

Introduzione al corso di Campi Elettromagnetici

II - Cenni storici

Sono trascorsi tre secoli da quando **Isaac Newton**¹⁾ formuló la sua famosa legge sulla 'Gravitazione Universale'. Poiché tale legge violava l'accettato principio **della impossibilità dell'azione a distanza** Newton stesso fu riluttante ad annunciarlo ed essere sottoposto ad attacchi da parte del mondo scientifico dell'epoca. **Edmund Halley**,²⁾ lo scopritore della cometa che porta il suo nome, era un amico di Newton e lo persuase a lasciare che egli stesso presentasse la legge alla 'Royal Society'. Era il 1685 e, come Newton aveva previsto, egli e la sua legge furono attaccati dai membri della 'Royal Society'. Quando l'anno successivo fu osservata la cometa di Halley tutti gli scienziati accettarono la famosa legge.

Un grande impulso alle ricerche sull'elettricità ed il magnetismo fu dato nel 1800 con la scoperta della pila dovuta ad **Alessandro Volta**.³⁾

Quando nel 1838 **Michael Faraday**⁴⁾ presentó i risultati del suo lavoro 'Experimental Research' con le linee di forza che si estendevano attraverso lo spazio vuoto, il mondo scientifico era già preparato ad accettare l'azione a distanza.

Basandosi sul lavoro di Faraday, **James Clerk Maxwell**⁵⁾ unificó le teorie della elettricità e del magnetismo in modo profondo ed elegante nel suo famoso 'Trattato di Elettricità e Magnetismo' pubblicato nel 1873. Egli postuló la natura elettromagnetica della luce e che era possibile l'esistenza e la propagazione di altre lunghezze d'onda. Negli anni che seguirono vi fu molto scetticismo, nell'ambiente scientifico, sulla teoria di Maxwell, in quanto fra le altre cose la sua teoria prediceva un valore di 81 per la costante dielettrica relativa dell'acqua contro il valore inferiore a 2 universalmente accettato.

Nel 1880 la situazione nel mondo era la seguente: la radio era sconosciuta, e non vi erano, quindi, antenne; i raggi X non erano stati ancora scoperti, la relatività non era stata ancora proposta così come la teoria quantistica. I raggi cosmici erano sconosciuti così come l'esistenza della ionosfera. Non vi erano aeroplani ed un tipo di cura medica era quello di togliere il sangue per mezzo delle sanguisughe.

Sebbene c'era, già, il telegrafo elettrico attraverso i fili, la lampada ad incandescenza di **Edison**⁶⁾ faceva lenti progressi ad affermarsi a causa della forte opposizione dell'industria dell'illuminazione a gas.

Negli Stati Uniti infuriava la controversia se era meglio utilizzare sulle strade veicoli azionati dall'elettricità (tram) o trainati da cavalli; in Gran Bretagna, qualsiasi autoveicolo

1) Isaac Newton: Woolsthorpe, Lincolnshire (UK), 1642 - Kensington, Middlesex, 1727.

2) Edmund Halley: London (UK), 1656 - Greenwich, 1742.

3) Conte Alessandro Giuseppe Antonio Anastasio Volta: Como, 18 Febbraio 1745 - Como, 5 Marzo 1827.

4) Michael Faraday: Newington (UK), 1791 - Hampton Court, 1867.

5) James Clark Maxwell: Edinburgh (UK), 1831 - Cambridge, 1879.

6) Thomas Alva Edison: Milan (Ohio, USA), 1847 - West Orange, 1931.

che viaggiava su strada pubblica doveva essere preceduto da un uomo che mostrava una bandiera rossa durante il giorno ed una lanterna rossa durante la notte.

Nello stesso tempo l'Accademia delle Scienze di Berlino offriva un premio per ricerche sulla relazione fra forze elettromagnetiche e polarizzazione dielettrica. **Heinrich Rudolph Hertz**⁷⁾ pensó che il problema poteva essere studiato per mezzo di oscillazioni elettriche in un circuito LC (allora costituito da una bottiglia di Leyda e da una bobina). Nel 1886 a Karlsruhe presso il 'Technical Institute' dove insegnava egli mise a punto un apparato sperimentale che l'anno successivo gli consentí la generazione di onde elettromagnetiche che si propagavano nello spazio libero e, quindi, la verifica della teoria di Maxwell.

Nei successivi due anni Hertz estese i suoi esperimenti e dimostró la riflessione, la rifrazione e la polarizzazione, dimostrando cosí che eccetto per la lunghezza d'onda molto piú grande, le onde radio (come vengono chiamate le radiazioni elettromagnetiche a frequenza molto piú basse di quelle della luce) si comportano come la radiazione luminosa.

Gli esperimenti iniziali di Hertz generavano onde elettromagnetiche di lunghezza d'onda di 4 metri mentre piú tardi egli riusciva a produrre radiazione di lunghezza d'onda di 30 cm circa.

L'apparato sperimentale di Hertz rimase una curiositá di laboratorio per circa un decennio fino a quando un giovane di 20 anni **Guglielmo Marconi**⁸⁾ durante una vacanza estiva sulle Alpi trovó una rivista che descriveva gli esperimenti di Hertz. Il giovane Guglielmo si chiese se queste onde Hertziane potessero essere utilizzate per inviare messaggi. Egli fu ossessionato da questa idea, accorció la sua vacanza e corse a casa a provare. In spaziose stanze sul piano superiore del palazzo dove abitava, Guglielmo ripeteva gli esperimenti di Hertz. Il suo primo successo giunse una notte e lo esaltó tanto che egli non aspettó il mattino successivo per comunicarlo a sua madre. Marconi cominció a costruire grandi antenne e fu cosí in grado di inviare segnali su grandi distanze. A metá Dicembre del 1901, egli sbalordí il mondo annunciando che aveva ricevuto segnali radio a St. John nell'isola di Terranova (al largo della costa orientale nord americana) provenienti da Poldhu in Cornovaglia (Inghilterra) e che quindi le onde elettromagnetiche avevano attraversato l'oceano Atlantico. La comunitá scientifica non credette alla sua affermazione in quanto, cosí come avveniva per la luce, le onde elettromagnetiche dovevano viaggiare in linea retta e non seguire la curvatura terrestre fra l'Inghilterra e Terranova. La compagnia che gestiva la posa dei cavi sottomarini credette a Marconi e lo diffidó a cessare gli esperimenti perché essa aveva il monopolio sulle comunicazioni transatlantiche. Le azioni della compagnia precipitarono dopo l'annuncio fatto da Marconi ed essa minacció di citarlo in giudizio per ogni perdita che avrebbe subito. Marconi persistette nei suoi esperimenti e la lunga battaglia legale duró 27 anni fino a quando finalmente i gruppi 'cavi' e 'radio' si fusero.

Un mese dopo l'annuncio di Marconi l'American Institute of Electrical Engineers (AIEE) organizzó un banchetto per celebrare l'evento; molti scienziati boicottarono il banchetto perché le loro teorie erano state messe in dubbio dagli esperimenti di Marconi.

⁷⁾ Heinrich Rudolph Hertz: Hamburg (Germany), 1857 - Bonn, 1894.

⁸⁾ Guglielmo Marconi (1874-1937): insignito, nel 1909, del premio Nobel per la fisica, insieme a Carl Ferdinand Braun, per lo sviluppo della telegrafia senza fili. Per notizie, scritti e documenti riguardanti la figura umana e scientifica di G.Marconi si consulti, fra i tanti, il sito web della fondazione Guglielmo Marconi: **www.fgm.it**

Un anno piú tardi, nel 1903, Marconi cominció un servizio regolare di messaggi transatlantici fra Poldhu e le stazioni che egli costruí nella Nuova Scozia e a Cape Cod vicino a Boston. La stazione di Poldhu aveva un'antenna aerea a ventaglio sostenuta da due pali di legno. Come antenna ricevente dei suoi primi segnali transatlantici a St. John, Marconi utilizzó 200 metri di cavo aggrovigliato a rete e posto al suolo.

Dopo la scoperta di Marconi sulla possibilitá di trasmettere attraverso l'Atlantico, si presentava necessaria una trattazione completa della propagazione delle radioonde intorno alla terra; questo argomento é stato oggetto di ricerche da parte di illustri scienziati.

É stato dimostrato rigorosamente che la propagazione delle onde radio non possa interpretarsi senza supporre l'esistenza della ionosfera, esistenza ammessa come ipotesi da Heaviside e Kennelly nel 1902, ma solo nel 1924 provata direttamente.

I2 - Lo spettro elettromagnetico

Lo spettro elettromagnetico é un continuo di oscillazioni monocromatiche di natura elettromagnetica che si estende in frequenza fino a valori dell'ordine di 10^{20} Hertz.

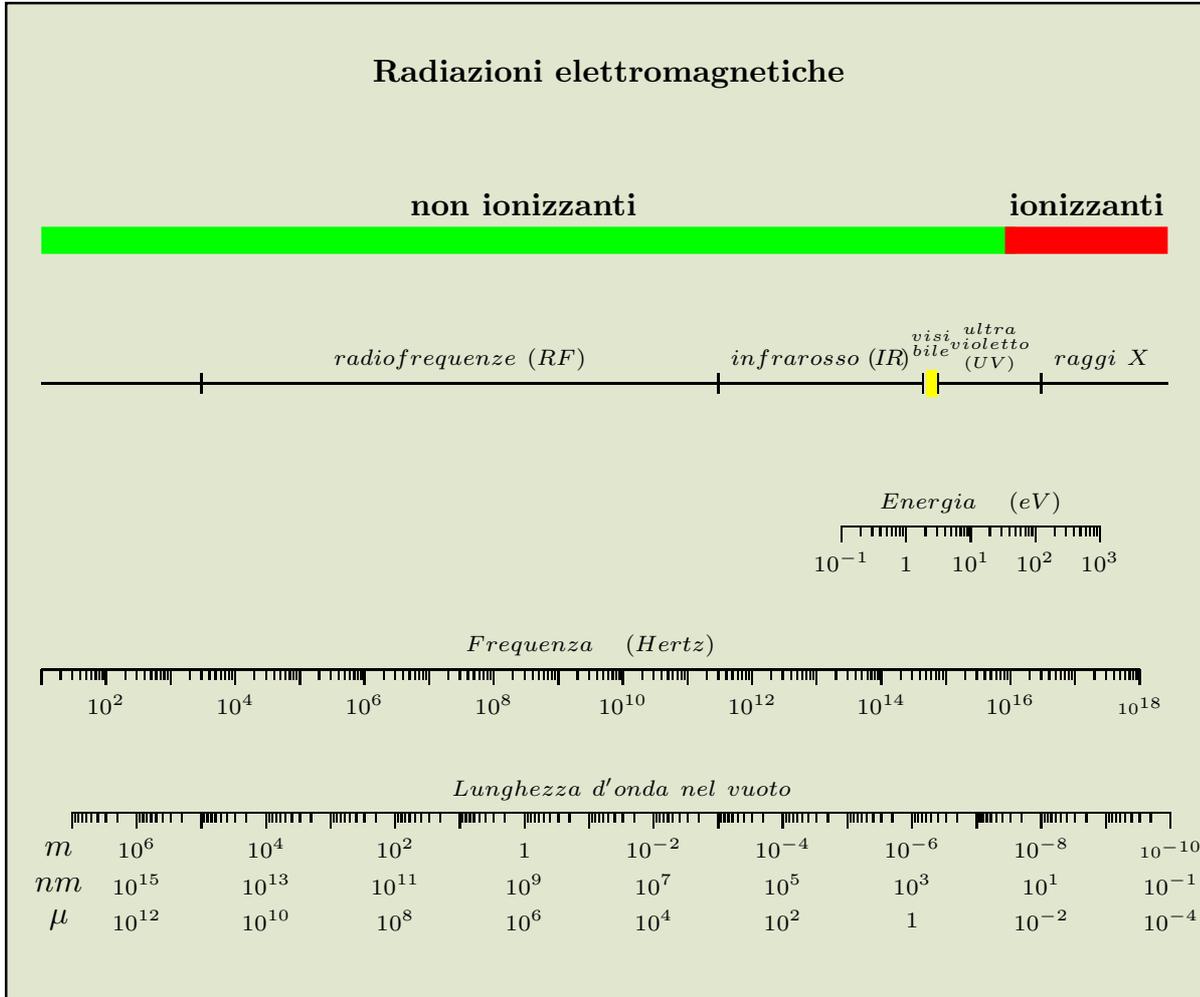


fig.I2-1

Ai campi elettromagnetici é associata una quantità di energia. In funzione di essa la radiazione può essere in grado di provocare la ionizzazione della materia con cui interagisce modificandone profondamente la struttura atomica e molecolare con gravi danni somatici e genetici del sistema biologico.

É stata quindi creata una prima distinzione fra **le radiazioni ionizzanti e non ionizzanti** a seconda che la quantità di energia a esse associata sia, o meno, **superiore a 34 eV** (eV =elettronvolt; $1 eV \implies 2.42 \cdot 10^{14} Hz$). Nella prima categoria non di interesse per il presente corso, cadono, per esempio le radiazioni X e γ .

Ogni banda dello spettro viene a sua volta suddivisa in piccole bande ognuna con la propria denominazione.

Suddivisione della banda radiofrequenza

Frequenza	Lunghezza d'onda	Denominazione
30 - 300 Hz	$10^7 - 10^6$ m	ELF (extremely low frequency)
300 - 3000 Hz	$10^6 - 10^5$ m	
3 - 30 KHz	$10^5 - 10^4$ m	VLF (very low frequency)
30 - 300 KHz	$10^4 - 10^3$ m	LF (low frequency)
300 - 3000 KHz	$10^3 - 10^2$ m	MF (medium frequency)
3 - 30 MHz	$10^2 - 10$ m	HF (high frequency)
30 - 300 MHz	10 - 1 m	VHF (very high frequency)
300 - 3000 MHz	1 m - 10 cm	UHF (ultra high frequency)
3 - 30 GHz	10 - 1 cm	SHF (super high frequency)
30 - 300 GHz	1 cm - 1 mm	EHF (extremely high frequency)
300 - 3000 GHz	1 mm - 100 μ	

È interessante particolareggiare la sottobanda utilizzata per i radar; le onde elettromagnetiche aventi tali frequenze prendono il nome di **Microonde**.

Frequenza	Lunghezza d'onda	Denominazione IEEE
1 - 2 GHz	30 - 15 cm	banda L
2 - 4 GHz	15 - 7.5 cm	banda S
4 - 8 GHz	7.5 - 3.75 cm	banda C
8 - 12 GHz	3.75 - 2.5 cm	banda X
12 - 18 GHz	2.50 - 1.67 cm	banda Ku
18 - 27 GHz	1.67 - 1.11 cm	banda K
27 - 40 GHz	1.11 cm - 7.5 mm	banda Ka
40 - 300 GHz	7.5 - 1 mm	mm

Il termine **Microonde** fu introdotto dal Prof. Nello Carrara (Firenze, 19 Febbraio 1900 - Firenze, 5 Giugno 1993) e apparve nel titolo di un articolo pubblicato nel mese di Marzo del 1932 - **N. Carrara: La rivelazione delle microonde - Alta Frequenza, vol. 1, no. 1, Marzo, 1932, pp. 7-11**. Successivamente, nel mese di Ottobre del 1932 apparve in un altro articolo - **N. Carrara: The detection of Microwaves - Proceedings of the Institute of Radio Engineers, Volume 20, Number 10, October, 1932, pp. 1615-1625**. Nel Summary Egli scrisse: The results of researches made to recognize the best conditions in which triodes can be used for the detection of **microwaves (frequencies of about 10^9 per sec)** are reported here.^{1),2)}

¹⁾ Giuseppe Pelosi, Scanning the Past - The Birth of the Term Microwaves, Proceedings of the IEEE, Vol. 84, No. 2, February 1996 pag. 326.

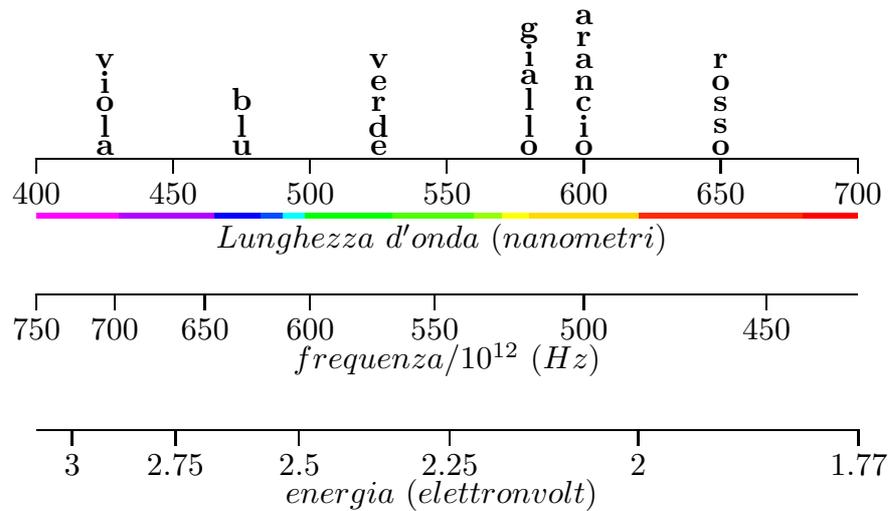
²⁾ Giuseppe Pelosi, The Origin of the Term Microwaves - Microwave Journal, February 2022, pag. 18.

Le principali caratteristiche di propagazione e i principali usi dei campi di frequenze succitati sono i seguenti:¹⁾

Campo di frequenza	Caratteristiche di propagazione	Usi
V.L.F.	Bassa attenuazione a qualunque ora del giorno e della notte in qualsiasi stagione.	Radio navigazione, radio localizzazione, comunicazioni intercontinentali.
L.F.	Bassa attenuazione notturna.	come sopra
M.F.	Alta attenuazione diurna.	Radio-trasmissioni in modulazione d'ampiezza. Radio-comunicazioni da e per navi e aerei.
H.F.	Trasmissione a lunga distanza variabile fra notte e giorno e a seconda delle stagioni.	Radio-trasmissioni di tutti i tipi a media e lunga distanza fra punti fissi e fra punti mobili.
V.H.F.	Propagazione sostanzialmente rettilinea.	Televisione, radio-trasmissioni a modulazione di frequenza, radar, radio-navigazione.
U.H.F.	come sopra.	Televisione, radar, ponti radio, radio-navigazione.
S.H.F.	come sopra.	Radar, ponti radio, radio-navigazione.
E.H.F.	come sopra.	Radio-navigazione, radar metereologici.

¹⁾ Antonio Massarotti, Mario Puglisi: Elementi di Radiotecnica - Zanichelli, Bologna, 1964, pag.143.

Spettro della radiazione visibile



Suddivisione dettagliata dei colori

da 400 a 430 nm: zona del violetto;

da 430 a 490 nm: zona del blu nelle sue seguenti tonalità intermedie:

da 430 a 465 nm: indaco

da 466 a 482 nm: blu

da 483 a 490 nm: blu verdastro

da 491 a 560 nm: zona del verde nelle sue seguenti tonalità intermedie:

da 490 a 498 nm: verde bluastro

da 499 a 530 nm: verde

da 531 a 560 nm: verde giallastro

da 561 a 580 nm: zona del giallo nelle sue seguenti tonalità intermedie:

da 561 a 570 nm: giallo-verde

da 571 a 575 nm: giallo citrino

da 576 a 580 nm: giallo

da 581 a 620 nm: zona dell'arancione nelle sue seguenti tonalità intermedie:

da 581 a 586 nm: arancione giallastro

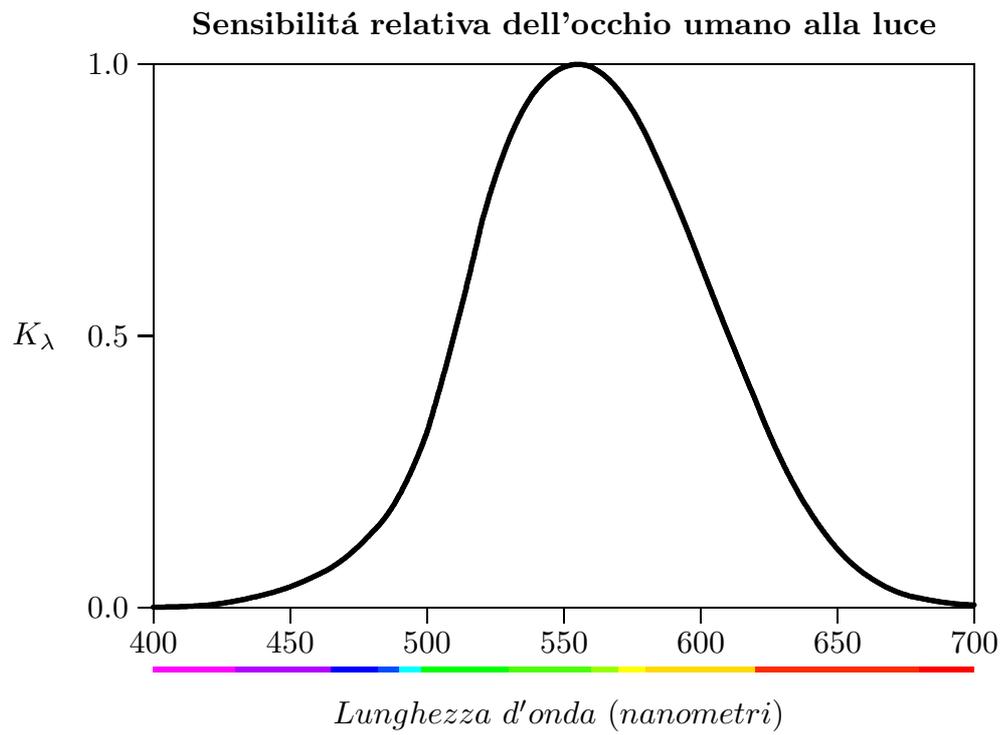
da 587 a 596 nm: arancione

da 597 a 620 nm: arancione rossastro

da 620 a 700 nm: zona del rosso nelle sue seguenti tonalità intermedie:

da 621 a 680 nm: rosso

da 681 a 700 nm: rosso profondo



I3 - Breve Biografia di James Clerk Maxwell¹⁾

- 1831 James Clerk Maxwell nasce ad Edinburgh, Scotland, il 13 giugno da John, avvocato, e da Frances Cay, di antica famiglia borghese benestante. Anche i Clerk erano famiglia di antica, piccola nobiltá scozzese e John Clerk aveva (secondo le consuetudini) aggiunto il cognome Maxwell al proprio quando era entrato in possesso, per ereditá, della proprietá terriera di Middlebie, che per generazioni era appartenuta alla famiglia Maxwell e da una Maxwell era stata recata in dote a un Clerk. In questa proprietá, situata nel Kirkcudbrightshire, John Clerk Maxwell si era fatto costruire una casa di campagna, chiamata 'Glenlair', dove egli si ritira con la famiglia poco dopo la nascita del figlio James (che rimarrá poi l'unico). Il piccolo cresce quindi in campagna, manifestando precocitá di interessi, specialmente per quanto concerne il funzionamento degli oggetti, e spiccate abilitá manuali.
- 1839 Il piccolo James perde la madre, morta dello stesso male che un giorno ucciderá pure lui (cancro addominale). Da allora si fa sempre piú intima e affettuosa la Sua intesa con il padre, che durerá per tutta la vita di questi.
- 1841 Dopo aver ricevuto qualche rudimento di istruzione, impartita da tutor privati, Egli entra come studente all'Accademia di Edimburgo (un'eccellente scuola secondaria), incontrandovi difficultá iniziali di ambientazione. Egli abitava con la sorella di suo padre, vedova, Isabella Wedderburn a 31, Heriot Row, e qualche volta a 6, Great Stuart Street, Edimburgh, con la sorella di sua madre, Aunt Jane, che non era sposata. Egli divenne amico di Peter Guthrie Tait, futuro Professore di Natural Phylosophy all'Universitá di Edimburgh, e di Lewis Campbell futuro Professore di Classics (Greco) alla St. Andrews University e Suo definitivo biografo. Nei primi anni di scuola Egli non si distinse significativamente. Dopo qualche anno Gli arridono però i successi scolastici ed anche il Suo temperamento diviene piú gioviale e vivace. Non ancora quindicenne, scrive un saggio sul tracciamento di certe curve ovali, un cui sunto viene pubblicato nei 'Proceedings' della Royal Society di Edimburgo (1846). Egli mostra anche gusto letterario e attitudine alla versificazione, che conserverá per tutta la vita.
- 1847 Entra all'Universitá di Edimburgo, dove il Suo professore di fisica, J.D. Forbes, Gli concede di usare, per esperimenti in proprio, gli strumenti del suo laboratorio. Segue corsi di matematica, filosofia naturale, chimica e filosofia (in particolare di gnoseologia²⁾ e logica con W. Hamilton), con vivo interesse. L' *'Analisi matematica della logica'* di G.Boole, uscita in quegli anni (1847), trova in Lui un attento lettore. Mentre é studente ad Edimburgo, pubblica nelle 'Transactions' della Royal Society di quella cittá due lavori sulle curve di rotolamento e sull'equilibrio dei corpi elastici. A Luglio ed agli inizi di Agosto del 1850, al meeting della 'British Association for the Advance-

¹⁾ Classici della Scienza UTET - Trattato di Elettricitá e Magnetismo di James Clerk Maxwell Vol. I a cura di Evandro Agazzi.

²⁾ La gnoseologia - dal greco "gnósis" ("conoscenza") e "lógos" ("discorso") - chiamata anche teoria della conoscenza, é quella branca della filosofia che si occupa dello studio della conoscenza

ment of Science' in Edimburgh, si confrontó con Sir David Brewster³⁾ su alcuni aspetti della teoria dei colori. Il professor George Gabriel Stokes⁴⁾ e William Thomson⁵⁾ (piú tardi Lord Kelvin) erano presenti al meeting.

- 1850 Senza aver conseguito alcun diploma ad Edimburgo, Egli passa a Cambridge, entrando prima al St. Peter's College, dove lo ha preceduto P.G. Tait (piú giovane di Lui di un anno, già Suo compagno di scuola all'Accademia di Edimburgo e poi Suo amico per il resto della vita) e dove già William Thomson é Fellow (dalle ricerche di Thomson Egli sarà molto influenzato, e con Lui resterà in continuo contatto epistolare per tutta la vita). Dopo due mesi, però passa al Trinity College (di cui é direttore W. Whewell), dove incomincia a distinguersi per la vasta, anche se disordinata, cultura matematica e l'eccezionalità del Suo ingegno. Conduce con impegno gli studi matematici sotto la guida di W. Hopkins che, oltre ad essere un distinto scienziato, é anche il migliore insegnante di matematica di Cambridge e ha già avuto fra i suoi allievi G.G. Stokes (che ora insegna a Cambridge avendo Maxwell fra i suoi piú assidui ascoltatori) e W. Thomson. Ancora studente, Egli pubblica alcuni lavori matematici sul 'Cambridge and Dublin Mathematical Journal'.
- 1854 Supera gli esami finali, i cosiddetti 'Mathematics Tripos' allora particolarmente impegnativi, riuscendo 'Second Wrangler' dietro a E.J. Routh, col quale divide però a pari merito, subito dopo, il piú significativo 'Smith's Prize'. Conseguito il diploma, resta al Trinity College, lavorando alla Sua teoria dei colori e approfondendo lo studio delle '*Experimental Researches in Electricity*' di Faraday. La lettura di queste, unita alla conoscenza dei lavori di Stokes sull'idrodinamica e l'ottica e di quelli di Thomson sulla analogia matematica fra la conduzione del calore e l'elettricità statica (conoscenza fatta mentre ancora era studente) sarà decisiva per orientare fin dall'inizio i Suoi studi sull'elettromagnetismo.
- 1855 Viene eletto Fellow del Trinity College e Fellow della Royal Society di Edimburgo. Alla fine dell'anno, legge davanti alla Cambridge Philosophical Society la prima delle Sue grandi memorie sull'elettromagnetismo, '*On Faraday's lines of forces*', che apparirà l'anno dopo nelle 'Transactions' della medesima Society. Nel frattempo, l'aggravarsi della salute del padre lo induce, per potergli essere piú vicino, a porre la candidatura come professore di Natural Philosophy al Marischal College della cittadina scozzese di Aberdeen, ma il padre muore pochi mesi prima che Egli occupi tale cattedra.
- 1856 Inizia il lavoro di insegnante ad Aberdeen e si immerge nella preparazione di un saggio sul moto degli anelli di Saturno, per concorrere all'"Adam's Prize" bandito per quell'anno. Egli lo vincerá, rivelandosi come personalità di prim'ordine nel campo della fisica matematica, per le grandi difficoltà matematiche affrontate e superate. Egli mostró che la stabilità sarebbe potuta esistere solo se gli anelli fossero costituiti

³⁾ Sir David Brewster: Jedburgh, Scotland, 11 dicembre 1781 - Allerly, Scotland, 10 febbraio 1868

⁴⁾ Sir George Gabriel Stokes: County Sligo, Ireland, 13 Agosto 1819 - Cambridge, U.K. (Mill Road Cemetery), 1 febbraio 1903

⁵⁾ William Thomson (Lord Kelvin): Belfast, Ireland, 11 dicembre 1781 - Netherhall, Ayrshire, Scotland, (sepolto in Westminster Abbey) 17 Dicembre 1907

di numerose piccole particelle solide, una spiegazione confermata un centinaio di anni piú tardi dal primo probe spaziale Voyager che raggiunse Saturno. Frattanto prosegue nell'abitudine, presa a Cambridge, di tenere lezioni pubbliche per i lavoratori.

- 1858 Sposa Catherine Mary Dewar, figlia del rettore del Marischal College, donna di carattere piuttosto difficile, ma con la quale saprá sempre vivere in armonia. Essi non ebbero figli. Il matrimonio comporta la Sua decadenza da Fellow del Trinity College di Cambridge, di cui sará però fatto in seguito Fellow onorario.
- 1859 Ha luogo ad Aberdeen il convegno della British Association (cui partecipa anche W.R. Hamilton, l'inventore dei quaternioni, di cui Egli fa la conoscenza personale). In esso Egli presenta la Sua prima memoria sulla teoria cinetica dei gas, in cui é contenuta la soluzione del problema delle velocità fra le varie molecole (distribuzione maxwelliana). Essa uscirá l'anno dopo, in due parti, nel 'Philosophical Magazine'.
- 1860 I due collegi di Aberdeern (Marischal e King's) vengono fusi in un'unica Università e la cattedra di Fisica del Marischal é abolita mentre la posizione di Professore di Natural Philosophy andó al Professore del King College David Thomson, che era un nipote di Michael Faraday. Egli divenne un candidato per il posto di Professore di Natural Philosophy all'Università di Edimburgh. La posizione fu lasciata vacante da James Forbes che divenne Rettore dell'United Colleges a St. Andrews per succedere a Sir David Brewster, che era diventato Rettore dell'Università di Edimburgh nel 1859. Maxwell fu sconfitto dal suo vecchio amico P.G. Tait ritenuto didatticamente piú semplice ed efficace. All'età di 29 anni, Maxwell ottiene, però, quella di Fisica e Astronomia del King's College di Londra. Inizia cosí per Lui un quinquennio fecondissimo di lavoro scientifico (durante il quale Egli é in contatto personale con Faraday): esso si apre con la pubblicazione del saggio '*On the theory of compound colours*', che gli vale il conseguimento della Rumford Medal della Royal Society di Londra, in cui presenta la teoria dei tre colori fondamentali; a questo segue la pubblicazione della memoria sulla teoria cinetica dei gas (composta l'anno prima), '*Illustrations of the dynamical theory of gases*'.
- 1861 Compone una seconda fondamentale memoria sull'elettromagnetismo: '*On physical lines of force*', che viene pubblicata in quattro parti (di cui le ultime due escono nel 1862). In essa un modello meccanico viene proposto per interpretare le linee di forza di Faraday e già incomincia a delinarsi la teoria delle onde elettromagnetiche, nonché una prima forma delle famose equazioni. Anche il lavoro sperimentale procede intenso: Egli compie esperimenti sulla viscosità dei gas e, essendo stato nominato nel 1862 membro del Comitato della British Association per i campioni delle unità elettriche, farà eseguire nel proprio laboratorio del King's College gli esperimenti necessari a realizzare il campione assoluto di resistenza. Balfour Stewart e Fleming Jenkins sono fra i suoi migliori collaboratori nel lavoro sperimentale.
- 1865 Esce nelle 'Philosophical Transactions' della Royal Society la piú importante memoria di Maxwell sull'elettromagnetismo, '*A dynamical theory of the electromagnetic field*'. Letta davanti alla Royal Society nel dicembre dell'anno prima, essa contiene la teoria del campo elettromagnetico praticamente nella forma definitiva che essa conserverá nel Trattato, compreso il completo sviluppo delle relative equazioni. A questo punto, però,

Egli decide, per motivi di salute, di lasciare l'insegnamento universitario ed abbandona Londra per ritirarsi a Glenlair, dove lavora a stendere la maggior parte del trattato sull'elettricità e il magnetismo, oltre che il breve trattato sul calore, divenuto esso pure un classico. Riprende frattanto certi contatti con Cambridge, dove si reca quale esaminatore nel 1866, 1867, 1869, 1870. Tali contatti influiranno assai nel determinare la fondazione di un laboratorio di Fisica sperimentale, con relativa cattedra, che lo farà ritornare alla vita universitaria nel 1871.

1866 Davanti alla Royal Society viene letta la più grande memoria di Maxwell sulla teoria cinetica dei gas, *'On the dynamical theory of gases'*, che uscirà nelle *'Phylos. Transactions'* della medesima l'anno seguente.

1867 Compie con la moglie un viaggio in Italia, durante il quale impara l'italiano con l'obiettivo principale, come Egli dice, di poter conversare con il Matteucci, professore a Pisa. Di questo viaggio si ha traccia soltanto nella Sua biografia scritta da L.G. Campbell e W. Garnett.⁶⁾⁷⁾ A pag. 371 della traduzione in lingua italiana di Paola Magi si legge: "...Nella primavera e nell'estate del 1867 assieme alla moglie, Maxwell, fece un viaggio in Italia. Ebbero la sfortuna di venire trattenuti in quarantena a Marsiglia, e la Sua notevole capacità di sopportazione fisica e di assistenza agli altri fu percepita da tutti quelli che condivisero questa disavventura. Fedele ai ricordi della Sua vita giovanile, divenne il portatore d'acqua di tutti, e contribuì in vari modi ad alleviare i pesanti disagi. Ci incontrammo per caso a Firenze; ricordo di avergli sentito rammentare due cose che a Roma, tra gli innumerevoli oggetti degni di interesse, l'avevano particolarmente colpito. Aveva guardato la Basilica di San Pietro con lo sguardo di un genio simpatetico,⁸⁾ e il suo orecchio per la melodia era stato soddisfatto dalla "Banda del Papa". Imparò l'italiano molto rapidamente, e si divertiva a notare il diverso valore fonetico delle lettere in italiano e in inglese.⁹⁾ Uno dei Suoi obiettivi principali, nell'imparare la lingua, era di riuscire a conversare con il Professore Matteucci,¹⁰⁾ il cui busto ora è collocato nel Campo Santo di Pisa. Durante il medesimo viaggio, si applicò a migliorare la Sua conoscenza del francese e del tedesco. L'unica lingua che aveva difficoltà a dominare era l'olandese."

1871 Il duca di Devonshire, cancelliere dell'Università di Cambridge, decide di offrire ad essa (che mai lo ha avuto prima d'ora) un laboratorio di fisica, con l'intesa che esso sia affiancato da una cattedra di fisica sperimentale. A questa viene chiamato Maxwell, che, spronato da Stokes e da John William Strutt (più tardi Lord Rayleigh) a fare

⁶⁾ Campbell Lewis and Garnett William: *The Life of James Clerk Maxwell* - Cambridge University Press (Cambridge Library Collection - Physical Sciences).

⁷⁾ Campbell Lewis and Garnett William: *La vita di James Clerk Maxwell* - Archivio Dedalus - Prima traduzione italiana a cura di Paola Magi - Prefazione di Giulio Peruzzi.

⁸⁾ Il tono con cui me ne parlò mi fece comprendere, più di quanto avessi letto dai libri, la gioia di Michelangelo nel rendere spirituale il lavoro di Brunelleschi.

⁹⁾ Nell'imparare dal nostro insegnante, Sig. Briganti, la pronuncia di *suolo*, disse "questa è la parola inglese *rondinella* (*swallow*)."¹⁰⁾ [Suolo e *rondinella* in italiano nel testo, n.d.t.].

¹⁰⁾ Carlo Matteucci (1811 - 1868) aveva scoperto le leggi dell'elettrolisi, indipendentemente da Faraday; questi aveva imparato l'italiano per poter corrispondere con lui [n.d.t.].

domanda, accetta e si impegna nella minuta progettazione del laboratorio; questo, costruito sotto la Sua direzione dal 1872 al 1874, viene intitolato a Cavendish¹¹⁾ (nome della casata del duca di Devonshire) ed Egli ne sarà direttore fino alla morte, dedicando molte cure sia ad esso che all'attività didattica (peraltro poco seguita dagli studenti). In questo anno esce per la prima volta la *'Theory of heat'*.

- 1873 Esce ad Oxford la prima edizione del *'Treatise on electricity and magnetism'*, in cui Egli presenta in forma sistematica tutta la sua riformulazione della scienza elettrica. Sarà curandone la seconda edizione al sopraggiungere della morte.
- 1876 Viene pubblicato *'Matter and motion'*, pregevole volumetto in cui Egli presenta le Sue idee sui principi della meccanica. Il periodo di Cambridge vede anche diverse pubblicazioni Sue concernenti la teoria cinetica dei gas, stimulate specialmente dalla comparsa dei lavori di Boltzmann: nella quinta edizione di *'Theory of heat'* (1877) compaiono per la prima volta le note 'relazioni termodinamiche' di Maxwell, mentre nel 1878 Egli pubblica l'ultima Sua notevole memoria sulla teoria cinetica, *'On Boltzmann theorem'*, dedicata al famoso 'teorema H' di Boltzmann sulla distribuzione della velocità delle molecole gassose.
- 1879 Conducendo a termine un lavoro paziente e minuto, Egli pubblica *'The Electrical Research of the Hon. Henry Cavendish'*, opera in cui vedono la luce i manoscritti inediti di Henry Cavendish, che Egli ha copiato tutti di Sua mano, compiendo anche un notevole sforzo per collocarsi dal punto di vista di Cavendish sia per quanto riguarda la comprensione delle idee, sia per quanto concerne la ripetizione e la valutazione dei suoi esperimenti. Frattanto nutre preoccupazioni per la salute della moglie, che cura personalmente. Ma anche la sua salute declina rapidamente e, anzi, precipita durante l'estate a Glenlair. Tornato a Cambridge per essere meglio curato, un cancro allo stomaco lo conduce alla tomba il 5 Novembre. Egli fu sepolto nel cimitero della chiesa di Corsock di Parton Kirkyard, a nord di Castle Douglas, vicino alla sua amata Glenlair. La direzione del suo Cavendish Laboratory passò a Strutt e la sua proprietà di Glenlair passò a suo cugino Andrew Wedderburn Maxwell.

Lewis Campbell alla fine della sua biografia di Maxwell,^{6),7)} rese così omaggio allo illustre scienziato:

'La principale caratteristica del carattere di Maxwell é una grande semplicitá. Ma tentando di analizzarlo troviamo un complesso di qualità che esiste anche in uomini piú piccoli. La straordinaria gentilezza é associata ad una acuta percezione, all'umiltá e alla modestia personale. Il Suo profondo riserbo nei comuni rapporti era commensurato all'abbondanza di effusioni con le persone che amava. La sua tenerezza per tutte le cose viventi era profonda e istintiva; sin dalla prima fanciullezza Egli non avrebbe mai colpito una mosca. Non meno istintivo era il senso di eguaglianza fra tutti gli esseri umani, che evidenziava nei suoi discorsi. Ma, d'altro lato, il Suo rispetto per l'attuale ordine del mondo e per la saggezza del passato, era per lo meno risoluto come la sua fiducia nel futuro. Mentre era intrepido nella speculazione, egli era fortemente conservatore in pratica.'

Einstein nella commemorazione del centenario della nascita di Maxwell disse:

¹¹⁾ Henry Cavendish: Nice, France, 1731 - London, England, 1810. In fisica misura la costante di gravitazione universale, deducendo la densità media della Terra (1798).

Possiamo dire che, prima di Maxwell, la realtà fisica, che rappresentava i processi della natura, é stata pensata come costituita da particelle materiali, le cui variazioni consistono solo nei movimenti governati da equazioni differenziali alle derivate parziali. Dal tempo di Maxwell, la realtà fisica é stata pensata come rappresentata da campi continui, governati da equazioni differenziali alle derivate parziali, e non suscettibili di alcuna interpretazione meccanica. Questo cambiamento nella concezione della realtà é la piú profonda e la piú feconda che la fisica ha sperimentato fin dai tempi di Newton.

14 - Biografia della breve vita di Heinrich Rudolf Hertz¹⁾

Heinrich Rudolf Hertz nacque ad Hamburg il 22 Febbraio 1857. Suo nonno, Heinrich David Hertz (1797-1863), apparteneva ad una ricca **famiglia ebraica** che risiedeva ad Hamburg sin dal 1780; sua nonna, Betty Auguste Oppenheim (1802-1872), era figlia di una stimata famiglia di banchieri di Colonia. Nel 1834, quando il loro figlio maggiore, Gustav Ferdinand Hertz (1827-1914) (il padre del fisico), non aveva ancora sette anni, si convertirono tutti alla **fede luterana**. Heinrich David Hertz ottenne i pieni diritti di un cittadino di Hamburg e divenne uno dei 192 deputati della **cittá stato** (all'epoca la Germania era una terra divisa). Suo figlio Gustav (il padre del fisico) in seguito ricevette lo stesso onore, fu eletto al Senato di Hamburg e, alla fine, divenne capo dell'Ufficio del Giudice (in effetti, ministro della giustizia). Egli fu il primo della sua famiglia a frequentare una universitá, a Göttingen; nel 1856 sposó la sorella di un compagno di classe, Anna Elisabeth Pfefferkon (1835-1910), la figlia di un chirurgo dell'esercito prussiano e discendente da una famiglia borghese di Frankfurt. Essi ebbero cinque figli, di cui **Heinrich Rudolf Hertz** fu il primogenito.

Heinrich fu un bambino eccezionale, dotato di grande talento, che eccelse in ogni campo tranne che nella musica (non aveva orecchio musicale), non solo a scuola ma anche come meccanico, scultore, disegnatore, linguista (imparó addirittura l'arabo e il sanscrito), e atleta. Dopo aver completato l'educazione secondaria decise di diventare un ingegnere strutturale. Lavoró un anno come apprendista in uno studio di Ingegneria civile a Frankfurt. Il suo lavoro non era molto impegnativo ed Egli trascorreva la maggior parte del suo tempo in eccellenti gallerie d'arte e biblioteche della cittá, a modellare l'argilla, a leggere tutto quello che gli capitava fra le mani, dall'economia e fisiologia, alla fisica, e, alla telegrafia con fili. Nel tentativo di pensare ad un miglioramento del telegrafo, si rese conto della già vasta letteratura tecnica sulla telegrafia (il piú antico ramo dell'ingegneria elettrica) e decise di iscriversi al Politecnico dove venivano offerte le prime lezioni sul tema - a Dresden. Egli trovó il livello di istruzione troppo basso per lui e dopo un semestre intraprese il suo anno di servizio militare obbligatorio. Il servizio di segnalatore sarebbe stato il compito piú logico, ma fu inquadrato in un reggimento ferroviario, invece, e alla fine dell'anno gli fu dato un incarico di riserva in fanteria.

A causa della sua delusione a Dresden, si iscrisse alla Technical University di Munich, ma cambió idea prima del semestre neanche cominciato e passó alla Universitá di Munich in Fisica, continuando a frequentare alcune lezioni presso la Technical University di Munich. Rimase per due semestri, ma alla fine anche questo programma si dimostró essere inadeguato e si trasferí all'Universitá di Berlino, dove la fisica era insegnata da maestri del calibro di Gustav Kirchhoff (1824-1887) e Hermann Helmholtz (1821-1894). Il suo talento fu rapidamente riconosciuto e in poco tempo cominció a lavorare come assistente di Helmholtz, mentre era ancora studente - una quasi insolita particolaritá. Gli fu permesso di laurearsi l'anno successivo, anche se aveva completato solo sei degli otto semestri regolamentari: uno a Dresden, due a Munich e tre a Berlin. Egli si distinse in tutti i campi. Il lavoro che fece per Helmholtz - "Una determinazione sperimentale se le cariche

¹⁾ Charles Süsskind: Heinriche Hertz: A short life - IEEE Transactions On Microwave Theory and Techniques, vol. 36, No. 5, May, 1988.

in movimento che costituiscono una corrente in un conduttore hanno una massa inerziale” - si concluse con la soddisfazione del Professore quando Hertz mostró che la massa era al piú infinitamente piccola; come risultato, Gli fu assegnato un premio dipartimentale. Un articolo basato sull’esperimento fu accettato dalla rivista *Annalen der Physik und Chemie* e apparve in un volume che conteneva anche lavori di Kirchhoff, Weber, Wiedemann, Kundt, Röntgen, Siemens, e Clausius - non cattive compagnie per uno studente di 22 anni! L’esame orale per la Sua laurea andó bene ed Hertz fu approvato *summa cum laude*, una distinzione quasi mai conferita dai difficili esaminatori di Berlino. Helmholtz, il piú grande fisico tedesco allora vivente, pensó al futuro del suo brillante allievo. L’unica nube che aveva gettato un’ombra su un rapporto di reciproco rispetto e ammirazione era la riluttanza di Hertz ad accettare il suggerimento di Helmholtz per un argomento di ricerca.

Helmholtz infatti era intenzionato ad un esperimento che avrebbe potuto dimostrare quale delle due teorie dell’elettricitá che allora si contendevano l’attenzione dei fisici europei - quella di Weber e quella di Maxwell - fosse corretta. Egli aveva persuaso l’Accademia Prussiana delle Scienze a fissare un premio per tutti coloro che avrebbero dimostrato sperimentalmente ”qualsiasi rapporto tra le forze elettrodinamiche e la polarizzazione dielettrica degli isolanti”. Quello che l’esperimento proposto avrebbe dovuto mostrare era se un campo elettrico variabile nel tempo avrebbe prodotto un campo magnetico misurabile nelle sue vicinanze. Hertz temeva che un esperimento convincente sarebbe stato estremamente difficile. Non solo l’effetto ricercato era estremamente piccolo, ma per percepirlo, si sarebbe dovuto utilizzare un campo elettrico variabile con una rapiditá molto piú alta di quanto ancora fosse stata raggiunta; sarebbero potuti trascorrere anni prima che qualcuno potesse presentarsi con un oscillatore adatto. Invece, Hertz optó per un altro problema: qual era la natura dell’induzione nei conduttori che non erano stazionari ma ruotanti ad una velocitá angolare costante? Questo era un problema che Egli pensava potesse essere risolto in pochi mesi; e cosí fu. Egli cominció alla fine di Ottobre del 1879 e finí per Natale. Poco dopo Egli completó un articolo basato su questo lavoro, ”On Induction in rotating Spheres” che fu anche pubblicato negli *Annalen*; cosicché Egli aveva due pubblicazioni nella rivista principale di Fisica del suo Paese. Ma il problema del premio dell’Accademia Prussiana - realmente il problema di ideare un oscillatore ad alta frequenza - rimase per sempre nella sua mente. Non poteva prevedere che sarebbe accaduto a lui fabbricare tale oscillatore con le proprie mani, anni dopo.

Hertz rimase a Berlino come assistente di Helmholtz per i successivi tre anni, aiutandolo con esercitazioni di laboratorio e facendo ricerca per produrre un sufficiente numero di pubblicazioni rispettabili abbastanza da pesare in suo favore in qualsiasi applicazione per un posto piú permanente; ”pubblicare o perire” si profilava come lo stesso imperativo per gli aspiranti docenti di cento e oltre anni fa come oggi. La sua terza e quarta pubblicazione derivava dal suo progetto di ricerca e trattava di conduttori in movimento. Poi si rivolse a un soggetto completamente diverso - l’elasticitá.

I due lavori che Hertz scrisse su questo soggetto sono generalmente trascurati da tutti quelli che considerano la sua notoritá essere basata interamente sui suoi contributi all’elettromagnetismo, ma essi sono considerati di primaria importanza nella teoria del contatto meccanico e nella misura di durezza. Il primo apparve in una rivista di matematica; il secondo in una rivista tecnica (Proceedings di una societá per l’avanzamento

delle arti industriali). Essi continuano a fornire le basi per l'analisi dello stress da contatto e per la misurazione della durezza fino ai giorni nostri. L'apparato é cambiato, e la teoria é stata generalizzata in modo che essa si possa applicare a corpi con proprietà elastiche anisotrope. Ma nell'International Symposium on Contact Mechanics and Wear tenutosi a Vancouver nel 1983, il Prof. L. E. Goodman dell'Università del Minnesota ha dichiarato categoricamente: "La teoria del contatto normale senza attrito fu lasciata dalle mani di Hertz in così perfetto stato che solo dopo settanta anni furono effettuate grandi estensioni". E questo risultato imponente era il frutto della curiosità di un assistente di ricerca di 25 anni di determinare se la teoria classica dell'elasticità potesse essere fatta con un'espressione matematica che avrebbe dovuto descrivere la deformazione che si verificava quando venivano in contatto due solidi!

Durante il breve tempo rimasto a Berlino, Hertz completó piú di dodici articoli, tutti in definitiva pubblicati nelle principali riviste, cosicché Egli aveva una sostanziale opera da offrire per il momento ed era pronto a scalare il prossimo gradino della scala accademica. Sebbene nessuno di questi contributi possa avere il rilievo degli articoli sulla teoria dell'elasticità e della durezza, due di essi si sono rivelati di futura importanza, dal momento che sono stati affrontati con scariche elettriche in fluidi gassosi, il soggetto che l'avrebbe condotto al suo importante contributo e a cui sarebbe tornato verso la fine della sua vita.

Una vacanza si aprí all'Università di Kiel. Il posto era quello di un *Privatdozent*, normalmente una nomina con uno stipendio proporzionale al numero di studenti iscritti al corso. Poiché Kiel era una sede poco desiderabile per i migliori candidati, il ministero di Berlino cercó di rendere piú desiderabile il posto offrendo uno stipendio di base e promettendo che in futuro il posto sarebbe stato associato ad una cattedra. Hertz accettó con notevoli e giustificate perplessità: le strutture per la ricerca erano virtualmente non esistenti, la comunità sembrava terribilmente provinciale rispetto al suo soggiorno a Berlino, e il giovane stava subendo una crisi che lo lasciava debole e depresso. Dei tre articoli risalenti al suo soggiorno a Kiel, solo uno risultó importante: "On the Relation Between Maxwell's Fundamental Electromagnetic Equations and the Fundamental Equations of the Opposing Electromagnetics" (1884).

Siccome a Berlino il ministero sembrava non avere fretta a istituire la cattedra di professore associato, Hertz fu contento di una offerta dalla Technical University di Karlsruhe, dove una cattedra di professore ordinario divenne disponibile quando Ferdinand Braun (1850-1918), in carica, accettó una chiamata all'Università di Tübingen, per la primavera del 1885. Tardivamente sia Kiel che il ministero cercarono di fare ammenda. L'Università disse che la cattedra di professore associato sarebbe stata istituita nel budget per il 1885-86; Hertz sarebbe stato certamente l'unico candidato proposto per essa. Friedrich Althoff, il capo sezione per l'alta educazione, convocó Hertz a Berlino nel tentativo di persuaderlo a stare nel sistema prussiano e non ad andare a Karlsruhe che era nel Baden. Una considerazione non detta era che a Karlsruhe c'era una Technical Universität (in realtà un collegio dove ingegneri, architetti, e forestali erano addestrati), non ancora autorizzata a conferire dottorati; per questo Braun aveva accettato la chiamata presso l'Università di Tübingen, anche se non era altrettanto bene attrezzata come Karlsruhe. D'altro lato la promozione accelerata da *Privatdozent* a full Professor, all'età di 28 anni, non era da buttar via. Hertz accettó.

Con il suo spostamento a Karlsruhe, la sua vita cambiò in tutti i modi. Egli era alla fine "padrone in casa sua". La sua situazione personale prese una svolta per il meglio. Egli incontrò e sposò la bella figlia di un collega, Elisabeth Doll (1864 - 1941). La depressione e la stanchezza che avevano guastato i suoi due anni a Kiel svanirono. (Come spesso accade, l'insoddisfazione aperta di Hertz con il suo posto a Kiel servì a rendere le cose più facili al suo successore, un altro giovane fisico promettente, che divenne il beneficiario della nuova cattedra di professore associato: Max Planck). Soprattutto, poteva riprendere il lavoro sperimentale da dove l'aveva lasciato a Berlino: sulle scariche elettriche in mezzi gassosi. È stato attraverso questo lavoro che è stato portato a inventare l'oscillatore a scintilla e risolvere finalmente il problema del premio dell'Accademia Prussiana, e di utilizzare brillantemente il nuovo dispositivo per dimostrare che le onde elettromagnetiche esistevano e si comportavano in accordo con la teoria di Maxwell - cioè, come le onde luminose. Nel processo, Egli anche scoprì la fotoelettricità, ma dopo una pubblicazione iniziale sul soggetto lasciò la sua elaborazione agli altri, in particolare a Wilhelm Hallwachs (1859-1922).

Queste ricerche, svolte durante il 1887 e il 1888, resero Hertz famoso nel mondo. Egli ricevette molte offerte dalle maggiori Università, inclusa Berlino, che rifiutò sulla base del fatto che le esigenze della nomina (era per un fisico matematico) lo avrebbero portato lontano dalla fisica sperimentale che più gli piaceva; Egli invece scelse Bonn, in sostituzione dello scomparso Rudolf Clausius (1822-1888), di cui comprò la casa a Bonn. (Tale casa è tuttora esistente, ricostruita dopo i gravi danni subiti durante la seconda guerra mondiale). Fu invitato ad andare a Londra alla fine del 1890 per accettare la medaglia Rumford della Royal Society ed incontrare qualche fisico britannico con cui era in corrispondenza, inclusi Lodge, Fitzgerald e Sir William Thomson (il futuro Lord Kelvin). Fu eletto membro o membro corrispondente di società scientifiche in diversi paesi e vide le sue ricerche elettromagnetiche elaborate e portate avanti in tutto il mondo. Non pensò mai ad una loro applicazione pratica, con una sola eccezione.

Nel 1889 Hertz ricevette una richiesta da un ingegnere tedesco, Heinrich Huber, allora impiegato presso la nuova centrale elettrica a l'Aia: possono le onde hertziane essere usate per trasmettere potenza elettrica e segnali telefonici? La lettera di Huber conteneva uno schema di due specchi parabolici uno di fronte all'altro, uno con la cima di un elettromagnete nel suo punto focale e l'altro, una bobina con il nucleo in aria. Hertz replicò che la lunghezza d'onda corrispondente ad una tipica frequenza audio sarebbe di parecchie centinaia di chilometri, cosicché lo schema proposto avrebbe lavorato solo con specchi "grandi come un continente". Tale risposta non si può criticare: Hertz non poteva essere incolpato di non pensare al modo in cui il problema è stato risolto dopo la sua morte, la modulazione a bassa frequenza di un'onda portante ad alta frequenza. Né si può sostenere che la sua risposta negativa abbia ritardato l'avvento della radiotelegrafia. Per prima cosa, la corrispondenza non ha ricevuto circolazione a quel tempo. Dall'altro, almeno tre altre proposte di usare le onde elettromagnetiche per le comunicazioni furono fatte durante i seguenti tre anni: da Richard Threlfall (nel *Report* dell'Australasian Association for the Advancement of Science del 1890), in un editoriale non firmato in *The Electrician* (nel 1891), e da William Crookes (nel *Fortnightly Review*, nel 1892). Ma Hertz, nonostante la sua prima formazione in università in ingegneria e la sua straordinaria abilità come sperimentatore, rimase al di

fuori dell'ambito delle applicazioni pratiche.

Hertz intraprese un'altra serie di esperimenti a Bonn, con il suo assistente Philipp Lenard (1862-1947), che giunse all'Università nella primavera del 1891. Insieme, essi ritornarono al lavoro sulle scariche gassose, e nel 1892 riuscirono a mandare i raggi catodici attraverso un foglio di alluminio sottile a tenuta di vuoto, ora conosciuto come "finestra Lenard". Il report di Hertz su questo esperimento, "On the passage of Cathode Rays Through Thin Metallic Layers", fu l'ultimo suo lavoro. Da alcuni anni era stato turbato da una infezione alla mascella, probabilmente derivata da un ascesso dentale, che si rivelò intrattabile, nonostante la migliore consulenza medica. La malattia prese un tale decorso che Hertz dovette rinunciare del tutto alle lezioni. Durante il 1892 e 1893 Egli trascorse la maggior parte del suo tempo su un massiccio sforzo teorico, una nuova teoria della meccanica in cui esplorò le implicazioni dell'elettrodinamica di Maxwell per tutta la fisica. La forza non sarebbe più stata un concetto fondamentale; solo la massa, lo spazio e il tempo sarebbero rimasti, e l'azione a distanza sarebbe stata del tutto esclusa. La teoria trova poco favore fra i fisici, per tutto ciò che era perfettamente autoconsistente logicamente, dato che era abbastanza difficile in pratica. Tuttavia, il libro di Hertz basato su questo lavoro, *The Principles of Mechanics, Presented in a New Form* (1894), è reputato un classico della filosofia della scienza.

Heinrich Hertz morì a Bonn il primo Gennaio del 1894, qualche settimana prima del suo trentasettesimo compleanno. Oltre alla sua giovane vedova Egli lasciò due piccole figlie, Johanna Hertz (1887-1966), che diventò una fisica e Mathilde Hertz (1891-1975), una futura zoologa ed etologa. Nel 1927 Johanna pubblicò una selezione di lettere di suo padre e diari, che rimangono il solo libro che racconti Heinrich Hertz: *Heinrich Hertz - Memoirs, Letters, Diaries - San Francisco Press*. Nel 1935 la vedova di Hertz e le figlie lasciarono la Germania nazista, dove esse si sentivano a disagio perché Hertz era di discendenza ebraica, e si stabilirono in Inghilterra.

Philipp Lenard che ricevette il Premio Nobel nel 1905 per la fisica per il lavoro iniziato sotto Hertz, divenne il suo esecutore letterario. Sebbene personalmente devoto a Hertz, i cui contributi egli descrisse nel suo compendio *Grosse Naturforscher* del 1929, Lenard non ha mai scritto la biografia del suo mentore di un tempo senza dubbio perché era nel frattempo diventato uno dei primi sostenitori di Adolf Hitler e un componente della "Fisica tedesca"; egli caratterizzò la fisica moderna come "dogmatica fisica ebraica". Il nipote di Heinrich Rudolf Hertz, **Gustav Ludwig Hertz** vinse il Premio Nobel per la fisica nel 1925 (per l'esperimento di Franck ed Hertz). Il figlio di quest'ultimo, Carl Hellmuth Hertz, fu uno dei padri dell'ecografia medica.

Heinrich Rudolf Hertz fu sepolto nel cimitero ebraico di Ohlsdorf ad Hamburg e dopo solo 5 anni la città di Amburgo gli dedicò una strada. Durante il Nazismo, il suo bassorilievo, uno dei 56 di eminenti cittadini di Amburgo che ornavano le colonne del salone d'ingresso del Municipio della città, fu nascostamente rimosso insieme a quelli degli altri ritratti "ebraici". Tutti questi bassorilievi furono ripristinati nel 1949.

In onore di Heinrich Hertz, l'unità di frequenza, misurata in cicli al secondo, è chiamata Hertz (abbreviazione Hz).

Di Lui il **Prof. Antonio Garbasso**¹⁾ che Lo conobbe, durante un soggiorno di

¹⁾ Antonio Garbasso: Vercelli, 16 aprile 1871 - Firenze, 14 marzo 1933

studio a Bonn, scrisse poco dopo la morte, fra l'altro (Il Nuovo Cimento, Volume 35, Issue 1, December 1894, pagg. 5-11):

"[...] **Pochi uomini hanno riunito come Hertz la perfetta conoscenza della teoria all'abilità nello sperimentare, pochi hanno inteso come Lui che se il concetto teorico può guidare la ricerca, l'ultima parola deve in ogni caso restare all'esperienza. [...] Chi ha avuto occasione di parlargli anche solamente di scrivergli sa quanta fosse la bontà e la modestia di quest'uomo; non è meraviglia quindi che dai conoscenti e dai suoi studenti fosse idolatrato. [...] Sulla sua tomba si è preconizzata l'immortalità all'opera sua, si è parlato degli onori che egli ricevette, delle Accademie che lo elessero socio, dei premi che gli furono conferiti; a me il vecchio meccanico dell'istituto di fisica di Bonn diceva piangendo che non aveva conosciuto un uomo migliore**".

I5 - Biografia di Albert Einstein¹⁾

"Sottile é il Signore, ma non malizioso". A un collega che gli chiedeva che cosa intendesse con queste parole, Einstein rispose che la Natura *nasconde i suoi segreti non perché ci inganni, ma perché é essenzialmente sublime*. Sublime nella superiore armonia, fatta di semplicitá, delle leggi in cui risiede la spiegazione ultima.

Albert Einstein nacque a Ulm, Germania, il 14 Marzo 1879 da Hermann Einstein residente a Ulm, Bahnhofstrasse 135, di religione israelita, e da Pauline Koch, di religione israelita. La casa nella Bahnhofstrasse fu distrutta durante un bombardamento aereo nel 1944. Albert fu il primo dei due figli di Hermann e Pauline. Il 18 Novembre 1881 venne alla luce una figlia, Maria. Probabilmente non c'è stata persona al mondo a cui Einstein si sentisse vicino quanto alla sorella Maja (come fu sempre chiamata). La scelta di nome non ebraici per entrambi i figli testimonia della volontà della famiglia Einstein di integrarsi, una tendenza, questa, assai diffusa tra gli ebrei tedeschi nel secolo scorso. Il nome Albert fu scelto perché richiamasse, con l'iniziale, quello del nonno Abraham, mentre non si sa come fu scelto il nome Maria. Nella famiglia prevaleva uno spirito liberale, non dogmatico in campo religioso. Entrambi i genitori erano stati a loro volta educati in questo clima. Non si discuteva né di problemi né di precetti religiosi. Il padre di Albert era fiero del fatto che in casa sua non si osservassero le norme rituali ebraiche.

1880 - 21 giugno. Gli Einstein prendono la residenza a Monaco.

~1884 - Albert é affascinato da una bussola. Prima istruzione da parte di un insegnante privato.

~1885 - Albert comincia a prendere lezioni di violino (continuerá fino all'età di tredici anni).

~1886 - Frequenta la scuola pubblica a Monaco. In ossequio alle disposizioni di legge relative all'educazione religiosa, gli vengono insegnati i rudimenti del giudaismo a casa.

1888 - Entra al Liutpold Gymnasium. Questa scuola , al numero 33 della Müllerstrasse, fu distrutta durante la seconda guerra mondiale. Ricostruita in un altro posto, fu ribattezzata Albert Einstein Gymnasium. L'educazione religiosa continua, questa volta a scuola dove Heinrich Friedmann lo prepara alla cerimonia del *bar mitzvah* (Bar mitzvah, Bat mitzvah per le ragazze, é un termine per indicare il momento in cui un bambino ebreo raggiunge l'età della maturità (13 anni e un giorno per i maschi, 12 anni e un giorno per le femmine) e diventa responsabile per sé stesso nei confronti della Halakhah, la legge ebraica, questo anche in considerazione della coscienza nel distinguere il bene e il male).

1889 - Primo incontro con Max Talmud (che in seguito cambierà il proprio nome in Talmey), uno studente polacco povero che andava a cena dagli Einstein ogni giovedìsera. Questi, studente in medicina di ventuno anni, gli dá da leggere opere di divulgazione scientifica di Aaron Bernstein, *Kraft un Staff* (Forza e materia) di Bückner, la *Critica della ragion pura* di Kant e altri libri. Talmud diviene un

¹⁾ Abraham Pais: *Sottile é il Signore...*, La vita e la Scienza di Albert Einstein - Paolo Boringhieri Editore, 1986, pag. 546.

ospite fisso di casa Einstein fino al 1894; durante tale periodo discute con Albertt di questioni scientifiche e filosofiche.

- ~1890 - Fase religiosa che dura circa un anno.
- ~1891 - Secondo miracolo: la lettura del *sacro libretto di geometria*.
- ~1891-95 - Albert si familiarizza con gli elementi della matematica superiore, compreso il calcolo differenziale e integrale.
- 1892 - Non diviene *bar mitzvab*.
- 1894 - La famiglia si trasferisce in Italia, prima a Milano, poi a Pavia, poi ancora a Milano. Albert rimase a Monaco per finire gli studi.
- 1884 o 95 - Manda allo zio Caesar Kock in Belgio uno scritto *sullo stato dell'etere in un campo magnetico*.
- 1895 - Primavera. Einstein lascia il Luitpold Gymnasium senza aver terminato gli studi e raggiunge la famiglia a Pavia.
 - Autunno. All'esame di ammissione al Politecnico di Zurigo, nonostante le ottime prove in matematica e fisica, Einstein viene bocciato.
 - 28 Ottobre. Si iscrive alla sezione industriale della scuola cantonale di Aarau. Vive nella casa di "papá" Jost Winteler, uno dei suoi insegnanti. In questo periodo scrive in francese un tema sui suoi *progetti per il futuro*.
- 1896 - 28 gennaio. Dietro pagamento di tre marchi, Einstein riceve un documento che certifica che non é piú cittadino tedesco (piú precisamente del Wüttemberg). Rimane apolide per i cinque anni successivi.
 - Autunno. Ottiene il diploma della scuola di Aarau, che lo abilita a iscriversi al Politecnico di Zurigo. I voti finali furono (massimo di 6): 6 in storia, in algebra, in geometria, in geometria descrittiva e in fisica; 5 in tedesco, in italiano, in chimica e in storia naturale, 4 in geografia, in disegno artistico e in disegno tecnico.
 - Prende la residenza in tale città il 29 Ottobre. Fra i suoi compagni di studio ci sono Marcel Grossmann e Mileva Marič (o Marity). Inizia gli studi per conseguire il diploma che gli consentirá di insegnare nelle scuole secondarie.
- ~1897 - La conoscenza fatta a Zurigo di Michele Angelo Besso segna l'inizio di una amicizia destinata a durare tutta la vita.
- 1899 - Einstein presenta una istanza formale per divenire cittadino svizzero.
- 1900 - 27 luglio. La commissione esaminatrice invita a rilasciare il diploma, fra gli altri, ai candidati Grossmann e Einstein. L'invito é accolto il 28 luglio. I voti di Einstein sono: 5 in Fisica teorica, in Fisica sperimentale e in astronomia; 5.5 in teoria delle funzioni; 4.5 in una tesi di diploma (voto massimo 6).
 - Autunno. Falliscono i tentativi di ottenere un posto di assistente al Politecnico.
 - 13 dicembre. Da Zurigo Einstein invia il suo primo lavoro alla rivista *Annalen der Physik*.
- 1901 - 21 febbraio. Einstein diventa cittadino svizzero. Il 13 marzo viene dichiarato inabile al servizio militare a causa dei piedi piatti e delle vene varicose.
 - Marzo-aprile. Alla ricerca di un impiego, si rivolge, senza successo, a Ostwald a Lipsia e a Kammerlingh Onnes a Leida.
 - 17 maggio Annuncia la propria partenza da Zurigo.

- 19 maggio-15 luglio. Ottiene una supplenza di matematica presso l'Istituto tecnico di Winterthur, dove rimane fino al 14 ottobre.
- 20 ottobre-gennaio 1902. Nuova supplenza a Sciaffusa.
- 18 dicembre. Einstein fa domanda di assunzione all'Ufficio brevetti di Berna.
- 1902 - 21 febbraio. Arrivo a Berna. Nei primi tempi i suoi unici mezzi di sostentamento sono un modesto assegno inviatogli dalla famiglia e i compensi ricavati da lezioni private di matematica e fisica.
- 16 giugno. Il Consiglio federale svizzero lo assume in prova come tecnico di terza classe all'Ufficio brevetti di Berna, con uno stipendio annuo di 3500 franchi. Einstein prende servizio il 23 giugno.
- 10 ottobre il padre muore a Milano.
- 1903 - 6 gennaio. Einstein sposa Mileva Marič.
- Konrad Habicht, Mauricee Solovine e Einstein fondano l'*Akademie Olympia*.
- 5 dicembre. Einstein tiene, alla Naturforschende Gesellschaft di Berna, una conferenza sulla teoria delle onde elettromagnetiche.
- 1904 - 14 maggio. Nascita del primo figlio, Hans Albert (morto nel 1973 a Berkeley in California).
- 16 settembre. L'assunzione provvisoria viene convertita in un posto stabile allo Ufficio brevetti.
- 1905 - 17 Marzo. Einstein termina la memoria sull'ipotesi del quanto di luce, *Über einen die Erzeugung und Verwandlung des Lichtes betreffenden heuristischen Gesichtspunkt* (Su un punto di vista euristico sulla generazione e la trasformazione della luce).
- 30 Aprile. completa la tesi di dottorato *Über eine neue Bestimmung der Moleküldimensionen* (Su una nuova determinazione delle dimensioni molecolari). La tesi, stampata a Berna e presentata all'Università di Zurigo, viene accettata nel luglio. È dedicata *all'amico Marcel Grossmann*.
- 11 Maggio. Ricevuta (dalla rivista *Annalen der Physik*) la prima memoria sul moto browniano *Die von der molekularkinetischen Theorie der Wärme geforderte Bewegung von in ruhenden Flüssigkeiten suspendierten Teilchen* (Sul moto di particelle in sospensione in un fluido in quiete, come previsto dalla teoria cinetica del calore).
- 30 giugno. Ricevuta (dalla rivista *Annalen der Physik*) la prima memoria sulla relatività ristretta, *Elektrodynamik bewegter Körper* (Elettrodinamica dei corpi in movimento).
- 27 settembre. Ricevuta (dalla rivista *Annalen der Physik*) la seconda memoria sulla teoria della relatività ristretta, *Ist die Trägheit eines Körpers von seinem Energieinhalt abhängig?* (L'inerzia di un corpo dipende dal suo contenuto in energia?). Contiene la relazione $E = mc^2$.
- 19 Dicembre. Ricevuta (dalla rivista *Annalen der Physik*) una seconda memoria sul moto browniano, *Zur Theorie der Brownschen Bewegung* (Sulla teoria del moto browniano).
- 1906 - 1^o aprile. Einstein è promosso tecnico di seconda classe; il suo stipendio viene aumentato a 4500 franchi l'anno.

- Novembre. Completa un articolo sul calore specifico dei solidi, il primo che sia mai stato scritto sulla teoria quantistica dello stato solido: *Plancksche Theorie der Strahlung und die Theorie der spezifischen Wärme* (Teoria di Planck dell'irraggiamento e teoria del calore specifico).
- 1907 - *Il pensiero piú felice della mia vita*: Einstein scopre il principio di equivalenza per sistemi meccanici uniformemente accelerati. Estende il principio ai fenomeni elettromagnetici, fornisce l'espressione corretta per lo spostamento verso il rosso, e osserva che questa estensione comporta anche una curvatura della luce che passa vicino ai corpi massivi, ma ritiene che quest'ultimo effetto sia troppo piccolo per poter essere rivelato.
- 17 giugno. Fa domanda per un posto di libero docente all'Università di Berna, ma la domanda viene respinta perché non é corredata dalla necessaria tesi di abilitazione (un articolo inedito).
- 1908 - 28 febbraio. Dopo una seconda domanda, Einstein viene nominato a Berna libero docente. L'argomento della sua tesi di abilitazione, mai pubblicata, erano le conseguenze per la costituzione della radiazione derivanti dalla legge di distribuzione dell'energia per il corpo nero.
- All'inizio dell'anno J.J. Laub diviene il primo collaboratore scientifico di Einstein;; insieme pubblicano due articoli.
- 21 dicembre Maja ottiene il dottorato in lingue romanze, *magna cum laude* all'università di Berna.
- 1909 - Marzo e ottobre. Einstein completa due memorie, *Zum gegenwärtigen Stande des Strahlungsproblems* (Sullo stato attuale del problema della radiazione) e *Entwicklung unserer Anschauungen über das Wesen and die Konstitution der Strahlung* (Evoluzione delle nostre concezioni sulla natura e la costituzione della radiazione), ciascuna di esse contiene un'ipotesi sulla teoria della radiazione di corpo nero. In termine moderni, queste due congetture sono la complementarità e il principio di corrispondenza. La memoria dell'ottobre (la seconda citata) viene presentata ad un congresso a Salisburgo, il primo congresso di fisica cui Einstein partecipa.
- 6 luglio. Einstein presenta le dimissioni (effettive dal 15 ottobre) dall'Ufficio brevetti. Si dimette anche da libero docente.
- 8 luglio. Riceve la prima laurea *honoris causa*, all'Università di Ginevra.
- 15 ottobre. Comincia a lavorare come professore associato all'università di Zurigo, con uno stipendio iniziale di 4500 franchi all'anno.
- 1910 - Marzo. Maja sposa Paul Winteler, figlio di Jost Winteler.
- 28 luglio. Nascita del secondo figlio, Eduard ("Tede" o "Tedel", morto nel 1965 nell'ospedale psichiatrico Burghölzli).
- Ottobre. Einstein termina un articolo sull'opalescenza critica, *Theorie der Opaleszenz von homogenen Flüssigkeiten und Flüssigkeitsgemischen in der Nähe des kritischen Zustandes* (Teoria dell'opalescenza di fluidi omogenei e di miscele fluide in prossimità della condizione critica); é il suo ultimo lavoro importante nell'ambito della fisica statistica classica.
- 1911 - L'imperatore Francesco Giuseppe firma un decreto che nomina Einstein professore ordinario all'Università Karl Ferdinand di Praga, a partire dal 1^o aprile.

- Marzo. Einstein si trasferisce a Praga.
- Giugno. Si rende conto che l'incurvamento della luce dovrebbe essere sperimentalmente osservabile durante un'eclissi totale di sole. Prevede un effetto di $0.83''$ per la deflessione di un raggio di luce che sfiori il Sole (metá del valore corretto).
- 30 ottobre-3 novembre. Primo Congresso Solvay; Einstein tiene la relazione conclusiva sul tema: *État actuel du problem des chaleurs specifiques*.
- 1912 - Inizio di febbraio. Einstein é nominto professore al Politecnico di Zurigo.
 - Agosto. Si trasferisce nuovamente a Zurigo.
- 1912-1913 - Collabora con Grossmann (divenuto nel frattempo professore di matematica al Politecnico) sui fondamenti della teoria della relativitá generale. Per la prima volta la gravitazione viene descritta dal tensore metrico. I due ritengono di avere dimostrato che le equazioni del campo gravitazionale non possono essere generalmente covarianti.
- 1913 - Primavera. Planck e Nernst, in visita da Einstein a Zurigo sondano la sua disponibilitá a trasferirsi a Berlino. L'offerta consiste di un posto di ricercatore sotto l'égida dell'Accademia Prussiana delle Scienze, di una cattedra all'Universitá di Berlino senza obbligo di insegnamento, e della direzione del Kaiser-Wilhelm-Institut für Physik (ancora da fondare).
 - 12 giugno. Planck, Nernst, Rubens e Warburg propongono formalmente Einstein come membro dell'accademia prussiana di Berlino.
 - 3 luglio. La proposta é approvata con ventuno voti a favore e uno contrario (e viene ratificata dall'imperatore Guglielmo II il 12 novembre).
 - 7 dicembre. Einstein accetta il posto a Berlino.
- 1914 - 6 aprile. Si trasferisce a Berlino con la moglie e i figli. Poco tempo dopo gli Einstein si separano. Mileva torna a Zurigo con i figli.
 - Albert va a vivere in un appartamento da scapolo in Wittelsbacherstrasse 13.
 - 26 aprile. Sul quotidiano berlinese *Die Vossische Zeitung* appare il suo articolo *Relativitátsprinzip*, il suo primo scritto divulgativo sulla teoria della relativitá.
 - 2 luglio. Einstein tiene la sua *Antrittsrede* (prolusione) all'Accademia prussiana.
 - 1^o agosto. Scoppio della prima guerra mondiale.
- 1915 - All'inizio dell'anno, Einstein ha un incarico temporaneo alla Physikalisch Technische Reichsanstalt di Berlino, ove, insieme a de Haas, esegue esperimenti giro-magnetici.
 - É fra i firmatari di un *appello agli europei* nel quale tutti coloro che hanno a cuore la cultura dell'Europa sono esortati a riunirsi in una Lega europea; si tratta probabilmente del primo documento politico al quale abbia prestato il proprio nome.
 - Fine di giugno - inizio di luglio. Tiene sei lezioni a Göttingen sulla teoria della relativitá generale. *Con mia grandissima gioia sono riuscito a convincere pienamente Hilbert e Felix Klein.*
 - 4 novembre. Ritorna al requisito della covarianza generale per la relativitá generale, ma impone la restrizione che siano consentite solo le trasformazioni unimodulari.

- 11 novembre. Sostituisce il vincolo dell'unimodularit  con quello ancora pi  restrittivo che sia $(-\det g_{\mu\nu})^{1/2} = 1$.
 - 18 novembre. I primi risultati postnewtoniani. Einstein ottiene il valore di $43''$ per secolo per la precessione del perielio di Mercurio. Scopre anche che la deflessione della luce   doppia rispetto a quanto aveva pensato nel 1911.
 - 20 novembre. David Hilbert presenta alla Accademia delle Scienze di Gottingen una memoria che contiene la forma finale delle equazioni del campo gravitazionale (unitamente ad una ipotesi superflua sulla struttura del tensore di energia - quantit  di moto).
 - 25 novembre. Completamento della struttura logica della relativit  generale. Einstein comprende che pu  e deve fare a meno delle restrizioni introdotte il 4 e l'11 di quello stesso mese.
- 1916 - 20 marzo. *Die Grundlagen der allgemeinen Relativit stheorie*, la prima esposizione sistematica della relativit  generale, perviene alla rivista *Annalen der Physik*; pi  tardi, in quello stesso anno, viene pubblicata in forma di libro, il primo di Einstein.
- 5 maggio. Einstein succede a Planck nella carica di presidente della Societ  tedesca di Fisica.
 - Giugno. Prima memoria di Einstein sulle onde gravitazionali *N herungsweise Integration der Feldgleichungen der Gravitation* (Integrazione approssimata delle equazioni di campo della gravitazione). Scopre che (detto in linguaggio moderno) un gravitone ha solo due stati di polarizzazione.
 - Luglio. Einstein ritorna alla teoria quantistica. Negli otto mesi seguenti, pubblicher  tre scritti sull'argomento, che in parte si sovrappongono: la memoria *Strahlungs-emission un absorption nach der Quantentheorie* (Emissione e assorbimento di radiazione secondo la teoria quantistica) e due articoli intitolati *Quantentheorie der Strahlung* (Teoria quantistica dell'irraggiamento). Vengono trattati il coefficiente di emissione spontanea e indotta e quello di assorbimento, nonch  una nuova derivazione della legge di Planck; per la prima volta in una pubblicazione a stampa di Einstein si afferma che un quanto di luce di energia $h\nu$ trasferisce una quantit  di moto $h\nu/c$. Prime difficolt  con il *caso* nella fisica quantistica.
 - Dicembre. Termina * ber die spezielle und die allgemeine Relativit stheorie, gemeinverst ndlich* (Sulla teoria dell relativit  ristretta e della relativit  generale; esposizione divulgativa), la sua opera pi  largamente conosciuta e tradotta in seguito in molte lingue.
 - Dicembre. L'imperatore ratifica l'assunzione di Einstein nel consiglio direttivo della Physikalisch-Technische Reichsanstalt, posto che Einstein mantiene dal 1917 al 1933.
- 1917 - Febbraio. Einstein apre un nuovo capitolo della fisica con la *Kosmologische Betrachtungen zur allgemeinen Relativit stheorie* (Osservazioni cosmologiche sulla teoria della relativit  generale) ove introduce il termine cosmologico.
- Si ammala consecutivamente di fegato, di un'ulcera allo stomaco e di itterizia e subisce un indebolimento generale. La cugina Elsa lo assiste. Non si riprender 

- pienamente fino al 1920.
- 1^o Ottobre. Il Kaiser-Wilhelm-Institut inizia l'attività (sia sperimentale che teorica) sotto la direzione di Einstein.
- 1918 - Febbraio. Pubblicazione della seconda memoria sulle onde gravitazionali, *Gravitationswellen*, contenente la formula del quadrupolo.
- Novembre. Einstein rifiuta un'offerta congiunta dell'Università e del Politecnico di Zurigo.
- 1919 - Gennaio-giugno. Passa gran parte di questo periodo a Zurigo dove tiene una serie di conferenze all'Università.
- 14 Febbraio. Divorzio da Mileva.
 - 29 Maggio. Un'eclissi totale di sole offre la possibilità di misurare la curvatura della luce. Le misure vengono fatte all'isola del Principe sotto la direzione di Eddington e nel Brasile settentrionale sotto la direzione di Crommelin.
 - 2 giugno. Einstein sposa la cugina divorziata Elsa Einstein Lowenthal (nata nel 1874). Le due figlie di lei, Ilse (nata nel 1897) e Margot (nata nel 1899), avevano già assunto il cognome Einstein in seguito ad una sentenza giudiziaria. La famiglia si trasferisce in un appartamento in Haberlandstrasse 5.
 - 22 settembre. Einstein riceve da Lorentz un telegramma che lo informa che l'analisi preliminare dei dati dell'eclissi di maggio indica per la curvatura della luce un valore compreso fra quello di *Newton* (0.86") e quello di *Einstein* (1.73").
 - 6 novembre. Durante una riunione congiunta della Royal Society e della Royal Astronomical Society a Londra, viene annunciato che le osservazioni di maggio confermano le previsioni di Einstein.
 - 7 novembre. Il *Times* di Londra intitola: *Rivoluzione nella scienza / Nuova teoria dell'universo / La concezione newtoniana demolita*.
 - 10 novembre. Il *New York Times* intitola: *La luce va storta in cielo / La teoria di Einstein trionfa*. Articoli di questo tono segnano l'inizio della presa di coscienza da parte del grande pubblico del rilievo mondiale della figura di Einstein.
 - Dicembre. Einstein riceve la sua unica laurea onoraria tedesca: dottore in medicina all'Università di Rostock.
 - Discussioni con Kurt Blumenfeld sul sionismo.
- 1920 - 12 febbraio. Durante una conferenza di Einstein all'Università di Berlino si verificano contestazioni. Einstein dichiara alla stampa che non si è trattato di manifestazioni di antisemitismo dichiarato, anche se la gazzarra poteva essere interpretata in questo senso.
- Marzo. La madre di Einstein muore nella casa del figlio.
 - Giugno. Einstein tiene conferenze in Norvegia e in Danimarca. Incontra per la prima volta Bohr a Berlino.
 - 24 agosto. Raduno di massa contro la teoria della relatività generale a Berlino. Einstein è presente.
 - 27 agosto. Pubblica una replica alquanto aspra sul *Berliner Tageblatt*. I giornali tedeschi riferiscono della sua intenzione di lasciare la Germania. Laue, Nernst e Rubens, come anche il ministro della Pubblica Istruzione Konrad Haenisch, esprimono con dichiarazioni alla stampa la loro solidarietà con Einstein.

- 8 settembre. In una lettera a Haenisch, Einstein afferma che Berlino é il luogo cui si sente piú strettamente legato da vincoli umani e scientifici. Soggiunge che accetterá proposte provenienti dall'estero solo se circostanze esterne lo costringeranno a farlo.
- 23 settembre. Confronto con Philipp Lenard al convegno di Bad Nauheim.
- 27 Ottobre. Einstein tiene una prolusione a Leida, *Äther und Relativitätstheorie* (Etere e teoria della relatività), in veste di professore straordinario. Tale incarico lo condurrá in quella città per qualche settimana ogni anno.
- Dal 1920 in poi, inizia a pubblicare articoli di carattere non strettamente scientifico.
- 31 dicembre. Viene insignito dell'Ordre pour le Mérite.
- 1921 - 2 aprile-30 maggio. Prima visita negli Stati Uniti, insieme a Chaim Weizmann, con lo scopo di raccogliere fondi per il progetto di una università ebraica a Gerusalemme. Alla Columbia University riceve la medaglia Barnard. Viene invitato alla Casa Bianca dal presidente Harding. Visite a Chicago, Boston e Princeton, dove tiene quattro lezioni sulla teoria della relatività.
- Durante il viaggio di ritorno, si ferma a Londra dove visita la tomba di Newton.
- 1922 - Gennaio. Termina la prima memoria sulla teoria unitaria dei campi (scritta in collaborazione con Grommer) intitolata *Beweis der Nichtexistenz eines überall regulären zentrisch symmetrischen Feldes nach der Feldtheorie von Kaluza* (Dimostrazione della non esistenza di un campo a simmetria centrale, ovunque regolare, secondo la teoria dei campi di Kaluza).
- Marzo-aprile. La visita di Einstein a Parigi contribuisce alla normalizzazione delle relazioni franco-tedesche.
- Einstein accetta l'invito a far parte del Comitato internazionale per la Cooperazione intellettuale (CIC) della Società delle Nazioni, quattro anni prima che la Germania sia ammessa alla Società stessa.
- 24 giugno. Assassinio di Walther Rathenau, ministro degli Esteri tedesco e amico di Einstein.
- 8 ottobre. Einstein ed Elsa si imbarcano a Marsiglia sul piroscafo *Kitano Maru*, diretti in Giappone. Durante il viaggio visitano Colombo, Singapore, Hong Kong e Shanghai.
- 9 novembre. Il premio Nobel del 1921 per la fisica viene assegnato ad Einstein mentre é in viaggio alla volta del Giappone.
- 17 novembre-29 dicembre. Einstein visita il Giappone.
- 10 dicembre. Alle celebrazioni per il premio Nobel viene rappresentato dallo ambasciatore tedesco, Rudolf Nadolny. Il premio fu consegnato in seguito dallo ambasciatore svedese ad Einstein a casa sua, dopo che questi fu tornato dal Giappone. La motivazione suona: *Ad Albert Einstein per i suoi contributi alla fisica teorica e specialmente per la scoperta della legge dell'effetto fotoelettrico.*
- 1923 - 2 febbraio. Di ritorno dal Giappone, Einstein si ferma in Palestina per dodici giorni. L'8 febbraio diventa il primo cittadino onorario di Tel Aviv. Prima di tornare in Germania visita la Spagna.

- Marzo. Deluso dell'inefficacia della Società delle Nazioni, ma fedele ai suoi scopi, si dimette dal Comitato per la Cooperazione intellettuale.
- Giugno-luglio. Partecipa alla fondazione dell'Associazione Amici della Nuova Russia e diviene membro del suo comitato esecutivo. Einstein non visitò mai l'Unione Sovietica. L'associazione fu sciolta nel 1933.
- Luglio. A Göteborg tiene una conferenza sul tema *Grundgedanken und Probleme der Relativitätstheorie* (Concetti fondamentali e problemi della teoria relativistica) in segno di ringraziamento per il premio Nobel.
- La scoperta dell'effetto Compton pone termine all'annosa resistenza contro il concetto di fotone.
- Dicembre. Viene pubblicata la memoria *Bietet die Feldtheorie Möglichkeiten für die Lösung des Quantenproblems?* (Offre la teoria di campo possibilità di soluzione del problema quantistico?) in cui per la prima volta Einstein avanza l'ipotesi che gli effetti quantistici possano derivare da una sovradeterminazione delle equazioni di campo della relatività generale.
- 1924 - Come atto di solidarietà, Einstein si iscrive quale membro pagante della comunità ebraica di Berlino.
 - Cura la prima raccolta di scritti scientifici del dipartimento di fisica dell'Università ebraica.
 - Inizia l'attività l'Istituto Einstein di Potsdam, sistemato nella Einstein Turm. Lo strumento principale è il telescopio Einstein.
 - Ilse Einstein sposa Rudolf Kayser.
 - 7 febbraio. Einstein afferma di non avere obiezioni all'opinione del Ministero della Cultura che la sua nomina all'Accademia Prussiana implichi l'acquisizione della cittadinanza prussiana. (Mantiene comunque la cittadinanza svizzera).
 - Giugno. Einstein ci ripensa e torna a far parte del Comitato internazionale per la Cooperazione intellettuale.
 - Dicembre. L'ultima grande scoperta di Einstein: dall'analisi delle fluttuazioni statistiche perviene a un argomento indipendente in favore dell'associazione di onde con la materia. La condensazione di Bose-Einstein è anch'essa una scoperta di questo periodo.
- 1925 - Maggio-giugno. Viaggio in Sud America. Visite di Buenos Aires, Rio de Janeiro e Montevideo.
 - Einstein firma (con Gandhi e altri) un manifesto contro il servizio militare obbligatorio.
 - Riceve la medaglia Copley.
 - Diviene membro del consiglio di amministrazione dell'Università ebraica (fino al 1928).
- 1926 - Riceve la medaglia d'oro della Royal Astronomical Society.
- 1927 - 7 maggio. Il figlio Hans Albert sposa Frida Knecht a Dortmund.
 - Ottobre. Quinto congresso Solvay. Inizio del dibattito tra Einstein e Bohr sui fondamenti della meccanica quantistica.
- 1928 - Febbraio o marzo. Einstein subisce un temporaneo collasso fisico causato dal superlavoro. Gli viene diagnosticato un ingrossamento del cuore. Deve rimanere

- a letto per quattro mesi e attenersi ad una dieta iposodica. Guarisce completamente, ma rimane indebolito per quasi un anno.
- Venerdì 13 aprile. Helen Dukas comincia a lavorare per lui.
- 1929 - Primo incontro con la famiglia reale belga. Amicizia con la regina Elisabetta (Elizabeth Bowes-Lyon moglie del Re Giorgio VI e madre della Regina Elisabetta II)), con la quale rimarrá in corrispondenza fino alla fine dei suoi giorni.
- 28 giugno. Planck riceve la prima medaglia Planck e Einstein la seconda. In quest'occasione Einstein dichiara di non meritare un'onorificenza cosí alta, dato che tutti i suoi contributi alla fisica quantistica non sono che *intuizioni occasionali* presentatesi nel corso della *lotta infruttuosa con il problema principale*.
- 1930 - Nascita di Bernhard Caesar (*Hardi*), figlio di Hans Albert e di Frida, primo nipote di Einstein.
- Maggio. Einstein firma il manifesto per il disarmo mondiale della Women's International League for Peace and Freedom.
 - Autunno. Margot Einstein sposa Dimitri Marianoff (il matrimonio finirá in un divorzio).
 - 11 dicembre-4 marzo 1931. Secondo soggiorno di Einstein negli Stati Uniti, principalmente al California Institute of Technology.
 - 13 dicembre. Il sindaco Jimmy Walker dona ad Einstein le chiavi della cittá di New York.
 - 19-20 dicembre. Einstein visita Cuba.
- 1931 - Aprile. Einstein respinge il termine cosmologico come non necessario e ingiustificato.
- 30 dicembre-4 marzo 1932. Terzo soggiorno di Einstein negli Stati Uniti, di nuovo soprattutto al CalTech.
- 1932 - Febbraio. Da Pasadena Einstein protesta contro la condanna per tradimento del pacifista tedesco Carl von Ossietzky.
- Aprile. Si dimette definitivamente dal CIC.
 - Ottobre. Gli viene offerta una cattedra all'Institute for Advanced Study di Princeton, nel New Jersey. Inizialmente era previsto che Einstein dividesse il proprio tempo in parti circa uguali fra Princeton e Berlino.
 - 10 dicembre. Einstein e la moglie partono dalla Germania alla volta degli Stati Uniti. Anche questo soggiorno, nei progetti avrebbe dovuto aver il carattere di una visita temporanea. Ma essi non rimisero mai piú piede in Germania.
- 1933 - 30 gennaio. I nazisti giungono al potere.
- 20 marzo. In sua assenza, i nazisti compiono un'irruzione nella casa estiva di Caputh, con il pretesto di cercarvi armi nascosti dai comunisti.
 - 28 marzo. Tornato in Europa, Einstein comunica le proprie dimissioni alla Accademia prussiana. Con la moglie si stabilisce provvisoriamente nella Villa Savoyard a Le Coq-sur-Mer, sulla costa belga, ove vengono loro assegnate due guardie del corpo con il compito di proteggerli. A loro si uniscono poi Ilse, Margot, Helen Dukas e Walther Mayer, assistente di Einstein. Nei mesi successivi Einstein compie brevi viaggi in Inghilterra e anche in Svizzera, dove vede per l'ultima volta il figlio Eduard. Rudolf Kaiser provvede a salvare i suoi documenti rimasti a

- Berlino e a spedirli al Quai d'Orsay tramite corriere diplomatico.
- 21 aprile. Einstein si dimette dall'Accademia bavarese delle Scienze.
 - L'epistolario tra Einstein e Freud viene pubblicato sotto forma di libretto, intitolato *Warum Krieg?* (Perché la guerra?).
 - 10 giugno. Einstein tiene a Oxford la *Herbert Spencer Lecture, On the method of Theoretical Physics*.
 - 9 settembre. Lascia definitivamente il continente europeo e va in Inghilterra.
 - 17 ottobre. Muniti di visti turistici, Einstein, sua moglie, Helen Dukas e Mayer arrivano negli Stati Uniti, e proseguono il giorno stesso alla volta di Princeton. Pochi giorni dopo gli Einstein e Helen Dukas si trasferiscono al numero 2 di Library Place.
 - Ilse e Margot restano in Europa.
- 1934 - Morte di Ilse Kayser-Einstein a Parigi. Poco tempo dopo, Margot e il marito raggiungono la famiglia a Princeton.
- 1935 - Maggio. Einstein fa una breve gita alle Bermuda. Di là presenta formale domanda di poter risiedere stabilmente negli Stati Uniti. É l'ultima volta che esce dal paese.
- Autunno. La famiglia Einstein e Helen Dukas traslocano al 112 di Mercer Street a Princeton.
 - Einstein riceve la medaglia Franklin.
- 1936 - 7 settembre. Morte di Marcel Grossmann.
- 20 dicembre. Morte di Elsa.
 - Il figlio Hans Albert ottiene il dottorato in scienze tecniche al Politecnico di Zurigo.
- 1939 - Maja raggiunge il fratello in Mercer Street che sarà la sua casa fino alla fine dei suoi giorni.
- 2 agosto. Einstein scrive al Presidente Roosevelt richiamando la sua attenzione sulle implicazioni militari dell'energia atomica.
- 1940 - 1^o ottobre. A Trenton, il giudice Philip Forman dichiara cittadini degli Stati Uniti Margot, Helen Dukas e Einstein il quale si mantiene anche la cittadinanza svizzera.
- 1943 - 31 maggio. Einstein sottoscrive un contratto di consulenza (in seguito prorogato fino al 30 giugno 1946) con il Dipartimento ricerca e sviluppo dell'Ufficio approvvigionamento della Marina degli Stati Uniti, sezione munizioni ed esplosivi, sottosezione *esplosivi ad alto potenziale e propellenti*. L'onorario é di 25 dollari al giorno.
- 1944 - Una copia della memoria del 1905 sulla relatività ristretta, riscritta di suo pugno appositamente, viene venduta all'asta a Kansas City per sei milioni di dollari come contributo allo sforzo bellico (il manoscritto si trova attualmente nella Biblioteca del Congresso).
- 1945 - 10 dicembre. Einstein tiene a New York un discorso sul tema della pace.
- 1946 - Maja ha un'emorragia cerebrale ed é costretta a letto.
- Einstein accetta di fungere da presidente dell'Emergency Committee for Atomic Scientists.

- Ottobre. Scrive una lettera aperta all'Assemblea generale delle Nazioni Unite, sollecitando la formazione di un governo mondiale.
- 1947 - Hans Albert Einstein, viene nominato professore di ingegneria all'Università di California a Berkeley.
- 1948 - 4 agosto. Morte di Mileva a Zurigo.
 - Dicembre. Una laparotomia esplorativa condotta su Einstein rivela un grosso aneurisma intatto dell'aorta addominale.
- 1949 - 13 gennaio. Einstein lascia l'ospedale.
 - Pubblicazione del *necrologio*, una sintesi retrospettiva, essenzialmente scientifica, intitolata *Autobiographisches*.
- 1950 - 18 marzo. Einstein firma e sigilla il suo testamento e le ultime volontà. Il dottor Otto Nathan è nominato unico esecutore testamentario. Nathan stesso e Helen Dukas vengono nominati congiuntamente amministratori del suo lascito. L'Università ebraica è scelta come sede definitiva per le sue lettere ed i suoi manoscritti. Fra le altre cose, il suo violino viene trasmesso al nipote Bernhard Caesar.
- 1951 - Giugno. Morte di Maja a Princeton.
- 1952 - Luglio. morte di Paul Winteler nella casa del cognato, Besso, a Ginevra.
 - Novembre. La presidenza di Israele viene offerta ad Einstein, che la rifiuta.
- 1954 - 14 Aprile. La stampa riferisce una dichiarazione di Einstein in difesa di J. R. Oppenheimer, accusato di attività antiamericane dal governo degli Stati Uniti.
 - Ultimo incontro fra Einstein e Bohr (a Princeton).
 - Einstein risulta affetto da anemia emolitica.
- 1955 - 15 Marzo. Morte di Besso.
 - 11 aprile. Einstein firma la sua ultima lettera (a Bertrand Russell); in essa si dice d'accordo a sottoscrivere un manifesto che solleciti tutte le nazioni a rinunciare alle armi nucleari.
 - Durante la stessa settimana, scrive la sua ultima frase in un manoscritto rimasto incompiuto: *Le passioimi politiche, che sono accese dovunque, esigono le loro vittime*.
 - 13 aprile. Rottura dell'aneurisma dell'aorta.
 - 15 aprile. Einstein viene ricoverato nell'ospedale di Princeton.
 - 16 aprile. Hans Albert arriva a Princeton da Berkeley.
 - 17 aprile. Einstein telefona a Helen Dukas, vuole il necessario per scrivere e i fogli con i suoi ultimi calcoli.
 - 18 aprile. 1 e 15 del mattino Einstein muore.

Il corpo viene cremato a Trenton alle 4 pomeridiane del giorno stesso. Le ceneri vengono disperse in un luogo tenuto segreto da Otto Nathan e Paul Oppenheim.

- 21 novembre. Nasce a Berna Thomas Martin, figlio di Bernhard Caesar, figlio di Hans Albert, primo pronipote di Albert Einstein.

Fine dell'Introduzione