



# EINSTEIN 1905 IL GENIO ALL'OPERA



Mostra realizzata da  
Euresis

Coordinamento di  
Mario Gargantini

Curatori  
Enrico Gamba, Giorgio Guidi, Michele Isacchini,  
Lorenzo Mazzoni, Luca Signorini

Consulenza scientifica  
Silvio Bergia

Collaboratori  
Lorenzo Caggioni, Valentina Di Pietro, Francesca  
Giovacchini, Davide Locatelli, Elisabetta Pianori,  
Marilena Sigismundi, Erika Taribello

Progetto e allestimento  
Andrea Valentini, Laura Gabbiani

Con la collaborazione di  
Alessandro Gerosa, Benedetto Luoni,  
Maria Respeghini, Giovanni Brioschi

Coordinamento progettazione  
Enrico Magistretti

Immagine grafica  
Unica Progetti di Comunicazione RSM  
[www.unica.sm](http://www.unica.sm)

Stampa  
Millennium - Rn

Noleggio della mostra a cura di  
I.E.S. (International Exhibition Service)  
[www.meetingmostre.com](http://www.meetingmostre.com)

Catalogo a cura di  
ITACAlibri - [www.itacalibri.it](http://www.itacalibri.it)

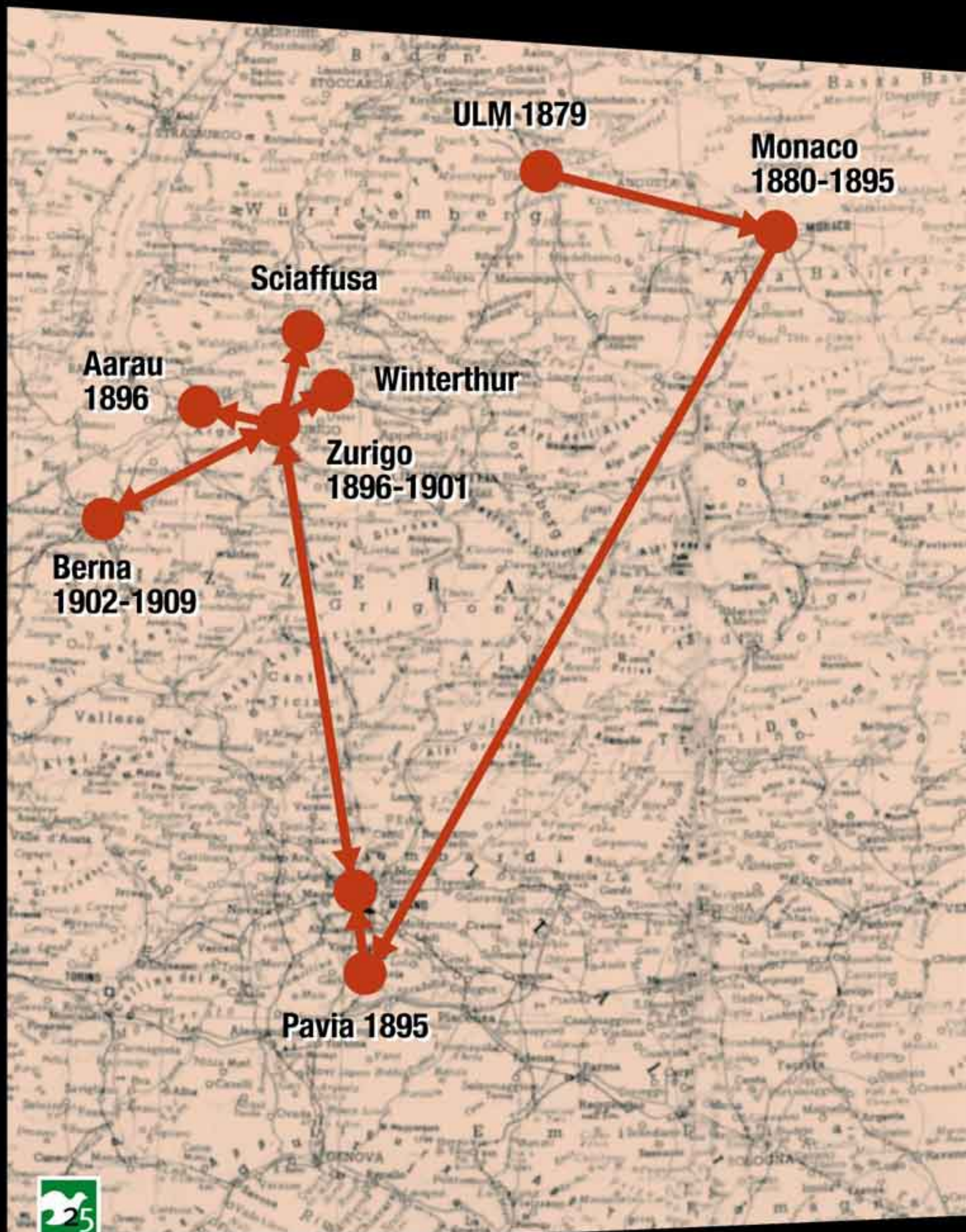
Un vivo ringraziamento a  
Dipartimento di Matematica - Università di Bologna  
EiItalia - Pasco (Milano)  
Glomanet (Cesena)  
Italia in Miniatura (Viserba)  
Lab - Trek (Bologna)  
National Instruments Italia (Milano)

Mostra realizzata e organizzata da  
Meeting per l'Amicizia fra i Popoli  
[www.meetingrimini.org](http://www.meetingrimini.org)





# I VIAGGI DEL GIOVANE EISTEIN







# EINSTEIN 1905 IL GENIO ALL'OPERA

L'imminenza dell'anniversario dell'*Annus Mirabilis* di Albert Einstein (1905) è un'occasione per esplorare una vicenda scientifica e umana che presenta indubbiamente i tratti della genialità.

L'incontro con una esperienza eccezionale non è però pretesto per una fuga dalla quotidianità; anzi, è un'opportunità in più per cogliere motivi, significati, atteggiamenti che possono aiutare a vivere meglio la normalità dell'esperienza.

L'avventura di Einstein è stata quella di un grande scienziato, protagonista di un radicale capovolgimento della visione della realtà fisica e simbolo, di fatto, dello scienziato moderno.

Per comprendere l'esperienza di uno scienziato tuttavia non basta studiare i risultati delle sue ricerche: anche la scienza infatti, e in Einstein è più che mai evidente, è una conoscenza "personale", dove tutto il soggetto è coinvolto nel rapporto con la realtà.

Bisogna quindi osservarlo "in azione", individuare le domande che hanno orientato la sua indagine, seguirlo nel drammatico dialogo delle congetture e dei controlli

sperimentali, immergersi (cercando di superare le difficoltà del linguaggio) nello specifico dei problemi che ha affrontato.

Per questo abbiamo dato la parola ad Einstein stesso, che ci condurrà attraverso gli anni della formazione per poi invitarci a visitare l'Ufficio Brevetti di Berna, dove ha concepito i tre celebri lavori scientifici del 1905, e da lì entrare "nel cuore" di quelle sue ricerche sul moto browniano, sull'effetto fotoelettrico e sulla relatività speciale.

Potremo così vedere all'opera i criteri di semplicità, armonia, rigore e unità che hanno guidato il "libero gioco dei concetti" di una mente vivace e mai appagata. E sorprendere il lavoro di una ragione sostenuta da una profonda passione per la realtà e mossa continuamente da quella che lui stesso definiva "sacra curiosità".



# LA FISICA È FINITA?

Nel 1871, in occasione dell'inaugurazione del Cavendish Laboratory di Cambridge, **James Clerk Maxwell** affermava: *"È opinione comune che entro pochi anni tutte le grandi costanti fisiche saranno state valutate e la sola cosa che resterà da fare agli scienziati sarà quella di raffinare la loro misura di un altro decimale"*.

Vent'anni dopo, parlando alla Società Britannica per lo Sviluppo delle Scienze, **Lord Kelvin** ribadiva:

*"Abbiamo scoperto tutto ciò che si poteva scoprire nel campo delle scienze fisiche."*

*Il resto non comporta altro che misurazioni sempre più perfezionate".*



Il più autorevole fisico tedesco del primo Novecento  
**Max Planck**  
(1858-1947)

Lo scenario però non era tutto così roseo, come osserverà più tardi **Max Planck**:

*"Negli ultimi cinquant'anni il volto della fisica si è completamente trasformato. Quando io iniziavo i miei studi il mio maestro Philipp von Jolly mi descriveva la fisica come una scienza giunta ad un alto grado di sviluppo e quasi completamente matura che, avendo ormai avuto il suo coronamento con la scoperta del principio della conservazione dell'energia, avrebbe presto assunto una forma stabile e definitiva."*

*In qualche angolo, diceva, c'era forse ancora qualche quisquiglia da ordinare e da studiare, ma il sistema nel suo complesso era abbastanza sicuro, e la fisica teorica si stava avvicinando a quel grado di compiuta perfezione che la geometria aveva raggiunto da secoli."*

*Tali, or è mezzo secolo, le opinioni di un fisico all'altezza dei tempi."*

*Non mancavano nemmeno allora, a dire il vero, alcuni punti oscuri che avrebbero dovuto meglio essere chiariti, e che in quel gradevole stato di sazietà recavano una nota di inquietudine".*

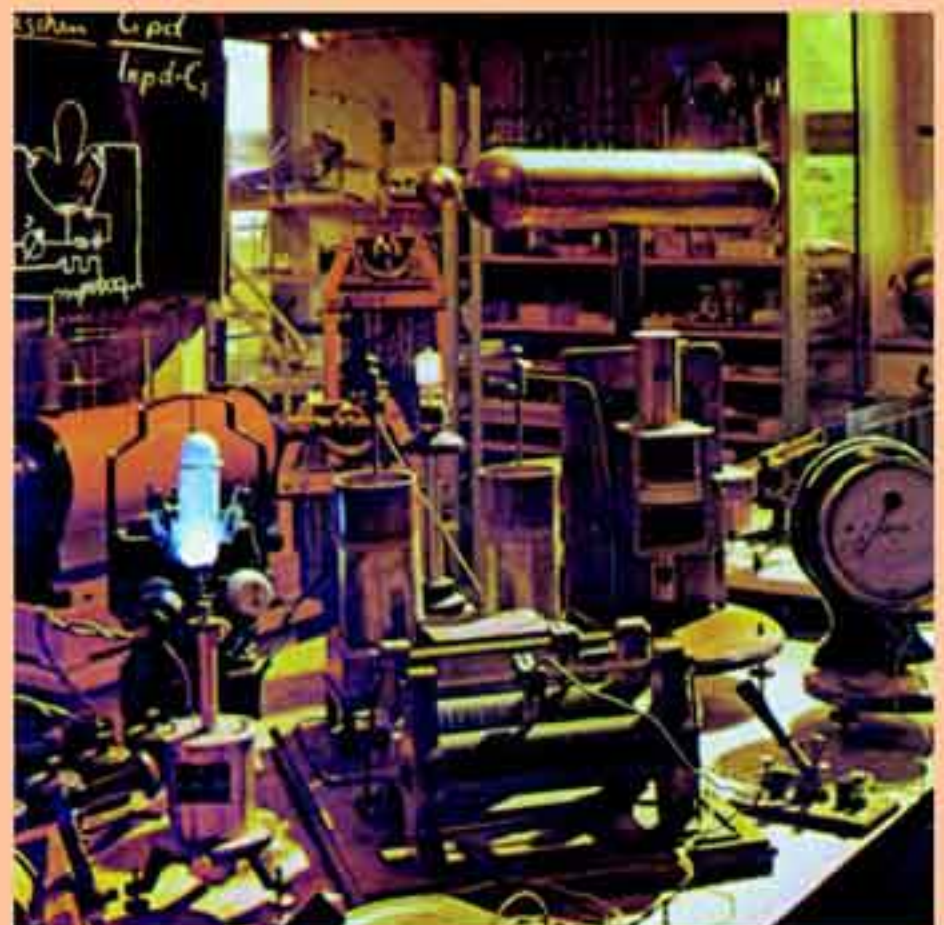


Il grande fisico inglese William Thomson detto **Lord Kelvin**  
(1824-1907)

Lo stesso **Lord Kelvin**, nell'aprile del 1900, tenne una conferenza alla Royal Institution of Great Britain dal titolo significativo: *"Nineteenth Century Clouds over the Dynamical Theory of Heat and Light"*.

Le due nubi alle quali si riferiva riguardavano una il cosiddetto teorema di equipartizione dell'energia, che sembrava inconciliabile con il comportamento sperimentale dei sistemi molecolari; l'altra toccava il problema del moto relativo dei corpi rispetto al fantomatico etere.

Ma un nuovo vento stava arrivando a dischiudere **orizzonti impensati** per la fisica.



Il laboratorio dell'Istituto di fisica del Politecnico di Zurigo frequentato da Einstein negli ultimi anni dell'800



# L'INCALZARE DELLE SCOPERTE

Lo sviluppo della fisica dell'Ottocento consegnava al nuovo secolo un quadro teorico robusto e ben compaginato. La grande sintesi alla quale era pervenuto **Maxwell** (1873), non solo aveva unificato i fenomeni elettrici e magnetici sulla base del concetto di **campo**, ma consentiva anche di spiegare i fenomeni ottici interpretando la luce come il propagarsi di onde elettromagnetiche.

Molti problemi venivano così risolti, ma nuovi interrogativi si aprivano e stimolavano la instancabile curiosità degli scienziati. Le domande vertevano principalmente sulla teoria della materia, sull'interazione tra materia e radiazione, sull'effettiva natura di quell'elettrone che **J. J. Thomson** aveva finalmente scoperto nel 1897, sulle proprietà dell'etere che lo stesso **Thomson** considerava "altrettanto essenziale quanto l'aria che respiriamo", tanto da proclamare che "lo studio di questa sostanza onnipervadente è forse il primo, e più affascinante, dovere del fisico".



Joseph John Thomson (1856-1940) con l'apparecchiatura utilizzata per la scoperta dell'elettrone

Nel frattempo nei laboratori della vecchia Europa si stavano accumulando una serie impressionante di risultati, inimmaginabili appena qualche anno prima.

A dispetto delle profezie di fine secolo, il periodo che va dal 1895 al 1905 registra una **sequenza esaltante di novità** sia teoriche che sperimentali. Il clima che domina la comunità scientifica è ben espresso da **Ernest Rutherford** in una lettera alla madre: "Devo continuare ad avanzare, come se qualcuno mi inseguisse. Devo pubblicare prima possibile quello che sto facendo per poter vincere la sfida".



Lord Rutherford con Hans Geiger nel laboratorio Cavendish di Cambridge



Una dei primi apparati sperimentali per lo studio dei raggi X, in una illustrazione apparsa sulla rivista *Nature* nel 1896

ANNO	AUTORI	SCOPERTA
1895	Röntgen	Raggi X
1896	Becquerel,	Radioattività naturale
1896	Wien	Legge della radiazione termica
1896	Zeeman	Effetto del campo magnetico sulla lunghezza d'onda della luce
1897	Wilson, Thomson	Camera a nebbia e rivelazione dell'elettrone
1898	Marie e Pierre Curie	Nuovi elementi radioattivi: radio e polonio
1899	Rutherford	Individuazione raggi $\alpha$ e $\beta$
1899	Thomson	Misura del rapporto carica/massa dell'elettrone
1900	Rayleigh	Altra legge della radiazione termica
1900	Villard	Individuazione raggi $\gamma$
1900	Planck	Irraggiamento del corpo nero e quanto d'azione
1902	Gibbs	"Principi elementari di meccanica statistica"
1904	Thomson	Modello atomico (senza nucleo)
1904	Lorentz	Trasformazioni relativistiche delle coordinate
1904	Fleming	Invenzione del diodo



# ANNUS MIRABILIS

*"Caro Habicht! Fra noi regna un silenzio solenne, al punto che mi sembra una profanazione venire a romperlo per qualche ciarla di scarso significato. Ma al sublime non succede sempre così a questo mondo? [...] Ma perché non mi ha ancora spedito la Sua dissertazione? Ma non lo sa miserabile, che io sarei uno degli 1 e 1/2 individui che se la leggerebbero tutta con interesse e piacere?"*

*Le prometto in cambio quattro lavori, il primo dei quali Le potrei inviare entro breve, dato che riceverò tra pochissimo le copie omaggio. Tratta della radiazione e delle proprietà energetiche della luce, ed è molto rivoluzionario, come vedrà se prima mi spedisce il suo lavoro. Il secondo lavoro è una determinazione della grandezze degli atomi a partire dalla diffusione e dall'attrito interno delle soluzioni diluite di sostanze neutre. Il terzo dimostra che, nel presupposto [della validità] della teoria molecolare del calore nei liquidi, particelle in sospensione già dell'ordine di grandezza di 1/1000 di mm devono compiere un moto disordinato percettibile che è generato dall'agitazione termica; sono moti "inesplicati" di piccoli corpi inanimati in sospensione - in effetti sono stati osservati dai fisiologi -, che sono stati da loro chiamati "moto molecolare browniano". Il quarto lavoro esiste solo in abbozzo ed è un'elettrodinamica dei corpi in movimento [ottenuta] mediante l'utilizzazione di una modificazione della dottrina dello spazio e del tempo; la parte puramente cinematica di questo lavoro La interesserà di sicuro".*

Con questa lettera all'amico **Konrad Habicht** nel maggio 1905 Einstein preannuncia la performance che sta realizzando con gli articoli inviati agli *Annalen der Physik*.

17 marzo	<i>Su un punto di vista euristico sulla generazione e la trasformazione della luce</i>
30 aprile	<i>Su una nuova determinazione delle dimensioni molecolari (tesi di dottorato)</i>
11 maggio	<i>Sul moto di particelle in sospensione in un fluido in quiete, come previsto dalla teoria cinetica del calore</i>
30 giugno	<i>Sull'elettrodinamica dei corpi in movimento</i>
27 settembre	<i>L'inerzia di un corpo dipende dal suo contenuto di energia?</i>
19 dicembre	<i>Sulla teoria del moto browniano</i>



Einstein a 26 anni



Frontespizio degli Annalen der Physik

Un altro gigante della fisica aveva vissuto un analogo *Annus Mirabilis*, **Isaac Newton**, che tra il 1665 e il 1666 aveva elaborato:

- il metodo di approssimazione delle serie,
- lo sviluppo del binomio (che porta il suo nome),
- il metodo delle tangenti,
- il calcolo differenziale,
- la teoria dei colori,
- il calcolo integrale,
- la prima intuizione della legge di gravitazione universale.



Il cottage di Woolsthorpe dove Newton era nato nel 1642 e dove elaborò, nel suo *Annus Mirabilis*, le scoperte che poi confluirono nel *Principia*



# LA PRIMA MERAVIGLIA

*"Figlio di genitori ebrei, sono nato il 14 marzo 1879 a Ulm. Mio padre era commerciante; si trasferì poco dopo la mia nascita a Monaco di Baviera e poi nel 1894 in Italia, dove rimase fino alla morte, nel 1902. Non ho fratelli, solo una sorella residente in Italia".*

*Autopresentazione alla Accademia Kaiser Leopold, Halle, 1932.*



Einstein, a 5 anni, con la sorella Maia

**1880]** **Hermann Einstein** e il fratello **Jakob** costituiscono a Monaco un'azienda di impianti elettrici.

Lo zio **Jakob**, ingegnere, intuisce il talento scientifico del nipote e gli sottopone problemi matematici che Albert risolve.

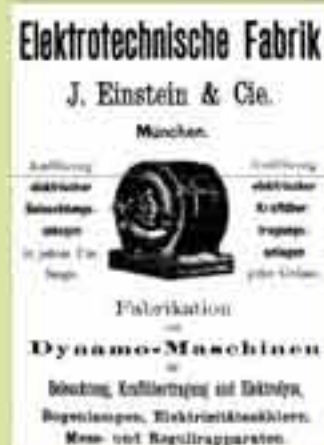
*"Probabilmente accadono nella vita di tutti eventi esterni capaci di determinare la direzione del pensiero e del comportamento di una persona. Per quel che mi*

*riguarda, ricordo che quando ero ancora ragazzino mio padre mi mostrò una piccola bussola e l'enorme impressione che mi fece allora ha senz'altro avuto conseguenze molto importanti nella mia vita".*

*Lettera ad un americano del Colorado, maggio 1936*

*"Il fatto che quell'ago si comportasse in quel certo modo, non si accordava assolutamente con la natura dei fenomeni che potevano trovar posto nel mio mondo concettuale di allora, tutto basato sull'esperienza diretta del toccare. Ricordo ancora - o almeno mi sembra di ricordare - che quella esperienza mi fece un'impressione durevole e profonda. Dietro alle cose doveva esserci un che di profondamente nascosto".*

*"Autobiografia scientifica", 1949*



Manifesto pubblicitario della ditta Einstein



Un'immagine della officina Einstein a Monaco



**La classe di Einstein** - il terzo in basso da destra - al Reale Ginnasio Luitpold a Monaco. "In realtà si trovava a disagio in quella scuola, il modo di insegnare lo sconcertava. Per di più aveva quasi sempre l'impressione che qualche professore gli fosse ostile. Il metodo militaresco adottato in quella scuola, l'educazione sistematicamente rivolta verso il culto dell'autorità, gli erano fortemente ripugnanti. Inoltre era terrorizzato di dover indossare la divisa per compiere il servizio militare" (Testimonianza della sorella).

**1889-1894]** La famiglia Einstein ospita uno squattrinato studente in medicina, **Max Talmud**, che gli propone la lettura di libri di "scienza popolare" e di filosofia. Seguono vive discussioni tra i due.

*"All'età di 12 anni provai una nuova meraviglia di natura completamente diversa; e fu leggendo un libretto sulla geometria piana euclidea. C'erano delle asserzioni, ad esempio quella che le tre altezze di un triangolo s'intersecano in un solo punto, che pur non essendo evidenti, potevano tuttavia essere dimostrate con tanta certezza da eliminare qualsiasi dubbio. Questa lucidità e certezza mi fecero un'indescrivibile impressione".*

*"Autobiografia scientifica", 1949*

*"... Fuori c'era questo enorme mondo che ci sta di fronte come un grande, eterno enigma, accessibile solo parzialmente alla nostra osservazione e al nostro pensiero. Il possesso intellettuale di questo mondo mi balenò alla mente, in modo più o meno consapevole, come la meta più alta fra quelle concesse all'uomo".*

*"Autobiografia scientifica", 1949*

**1888-1895]** Einstein frequenta il Luitpold Gymnasium a Monaco. La scuola non ebbe un ruolo positivo nella sua formazione.

**1894]** il padre **Hermann** e lo zio **Jakob** trasferiscono in Italia l'azienda di impianti elettrici. Albert rimane a Monaco per completare gli studi.



# IL FASCINO DELLA NATURA



Einstein a 15 anni, poco prima di lasciare la Germania

**1895]** Einstein presenta un certificato medico attestante disturbi nervosi, ottiene l'autorizzazione a lasciare il Luitpold Gymnasium, interrompendo gli studi. Raggiunge la famiglia a Milano.

*"Quando lo videro giungere i suoi familiari rimasero stupefatti per l'audacia del gesto, ma il giovane ribelle disse loro a chiare lettere che non avrebbe mai più rimesso piede a Monaco, e per assicurare tutti sul suo avvenire, promise che si sarebbe preparato da sé per il concorso di ammissione al Politecnico di Zurigo".*

*Testimonianza della sorella, 1924*

**Ottobre 1895]** Viene bocciato all'esame di ammissione al Politecnico nonostante le buone prove nelle discipline scientifiche.



La classe di Einstein alla scuola cantonale di Aarau

**1895-1896]** Frequenta la Scuola cantonale di Aarau, dove ottiene il diploma per iscriversi al Politecnico di Zurigo.

*"Se avessi la fortuna di superare gli esami, andrei al Politecnico di Zurigo a studiarvi per quattro anni matematica e fisica. Penso a me come a un futuro insegnante di queste branche della scienza, preferibilmente nei loro aspetti teorici. Quanto alle ragioni che mi hanno indirizzato verso tale progetto metterei al primo posto una certa attitudine al pensiero astratto e matematico, e poi la mia poca fantasia e il mio scarso senso pratico. E' stata una scelta dettata anche da un interesse genuino. Il che è naturale: si preferisce sempre fare le cose per le quali si hanno le capacità. Nella professione scientifica vi è poi una certa libertà che mi attira non poco".*

*Tema "I miei progetti per il futuro" svolto da Einstein presso la Scuola cantonale di Aarau.*



Einstein con Grossman e altri studenti a Zurigo

La prima intuizione della relatività nasce nella mente di Einstein proprio ad Aarau.

*"Un siffatto principio risultò da un paradosso nel quale m'ero imbattuto all'età di sedici anni: se io potessi seguire un raggio di luce a velocità  $c$  (la velocità della luce nel vuoto), il raggio di luce mi apparirebbe come un campo elettromagnetico oscillante nello spazio, in stato di quiete. Ma nulla del genere sembra possa sussistere sulla base dell'esperienza o delle equazioni di Maxwell".*

*"Autobiografia scientifica", 1949*

**1896-1900]** Frequenta il Politecnico di Zurigo.

*"Lavoro accanito e contemplazione della natura di Dio sono gli angeli che, concilianti, fortificanti e tuttavia spietatamente severi, mi guideranno attraverso il tumulto della vita".*  
*Lettera a Rosa Winteler, 3 giugno 1897*



# GENITORI, AMICI E MAESTRI

1897] Einstein incontra **Michele Besso**, l'amico di tutta una vita. Fu **Besso** ad indirizzare Einstein alla lettura di **Mach**.

*"Riconosco la grandezza di Mach nel suo scetticismo incorruttibile e nella sua indipendenza. La sua 'Storia della meccanica', quand'ero studente, esercitò una profonda influenza su di me [...] Mach combattè e demolì il dogmatismo della fisica del XIX secolo".*

Il dogmatismo consisteva nel considerare la meccanica come fondamento di tutta la fisica e di postulare l'esistenza di uno spazio e di un tempo assoluti.



Michele Besso con la moglie

Gravi difficoltà dell'azienda paterna, il giovane Albert comprende l'inadeguatezza imprenditoriale del padre e gli dà non ascoltati consigli.



Il padre Herman Einstein e la madre Pauline Koch

*"Se il babbo avesse seguito secondo quanto gli indicavo già da due anni, di cercarsi un impiego da qualche parte, avrebbe risparmiato molte disavventure sia a lui, sia a noi".*  
Lettera alla sorella, 1898

Einstein è oppresso per la situazione familiare.

*"Ciò che più mi affligge è la malasorte dei miei poveri genitori. Sono profondamente addolorato dal fatto che io, ormai adulto, devo starmene a guardare con le mani in mano senza poter essere del benché minimo aiuto. Non sono altro che un peso, sarebbe stato meglio se non fossi mai nato. A volte l'unico pensiero che mi conforta è che ho fatto tutto il poco che potevo: non mi sono mai permesso né svaghi, né divertimenti, tranne quelli forniti dallo studio".*  
Lettera alla sorella, 1898.



L'Istituto di Fisica del Politecnico di Zurigo

Segue un temporaneo miglioramento.

*"Di tanto in tanto ho qualche ora libera per girare nei bei dintorni di Zurigo. Inoltre sono felice di pensare che le peggiori preoccupazioni dei miei genitori sono ormai svanite. Se tutti vivessero come me, non si sarebbe mai inventato il romanzo".*

Lettera alla sorella, 1898.

28 luglio 1900] Ottiene il diploma al Politecnico di Zurigo. I voti sono 5,5 su 6 in Teoria delle funzioni; 5 su 6 in Fisica teorica, Fisica sperimentale, Astronomia; 4,5 su 6 nella tesi di diploma.

Non gli viene però concesso un posto di assistente all'Istituto di Fisica.



# LE PRIME PUBBLICAZIONI DI UNO SCONOSCIUTO SUPPLENTE

**1900-1901]** È supplente presso l'Istituto tecnico di Winterthur, poi presso una scuola privata di Sciaffusa. Inizia intanto un'intensa attività di studio e di ricerche di fisica teorica.



L'Ufficio federale svizzero per la proprietà intellettuale, ovvero Ufficio Brevetti, a Berna

*"Dà una sensazione meravigliosa il riconoscere i caratteri unificanti di un complesso di fenomeni che si presentano come del tutto incorrelati alla diretta esperienza dei sensi".*  
Lettera all'amico matematico Marcel Grossman, aprile 1901

**1901]** Sui prestigiosi *Annalen der Physik* appare il primo articolo di Einstein, sulla teoria della capillarità. Questo lavoro non fa prevedere niente di eccezionale nel futuro dell'autore.

**1902]** Sempre sugli *Annalen* appare un articolo sulla elettrolisi, dove Einstein avanza l'ipotesi di una forza molecolare universale analoga alla forza attrattiva di Newton. L'ipotesi è sbagliata, ma mostra come Einstein fosse già alla ricerca di principi unificanti per la fisica.

**23 giugno 1902]** Prende servizio presso l'Ufficio brevetti di Berna, con la qualifica di tecnico di III classe e stipendio annuo di 3.500 franchi.



Einstein al tavolo dell'Ufficio Brevetti

**6 gennaio 1903]**  
Sposa **Mileva Maric**.

*"Caro Michele, grazie infinite per la tua cara lettera. Dunque adesso sono un uomo sposato e conduco con mia moglie una vita deliziosa e molto piacevole. Lei pensa a tutto in modo eccellente, cucina bene ed è sempre di buon umore".*  
Lettera a Besso, 22 gennaio 1903

**14 maggio 1904]** Nasce il figlio **Hans Albert**.

*"La porta d'ingresso era spalancata perché il pavimento lavato da poco e la biancheria appesa lungo il corridoio si asciugassero. Entrai nella stanza di Einstein, con tutta calma faceva dondolare con una mano la culla dove stava il figlioletto, nell'altra reggeva un libro aperto. Fumava un sigaro di qualità scadente, la stufa mandava un fumo soffocante. Non so come facesse a resistere".*  
Testimonianza di David Reichinstein, 1934.

**1902-1904]** Pubblica articoli sui fondamenti della meccanica statistica che costituiscono le premesse alla teoria del moto browniano.



Foto di matrimonio di Einstein e Mileva Maric

Einstein, Mileva e il primo figlio



A Berna, Einstein discute spesso di fisica e di filosofia con Maurice Solovine (al centro) e Conrad Habicht (a sinistra), con i quali fonda l'Accademia Olimpia

Lezioni private di matematica e fisica a studiosi e scolari impartisce coscienziosamente  
Albert Einstein,  
titolare del diploma del Politecnico federale.  
Una lezione di prova gratis.

Annuncio sul "Berner Stadtanzeiger", 1902

Riproduzione dell'annuncio

Franz Ammer, Malerweg 9 (Langg.) u. Vereinsdruckerei, Quai von Wülcher für Miniatographen.

**Vermishtes**  
Verkaufsstunden in  
**Mathematik u. Physik**  
für Studierende und Schüler erteilt  
gründlich  
Albert Einstein, Inhaber des eidgen. vollst. Fachlehrerdiploms,  
Gerechtigkeitsgasse 22, 1. Stod.  
Vorkosten gratis. 1902

**Kapital-Gejuch.**  
4983 Ein junger, freiburger Bank-