



Due esperimenti epocali

La scoperta dei bosoni intermedi
e del fondo fossile a microonde

La fisica nel dopoguerra

■ *Fisica fondamentale*

Campi e particelle

Gravitazione

Astrofisica

Sistemi complessi

■ *Fisica applicata*

Solidi

Biofisica

Elettronica quantistica

Nuclei

*Classificazione sovrasemplificata, arbitraria,
incompleta, parziale, personale,...*

Campi e particelle

Il punto di partenza

- Punto di vista riduzionista:
 - Tutti i fenomeni fisici vengono ricondotti a poche interazioni fondamentali
 - Interazione *elettromagnetica*, responsabile delle forze fra atomi, molecole e loro costituenti
 - Interazione *forte*, responsabile della stabilita' dei nuclei
 - Interazione *debole*, responsabile della instabilita' dei nuclei
 - Interazione *gravitazionale*, non rilevante su scala microscopica

Campi e particelle

Lo sviluppo storico - I

- Fine anni 20: **fisica atomica**
 - Completamento sistemazione teorica
 - Attivita' sperimentale sostanzialmente conclusa (aspetti fondamentali)
- Anni 30: **fisica nucleare**
 - Intensa attivita' sperimentale (misure di masse, energie di legame, momenti magnetici, modi di decadimento)
 - Scarsa comprensione teorica (interazioni forti e deboli sostanzialmente non capite)

Campi e particelle

Lo sviluppo storico - II

- Tre progressi teorici importanti
 - Teoria di *Yukawa* (1936): ipotesi semi-quantitativa sul meccanismo delle interazioni forti
Predizione di una particella mediatrice, il *mesone π*
 - Ipotesi di *Pauli* (1937): salvataggio della conservazione dell'energia nel decadimento β
Predizione di una nuova particella, il *neutrino*
 - Teoria di *Fermi* (1938): ipotesi dettagliata sulla struttura delle interazioni deboli
Prima descrizione coerente dei fenomeni di *creazione/distruzione* di particelle (dopo *Dirac* per il campo e.m.)

Campi e particelle

Lo sviluppo storico - III

- Primo dopoguerra:
 - Grandi progressi teorici nella comprensione e descrizione quantistico-relativistica delle interazioni elettromagnetiche (*Schwinger, Feynman, Dyson, Tomonaga*) – soggetto (in principio) concluso
 - Scoperta delle *particelle strane nei raggi* cosmici - allargamento del quadro osservativo
 - Inizio della sperimentazione agli *acceleratori*; primo sviluppo di tecniche sperimentali adatte alla nuova scala degli esperimenti, inizialmente diretti allo studio delle interazioni forti e deboli

Campi e particelle

Lo sviluppo storico - IV

- Le particelle strane
 - Scoperte in esperimenti con *emulsioni nucleari* (←una specie di fotografia ad elevata risoluzione), esposte ad alta quota
 - Produzione *abbondante*, con caratteristiche simili a quelle delle interazioni forti
 - Decadimento *lento*, con caratteristiche simili a quelle delle interazioni deboli

Campi e particelle

Lo sviluppo storico - V

- Rapidi progressi sperimentali negli anni 60
 - Tecniche di accelerazione
 - Tecniche di rivelazione
 - Tecniche di calcolo
- Piu' lenti progressi teorici: problemi aperti
 - Calcolabilita' (interazioni forti)
 - Consistenza interna (interazioni deboli)
 - Moltiplicazione di modelli *ad hoc*

Campi e particelle

Lo sviluppo storico - VI

- Progresso teorico decisivo (fine anni 60):
 - Individuazione di una sottostruttura: *quarks*
 - Parallelismi fra *quark* e *leptoni*
 - Nuovi, rivoluzionari modelli teorici basati sulla *simmetria di gauge* in teoria dei campi
 - Interazioni deboli: unificazione interazioni deboli ed elettromagnetiche (*Glashow, Weinberg, Salam*)
 - Interazioni forti: teoria (parzialmente) calcolabile: Cromodinamica Quantistica (*Gell-Mann, Gross, Wilczek*)
 - Prova teorica della convergenza del metodo (*Veltman, t'Hooft*)

Campi e particelle

Lo sviluppo storico - VII

- Un nuovo livello di struttura: *quark*
 - Proposti originariamente per interpretare i *dati spettroscopici* delle particelle a interazione forte (centinaia di stati, analogamente alla tavola periodica di Mendeleev)
 - Riproposti pochi anni dopo per interpretare i *dati della diffusione profondamente anelastica di elettroni su protoni* (evidenza di sottostruttura, analogamente all'esperimento di Rutherford che portò alla scoperta del nucleo)
 - Definitivamente accettati dopo la scoperta dei *quark pesanti* (Charm, Beauty) a metà degli anni 70

Campi e particelle

Lo sviluppo storico - VIII

- Sviluppi sperimentali decisivi:
 - Scoperta *correnti neutre* (CERN 1973)
 - Scoperta del quark *charm* (BNL, SLAC 1974)
 - Scoperta del quark *beauty* (Fermilab 1977)
 - Scoperta del leptone *tau* (SLAC 1977)
 - Scoperta del *gluone* (DESY 1979)
 - Scoperta di *W,Z* (CERN 1984)
 - Scoperta del quark *top* (Fermilab 1994)
- Tutte guidate dalla teoria..... guidata dai dati sperimentali.....

Campi e particelle

Il quadro concettuale - I

- Indagine sui sistemi microscopici (atomi, molecole,...)
- Punto di partenza: meccanica ed elettrodinamica classiche ('800)
- Crisi a fine '800: sistema classico di concetti e teorie deve essere abbandonato per i sistemi microscopici e per le velocità (← energie) elevate
- Emergono due nuovi paradigmi concettuali

Teoria della relatività
Meccanica quantistica

Campi e particelle

Il quadro concettuale - II

■ La relatività

- Cambiamento radicale nel modo di considerare lo spazio e il tempo
- Scomparsa dei concetti assoluti di distanza e intervallo temporale: *controintuitivo*
- Teoria fisica che *incorpora* i concetti e la teoria precedenti come *casi limite* per velocità piccole

Campi e particelle

Il quadro concettuale - III

- La meccanica quantistica
 - Cambiamento radicale nel modo di considerare la dinamica dei sistemi fisici
 - Scomparsa della differenza fra aspetti corpuscolare e ondulatorio di materia e campo: *controintuitivo*
 - Teoria fisica che *incorpora* la teoria precedente come *caso limite* per sistemi con grande numero di particelle

Campi e particelle

Il quadro concettuale - IV

- Relativita' e meccanica quantistica
 - Punto essenziale: *per studiare oggetti di dimensione a occorrono sonde con dimensione $< a$*
 - Dimensione, in meccanica quantistica, si traduce in *lunghezza d'onda*: $\lambda < a \rightarrow p > h/a$
 \rightarrow se a e ' piccolo servono sonde con energia (quindi velocita') elevata \rightarrow relativistiche

Campi e particelle

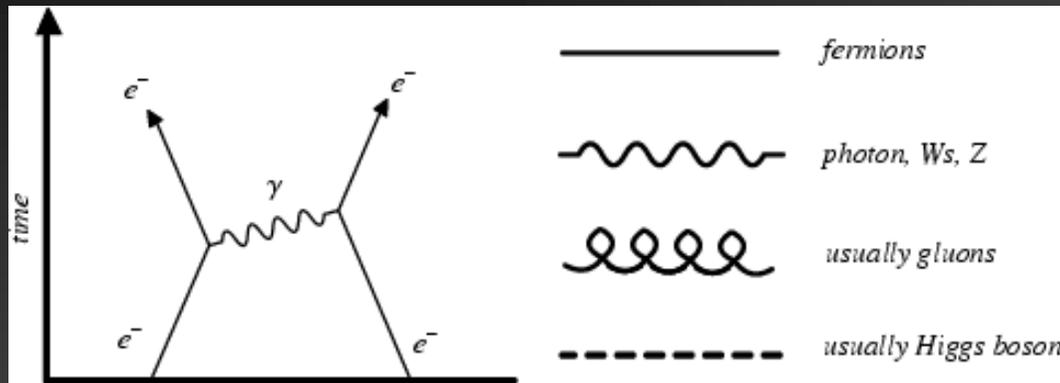
Il quadro concettuale - V

- La teoria quantistica-relativistica dei campi
 - Sintesi rigorosa delle proprietà *corpuscolari* e *ondulatorie* di materia e campo
 - Esistenza delle *antiparticelle*
 - Calcoli complicati → tecniche di *approssimazione*
 - Legame profondo (e non ovvio) fra *simmetrie* e *dinamica* per un sistema fisico
 - Campi *materiali* e campi *mediatori*

I costituenti e le forze elementari

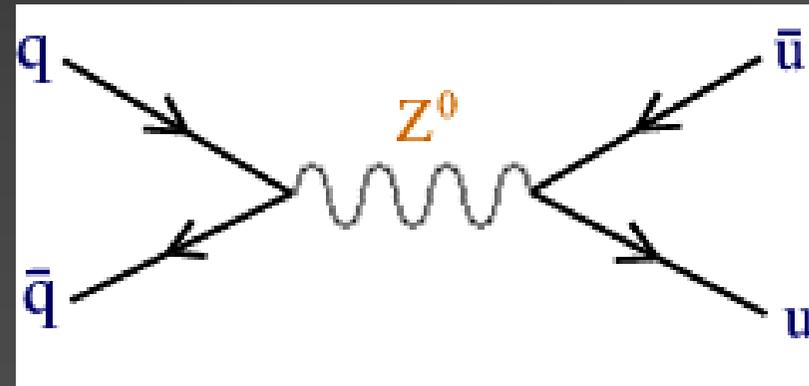
Elementary Particles								
Quarks	u up	c charm	t top	g gluon	Force Carriers			
	d down	s strange	b bottom					
Leptons	ν_e e neutrino	ν_μ μ neutrino	ν_τ τ neutrino	W W boson				
	e electron	μ muon	τ tau				Z Z boson	
3 →	I	II	III	← Generations				

Le interazioni fra i costituenti



*L'urto fra 2 elettroni :
scambio di un fotone*

*L'annichilazione di un quark e
un antiquark: formazione di uno
 Z^0 , che si disintegra in un'altra
coppia quark-antiquark*



Il metodo sperimentale

- Caratteristica basilare di ogni particella: *la massa*
 - Tecnica sperimentale: *urto* fra particelle
 - Un po' come in una reazione chimica fra molecole, in un urto si possono *creare* nuove specie e *distruggerne* altre, convertendo massa in energia e viceversa ($E=Mc^2\dots$)
 - Regola fondamentale: per creare una particella di massa M , si deve mettere in gioco un'energia almeno uguale a Mc^2 ($E = m c^2\dots$)

Energia e luminosita'

- Quindi, le particelle che urtano devono avere *energia molto elevata*, tanto piu' grande quanto piu' grande e' la massa che si vuole creare
- Se si studiano processi infrequenti, occorre generare molte collisioni per unita' di tempo → si devono cioe' eseguire esperimenti a *luminosita' elevata*

Gli acceleratori

- La necessita' di energie elevate spinge a inventare metodi di *accelerazione*
- Uso intelligente di campi
 - *Elettrici*: cessione di energia alle particelle, quasi sempre con campi a radiofrequenza
 - *Magnetici*: guida delle particelle accelerate lungo un percorso prestabilito, di solito con campi statici (o quasi)

Bersaglio fisso e collisore

■ Macchine a bersaglio fisso

- Un fiotto di particelle con velocità prossima a quella della luce viene *sparato* contro un bersaglio fisso nel laboratorio. Vantaggi:
 - *Luminosità più elevata*
 - *Rivelatore più semplice*

■ Collisori

- Due fiotti di particelle con velocità prossima a quella della luce vengono fatti collidere *testa a testa*. Vantaggi:
 - *Energia più elevata*

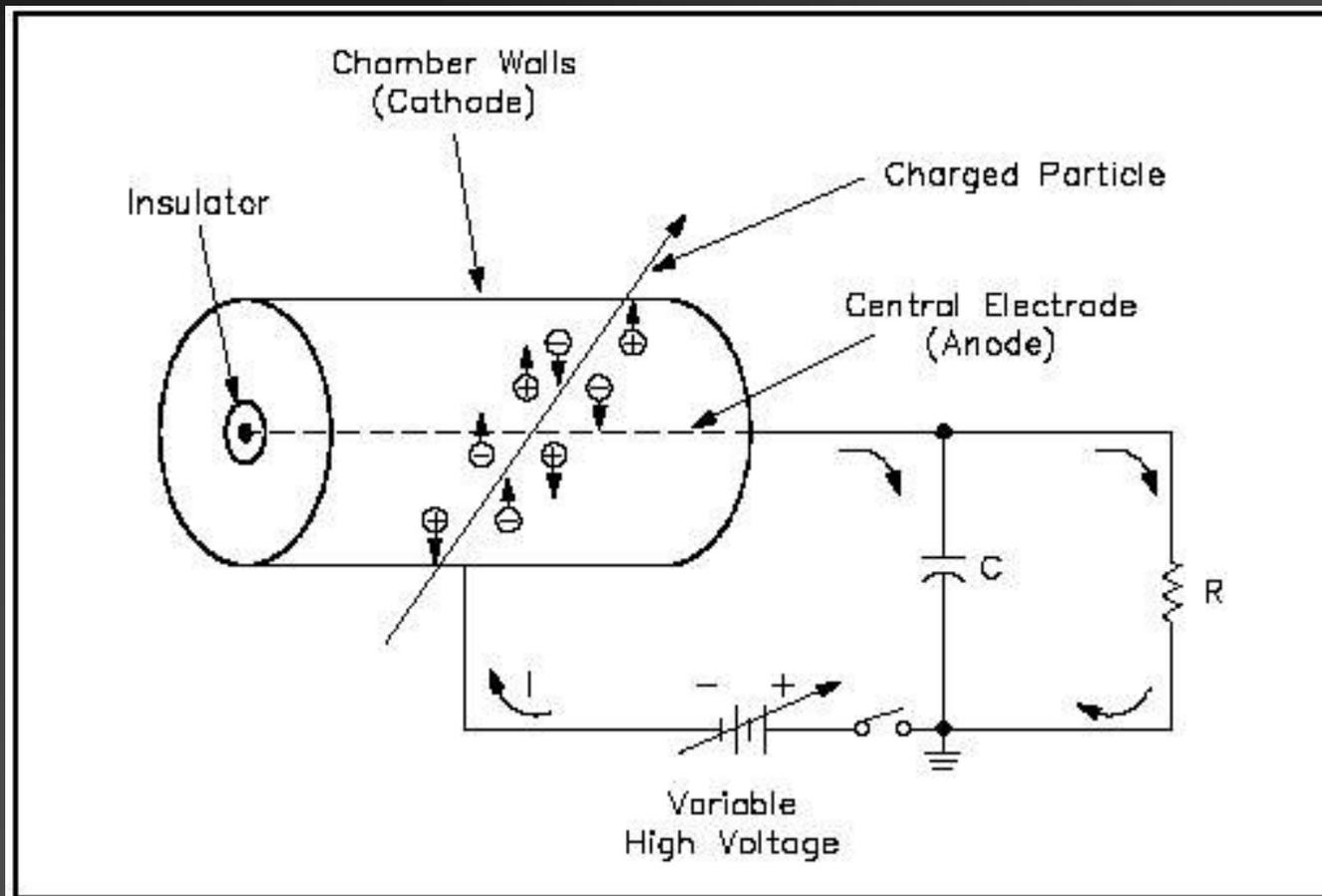
I signori degli anelli

- Molto spesso (anche se non sempre) gli acceleratori sono *anelli* di grandi dimensioni, costituiti da tubi a vuoto, immersi in forti campi magnetici guida, nei quali circolano le particelle accelerate
- Ragione: Per motivi pratici, *non si puo'* fornire alla particella carica tutta l'energia voluta in un solo passo
- La particella viene accelerata in *molti passi successivi*, ricevendo un "calcio" a ogni giro nell'anello

I rivelatori

- Le particelle prodotte in una reazione sono di solito *instabili*
- Disintegrazione in stati piu' stabili (particelle *a vita lunga*), che possono essere rivelati
- Meccanismo di rivelazione: *interazioni elettromagnetiche* con gli atomi dei mezzi materiali → *generazione di luce e/o di carica*
- Raccolta e trattamento dei *segnali ottico-elettrici a impulsi* conseguenti al passaggio di radiazione ionizzante

Principio di funzionamento



Tempo e ampiezza

- Informazioni accessibili: *istante di arrivo* e *intensita'* dell'impulso di corrente
- Necessita' di raccogliere, scegliere, registrare, correlare segnali effimeri (impulsi di corrente deboli e rapidissimi) da migliaia (o milioni, oggi) di elementi sensibili, contemporaneamente
- Sistemi elettronici ad *elevata integrazione*
- E inoltre: chilometri e chilometri di *cavi...*

W e Z: i bosoni intermedi

- Interazioni deboli: modifiche alla teoria di Fermi
 - Nuovi leptoni (μ, ν_μ) (~ 1950); (τ, ν_τ) 1977)
 - Violazione della parita' (e altro) (1956)
 - Interazione debole molto simile a quella elettromagnetica (~ 1970)
 - Scambio di mediatori \rightarrow *bosone intermedio W^\pm*
 - Correnti neutre \rightarrow *bosone intermedio Z^0*
 - Masse: previste elevate ~ 100 volte un protone

L'unificazione elettrodebole

- La somiglianza fra il modello delle interazioni deboli con i bosoni intermedi e l'elettrodinamica e' piu' di un caso
- Le due interazioni sono *aspetti di un'unica interazione* (come elettricità e magnetismo) (*Glashow, Weinberg, Salam*)
- La teoria unificata richiede l'esistenza di nuove particelle mediatrici a massa elevata

Un'inchiesta indiziaria

- Ricerca di evidenze sperimentali per il modello a *3 bosoni mediatori*
 - Diverse *evidenze indirette* in urti originati da fasci di neutrini e di elettroni
 - Necessita' della *prova finale*: creazione e successivo decadimento dei bosoni W,Z
 - Difficolta': le masse, dedotte indirettamente, sono molto elevate → impossibili da creare con gli acceleratori esistenti (1975 circa)

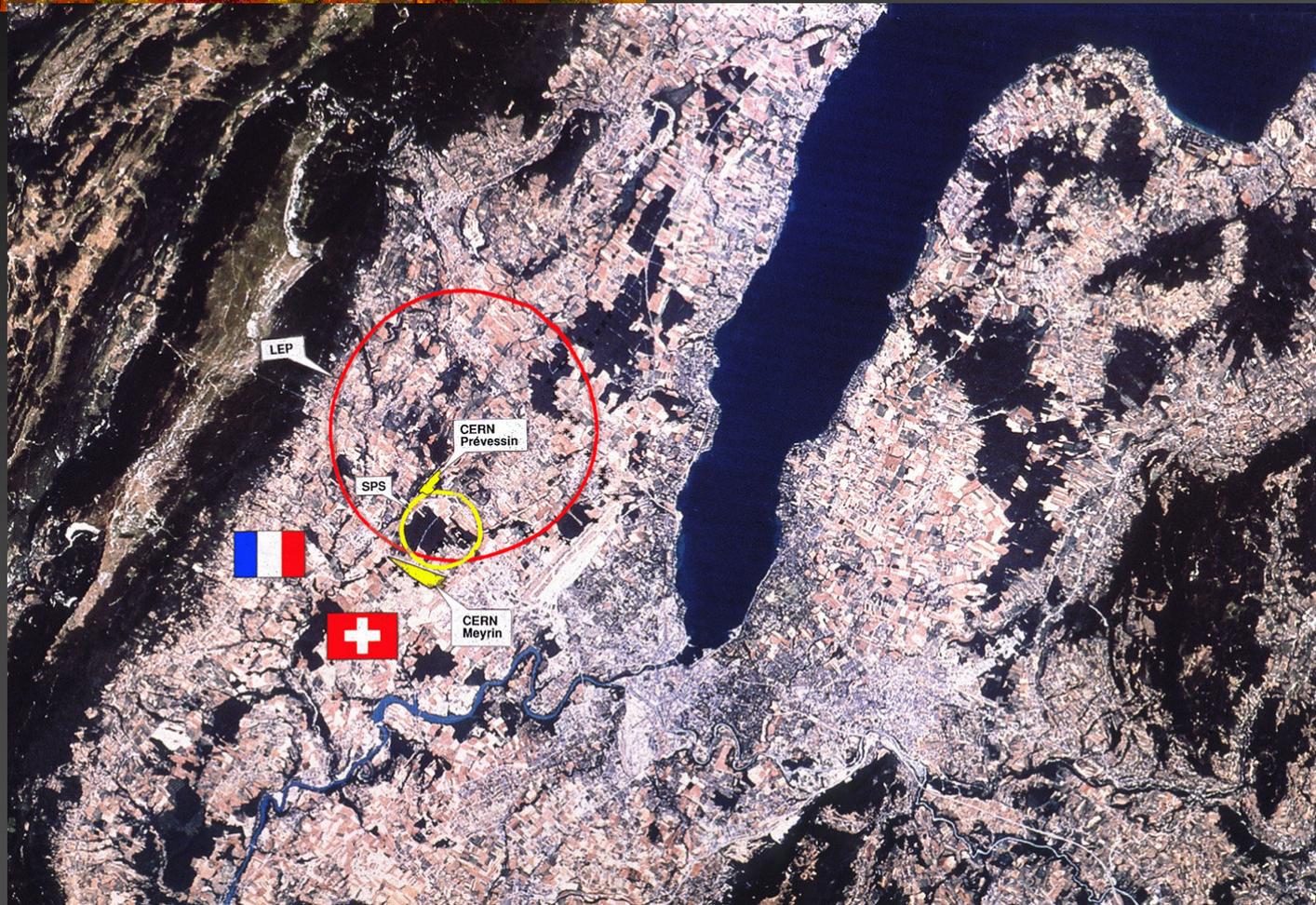
L'acceleratore

- Meta' anni 70: prime proposte, da parte di *Carlo Rubbia* e collaboratori, per modificare le macchine esistenti (a Fermilab e al CERN), a bersaglio fisso, in collisori
- Proposta rifiutata al Fermilab e accettata al CERN nel 1978
- Difficolta': per non dover raddoppiare il sistema di guida magnetica per i 2 fasci, essi devono percorrere la stessa orbita (in senso opposto...)

Gioie e dolori dell'antimateria

- Occorre quindi che i due fasci abbiano carica opposta: *protoni* + *antiprotoni*
- Occorre quindi produrre e accumulare una quantità adeguata di antiprotoni
- Essi vengono creati in collisioni a bersaglio fisso, ma arrivano molto dispersi in *velocità* e *direzione* (simili per certi aspetti a un *gas caldo*)
- Bisogna “raffreddarli”
- *Van der Meer* (CERN) inventa la soluzione, il *raffreddamento stocastico*

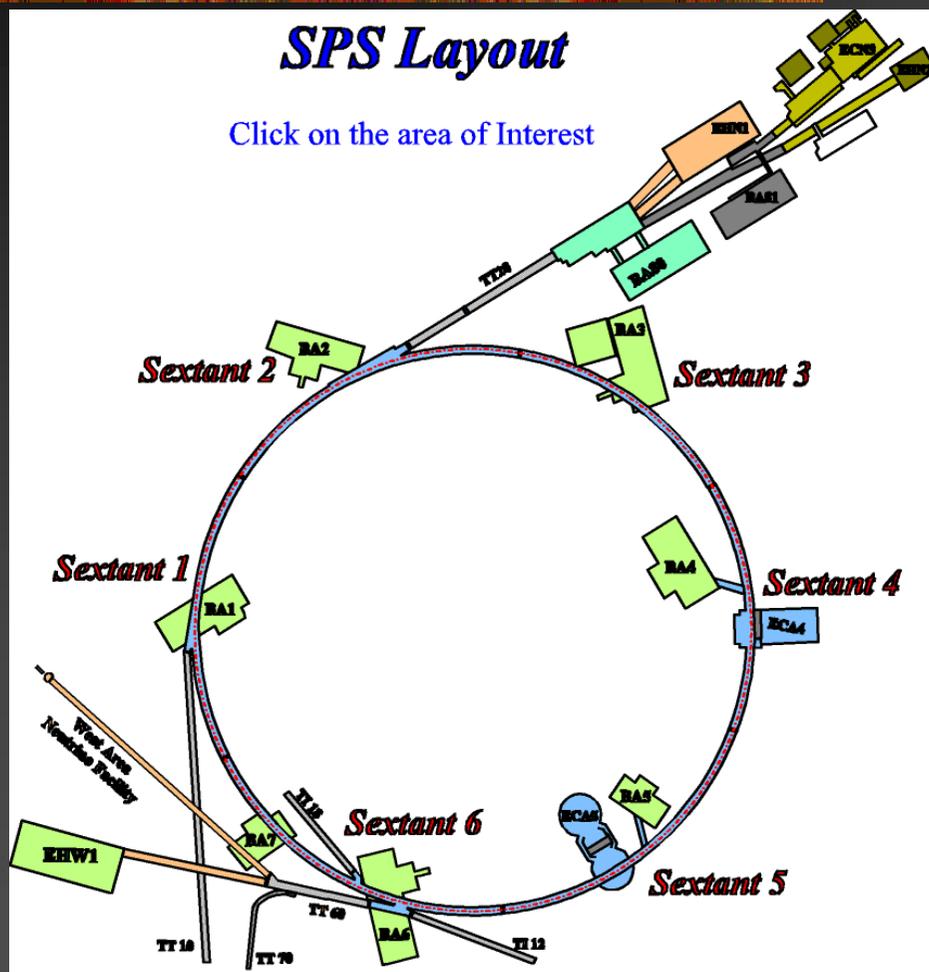
Il CERN visto dal satellite



Il CERN visto dall'aereo

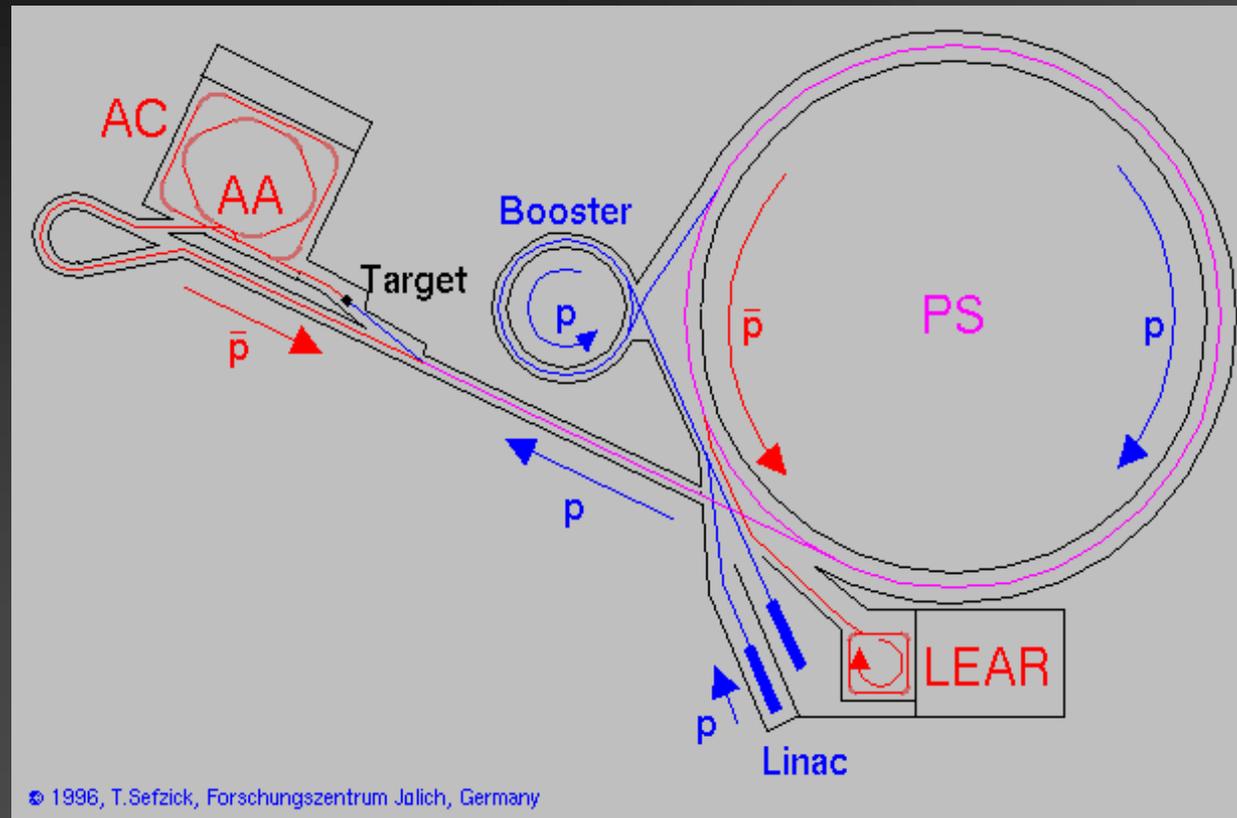


SuperProtoSynchrotron



Schema dell'acceleratore e delle linee di fascio

Antiproton Accumulator



Produzione,
stoccaggio,
raffreddamento e
trasferimento
degli antiprotoni

Raffreddamento stocastico

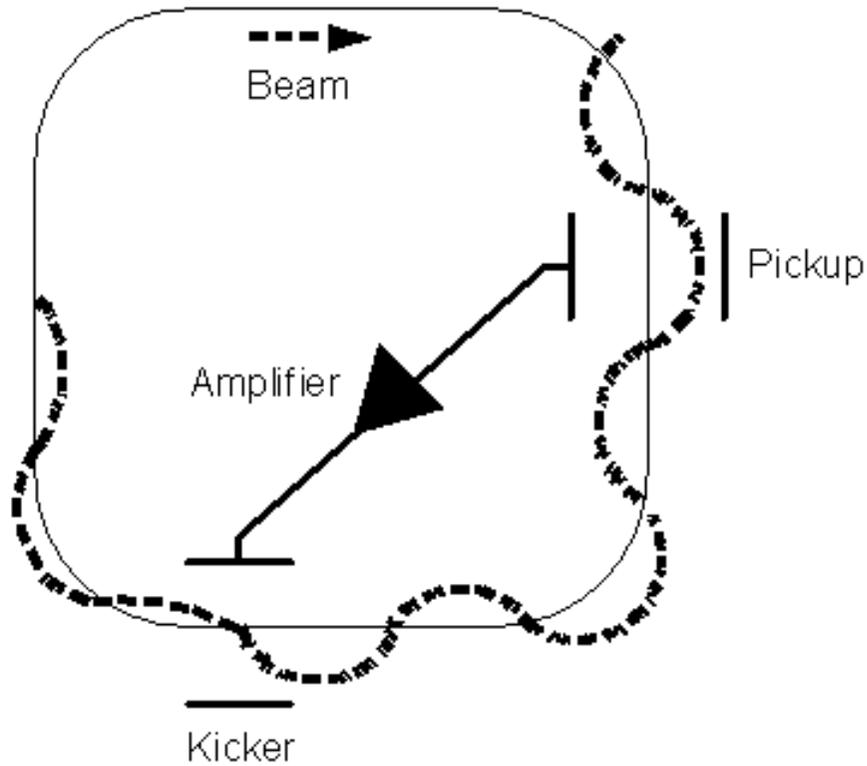


Figure 5.1 One-Particle Model for a Transverse Stochastic Cooling System

Meccanismo di riduzione della dispersione in energia e direzione degli antiprotoni

Il rivelatore – idea di base

- W e Z sono *instabili* → si disintegrano in particelle piu' stabili in molti modi
- Modi caratteristici attesi:

$$W^{\pm} \rightarrow e^{\pm} + \nu_e \text{ (opp. } \bar{\nu}_e), W^{\pm} \rightarrow \mu^{\pm} + \nu_{\mu} \text{ (opp. } \bar{\nu}_{\mu})$$

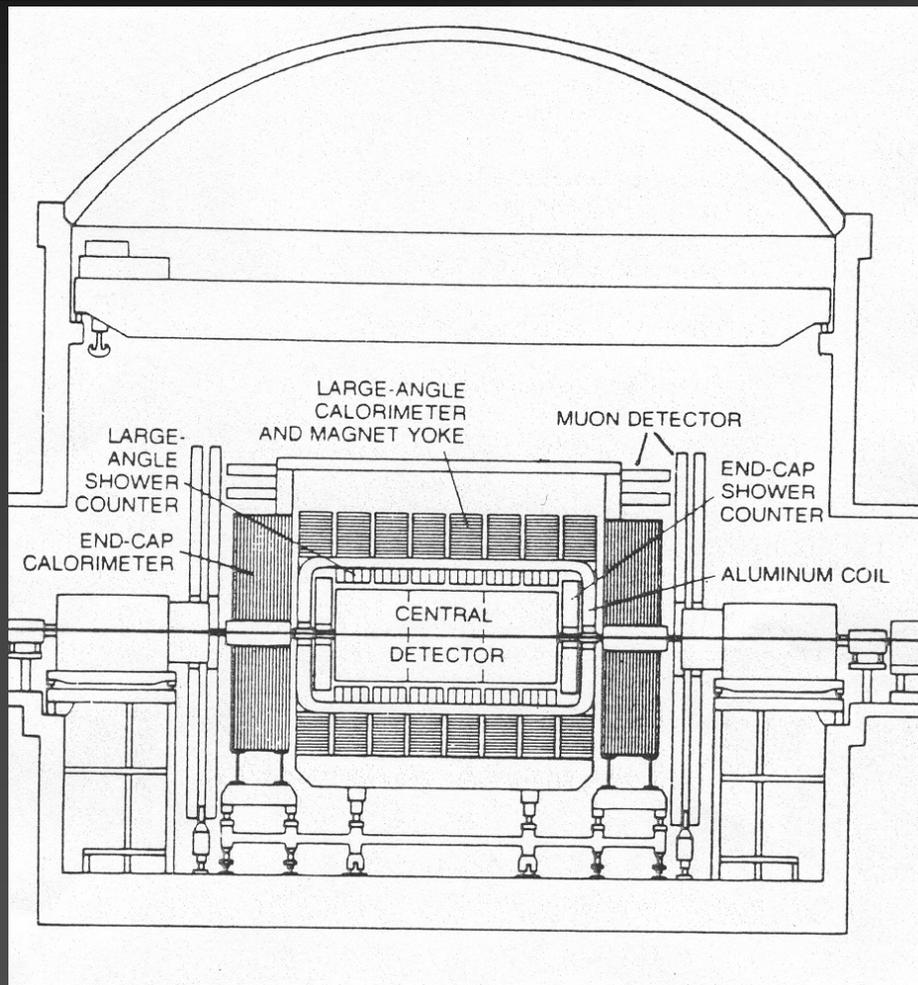
$$Z^0 \rightarrow e^+ + e^-, Z^0 \rightarrow \mu^+ + \mu^-$$

- Particolarmente adatti alla rivelazione ad un collider (tracce energetiche a grande angolo)
- Scelta di un rivelatore *ermetico* per evidenziare segnali indiretti di decadimenti con *neutrini*

Il rivelatore

- Primo esempio di rivelatore di particelle su grande scala
- Problema: necessita' di misurare elettronicamente particelle cariche e neutre, che arrivano a fiotti densi e frequenti, su un volume molto grande
- Particolare enfasi su *elettroni* e *muoni*
- Soluzione: UA1

Schema UA1



Central detector:

Tracciatura delle particelle cariche su tutto il volume

Muon detector:

Tracciatura dei muoni

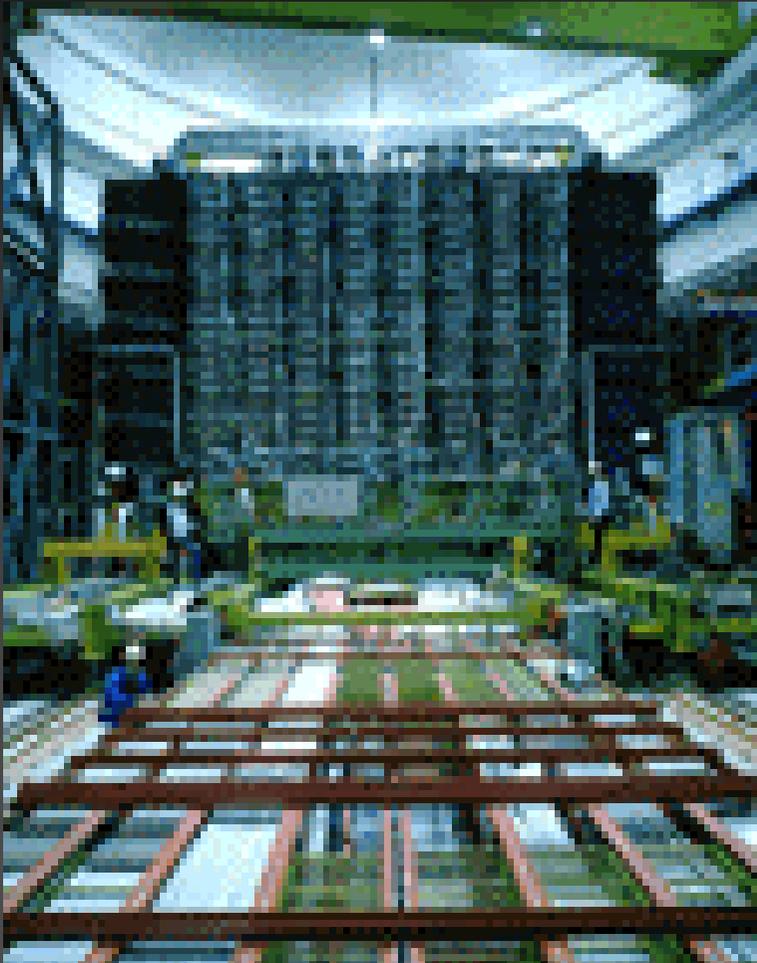
Calorimeter:

Misura energia elettroni e gamma

Magnet yoke:

Avvolgimento su nucleo di ferro, serve a misurare l'impulso (e l'energia)

Foto di UA1 durante il montaggio



Installazione in un pozzo
sotterraneo in uno dei
punti di incrocio dei fasci

Il rivelatore non e'
accessibile durante la
presa dati per problemi
di radiazione

Gioie e dolori dell'elettronica

- Capacita' di visualizzare elettronicamente eventi complessi, con molte particelle cariche e neutre
- Ottenuta con dispiegamento su larga scala di
 - *Meccanica di precisione*
 - *Microelettronica*
 - *Computers*
 - *Software*
 -
- ...e con l'audacia e la determinazione di Carlo Rubbia e dei suoi fisici...

Elettronica & computing a UA1

- 1980: evoluzione molto rapida
 - Fra il 1975 e il 1985: declino dei *mainframes* e ascesa del *PC* e dei *networks*
- Primi microprocessori
- Elettronica integrata per sistemi di raccolta dati da migliaia di elementi rivelatori
- Controllo remoto di tutto l'esperimento

Il run

- Inizio autunno 1982
- Funzionamento della macchina OK
- Funzionamento del detector OK
- Prodotte circa 10^9 collisioni fino a febbraio 1983
- Registrati su nastro magnetico circa 10^6 eventi

La strategia di analisi - I

- Computers al lavoro!
- Ricerca di collisioni con:
 - Segnale di tracce con angoli elevati
 - *Elettroni* nel calorimetro
 - *Tracce* nel rivelatore centrale
 - Accordo fra energia nel Riv.Centrale e nel Calorim.
 - La stragrande maggioranza degli eventi registrati non soddisfa i requisiti
- Restano *39 eventi candidati...*

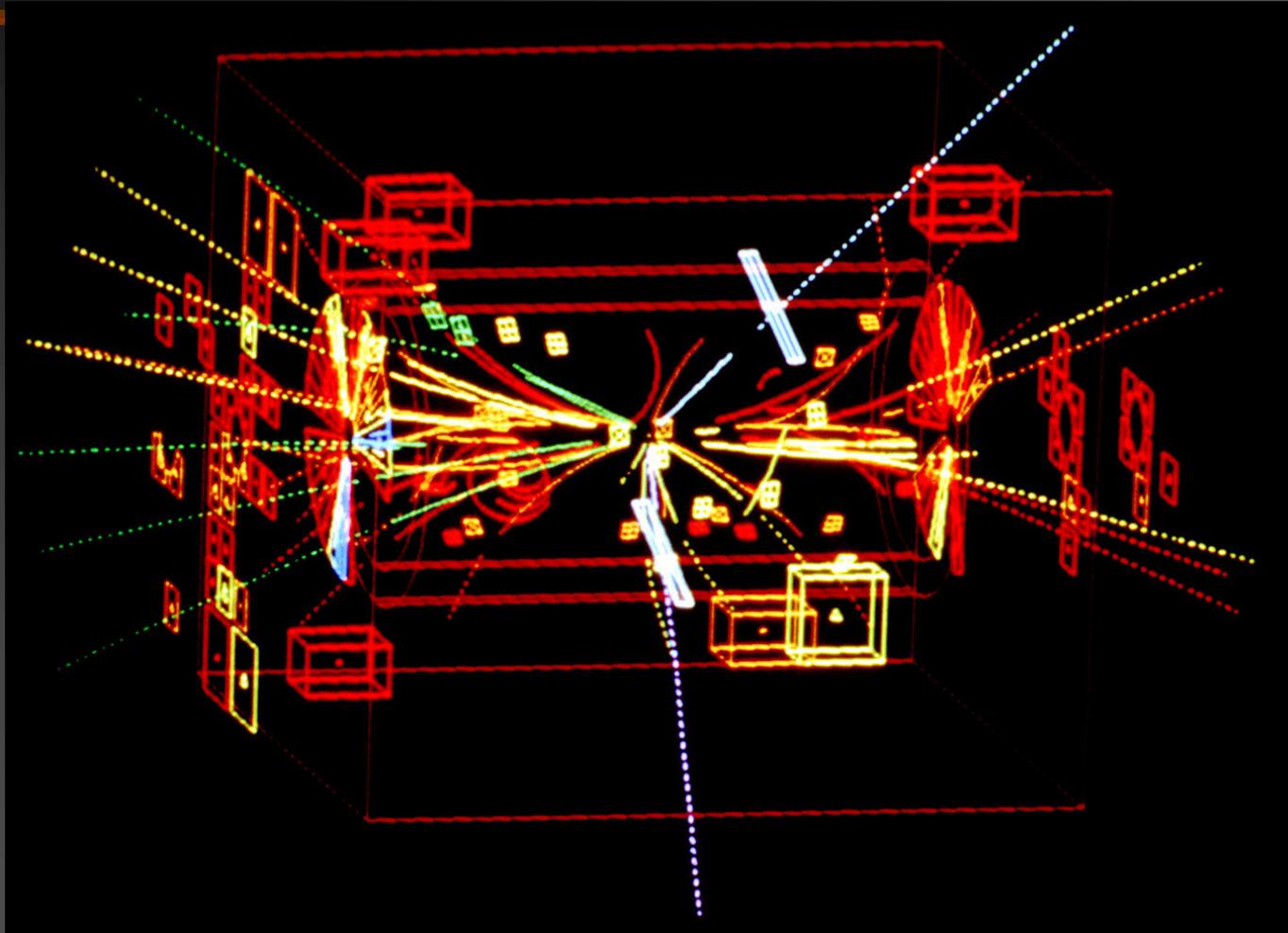
La strategia di analisi - II

- Analisi serrata sui 39...
- Richiesta di migliore identificazione degli elettroni (esclusione di altre ipotesi)
- Misura dell' *energia mancante* (← indizio della presenza di neutrini nel decadimento)
- Restano 6 eventi! In *ognuno* di essi, l'en. mancante bilancia esattamente quella dell'elettrone identificato
-*BINGO!!* Il W e' stato trovato

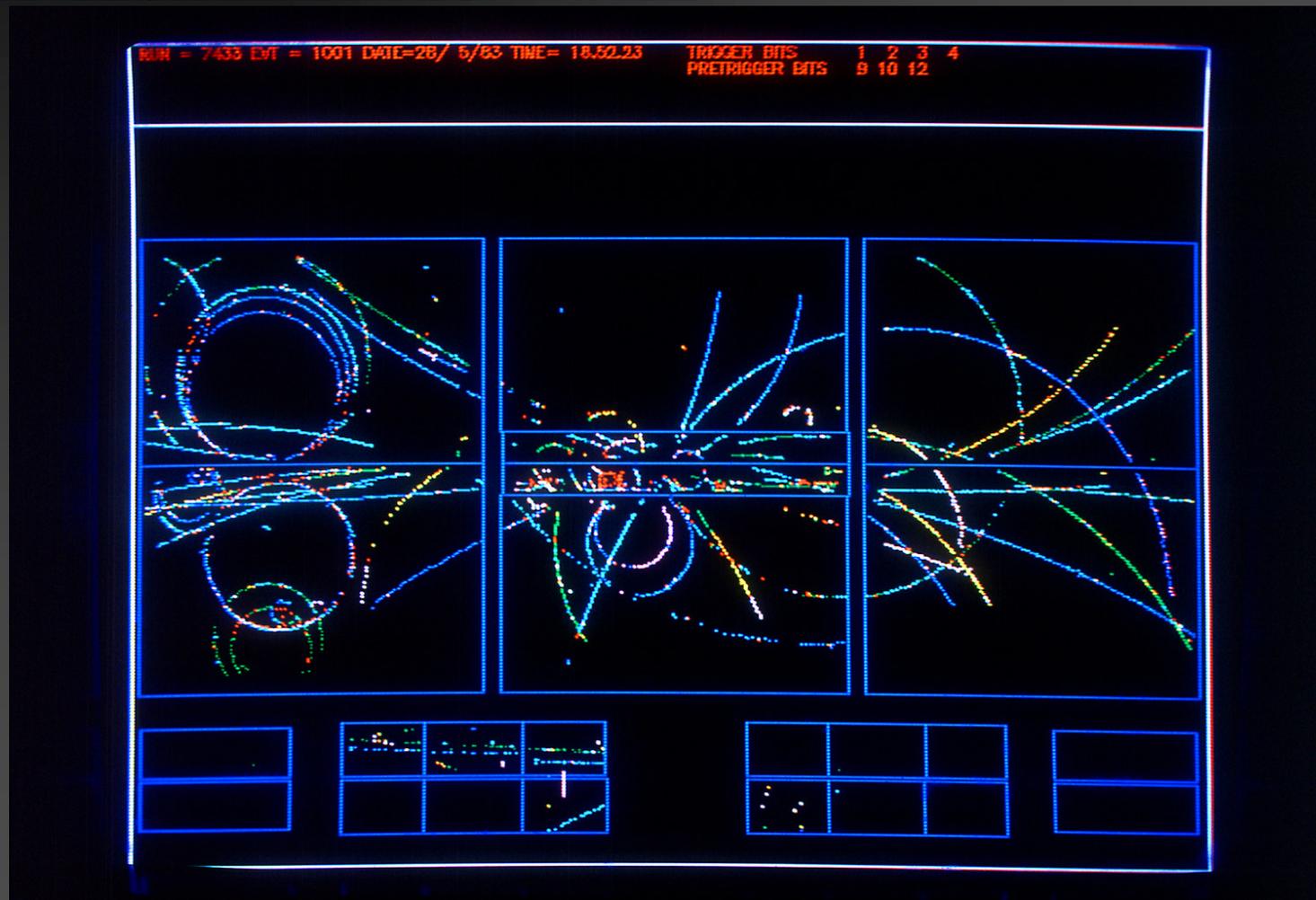
La strategia di analisi - III

- Si considera poi la possibilità' che i 6 eventi siano *eventi di fondo* (altre reazioni che simulano il decadimento di un W)
- Accurata simulazione al computer della risposta del rivelatore + conoscenza dei processi fisici noti nella collisione
- Esclusione ad alto significato statistico di effetti di fondo

Il primo evento di $Z^0 \rightarrow e^+e^-$



Un'altra Z^0 da UA1



Il risultato del 1983

- 6 eventi riconosciuti e ricostruiti
- Evidenza per segnale di W e di Z
- Misura delle masse
 - $M_W = 82.1 \pm 1.7$ GeV
 - $M_Z = 93.0 \pm 1.7$ GeV
- Masse trovate in perfetto accordo con la teoria e con le misure indirette precedenti

Cosmologia: dalla filosofia alla scienza

- Indagine sulla struttura e l'origine dell'Universo
- Disciplina molto antica, con una storia millenaria di commistione e confusione (almeno) con religione, metafisica e letteratura
- Nel corso del '900, lenta transizione dalle chiacchiere ai dati
- Ovvi, forti legami con l'*astronomia* (studio del moto degli astri a prescindere dalla loro struttura) e l'*astrofisica* (studio della struttura degli astri a prescindere dal loro moto)

Einstein: la teoria

- All'inizio del '900: *relatività generale*
- Estensione del *principio di relatività* a tutti i sistemi di riferimento, inerziali e non
- In virtù del *principio di equivalenza*, in concreto una *nuova teoria della gravitazione*
- Interazione gravitazionale: dominante nei fenomeni astronomici
- Quindi: relatività generale base della cosmologia

Modelli cosmologici

- La teoria einsteiniana della gravitazione consente per la prima volta di formulare modelli dell'Universo *quantitativi*
- Soluzione delle equazioni del campo gravitazionale: molte diverse, scelta difficile
- Possibilita' di universi *aperti* o *chiusi*

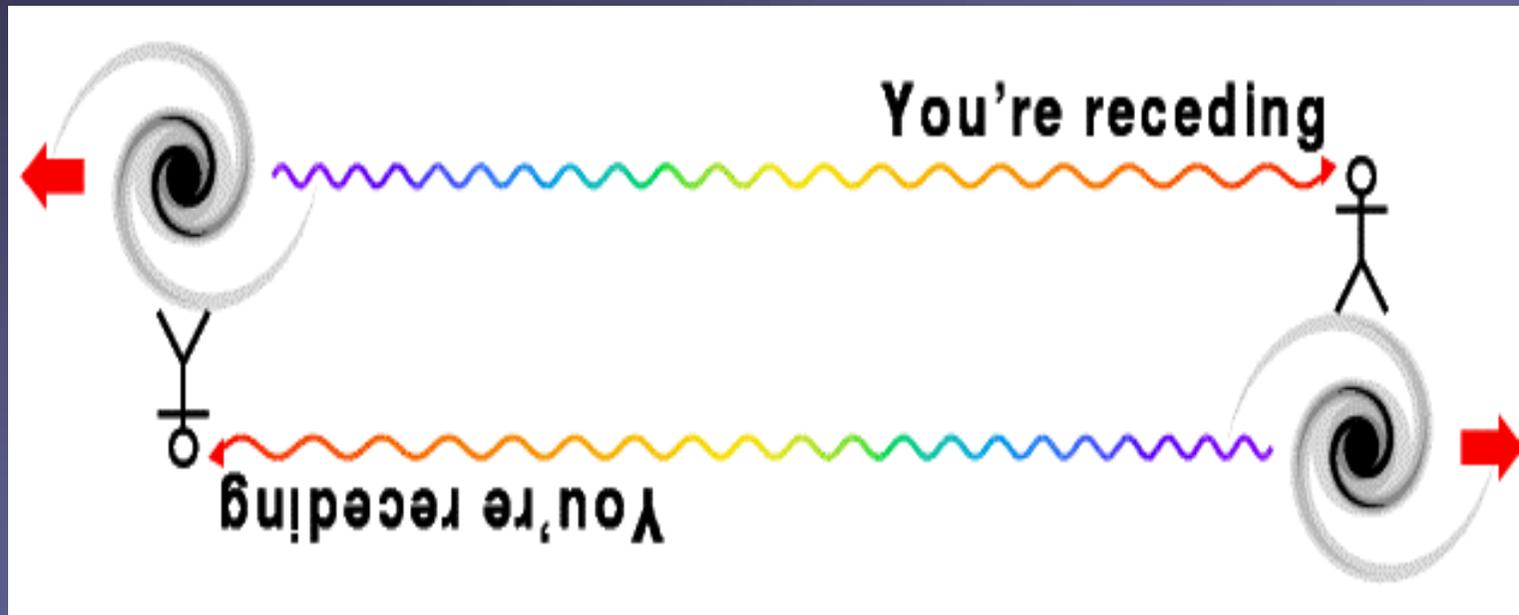
Hubble: l'osservazione

- Miglioramento tecniche osservative a inizio '900
- Comprensione delle nebulose come strutture analoghe alla Galassia
- Misure accurate di spettri di emissione di galassie
- Osservazione di *Doppler shift* negli spettri

Il Doppler shift

- *Effetto Doppler*: presente in ogni fenomeno ondulatorio
- Moto relativo di sorgente e osservatore → cambiamento della lunghezza d'onda ricevuta
- Si prevede un *red shift* (arrossamento degli spettri) se il moto fra stella e Terra è di allontanamento

Illustrazione del Doppler shift

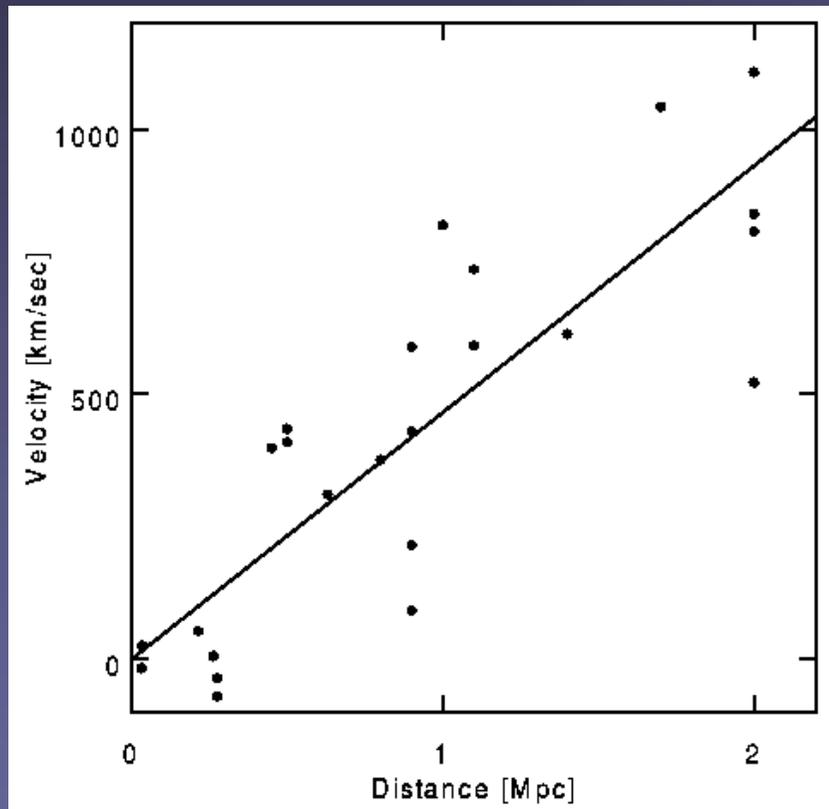


La lunghezza d'onda aumenta se sorgente e osservatore si allontanano...e diminuisce se si avvicinano

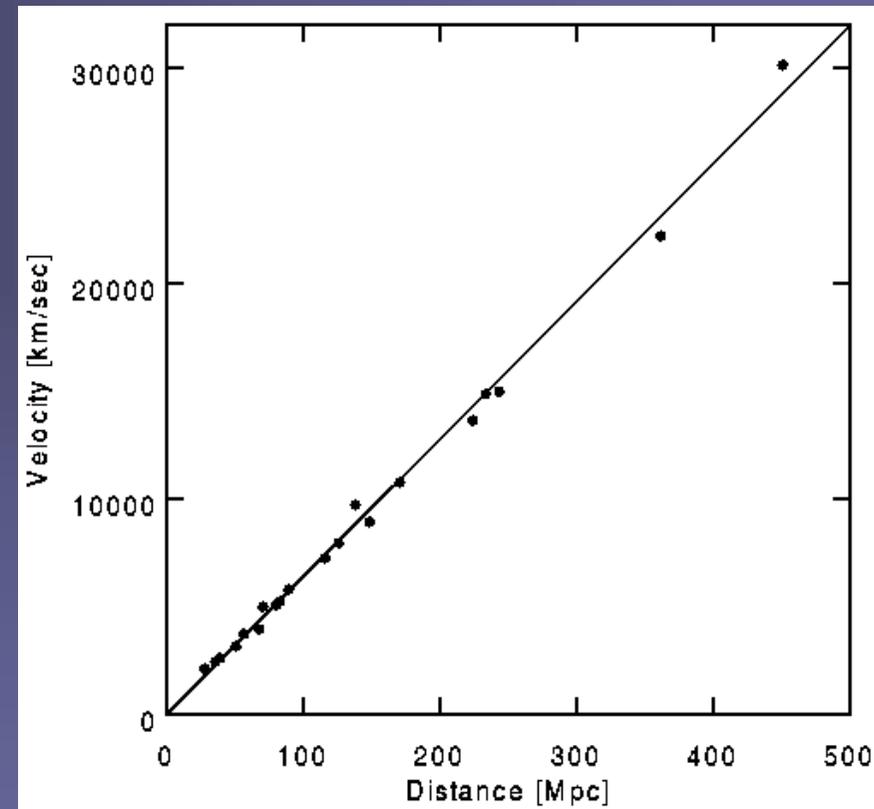
Il risultato di Hubble (1929)

- Analisi di numerosi spettri di *oggetti extragalattici* (nebulose)
- Correlazione lineare fra
 - Distanza
 - Spostamento spettrale verso il rosso
- Quindi: *velocita' \propto distanza*
- L'Universo si espande ?!....

I primi lavori



1929



1931

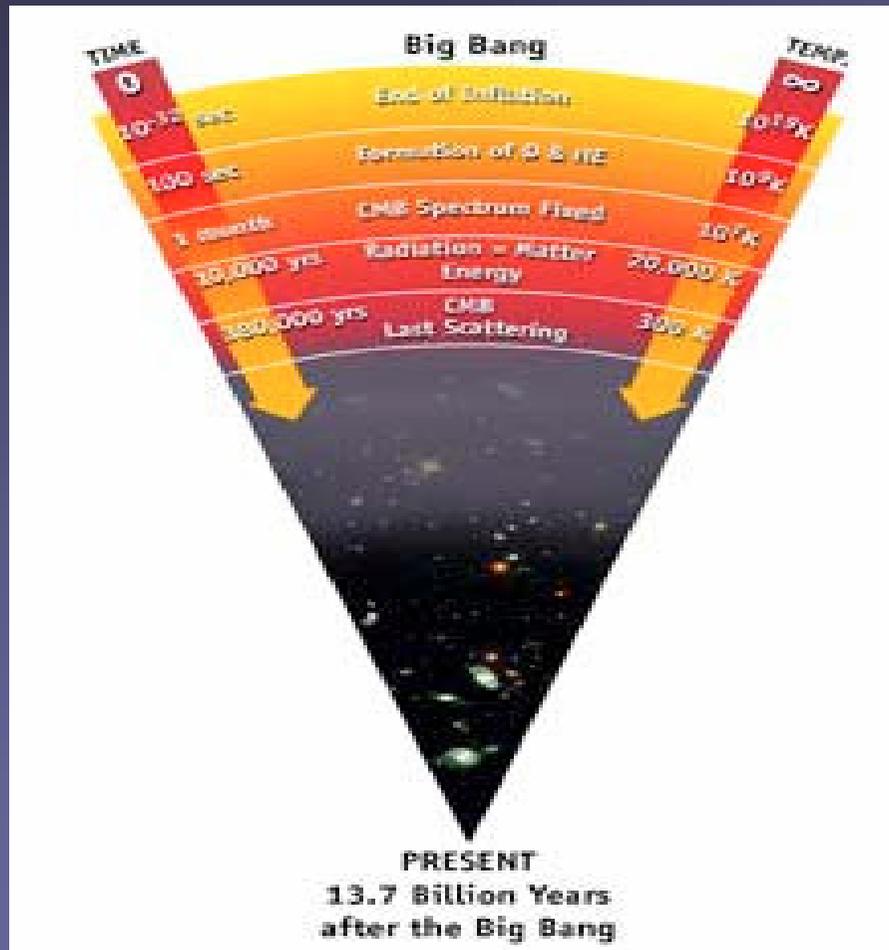
Teorie cosmologiche rivali-I

- Stato stazionario: visione tradizionale
- Il raggio dell'Universo non varia nel tempo
- La densita' di materia e' uniforme
- Sostenuta, inizialmente, anche da Einstein
 - Termine cosmologico (“...*il piu' grande errore della mia vita...*”) per eliminare espansione!
 - Eliminato dopo le soluzioni non stazionarie date da *Friedmann*
- Diversi problemi non banali

Teorie cosmologiche rivali-II

- Big Bang: esplosione iniziale, espansione dell'Universo, raffreddamento
- Consistente con la relatività generale
- Diverse conseguenze prevedibili: fra queste, presenza di un *fondo di radiazione elettromagnetica (fossile) in tutto l'Universo*
- Temperatura attuale della radiazione: misura dell'età dell'Universo

Un altro modo di raffigurare

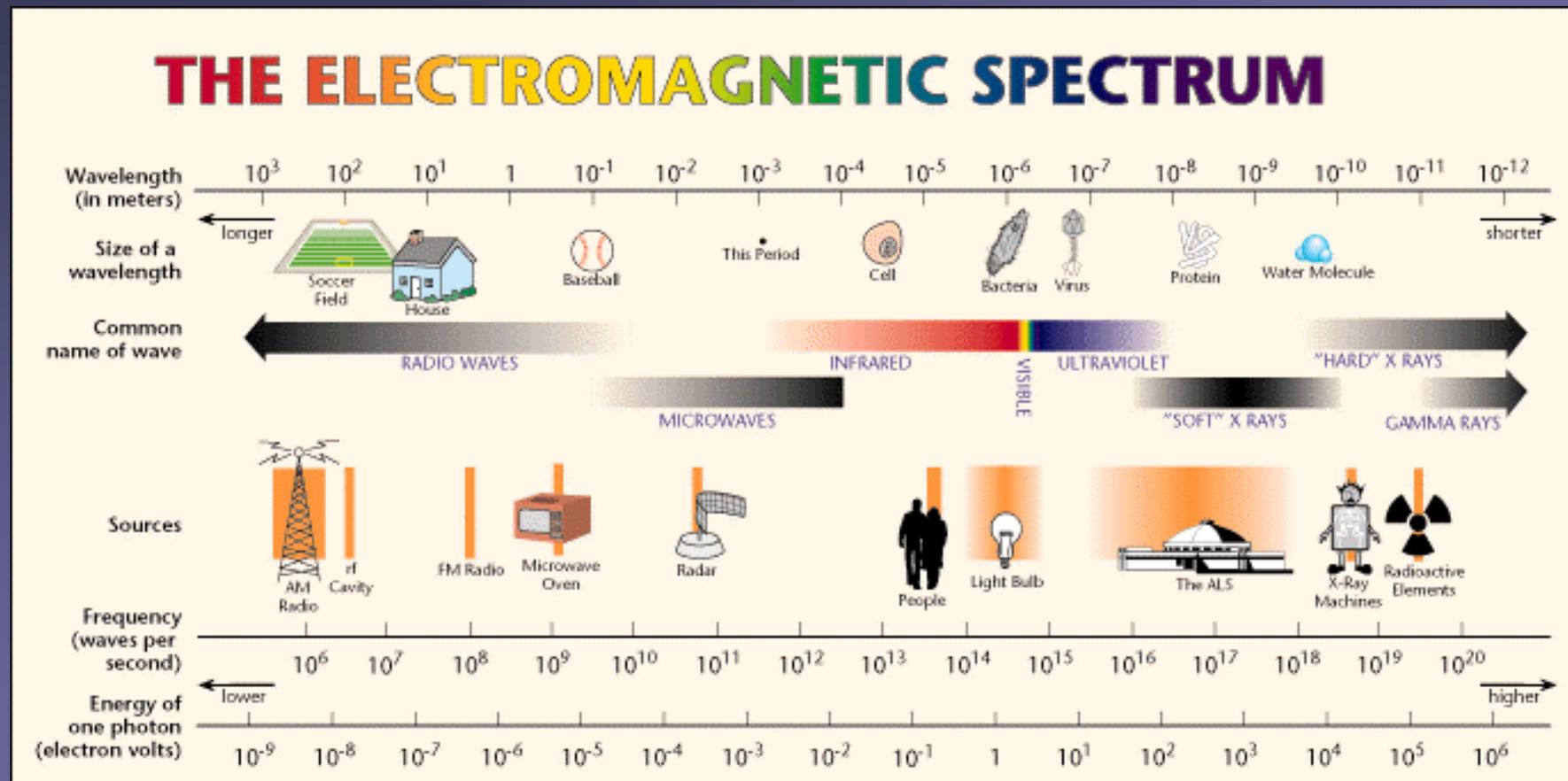


Non raffigura l'espansione, ma l'evoluzione della temperatura con il tempo

Previsioni teoriche (e osservazioni)

- Tolman (1934): termodinamica di un Universo in espansione
- Alphen e Herman (1948): nucleosintesi in un Universo in espansione, *fondo di radiazione fossile a $T=5\text{ K}$*
- Gamow e altri (anni '50): stime della temperatura *fra 3 e 50 K*
- McKellar, Adams (anni '40): osservazioni spettrali di stati eccitati nella molecola CN (spazio interstellare), *consistenti con $T=2.3\text{ K}$!*

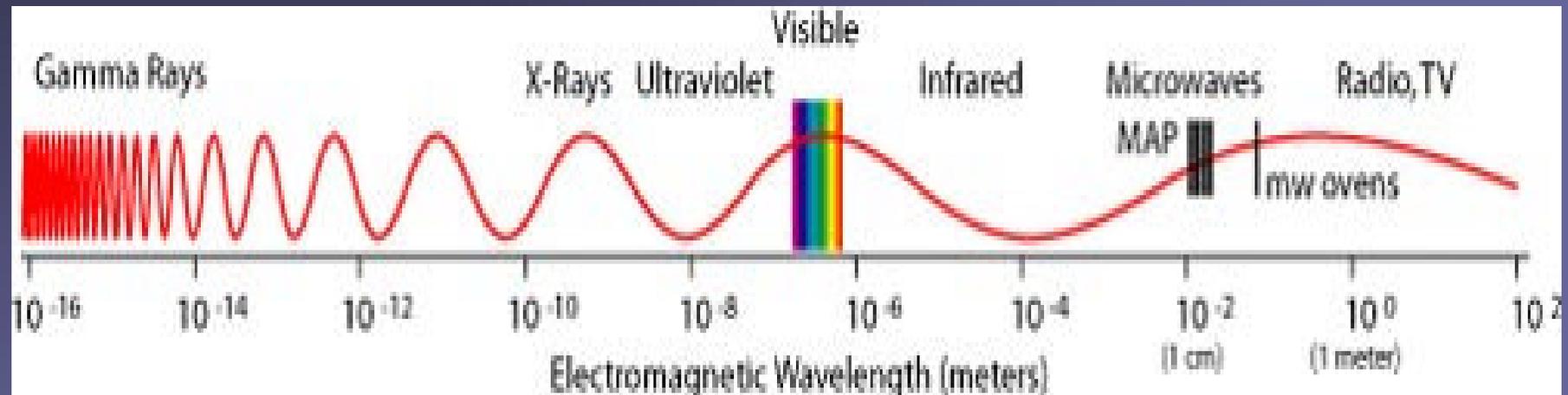
Lo spettro elettromagnetico



La radiazione di fondo (CMB)

- Gas di *fotoni* (← quanti del campo elettromagnetico) in equilibrio termico
 - Una cavità che contiene radiazione e.m. in equilibrio con la materia (assorbimento = emissione) presenta uno *spettro* (corpo nero), caratteristico della temperatura di equilibrio
- CMB: residuo dell'esplosione iniziale, avvenuta a temperatura elevatissima, dopo il raffreddamento conseguente all'espansione

L'effetto dell'espansione



L'espansione causa *raffreddamento* (come in un gas), e questo porta ad uno spostamento spettrale verso le *lunghezze d'onda piu' grandi*

Telstar

- Primi satelliti per telecomunicazioni (inizio anni '60)
- I *Bell Labs* sono allora impegnati nello sviluppo di tecniche di ricezione da satellite
- Le comunicazioni usano una portante nella zona delle microonde (8 GHz)
- Si cerca di migliorare il rapporto Segnale/Rumore usando un'antenna molto sensibile
- Ma poi i Bell Labs decidono di uscire dal settore...

Penzias e Wilson - I

- P & W, due radioastronomi dei Bell Labs, decidono di usare l'antenna per ricerche di base
- Studiano le emissioni dalla radiosorgente Cassiopeia A (resto di supernova)
- Disturbati da un eccesso di rumore non spiegato
- Indagini accurate, modifiche (inclusa la rimozione di un nido di gabbiano nell'antenna) restano senza esito...

Nei dintorni...

- A *Princeton*, *Peebles* prevede un fondo cosmico con temperatura di circa 10 K
- *Dicke* e collaboratori progettano una ricerca del fondo di radiazione
- Durante un seminario, P & W si rendono conto che il loro *rumore* e' in realta' il *segnale* cercato da Dicke
- Pubblicano subito i risultati...

Penzias e Wilson - II

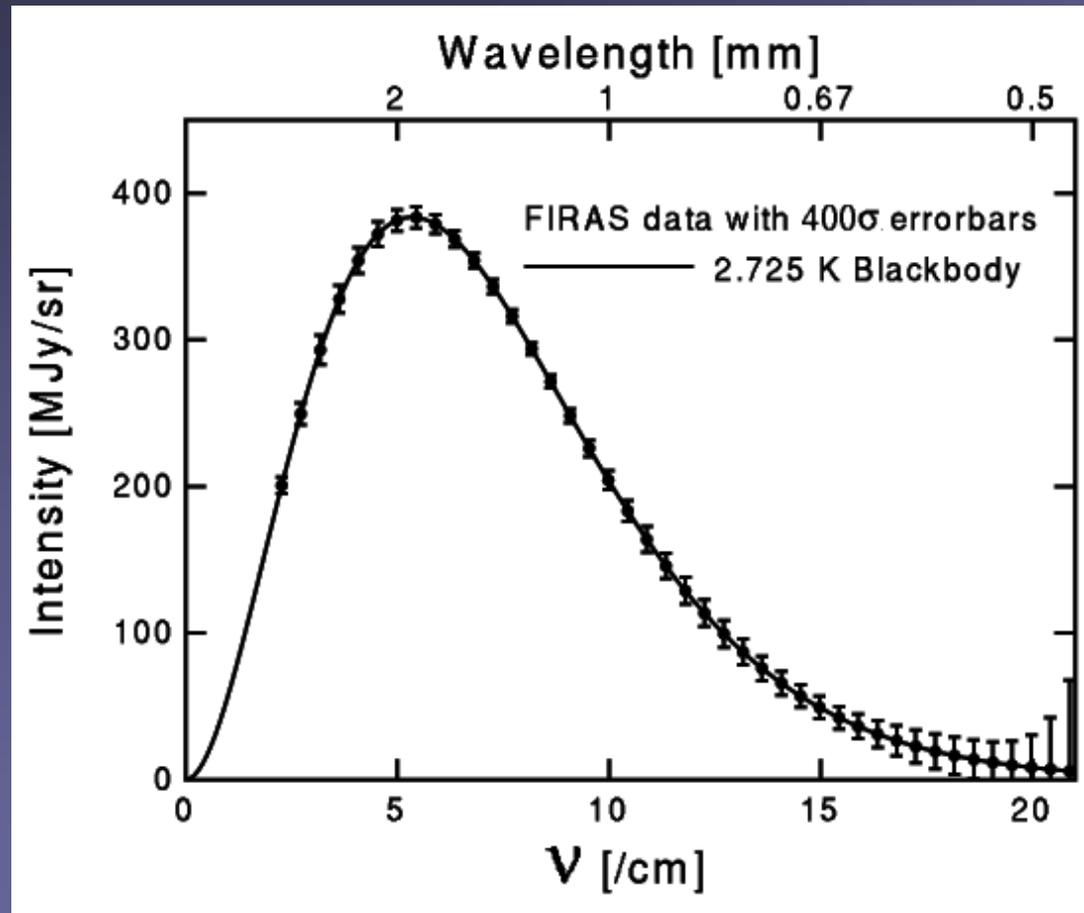
Foto dell'epoca



Quella dietro e' *l'antenna a corno* con cui fu scoperto il fondo di radiazione

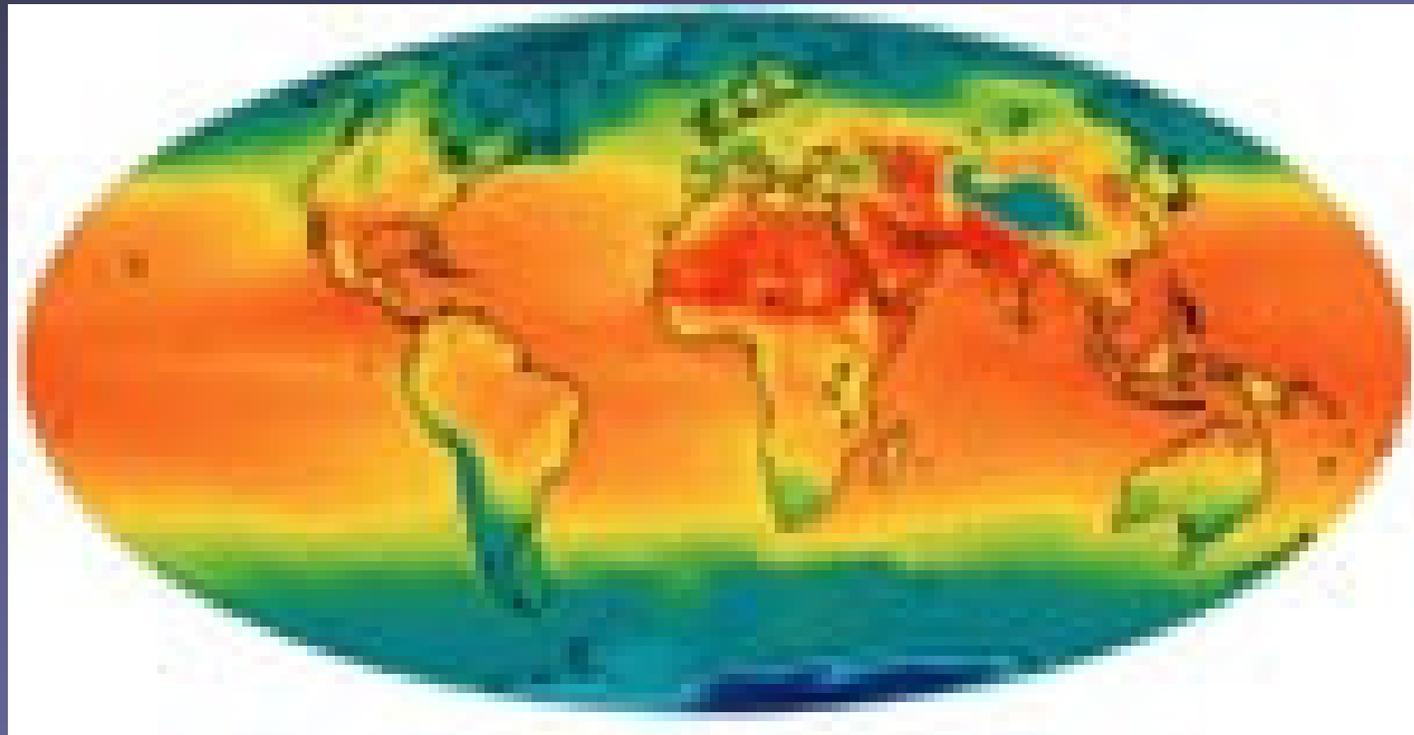
Il lavoro di P & W e' uno dei piu' brevi ad aver ottenuto il premio Nobel (Record: quello di *Crick e Watson* sulla scoperta del DNA)

Lo spettro della radiazione

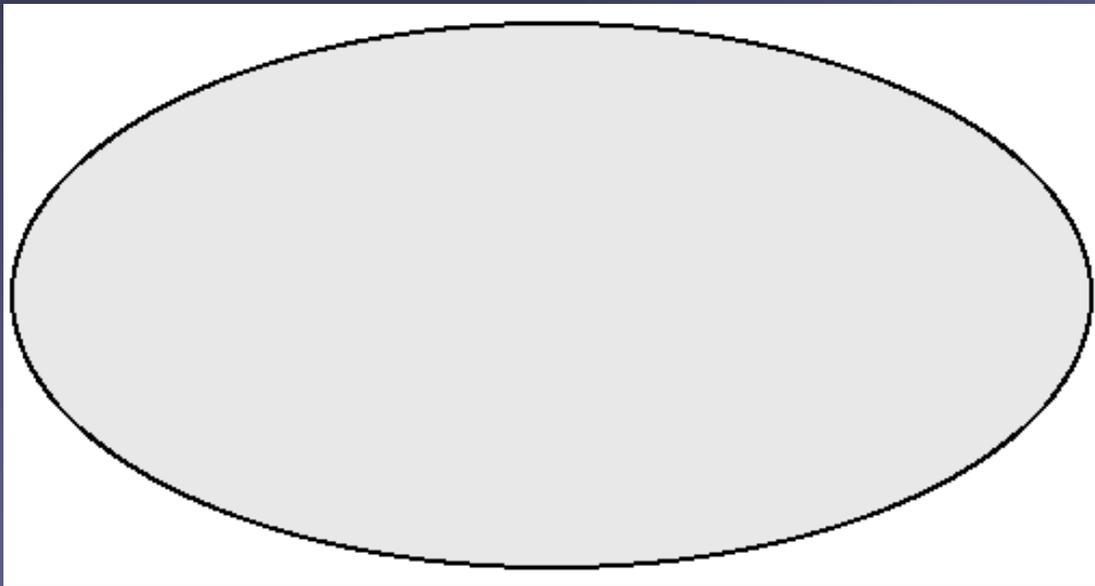


Misura degli anni '90 dal satellite FIRAS
Perfetto accordo con la formula di Planck per $T=2.73 K$
Picco attorno a $\lambda=2 mm$
microonde a frequenza di circa $100 GHz$

La mappa termica della Terra



La mappa del CMB – 1985 ca.

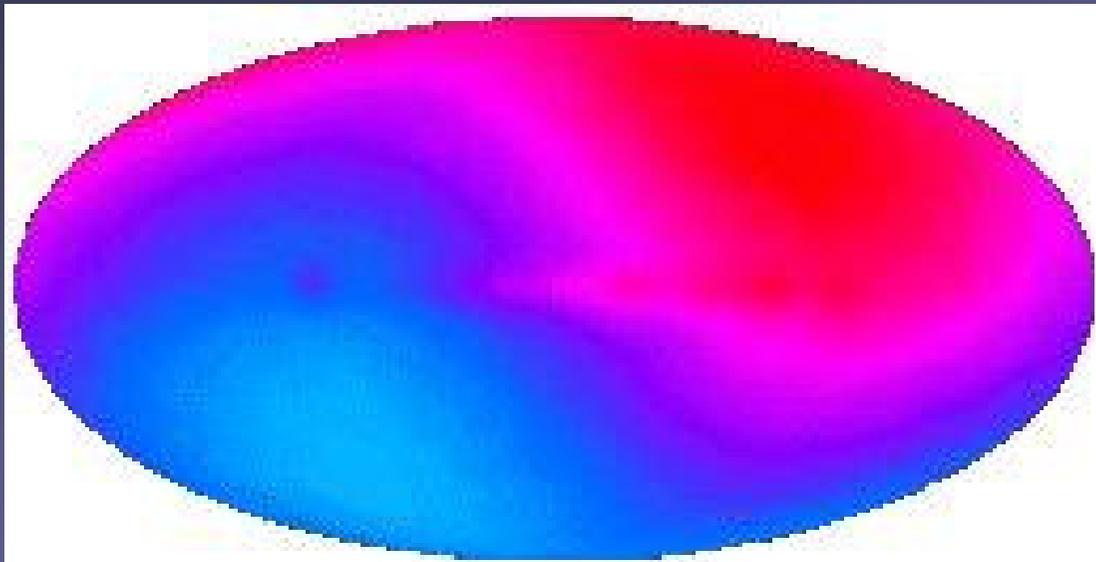


Mappa celeste della
temperatura del fondo
di radiazione

Risoluzione circa
1/100 di grado K

Totale uniformita'

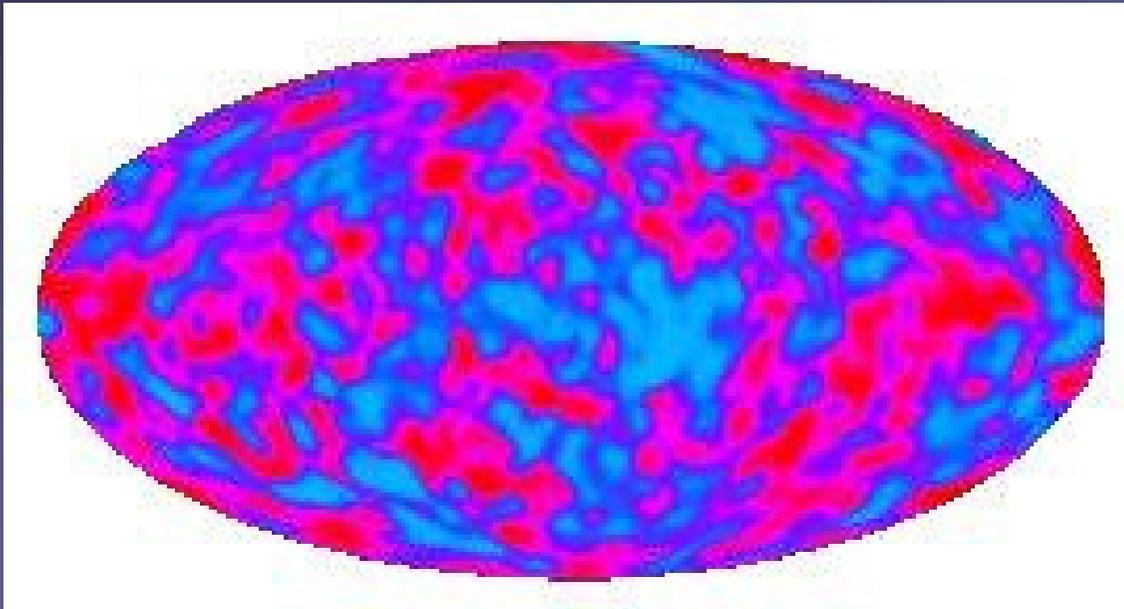
L'effetto del moto della Terra



Variazione rosso/blu:
circa 1/100 di grado

Doppler shift dovuto al
moto d'insieme della
Terra rispetto al centro
di massa dell'Universo

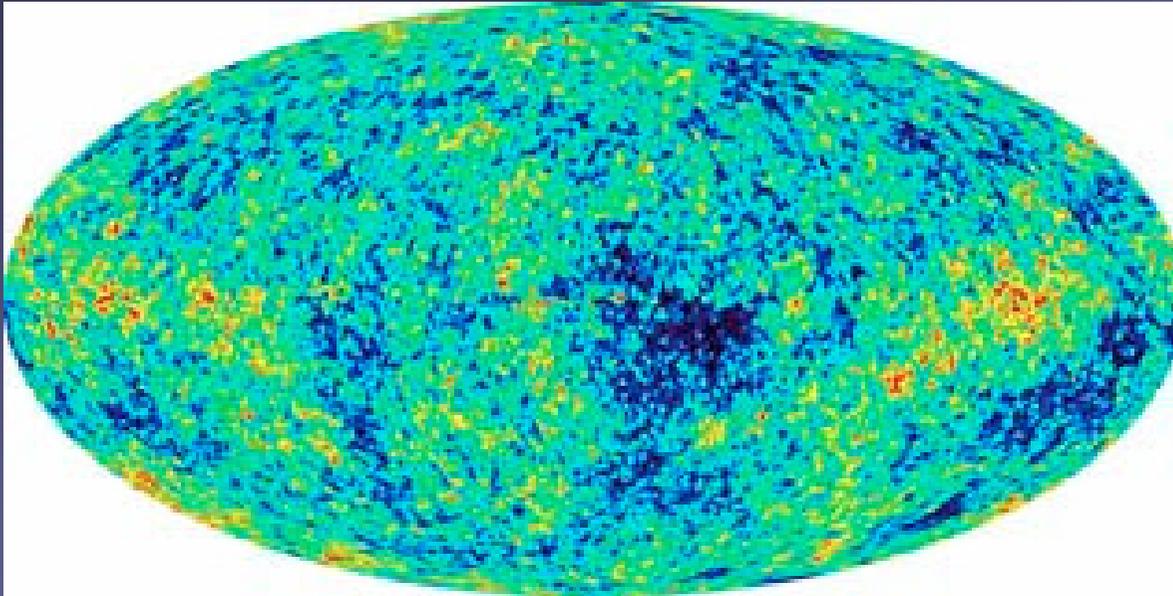
La mappa del CMB – 2000 ca.



Satellite *COBE*
Mappa celeste della
Temperatura del
fondo di radiazione
Risoluzione circa
1/100000 di grado
Disuniformita' evidenti

*Le disuniformita' sono dovute alle fluttuazioni
primordiali che hanno dato origine alle galassie!*

In questi mesi...



*Navetta in orbita
attorno a uno dei
punti di Lagrange*

Risoluzione:

Angolare 0.3°

Temperatura $20 \mu\text{K}$

*Missione MAP - "Termografia" a microonde
del cielo piu' lontano (e antico: 380000 anni
dopo il Bang...)*