rendere invisibile tutto ciò che attorno a quell'individuo lavorava.

Il secondo vantaggio consiste nell'esaltare e conferire rilevanza a quei luoghi, strumenti e dettagli che risultano marginali in una narrazione lineare, poiché tutti questi elementi contribuiscono alla costruzione del sapere scientifico. Il gesto di chi ritira la barra di controllo non è un dettaglio, ma ciò che rende visibile come la criticità sia, prima che un concetto, un equilibrio materiale governato da un'azione; la misura strumentale non è un corredo tecnico, ma la condizione stessa per cui l'evento diventa riconoscibile; e lo sguardo di chi resta fuori dal segreto mostra, per contrasto, la distanza tra l'evento scientifico e la sua percezione esterna. Restituire queste dimensioni non aggiunge dettagli all'evento: ne rivela la trama.

Il terzo vantaggio giace proprio nel concetto stesso di pluralità. Avere accesso ad una moltitudine di prospettive di un medesimo evento permette di far apparire l'evento più vicino alla realtà, riprendendo l'idea di Bachtin: una polifonia di voci in cui nessuna esaurisce il senso del tutto, ma il senso del tutto risiede proprio nella loro coesistenza.[30]

4.4 Effetti su lettore e lettrice

I vantaggi che sono stati elencati fin qui non influiscono solamente sulla ricostruzione storica e scientifica, ma modificano il modo in cui chi legge arriva a comprendere l'evento. Come abbiamo visto nel primo capitolo, non si può osservare la storia del nucleare da un posizione neutra, e in particolare sul concetto del Chicago Pile-1 tutto viene letto in funzione dell'immagine della bomba. La narrazione dominante rafforza e asseconda quell'orizzonte.

Le due narrazioni proposte cercano di costruire un sapere diverso nel lettore e nella lettrice; non oscurano totalmente Hiroshima e Nagasaki, ma formano in modo più cosciente chi legge alla complessità del processo e lo rendono capace di riconoscere il nucleare come un campo scientifico attraversato da diverse possibilità. Rallentando il racconto e moltiplicandone gli sguardi, le due lenti restituiscono a lettore e lettrice l'apertura che quel campo effettivamente possiede, e impediscono di scambiare la direzione che la storia ha reso come l'unica possibile.

Naturalmente, sarebbe infondato e troppo semplice addossare la colpa della paura del nucleare interamente alla narrazione dominante. Infatti, essa ha radici culturali e

politiche molto più profonde, che non sono oggetto di questa analisi. L'aspetto però importante nella narrazione dominante è, come ricorda Latour, la sedimentazione di quell'immagine nella letteratura che trasforma un'idea in un fatto intoccabile.[7] Una narrazione processuale e prospettica non vuole negare quella paura, nè cercare di annullarla, ma cerca di rendere chi legge storicamente più consapevole e critico nei confronti dell'evento e del campo scientifico.

Va precisato che da tutto ciò non discende alcuna presa di posizione riguardo il tema dell'energia nucleare: non è questo l'oggetto della tesi, e la posta in gioco è di natura diversa, epistemica prima che politica. Una ricostruzione storicamente più accurata consente semplicemente una percezione meno automatica, meno schiacciata sull'esito catastrofico, e perciò più libera di distinguere ciò che merita di essere distinto. In questo risiede anche il valore culturale, e in certa misura didattico, dell'operazione: non insegnare a chi legge che cosa pensare del nucleare, ma sottrarlo all'equazione immediata fra nucleare e bomba, storicizzandola, e così restituendola come oggetto di comprensione anziché come riflesso.

4.5 Limiti delle due narrazioni separate

La descrizione dei vantaggi non sarebbe completa senza la sua controparte ovvero il riconoscimento dei limiti. Entrambe le narrazioni proposte, prese singolarmente, hanno dei limiti ed è proprio da questi che nasce l'esigenza di fare un passo ulteriore.

La lente temporale progressiva mostra in modo sufficientemente esaustivo, il "come" dell'evento, rischiando di lasciare in ombra il "chi". La storia della pila viene disposta lungo una progressione dagli anni alle ore, restituendo il contesto e la costruzione fisica della pila, mantenendo però una tipologia di racconto impersonale: il processo avanza attraverso i problemi tecnici e scientifici, senza però far emergere le posizioni di coloro che vissero quelle problematiche e cercarono di risolverle. Per questi motivi la ricostruzione temporale, da sola, rappresenta la dinamica e oscura i soggetti.

La lente prospettica soffre del limite opposto. Analizzare e costruire la pluralità degli sguardi e le dimensioni umane e situate dell'evento tende a scomporre l'evento nelle posizioni dei suoi partecipanti. Utilizzare quest'unica lente, isolata dalla ricostruzione temporale, rischia di frammentare l'evento. Le varie prospettive rischiano di far dissolvere la giornata in una serie di punti di vista, facendo perdere al lettore la continuità del processo che tiene insieme queste prospettive.

Riformulando: la scala temporale senza prospettiva rischia di produrre una storia del processo priva di sufficiente densità soggettiva; mentre la scala prospettica, senza la lente del tempo, produce una pluralità di sguardi non pienamente integrata nella dinamica storica e scientifica dell'evento. Ma è proprio nella forma di questi due limiti che si annuncia la loro soluzione: ciò che manca all'una è esattamente ciò che l'altra possiede. I due limiti non sono semplicemente giustapposti, ma complementari, e

questa complementarità indica, al di là delle due operazioni separate, la necessità di un terzo passo che le integri.

4.6 Verso una narrazione integrata

Il carattere preliminare del presente lavoro si chiarisce dai punti precedenti definendone il suo senso proprio. Preliminare non vuole significare incompleto, ma fondativo: i due strumenti narrativi utilizzati sono stati deliberatamente isolati per definirne la struttura teorica e studiarne il funzionamento, per evidenziare ciò che ognuno di essi restituisce alla narrazione. Proprio grazie a questo studio è stato possibile osservarne la loro complementarità. Il passo successivo sarebbe la loro integrazione, per costruire una narrazione unica, capace di offrire sia una profondità temporale sia la pluralità delle varie prospettive dei protagonisti.

L'aspetto fondamentale di questa unificazione è che non si tratta di una fusione di due tipologie di ricostruzioni parallele, poiché il terzo capitolo non è una ricostruzione vera e propria ma un'analisi. Perciò la narrazione integrata si baserebbe su l'idea della ricostruzione temporale all'interno della quale l'analisi prospettica viene distribuita lungo il processo. Inoltre, anche la scala temporale dovrebbe essere modificata leggermente, permettendo un allargamento della scala nel momento in cui si vuole delineare una prospettiva situata in un determinato momento.

Si potrebbe descriverla come l'incrocio di due assi: un asse verticale, la scala temporale, che mostra l'evolversi del progetto e del percorso scientifico; un asse orizzontale, le prospettive, che in qualsiasi momento della costruzione, mostra come l'evento sia simultaneamente vissuto, prodotto, comunicato e interpretato da soggetti diversi. L'asse verticale assicura la continuità, quello orizzontale la densità; e il loro incrocio consente di evitare insieme i due rischi opposti: la teleologia della narrazione lineare e la frammentazione di quella puramente prospettica.

Una narrazione di questo tipo dovrebbe dunque seguire la progressione temporale del processo e collocare, dentro ciascuna delle sue fasi, le prospettive che in quel punto diventano rilevanti; dovrebbe mostrare come il significato dell'evento si trasformi lungo il percorso e come soggetti diversi concorrano, da posizioni diverse, a costruirlo; e dovrebbe farlo conservando la leggibilità, poiché il fine non è complicare, ma rendere intelligibile. La complessità storica e la chiarezza narrativa non sono, in questo disegno, termini in conflitto: l'una è la condizione perché l'altra non sia riduttiva.

L'aspetto fondamentale di questa narrazione unica è che il lettore dovrebbe riuscire a vedere il tempo attraverso i personaggi e i personaggi dentro al tempo, delineando una dualità nella narrazione che però risulti unita e strutturata.

È questa doppia lente l'orizzonte verso cui il presente lavoro tende. Che esso non l'abbia pienamente realizzata non è una mancanza dell'indagine, ma una conseguenza del suo metodo: per integrare due strumenti occorre prima averli isolati e collaudati separatamente, ed è ciò che questi capitoli hanno inteso fare.

5 Oltre la narrazione dominante, rileggere il 2 dicembre 1942

Giunti al termine di questo percorso conviene tornare alla domanda da cui tutto era partito: che cosa cambia, nella comprensione della Chicago Pile-1, quando si smette di raccontarla come semplice antecedente della bomba? Le prossime pagine non vogliono aggiungere nulla, ma raccolgono ciò che le pagine precedenti hanno reso possibile affermare.

5.1 Dalla lettura iniziale alla costruzione di due lenti di ricerca

Prima di addentrarci nelle conclusioni, vorrei spendere due parole su come sia nata questa ricerca. Non è nata da un metodo, ma da una lettura, di taglio biografico e divulgativo, del volume *L'ultimo uomo che sapeva tutto* di David N. Schwartz, pubblicato nel 2017 e dedicato alla vita di Enrico Fermi, che ha per la prima volta attirato l'attenzione di chi scrive sulla sua figura e sulla giornata del 2 dicembre 1942.^[36] Il libro ha avuto una funzione di soglia, infatti da lì si è allargata l'indagine, approfondendo la letteratura sulla Chicago Pile-1 nelle sue due forme, quella divulgativa e quella più tecnica e scientifica.

Proprio attraverso questi due corpi della letteratura è emerso il problema da cui l'intera tesi è stata costruita. Le due forme di racconto, pur così diverse, condividevano una tendenza comune: collocare la pila lungo una traiettoria orientata verso la bomba, facendone soprattutto una tappa preliminare del Progetto Manhattan. La ricostruzione tecnica ne forniva i dettagli costruttivi, quella divulgativa la cornice umana e narrativa, ma in entrambe l'evento sembrava trarre il proprio significato non da sé, bensì da ciò che sarebbe venuto dopo.

Partendo da queste osservazioni si è cercato di capire come sarebbe stato possibile raccontare l'evento con una pluralità di punti di vista che non esplicitassero l'esito finale ma che entrassero all'interno del processo scientifico. Lavorando su questa intuizione, però, è apparso sempre più chiaro che una narrazione multiprospettica da sola non era sufficiente. Moltiplicare gli sguardi rispondeva alla riduzione del protagonista unico, ma non a quella, altrettanto forte, della compressione temporale: restava il problema di stabilire a quale scala l'evento venisse osservato, e di mostrare che esso non era un istante, ma il punto d'arrivo di un lungo processo. L'intuizione prospettica, insomma, andava integrata con un'attenzione esplicita alla durata.

È così che il progetto si è trasformato, assumendo la struttura che regge i capitoli centrali di questa tesi. L'idea iniziale di una narrazione multiprospettica si è progressivamente convertita in una struttura a due lenti: una lente temporale, necessaria per restituire la durata e la costruzione del processo, e una lente prospettica, necessaria per restituire

la pluralità dei soggetti e delle posizioni coinvolte nell'evento. Questa evoluzione non è un dettaglio biografico del lavoro, ma ne dichiara la natura: il metodo non è stato applicato dall'esterno a un oggetto già dato, bensì è nato dal confronto con quell'oggetto, dalla difficoltà concreta di raccontare la Chicago Pile-1.

5.2 Il nuovo statuto della Chicago Pile-1

L'obiettivo di questo lavoro è cercare di mutare lo statuto storiografico dell'evento in analisi. La ricostruzione storica attraverso le due lenti permette di spostare la percezione della Chicago Pile-1 da anello della catena di eventi che porta all'epilogo della bomba nucleare, ad evento singolo inserito in un contesto storico e scientifico ben definito. Non si vuole eliminare il contesto bellico e togliere la pila dalla storia del Progetto Manhattan, ma si vuole liberare l'evento da una comprensione unica basata su dei preconcetti, restituendo densità a quello che è stato definito "punto cieco" nel primo capitolo. Inoltre, grazie all'analisi del caso particolare, si possono estrapolare delle conseguenze più generali. La narrazione scientifica dovrebbe rendere visibili le condizioni attraverso cui il risultato diventa possibile e non limitarsi a raccontare come ci si è giunti, restituendo al lettore una visione della scienza come attività umana, situata e materiale. In questo senso la Chicago Pile-1 vale al di là di se stessa come caso esemplare attraverso cui interrogare il modo in cui la scienza, in generale, viene costruita e raccontata.

5.3 Limiti del lavoro e sviluppi futuri

Tirando le fila di questo lavoro, possiamo osservare come questo tipo di narrazione porti dei nuovi spunti e nuove caratteristiche alla storia della scienza. Però bisogna anche analizzare i limiti che questo tipo di narrazione presenta.

Il primo limite, già indicato nel capitolo 4, è la costruzione delle due lenti in modo separato, la narrazione capace di fonderle in un'unica rappresentazione storica e scientifica rimane un obiettivo. Il presente lavoro non realizza ancora compiutamente una narrazione unica in grado di tenere insieme scala temporale e pluralità prospettica; piuttosto, ne definisce le condizioni preliminari. È un limite consapevole e, nel senso già chiarito, persino necessario: per integrare due strumenti occorre prima averli isolati.

Il secondo limite riguarda nello specifico la lente delle prospettive. Riprendendo la prospettiva di Hayden White secondo cui la narrazione non è uno strumento neutro [3], si nota come nelle prospettive è stata fatta una scelta dei personaggi da analizzare che però non esauriscono il campo dei punti di vista possibili. La scelta compiuta è interpretativa e non definitiva, e naturalmente ogni nuova scelta apre nuove configurazioni dell'evento. Inoltre, le prospettive analizzate sono di personaggi ma si potrebbe andare a studiare anche le percezioni pubbliche o anche di determinati settori sociali, ad esempio politici o addirittura di come dopo l'evento questo abbia influito la prospettiva del pubblico.

Il terzo limite si sviluppa nel rapporto tra divulgazione e didattica. La narrazione proposta potrebbe risultare più complessa di quella dominante, e non è stato ancora affrontato come trasformare questa tecnica storiografica in uno strumento efficace per divulgare e insegnare la scienza. Ma è anche qui che si intravede lo sviluppo più promettente: una narrazione multiscalare e prospettica non vale soltanto per la Chicago Pile-1. Potrebbe diventare un modello per raccontare altri momenti in cui il sapere scientifico si è costruito, restituendo anche a essi, al di là dell'immagine del risultato e del genio isolato, lo spessore del processo e la pluralità di chi vi prese parte, costruendo una narrativa che rappresenti in modo sufficientemente vero il percorso scientifico e possa aiutare il lettore in una conoscenza critica e consapevole.

5.4 Conclusioni generali

Resta da dire, in chiusura, che cosa tutto questo abbia inteso dimostrare. Il significato storico della Chicago Pile-1 non sta soltanto nel fatto che essa abbia funzionato, ma nel modo in cui il suo funzionamento è stato costruito, osservato, misurato, controllato e, in seguito, raccontato. È stato questo lo spostamento di sguardo tentato nell'arco dell'intera tesi: dall'esito al processo, dal protagonista alla rete, dalla linea alla configurazione, dalla paura immediata alla comprensione storica. Non si è trattato, in nessun momento, di rovesciare la narrazione dominante in una narrazione contraria, ma di restituire all'evento la densità che la sua forma consueta gli sottraeva. La Chicago Pile-1, allora, non è soltanto ciò che precede la bomba. È il luogo in cui un sapere fisico diventa pratica governabile, in cui la teoria si misura con la materia, in cui un evento scientifico prende forma attraverso tempi, strumenti, gesti e soggetti diversi. Raccontarla in questo modo non significa allontanarla dalla storia di cui fa parte, ma avvicinarla a ciò che realmente fu: non un istante, ma una costruzione; non l'opera di un uomo, ma di una rete; non un destino, ma una soglia attraversata con lentezza, misura e controllo. E forse non è un caso che il modo più fedele di raccontare quell'evento finisca per somigliargli. Come la criticità non fu raggiunta d'un colpo, ma per gradi, avvicinando e verificando passo dopo passo, così la sua comprensione richiede di procedere per scale e per prospettive, senza mai pretendere di abbracciare il tutto da un unico punto. È in questa complessità, e non nella sua riduzione a simbolo, che la Chicago Pile-1 può essere compresa non soltanto come un episodio della storia nucleare, ma come un caso esemplare per interrogare il modo in cui la scienza, sempre, viene costruita e raccontata.

References

- [1] Hayden White. *Metahistory: The Historical Imagination in Nineteenth-Century Europe*. Johns Hopkins University Press, Baltimore, 1973.
- [2] Richard Rhodes. *The Making of the Atomic Bomb*. Simon Schuster, New York, 1986.
- [3] Hayden White. The value of narrativity in the representation of reality. *Critical Inquiry*, 7(1):5–27, 1980.
- [4] Thomas S. Kuhn. *The Structure of Scientific Revolutions*. University of Chicago Press, Chicago, 1962.
- [5] Spencer R. Weart. *Nuclear Fear: A History of Images*. Harvard University Press, Cambridge, MA, 1988.
- [6] Peter Galison. *Image and Logic: A Material Culture of Microphysics*. University of Chicago Press, Chicago, 1997.
- [7] Bruno Latour. *Science in Action: How to Follow Scientists and Engineers Through Society*. Harvard University Press, Cambridge, MA, 1987.
- [8] Hans Robert Jauss. *Toward an Aesthetic of Reception*. University of Minnesota Press, Minneapolis, 1982.
- [9] Paul Boyer. *By the Bomb's Early Light: American Thought and Culture at the Dawn of the Atomic Age*. Pantheon Books, New York, 1985.
- [10] Gerardus Mercator. Nova et aucta orbis terrae descriptio ad usum navigantium emendate accommodata, 1569. World map.
- [11] Bruno Latour and Steve Woolgar. *Laboratory Life: The Construction of Scientific Facts*. Princeton University Press, Princeton, 1986.
- [12] Fernand Braudel. Histoire et sciences sociales: La longue durée. *Annales. Économies, Sociétés, Civilisations*, 13(4):725–753, 1958.
- [13] Walther Bothe and Herbert Becker. Künstliche erregung von kern- γ -strahlen. *Zeitschrift für Physik*, 66(5–6):289–306, 1930.
- [14] James Chadwick. Possible existence of a neutron. *Nature*, 129:312, 1932.
- [15] William Lanouette and Bela Silard. *Genius in the Shadows: A Biography of Leo Szilard, the Man Behind the Bomb*. Charles Scribner's Sons, New York, 1992.

REFERENCES

- [16] Enrico Fermi. Radioattività indotta da bombardamento di neutroni. *La Ricerca Scientifica*, 5:330–331, 1934.
- [17] Enrico Fermi, Edoardo Amaldi, Oscar D'Agostino, Franco Rasetti, and Emilio Segrè. Influence of hydrogenous substances on the radioactivity produced by neutrons. *La Ricerca Scientifica*, 5:282–283, 1934.
- [18] Otto Hahn and Fritz Strassmann. Über den nachweis und das verhalten der bei der bestrahlung des urans mittels neutronen entstehenden erdalkalimetalle. *Die Naturwissenschaften*, 27:11–15, 1939.
- [19] Lise Meitner and Otto Robert Frisch. Disintegration of uranium by neutrons: A new type of nuclear reaction. *Nature*, 143:239–240, 1939.
- [20] Otto Robert Frisch. Physical evidence for the division of heavy nuclei under neutron bombardment. *Nature*, 143:276, 1939.
- [21] Herbert L. Anderson, Enrico Fermi, and Leo Szilard. Neutron production and absorption in uranium. *Physical Review*, 56:284–286, 1939.
- [22] Per F. Dahl. *Heavy Water and the Wartime Race for Nuclear Energy*. Institute of Physics Publishing, Bristol, 1999.
- [23] Henry DeWolf Smyth. *Atomic Energy for Military Purposes: The Official Report on the Development of the Atomic Bomb under the Auspices of the United States Government, 1940-1945*. Princeton University Press, Princeton, 1945.
- [24] Enrico Fermi. Experimental production of a divergent chain reaction. *American Journal of Physics*, 20(9):536–558, 1952.
- [25] Samuel Glasstone and Milton C. Edlund. *The Elements of Nuclear Reactor Theory*. D. Van Nostrand Company, Princeton, 1955.
- [26] Herbert L. Anderson. "All in Our Time": The Legacy of Fermi and Szilard. *Bulletin of the Atomic Scientists*, 30(7):56–62, 1974.
- [27] Corbin Allardice and Edward R. Trapnell. The first pile. U.S. Atomic Energy Commission, Technical Information Division, Oak Ridge, Tennessee, 1949.
- [28] Giovanni Levi. On microhistory. In Peter Burke, editor, *New Perspectives on Historical Writing*, pages 93–113. Polity Press, Cambridge, 1991.
- [29] Carlo Ginzburg. *Miti, emblemi, spie: Morfologia e storia*. Einaudi, Torino, 1986.
- [30] Mikhail Bakhtin. *Problems of Dostoevsky's Poetics*. University of Minnesota Press, Minneapolis, 1984.

REFERENCES

- [31] Maurice Merleau-Ponty. *Phénoménologie de la perception*. Gallimard, Paris, 1945.
- [32] Donna Haraway. Situated knowledges: The science question in feminism and the privilege of partial perspective. *Feminist Studies*, 14(3):575–599, 1988.
- [33] Arthur Holly Compton. *Atomic Quest: A Personal Narrative*. Oxford University Press, New York, 1956.
- [34] Michael Drapa. A witness to atomic history: Ted petry recounts world's first nuclear reaction at uchicago, 75 years later, 2017.
- [35] Laura Fermi. *Atoms in the Family: My Life with Enrico Fermi*. University of Chicago Press, Chicago, 1954.
- [36] David N. Schwartz. *Enrico Fermi. L'ultimo uomo che sapeva tutto*. Solferino, Milano, 2018.
- [37] Lorraine Daston and Peter Galison. *Objectivity*. Zone Books, New York, 2007.
- [38] Leona Marshall Libby. *The Uranium People*. Crane, Russak, New York, 1979.
- [39] Luigi Pirandello. *Uno, nessuno e centomila*. Bemporad, Firenze, 1926.
- [40] Theodore Petry. Theodore petry's interview. Voices of the Manhattan Project, Atomic Heritage Foundation / National Museum of Nuclear Science History, 2017. Oral history interview.
- [41] Gerardus Mercator. *Chronologia. Hoc est temporum demonstratio exactissima, ab initio mundi, usque ad annum Domini*. Apud haeredes Arnoldi Birckmanni, Coloniae Agrippinae, 1569.