

# Bruno Touschek e la fisica teorica a Frascati

G. Pancheri, INFN Frascati

Aula Conversi, U. La Sapienza



27 gennaio 2008

Bruno Touschek, 30 anni dopo

1

# Bruno Touschek con Marcello Conversi



27 gennaio 2008

Bruno Touschek, 30 anni dopo

2

# Bibliografia parziale

E. Amaldi,  
*The Bruno Touschek Legacy*,  
CERN 81-19, 23 Dicembre 1981  
e in italiano

*L'eredita' di Bruno Touschek*,  
Quaderni del Nuovo Cimento, SIF,  
Vol. V, 1982

- *Le carte di Bruno Touschek*, ed. by G. Battimelli, M. De Maria and G. Paoloni, U.La Sapienza, Rome, 1989.
- *Bruno Touschek e l'arte della Fisica*, film di E. Agapito and L. Bonolis, 2004, English version 2005.
- *Bruno Touschek Memorial lectures 1987*, Frascati Physics series Vol. XXX, 2005, Eds. M. Greco e G.P.
- *Frascati e la fisica teorica; da AdA a ADONE*, M. Greco e G.P., Analysis, N. 2-3, pag. 21, 2008.



B. Touschek e E. Amaldi  
in 1958

La vita di Touschek e il suo contributo  
alla fisica  
delle particelle attraversano l'Europa  
nello spazio e nel tempo

# In breve

- Cronologia della vita di Bruno Touschek
- L'idea di Ada : Le nuvole di Wideroe e l'inchiostro simpatico di Bruno Touschek
- La catastrofe infrarossa, il Bond Factor, e le correzioni radiative

# Cronistoria 1921-1978

- In Austria 1921-1942
- In Germania 1942-1947
- A Glasgow 1947-1952
- A Roma 1952-1977
- A Ginevra e poi Austria 1977-1978



27 gennaio 2008

Bruno Touschek, 30 anni dopo

## In AUSTRIA 1921-1942

- 3 Febbraio 1921: BT nasce a Vienna da Franz Xavier Touschek, un ufficiale dell'esercito austriaco , e da Camilla Weltmann.
- 1931: la madre di BT muore dopo un lungo periodo di malattia
- 
- Estate 1937: BT completa l' 8vo anno del liceo classico Piaristien Gymnasium, ma non puo' continuare a frequentare le lezioni per la sua origine ebrea da parte di madre
- Febbraio 1938: BT supera da privatista l'esame di maturita' ( Abitur) e si reca in vacanza a Roma (dove viveva una zia materna, sposata con un italiano e dove si era stabilita di recente anche la nonna materna)
- 13 marzo 1938: viene dichiarata l'annessione all'Austria da parte della Germania

# Dai ricordi di Touschek (E. Amaldi e G. Sacerdoti)

Quando l'Austria fu annessa alla  
Germania nel 1938, la vita  
divenne molto difficile per gli  
ebrei di Vienna.....



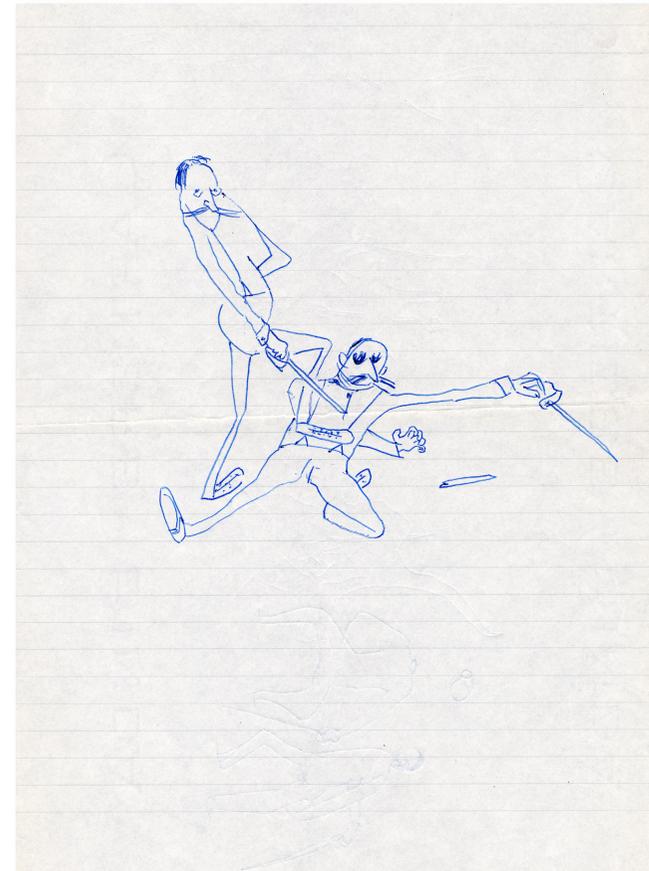
# Fra Roma e Vienna 1938-1942

- Primavera 1938 BT comincia studi di ingegneria all'Università di Roma
- Estate 1939 BT torna a Vienna
- Settembre 1939: scoppia WWII
- Autunno 1939-giugno 1940: BT frequenta i corsi di fisica e matematica all'Università di Vienna
- Giugno 1940: BT viene informato che non gli sarà più permesso di frequentare l'Università per motivi razziali



# A Vienna 1940-1942

Quando le cose diventarono particolarmente dure, dopo il 1940, Paul Urban, all'epoca un giovane Assistente all'Universita' di Vienna, a sua volta in posizione precaria, aiuto' Bruno ad incontrare il grande Arnold Sommerfeld a Monaco e per suo tramite a far si' che Bruno potesse continuare i suoi studi con l'aiuto del fisico Paul Harteck ad Amburgo.

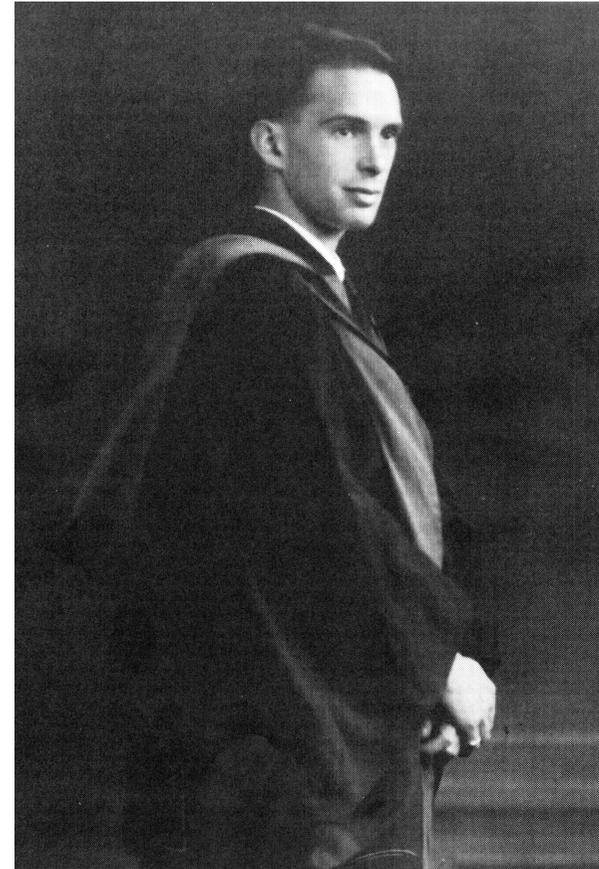


# In Germania durante e dopo la guerra 1942-47

- Alla fine del 1942 grazie all'aiuto di Paul Urban , BT riesce a stabilirsi ad Amburgo dove frequenta l'Università, senza iscriversi, e fa diversi lavori spostandosi fra Amburgo e Berlino
- Nel 1943 BT viene a conoscenza della proposta di Rolf Wideroe di costruire un betatrone da 15 MeV e inizia a collaborare con Wideroe sugli studi per costruire un betatrone
- La nonna materna di Touschek che si era ritrasferita a Vienna ed era stata arrestata, muore nel campo di concentramento di Theresienstadt in Cecoslovacchia
- All'inizio del 1945 , BT e' arrestato ad Amburgo e sfugge per poco alla morte
- Nel 1946 BT va a Gottingen dove ottiene il Diploma in Fisica sulla teoria del betatrone e si unisce al gruppo di Heisenberg

## Glasgow 1947-1952 e interesse di Touschek al problema della catastrofe infrarossa (teorema di Bloch e Nordsieck)

- Nel 1947, dopo il diploma Gottingen, Bruno Touschek ando' a Glasgow con una borsa di studio ed inizio' a interessarsi del sincrotrone di 350 MeV in costruzione da parte di P.I. Dee.
- Dopo il PhD ottenuto nel 1947, Bruno nel 1948 scrisse un lavoro sul problema delle divergenze nelle teorie quantistiche dei campi
- Nel 1950 Walter Thirring arrivo' a Glasgow e assieme a Touschek scrissero un lavoro sulla formulazione covariante del metodo di Bloch e Nordsieck in elettrodinamica in presenza di correnti esterne.



1949

# Roma 1952-1961

- Nel dicembre 1952 BT si trasferisce a Roma (dove viveva la zia Adele, detta Ada) con una posizione INFN
- Nel 1953 BT inizia a insegnare corsi alla Scuola di Perfezionamento di Roma e successivamente teoria dei campi all'Università di Pisa
- Fine anni '50 BT comincia a interessarsi della fisica di Frascati
- Nel febbraio 1960 BT propone la costruzione di AdA
- Alla fine del 1960 Touschek propone la costruzione di Adone

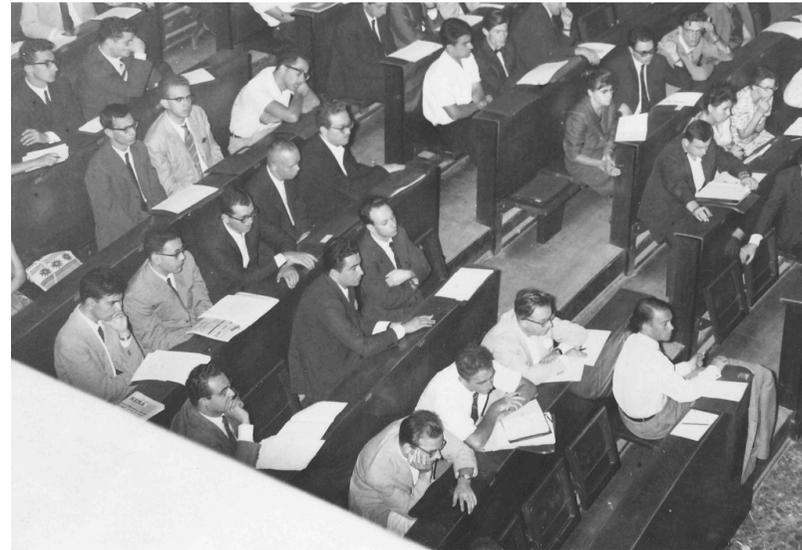
# A Frascati si costruiva il Sincrotrone

- Il sincrotrone di Frascati fu un grande evento
- Salvini, allora direttore, porta i visitatori...



# Roma e Orsay 1961-1977

- Nel 1961 AdA comincia a funzionare ed e' portata ad Orsay per migliorare la luminosita'
- 1963-1969 BT forma il gruppo teorico di Frascati e scrive un lavoro sulle correzioni radiative per gli esperimenti ad ADONE
- Nel 1972 viene nominato membro dell'Accademia Nazionale dei Lincei
- Nel 1973 diventa professore di Metodi Matematici della Fisica all'U. di Roma
- 



Alla SIF nel 1963

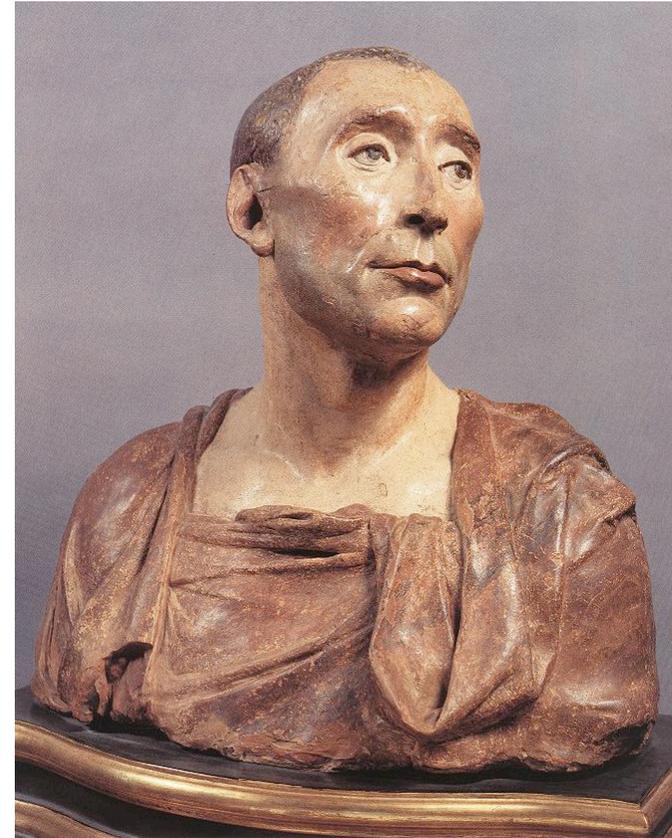
# A Ginevra e poi Austria 1977-1978

- Nell'ottobre 1977 BT va a CERN come visiting scientist
- Nel Novembre 1977 viene ammesso all' Hospital Cantonal di Ginevra e successivamente all' Hospital de La Tour
- L'8 marzo 1978, e' trasportato con una macchina del CERN allo Sport Hotel di Igls, vicino a Innsbruck
- Il 25 maggio 1978 muore all'eta' di 57 anni .

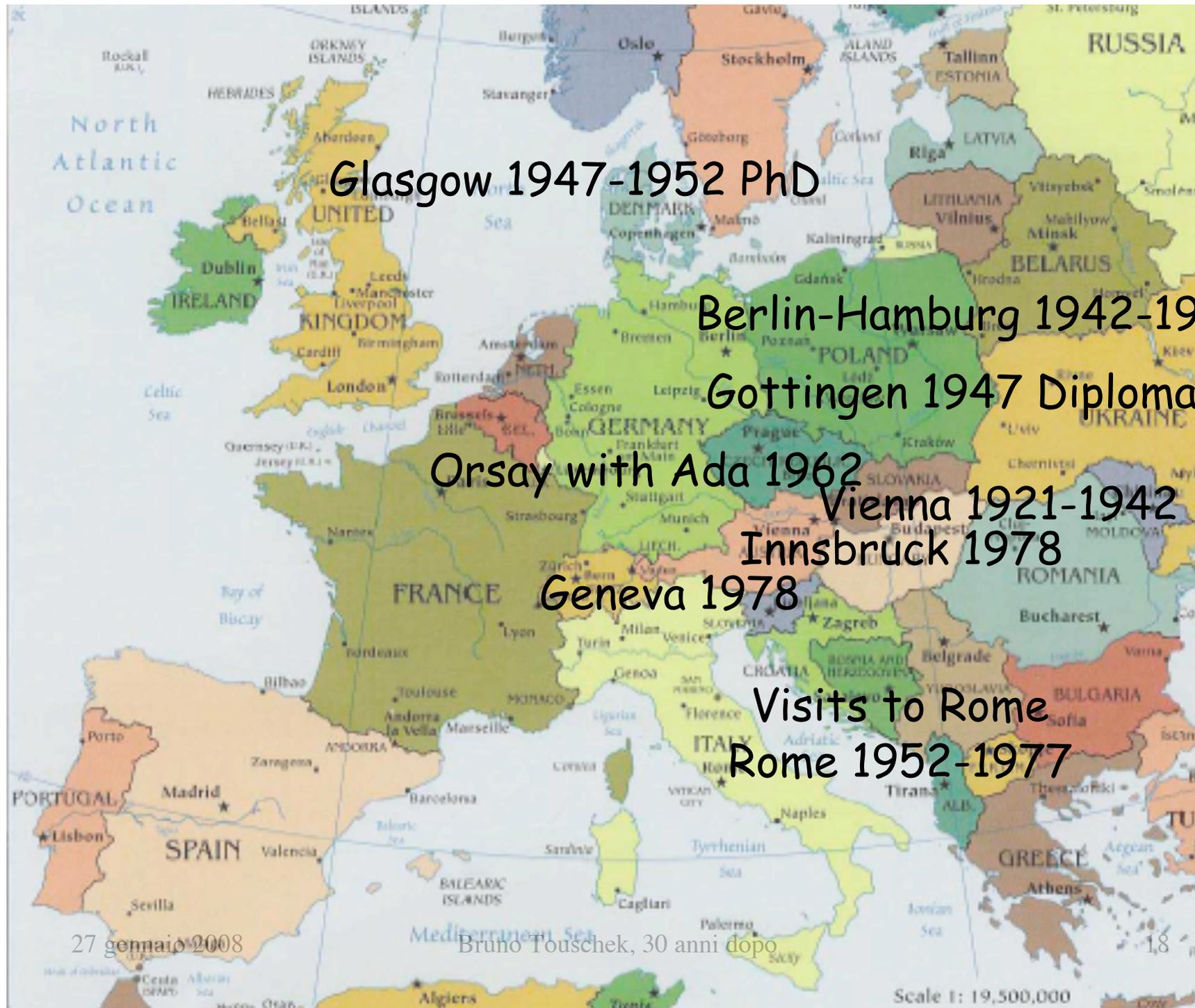


# Un commento di Gilberto Bernardini

- Bruno morì nel 1978, quattro anni prima della scoperta dei W e dello Z nelle collisioni protone-antiprotone al CERN
- Bruno visse dunque solo il primo grande periodo della fisica delle particelle (1950-1978): è come se avesse vissuto attraverso il “Quattrocento” e mancato il “Cinquecento” (gli anni '80)
- Egli fu dunque come una delle figure di Donatello, che anticiparono le grandi scoperte artistiche e intellettuali che sarebbero arrivate alcuni decenni dopo.



Niccolò' da Uzzano by Donatello



Glasgow 1947-1952 PhD

Berlin-Hamburg 1942-1946

Gottingen 1947 Diploma

Orsay with Ada 1962

Vienna 1921-1942

Innsbruck 1978

Geneva 1978

Visits to Rome

Rome 1952-1977

27 gennaio 2008

Bruno Touschek, 30 anni dopo

18

Scale 1: 19,500,000

Come e' nata AdA

**Le idee impossibili: dalle  
nuvole di Wideroe alle  
collisioni materia-antimateria  
in Laboratorio**

# Come nascono e si sviluppano idee come quella di AdA

“...Nell'autunno del 1943, stavo seduto su una collinetta erbosa vicino alla foresta di Tuddal in Norvegia osservando le nuvole in cielo, quando vidi due nuvole che si avvicinavano l'una all'altra come se stessero per scontrarsi. Da qui passai a pensare a due automobili che si scontrano in una collisione frontale e al fatto che tutta l'energia cinetica delle due automobili puo' diventare energia distruttiva”

Dall'autobiografia di **Rolf Wideroe**, l'inventore del primo betatrone europeo di 15 MeV, capitolo intitolato

“L'invenzione degli Anelli di Accumulazione”...



# In Germania, durante WWII, ad Amburgo e Berlino, Touschek incontro' Rolf Wideroe e comincio' ad occuparsi di acceleratori di particelle

Durante la guerra, c'era stato un progetto di costruire un betatrone per metterlo su un areoplano e sparare un fascio di elettroni per colpire gli aerei nemici.

Allo scopo, i tedeschi chiamarono un ingegnere norvegese **Rolf Wideroe**, che accetto' di farlo, per liberare suo fratello, asso dell'aviazione scandinava, abbattuto e fatto prigioniero dei tedeschi



Rolf Wideroe a 18 anni

# Amburgo 1944

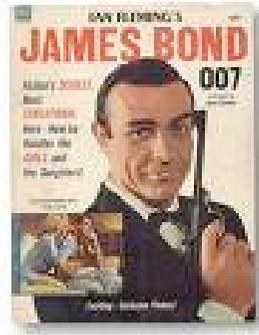
- Wideroe ricorda che dopo che Touschek fu arrestato “gli portavamo in prigione i suoi amati libri, cibo e sigarette... Era in prigione quando scrisse con l’inchiostro simpatico un saggio importante sulla *Radiation damping in betatrons* nelle pagine del libro di Heitler “Quantum theory of Radiation Theory”
- Nella sua autobiografia Wideroe di non essere mai stato coinvolto nella costruzione di anelli di accumulazione e che invece “Touschek fu il primo a rompere il ghiaccio in questo campo”.

Per Touschek il vero obiettivo fu di fare scontrare materia e **anti-materia** per estrarre l'**incognito** dal vuoto quantistico e dunque creare e **accumulare** l'antimateria nel laboratorio in quantita' sufficiente, un'impresa mai tentata prima

# Il contributo teorico di Touschek sulle correzioni radiative agli esperimenti di alta energia

La catastrofe infrarossa e il Bond  
Factor

# Cosa era (e') il Bond factor?



E perche' si chiamava cosi' o chi lo chiamo' cosi' nel 1965?

# Questo e' il fattore di Bond ...

$$\beta = \frac{4\alpha}{\pi} \left( \log \frac{2E}{m_e} - \frac{1}{2} \right) \quad 0.07 \text{ all'energia di ADONE}$$

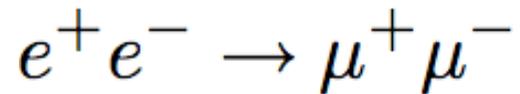
Il problema era che la probabilita' di emissione di un fotone di energia  $\omega$  da parte di un elettrone in moto e'

$$dn(\omega) = \beta \frac{d\omega}{\omega}$$

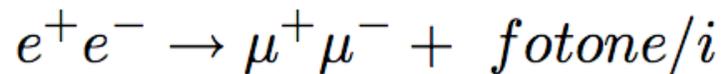
cioe' proporzionale al fattore di Bond e va all'infinito se il fotone e' soffice ( $\omega \rightarrow 0$ ).

# Correzioni radiative infrarosse: Perche'?

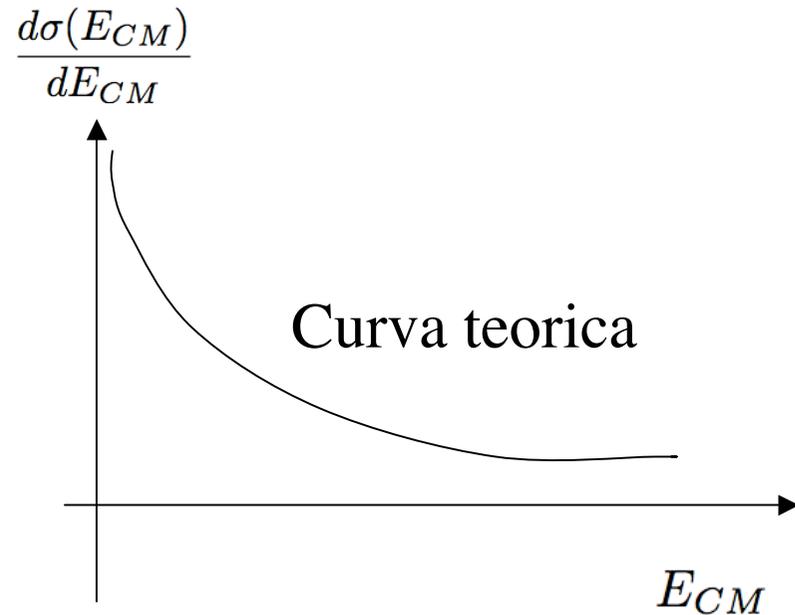
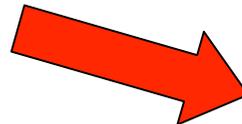
Consideriamo il processo



In realta' e' sempre



Classicamente le cariche  
quando sono accelerate  
emettono radiazione  
elettromagnetica



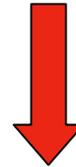
l'energia dello stato  $e^+e^-$   
non coincide con quella dei  $\mu$

# L'indeterminazione della misura

- La misura ha sempre una indeterminazione per cui
- $E_{CM}^{mis} = E_{CM}^{vera} + \Delta E$

E fotoni di bassa, bassissima energia  
possono sfuggire *nascosti in  $\Delta E$*

# Il problema (di Touschek)



Come estrarre la sezione  
d'urto  
teorica da quella misurata?

$$\frac{d\sigma(E_{CM})}{dE_{CM}}$$

# Il teorema di Bloch e Nordsieck

- Il problema della catastrofe infrarossa era stato individuato fin dai primi anni '30'
- Bloch e Nordsieck nel 1937 osservarono che
  - La probabilità che una transizione sia accompagnata da un numero finito di quanti di luce è zero
  - Tuttavia la probabilità totale della transizione è finita
  - Quindi solo l'emissione di un numero infinito di fotoni è finita

# Status del problema negli anni 50' e primi anni 60'

Durante questi anni la cancellazione della divergenza infrarossa e dell'esponentiazione del termine al primo'ordine fu dimostrata da diversi autori

J Schwinger, 1949

J.M. Jauch e F. Rohlich 1954

L.M. Brown e R. Feynman 1952

E.L. Lomon 1959

K.E. Erikson 1961

D.R. Yennie, S.C.Frautschi e H. Suura, 1961

....

E contemporaneamente anche da fisici russi (fattore di forma di Sudakhov 1954 )

I calcoli pratici pero' erano sempre fatti per correzioni all'ordine piu' basso.

Un aneddoto da Ugo Amadi:

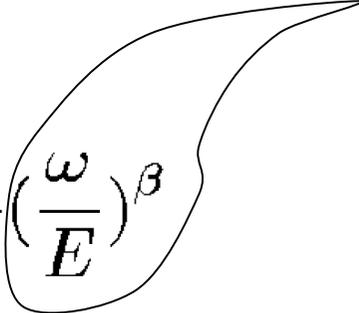
“Un giorno, nel 1964, ero andato da Touschek a parlare su alcuni dettagli del conto che stavo facendo sulle correzioni radiative. Touschek mi chiese quale metodo stessi seguendo. Io risposi che seguivo il metodo di Kessler [Paul Kessler un fisico del College de France, molto esperto in questi problemi], ed io aggiunsi “ Lei conosce il metodi di Kessler?”

Al che Bruno subito rispose “Io conosco solo ... le sorelle Kessler!”

## Kessler?



# Una formula ottenuta in modo molto elegante

$$dP(\omega) = N\beta \frac{d\omega}{\omega} \left(\frac{\omega}{E}\right)^\beta$$


Esponenziazione  
ottenuta mediante  
una somma a tutti  
gli ordini in  $\beta$

Nella formula il fattore di Bond compare  
come una funzione invariante delle  
Variabili di Mandelstam dello scattering

Nel 1966 Touschek derivò con metodi di meccanica statistica, la Probabilità che in una collisione venga irradiata una quantità di impulso ed energia di 4-impulso  $K_\mu$

$$d^4 P(K) = \sum_{n_k} \Pi_k P(\{n_k, \bar{n}_k\}) \delta^4(K - \sum_k k n_k) d^4 K$$

$$d^4 P(K) = \frac{d^4 K}{(2\pi)^4} \int d^4 x \exp[-h(x) + iK \cdot x]$$

with

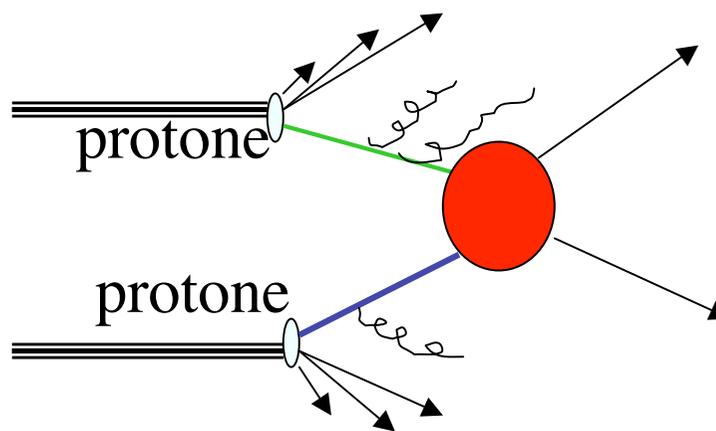
$$h(x) = \int d^3 n_k (1 - \exp[-ik \cdot x])$$

# Lavori successivi del gruppo degli allievi di Touschek sulle correzioni radiative

- Processi con risonanze
- Stati coerenti (fotoni + elettrone) di Greco e Rossi
- Estrazione dei parametri della  $J/\Psi$
- Correzioni radiative per il LEP e produzione della  $Z_0$
- ..... E infine la risommazione dei gluoni soffici in QCD in area di Roma e Frascati

# La risommazione: un' eredita' di Bruno Touschek

- ADONE e il LEP per le correzioni radiative di QED
- Gia' fin dagli anni '70 l'interesse si e' spostato su processi analoghi nelle interazioni forti

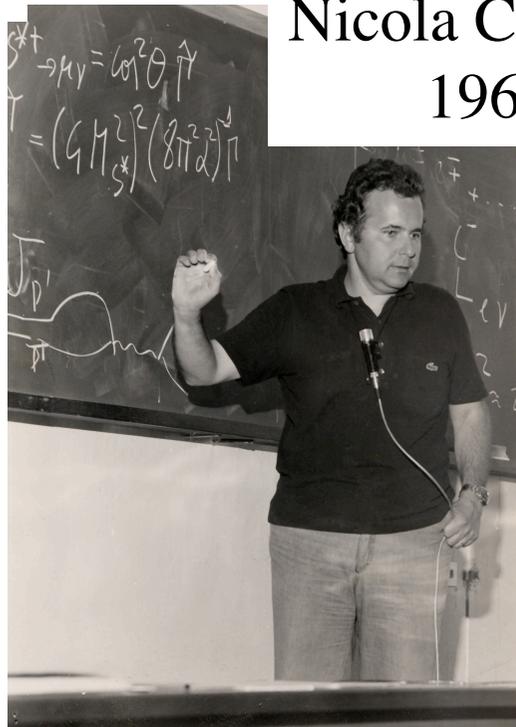


I quarks e gluoni emettono gluoni  
soffici che devono essere risommati  
Per poter studiare il processo  
fondamentale: Roma e Frascati  
fra i primi ad utilizzare le tecniche  
necessarie

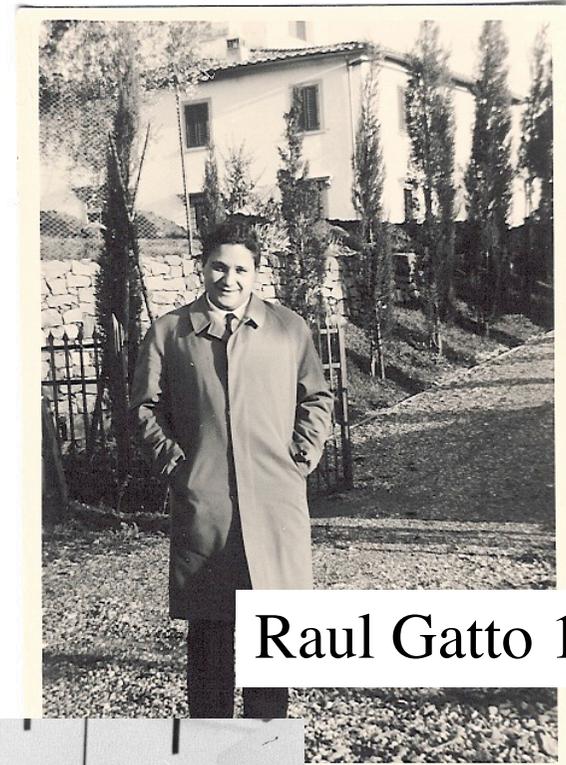
# I teorici che costruirono Frascati negli anni '50 e '60



Enrico Persico



Nicola Cabibbo  
1963



Raul Gatto 1957



Bruno Touschek  
1967

27 gennaio 2008

Bruno Tuschek, 30 anni dopo

38

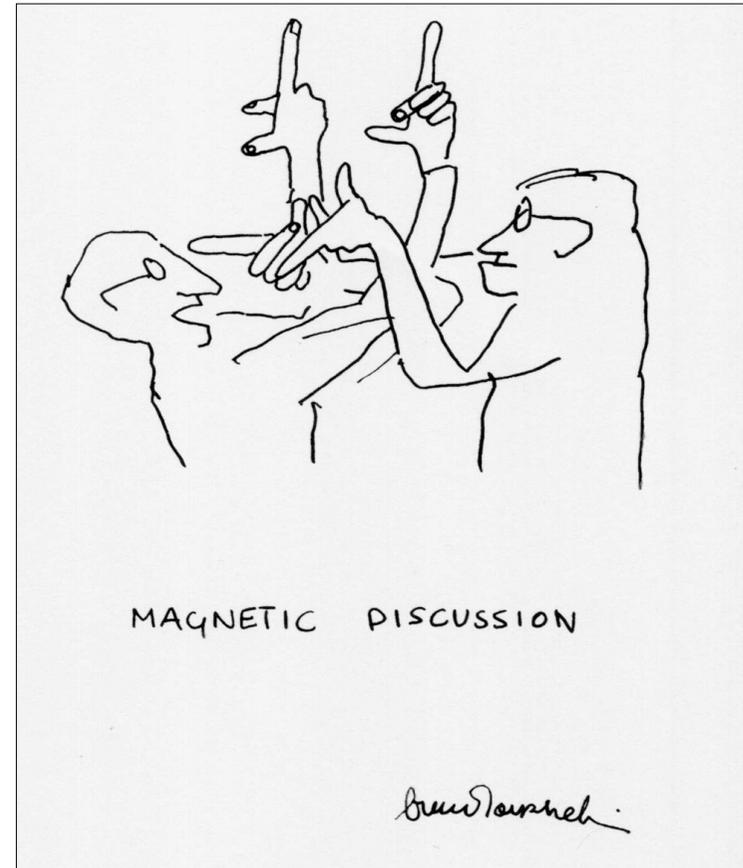
# Ada

- La macchina fu costruita in meno di un anno
- A Tousek piacque l'idea che si chiamasse **AdA**, come la zia Adele
- Il nome veniva da **Anello di Accumulazione** (Storage Ring )



# Adone

- Alla fine del 1960 Touschek, assieme a Carlo Bernardini e Raoul Gatto e altri, propose di costruire un acceleratore assai più potente che fu chiamato ADONE
- ADONE fu costruito fra il 1965 e il 1968 nell'edificio che ora ospita l'acceleratore, la phi-factory, DAFNE



# Dagli appunti di Touschek

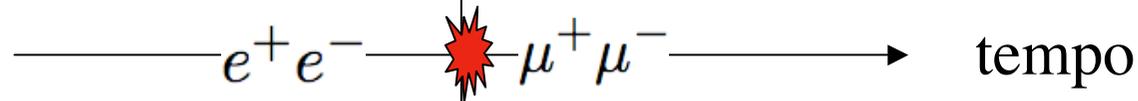
Let me first explain why a storage ring is an important instrument, particularly when fed with electrons and positrons. The first suggestions to use crossed beams I have heard during the war from Widerøe, the obvious reason for thinking about this being, that one wastes a considerable amount of energy by using 'stopping' targets - most of the energy being wasted to pay for the motion of the centre of mass. If one wants to study electrodynamics one should try to use particles, which interact weakly except electromagnetically. This automatically cuts one down to electrons (and positrons) since  $\mu$ -mesons are hard to come by in large numbers. To use a crossed beam consisting of electrons and positrons has the further advantage that in all interesting processes the particles of the initial state (i.e. the electrons and the positrons) disappear: Experiments made in this way can only depend on two parameters (the energy and the angle, the first being given by the machine). This means that much more information can be gained by much fewer events.

*→ thrown away*

# Il Bond Factor

- Correzioni radiative: perche'?
- Il teorema di Bloch e Nordsieck
- Il formalismo covariante di Touschek and Thirring
- Stato dell'arte negli anni 50' e primi anni 60'
- L'ipotesi di Schwinger sull'esponenziazione
- Adone e il Bond factor
- Correzioni Radiative e risommazione

# Dal punto di vista quantistico



La coppia  $e^+ e^-$  e' decelerata fino a scomparire

Mentre la coppia  $\mu^+ \mu^-$  e' accelerata e estratta dal vuoto quantistico

# Adone e il Bond factor: il lavoro sulle correzioni radiative

- Durante la costruzione di ADONE, a partire dal 1964, Touschek cominciò a preoccuparsi su come sfruttare al massimo i risultati sperimentali che si sarebbero ottenuti dalla nuova macchina ad alta energia
- E a causa di ciò, si preoccupò di quale potesse essere il modo migliore di trattare con le correzioni radiative.

## Da Ugo Amaldi \*

- “ Nell'autunno 1977 Bruno era al CERN in anno sabbatico ed avemmo così molte occasioni di parlare di fisica... Pochi mesi prima di morire, mi disse che era convinto che il futuro della fisica delle particelle elementari fosse nelle collisioni protone-protone o protone-antiprotone e non nelle collisioni elettrone-positrone ...

[Questo era a causa della forte dipendenza dall'energia dello spettro della radiazione emessa dagli elettroni].

Il problema gli era ben noto fin da quando aveva introdotto **cio' che chiamava il Bond Factor**, il fattore di Bond, cioè il coefficiente 0.07 davanti alla formula di Weizacher-Williams.

Al CERN, molti anni dopo, mi disse " Naturalmente il fattore di Bond aumenta con l'energia e per questo i leptoni ad alta energia si vestono sempre più di fotoni " con riduzione dell'energia della collisione e difficoltà nell'estrazione della fisica dello stato finale nella collisione.

”

\* **“Bruno Touschek Memorial Lectures, Frascati series Vol. 33, 2004**

# Sulle correzioni radiative

Touschek diceva che

Il quadro di un fisico sperimentale come di uno che conta fotoni  
soffici uno ad uno non e' realistico

Dal momento che egli non vede un singolo fotone ma piuttosto

Uno scompensamento nel computo dell'energia e dell'impulso  
fra le particelle entranti e quelle uscenti..

## La proposta di Schwinger sull'esponenziazione

- Nel 1949 Julian Schwinger (premio Nobel con Feynman e Tomonaga per la QED), utilizzando le recenti tecniche della Elettrodinamica quantistica calcolò la sezione d'urto per lo scattering fra particelle cariche, includendo sia fotoni reali che virtuali ed ottenne un contributo finito alla sezione d'urto, con una diminuzione percentuale data da

$$\delta \sim 2\alpha/\pi (\log E/\Delta E - 1) (\log E/m + \dots)$$

- Schwinger non parla mai di un "singolo fotone", ma solo di "eventi anelastici nei quali solo una piccola frazione  $\Delta E$  dell'energia iniziale viene irraggiata"
- Egli nota che il fattore di correzione diverge logaritmicamente quando  $\Delta E \rightarrow 0$  e propone che la soluzione del problema sia nella sostituzione

$$1 - \delta \rightarrow e^{-\delta}$$

- "I termini successivi nella serie rappresentano l'effetto dei termini di ordine superiore [nello sviluppo perturbativo in  $\alpha_{\text{QED}}$ ], che tuttavia, nelle applicazioni pratiche non sono necessarie"

# Il lavoro di Touschek sulle Correzioni Radiative (1967) Ad ADONE

- Il lavoro sulle correzioni radiative e' un esempio di cio' che Bruno Touschek chiamava "**guadagnarci il pane e burro**".
- Lui diceva che per guadagnarci il pane e burro, dovevano occuparci della "**amministrazione delle correzioni radiative**".
- All'epoca il suo messaggio era che la teoria delle perturbazioni cosi' com'era formulata non era in grado di trattare con **l'alluvione di fotoni** che sarebbero emersi da una collisione di particelle cariche di alta energia.

# Il betatrone

- E' un acceleratore di particelle che utilizza per l'accelerazione delle particelle il campo elettrico prodotto da un campo magnetico variabile.
- Attualmente si utilizzano per produrre fasci di raggi-X per varie applicazioni mediche e industriali
- [www.britannica.com/Ebchecked/topic/63352/betatron](http://www.britannica.com/Ebchecked/topic/63352/betatron)

# Niccolo' da Uzzano

- 1359-1431 nato e morto a firenze
- Uomo politico fu gonfaloniere di giustizia a Firenze
- Tenne a freno altri firentini che si erano schierati contro l'ascea politica di Cosimo de' Medici

# Inchiostro simpatico

- Il piu' semplice fatto con succo di limone che non si vede
- Quando viene riscaldato, compare perche' l'acido citrico del limone su ossida e diventa scuro
- Si puo' fae anche con sali di cobaldo o di potassio

# Dimensioni Ada e ADONE

- Ada Raggio 65 cm Energia per fascio 250 MeV
- ADONE circonferenza 105 m, raggio 16 metri Energia fascio 1500 MeV