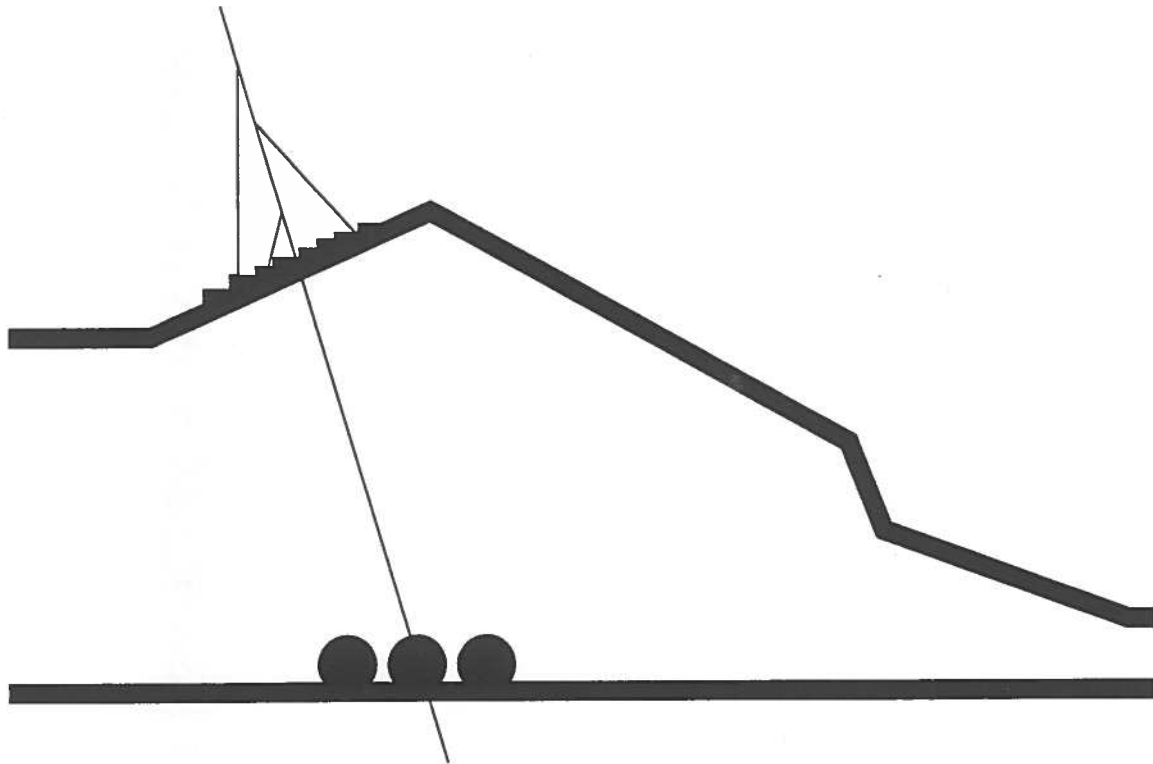


INFN/AE-98/19
13 Luglio 1998



Dal Gran Sasso al Supermondo

L. Maiani e A. Zichichi

INFN – Laboratori Nazionali del Gran Sasso

*Published by SIS-Pubblicazioni
Laboratori Nazionali di Frascati*

L'UNIVERSO: FUORI DI NOI E DENTRO DI NOI

DAL GRAN SASSO AL SUPERMONDO

L. MAIANI

*Università di Roma "La Sapienza", Italia
Istituto Nazionale di Fisica Nucleare, Italia
CERN - Geneva, Switzerland
World Federation of Scientists - Beijing, Geneva, Moscow*

A. ZICHICHI

*Università di Bologna "Alma Mater Studiorum", Italia
Istituto Nazionale di Fisica Nucleare, Italia
CERN - Geneva, Switzerland
World Federation of Scientists - Beijing, Geneva, Moscow*

SINTESI

I punti salienti del valore scientifico che caratterizza l'impresa del Gran Sasso sono presentati avendo come obiettivo la completezza della esposizione. Completezza che, visti gli orizzonti vastissimi aperti dalla Fisica Subnucleare in appena mezzo secolo di esistenza, può essere ottenuta a una e una sola condizione: la brevità dell'esposizione. Purtroppo brevità e chiarezza sono spesso inconciliabili.

Chiude questa breve rassegna un cenno alla qualità della nostra vita. Qualità che dipende anche dal valore delle nostre ricerche, spesso ignorate dalla cultura moderna, che è ancora lontana dall'aver aperto le sue porte ai valori della Scienza insegnati da Galilei.

L'UNIVERSO: FUORI DI NOI E DENTRO DI NOI DAL GRAN SASSO AL SUPERMONDO

INDICE

1.	Le Origini e gli Obiettivi: come è nato e perché.	3
2.	La Struttura della Materia e delle Forze.	4
3.	La Grande Sintesi.	7
4.	I limiti dell'Universo visibile.	9
5.	Il Supermondo?	12
6.	Conclusioni.	14
Fig. 1 ^a	<i>Note manoscritte del Progetto Gran Sasso presentato alla Commissione L.L.P.P. del Senato (1979) e riproduzione della pagina 13 del progetto originale (1981).</i>	16
Fig. 1 ^b	<i>Le proprietà del Laboratorio Gran Sasso tra cui quelle del "silenzio cosmico".</i>	17
Fig. 2	<i>Le Tre Colonne (dette anche Famiglie).</i>	18
Fig. 3	<i>Tre Forze Fondamentali: I Gravitazionali; II Elettrodeboli; III Subnucleari di Colore Forte.</i>	19
Fig. 4	<i>Il fenomeno SSB che sta alla base delle Forze Elettrodeboli: la Fisica delle Masse Immaginarie.</i>	20
Fig. 5	<i>Le proprietà del Vuoto fisico messe a confronto. Quello prodotto quando sono in gioco masse reali e quello corrispondente alle masse immaginarie. In qualsiasi teoria fisica il Vuoto non è altro che lo stato di Energia minima.</i>	21
Fig. 6	<i>La Forza di Colore Forte, SU(3), che agisce tra quark e gluoni all'interno di un nucleone e le sue due proprietà fondamentali libertà asintotica e confinamento.</i>	22
Fig. 7	<i>Il fenomeno della sovrapposizione dei sapori per quark e leptoni.</i>	23
Fig. 8	<i>L'Universo: fuori di noi e dentro di noi. Sintesi di tutte le realtà galileianamente riproducibili.</i>	24
Fig. 9	<i>L'opera in bronzo realizzata da Umberto Mastroianni a Erice per ricordare l'incontro di Giovanni Paolo II con i più grandi Scienziati del mondo. L'opera si ispira alla sintesi della Grande Unificazione.</i>	25

L'UNIVERSO: FUORI DI NOI E DENTRO DI NOI DAL GRAN SASSO AL SUPERMONDO

Luciano MAIANI e Antonino ZICHICHI

1. Le Origini e gli Obiettivi: come è nato e perché

Il Laboratorio del Gran Sasso è una impresa scientifica nata alla fine degli anni '70 (Figura 1^a), per dare all'Italia una struttura tecnologico-scientifica complementare a quella dei grandi Laboratori in cui operano gli acceleratori di altissima Energia.

Un'impresa del genere aveva bisogno di un Laboratorio con caratteristiche tali (Figura 1^b) da potere svolgere attività di ricerca alle frontiere della Fisica Moderna. La realizzazione di questa impresa avrebbe posto l'Italia al centro dell'interesse scientifico internazionale (come di fatto è avvenuto: vedansi le Conclusioni al Capitolo 6). La macchina acceleratrice del Laboratorio Gran Sasso è il Cosmo. L'uomo ha iniziato più di cinquemila anni fa a studiare il Cosmo, osservando da lontano le sue strutture. Da quell'antica tradizione sono nate l'Astronomia moderna e l'Astrofisica. C'è però un modo di gran lunga più potente per studiare il Cosmo, che è quello di esplorare le sue strutture dall'interno: lo facciamo noi fisici subnucleari. Un esempio. Al Gran Sasso si studiano i neutrini che vengono dal Sole, i neutrini atmosferici, quelli prodotti artificialmente al CERN e quelli prodotti nei collassi stellari. I neutrini del Sole servono per due scopi. Farci capire come funziona la stella che ci illumina e riscalda e per dirci se è vero che esiste il fenomeno della "sovrapposizione" nella componente leptonica delle Tre Famiglie che compongono la Natura. Ne parleremo fra poco. Questo fenomeno di "sovrapposizione" è un aspetto cruciale della Fisica moderna, ed è talmente complesso che per venirne a capo c'è bisogno di studiare *sia* i neutrini del Sole, *sia* quelli atmosferici, *sia* quelli prodotti al CERN.

Ma non è tutto. Anche i collassi stellari sono un potente strumento di indagine per studiare il problema della "sovrapposizione" dei neutrini. I collassi

però non sono a portata di mano. Galileo Galilei ha potuto osservare l'ultimo collasso stellare occorso nella nostra Galassia (nell'anno 1604). Dovrebbero essercene almeno uno ogni secolo, e invece no: i collassi sono in grande ritardo. Questo va bene per noi in quanto una delle più potenti strutture tecnologiche che operano nel Laboratorio del Gran Sasso è la Torre di osservazione di neutrini da collassi stellari (il rivelatore LVD). Questa Torre non era operativa quando, nel 1987, è comparsa una supernova nella Grande Nube di Magellano, una piccolissima Galassia che dista da noi appena 150 mila anni luce, ma ora abbiamo un osservatorio perfettamente funzionante.

I neutrini sono una parte fondamentale dell'Universo, scoperta studiandone le sue strutture dall'interno. In effetti la sorgente di queste informazioni sta proprio nel cuore intimo della materia di cui è fatta ogni cosa, inclusi noi stessi: protoni, neutroni ed elettroni. Lo studio del Cosmo dall'interno ci ha portato a scoprire le leggi e le regolarità che reggono l'Universo nel suo complesso. È solo nel 1947 (l'alba della Fisica Subnucleare) che l'uomo ha iniziato a studiare con grande impegno protoni, neutroni ed elettroni. Queste particelle si sono rivelate sorgenti di straordinarie e totalmente inattese verità scientifiche.

La presente relazione illustra come il **progetto Gran Sasso** si sia inserito — sin dalle sue origini — nel quadro delle grandi conquiste del pensiero scientifico moderno che adesso passeremo in brevissima rassegna.

2. *La Struttura della Materia e delle Forze*

Studiando l'Universo che sta dentro di noi abbiamo scoperto **TRE COLONNE** (chiamate anche FAMIGLIE) (Figura 2) e **TRE FORZE FONDAMENTALI** (Figura 3): è la più grande sintesi del pensiero scientifico di tutti i tempi. Ad essa siamo arrivati dopo 400 anni di ricerca scientifica, sulla linea di pensiero iniziata da Galileo Galilei, con lo studio di fenomeni

riproducibili e rigorosamente misurati. La scuola di Fisica italiana (cui gli autori di questa relazione hanno il privilegio di appartenere) ha dato contributi importanti a questa costruzione, sia nel campo delle scoperte sperimentali sia in quelle teoriche.

Le particelle della Prima Famiglia, i quark "u" e "d", l'elettrone e il neutrino emesso nei "decadimenti beta" (scoperti ai primordi della Fisica Subnucleare), permettono di spiegare le proprietà della materia ordinaria, atomi e nuclei, che formano l'Universo così com'è oggi. La stessa struttura si ripete con i quark e i leptoni della Seconda e della Terza Famiglia, tutte costituite da particelle instabili che decadono nelle particelle più leggere delle Famiglie precedenti tramite le interazioni cosiddette deboli, con la possibile eccezione dei neutrini.

Le particelle delle Famiglie superiori sono state osservate solo in tempi relativamente recenti, talvolta dopo che la loro esistenza era stata prevista teoricamente. Il quark top è stato osservato nel 1994.

Le Forze sono regolate dal "Principio di Gauge": ogni Forza Fondamentale della Natura nasce da una Legge di Simmetria.

La *Forza Gravitazionale* nasce dall'equivalenza, ipotizzata da Albert Einstein, di tutti i possibili sistemi di riferimento, definiti nello Spazio-Tempo a noi familiare.

Le altre Forze Fondamentali nascono invece da Simmetrie in spazi astratti, a una, due e tre dimensioni complesse (Figura 3). Le Forze Elettrodeboli si separano, alla scala di Fermi, in due Forze che osserviamo sperimentalmente nei nostri Laboratori. Esse sono, le *Forze Elettromagnetiche*, di cui le calamite e le familiari attrazioni e repulsioni elettrostatiche sono un esempio, e quelle *Deboli*, che producono i decadimenti beta-nucleari e tengono sotto controllo la lenta combustione nucleare del Sole. La separazione delle Forze Elettrodeboli avviene per effetto dello Spontaneous-Symmetry-Breaking (SSB). Un effetto che

corrisponde a dare "peso al Vuoto", illustrato nelle Figure 4 e 5. Lo studio di questo fenomeno è uno degli obiettivi principali della grande macchina in costruzione al CERN, il Large Hadron Collider, LHC.

Nel cuore di un protone e di un neutrone agiscono le Forze di "Colore" Subnucleare che generano due straordinari effetti: la libertà asintotica (asymptotic freedom) e il confinamento (confinement) (Figura 6).

Le Tre Colonne e le Tre Forze sono parte essenziale dello schema (indicato anche con il nome di Modello Standard) in cui, tuttavia, non tutti i fenomeni osservati trovano una spiegazione convincente. Il più spettacolare tra questi fenomeni è la "sovrapposizione dei sapori" che è accompagnata da un'altra inattesa proprietà: la rottura della Simmetria particella-antiparticella (CP) e cioè di quella Simmetria che trasforma un sistema fisico in un sistema speculare, con cariche (C) e parità (P) opposte a quelle di partenza.

Nella Figura 7 è rappresentato uno spazio, anch'esso simbolico, che riporta i diversi tipi (detti "sapori") di quark e leptoni. Il fenomeno della "sovrapposizione" consiste nel fatto che le particelle fondamentali, se osservate studiando le loro interazioni tramite le Forze di Colore Subnucleare Forte, SU(3), o tramite le Forze Elettromagnetiche, *sono* rappresentate da vettori paralleli agli assi delle coordinate indicati nella Figura 7. Le stesse particelle, osservate tramite le Forze Deboli sono invece rappresentate da vettori che si dispongono, rispetto agli assi della Figura 7, secondo angoli misurabili, ma non spiegati. Questo fenomeno è stato osservato con sicurezza per i quark. Nel caso dei leptoni, solo recentemente sono stati rivelati i primi indizi di una sovrapposizione.

3. *La Grande Sintesi*

Un elemento centrale del Modello Standard, sono le equazioni del Gruppo di Rinormalizzazione. Queste equazioni rappresentano un'avventura scientifica tra le più grandi di questo secolo, che ha avuto inizio verso la metà degli anni cinquanta, autori due grandi scienziati: E.C.G. Stueckelberg e A. Petermann. Queste equazioni sono la base matematica dell'Unificazione delle Forze Fondamentali (GUT), del loro inquadramento nella Supersimmetria (vedi più avanti) e della struttura a corde delle particelle fondamentali, che potrebbe unificare le Forze del Modello Standard con la Gravitazione Quantistica.

La Figura 8 sintetizza le ricerche condotte da diversi gruppi ed illustra la base sperimentale della Grande Unificazione. Le tre rette riportate sono il risultato di calcoli rigorosi e precisi effettuati da uno degli autori (A.Z.) e dai suoi collaboratori¹.

Nella Figura, la scala orizzontale riporta l'Energia tipica dei vari fenomeni illustrati. All'estrema sinistra della Figura c'è l'Energia dell'Universo così come è oggi, con una Energia media di pochi decimi di millesimi di elettron-volt.

La vita è un fenomeno che avviene a pochi centesimi di elettron-volt. Noi non potremmo vivere all'Energia di un elettron-volt: quest'Energia corrisponde a diecimila gradi Kelvin.

La retta ($1/\alpha_1$) descrive la variazione con l'Energia dell'intensità delle Forze Elettromagnetiche (luce, radio, TV, forno a microonde, tatto, vista, olfatto, colori e sapori, ne sono esempi), quella indicata con ($1/\alpha_2$) la variazione delle Forze Deboli (che tengono sotto controllo la fornace nucleare del Sole) e la retta

¹ Uno degli autori, A.Z., è legato ad A. Petermann da una amicizia profonda e di lunga data. I risultati illustrati nella Figura 8 sono dovuti ad una collaborazione di A.Z. con A. Petermann, L. Cifarelli e F. Anselmo. Per ottenere le curve riportate in Figura 8, gli autori hanno tenuto conto, per la prima volta, dell'effetto dell'evoluzione con l'energia delle masse delle particelle, in particolare dei gluini. Questo effetto produce una diminuzione consistente dell'Energia necessaria a produrre le particelle del Supermondo, di cui parleremo nel Capitolo 5.

indicata con $(1/\alpha_3)$ descrive le Forze Subnucleari di Colore Forte (che, come abbiamo detto prima, agiscono tra i quark e i gluoni all'interno dei protoni e dei neutroni di cui è fatta la materia). Il modo in cui queste Forze variano all'aumentare dell'Energia dimostra che esse si incontreranno in un punto.

La Figura 8 ci permette di capire dove si trovano — nella scala delle Energie — i diversi fenomeni fisici che vanno da quelli a noi familiari, come lo è il fuoco dei nostri fornelli (FIRE - EM), al fuoco nucleare del Sole (SUN - NUCLEAR FIRE), ai collassi stellari (STARS), ai raggi cosmici (COSMIC RAYS) per giungere, infine, al livello estremo in cui tutte le Forze Fondamentali della Natura dovrebbero unificarsi (E_{GUT} , E_{SU} , E_{Planck}). Questi tre ultimi livelli di Energia sono il problema da risolvere per capire cosa succede alle Forze Fondamentali della Natura quando tutto si fonde in un'unica Forza Fondamentale. Ad esempio, se la transizione da questa Super Forza alla Forza Elettrodebole e a quella Subnucleare di Colore Forte avvenisse tramite l'effetto SSB già descritto nel Capitolo 2 con masse immaginarie dotate di proprietà di Simmetria analoghe a quelle della Super Forza da cui tutto nasce, allora verrebbero prodotti i Monopoli Magnetici, già studiati con le strutture tecnologiche dei Laboratori del Gran Sasso.

La freccia nella Figura 8 legata al "**Gran Sasso**" indica gli esperimenti che si possono eseguire nel nostro Laboratorio, con l'osservazione di fenomeni rarissimi; osservazione resa possibile grazie alla potente protezione contro i raggi cosmici garantita dallo schermo naturale costituito dalla roccia (equivalente a quattromila metri d'acqua) della montagna sovrastante. Questi esperimenti ci portano proprio nella zona cruciale di Energia, dove dovrebbe trovarsi la soluzione dei problemi collegati all'unità delle Forze Fondamentali e, forse, all'origine stessa dello Spazio e del Tempo.

È la prima volta che l'uomo riesce a porre su basi di rigore scientifico questi temi, che hanno affascinato tutti i pensatori di tutti i tempi.

L'opera in bronzo realizzata da Umberto Mastroianni a Erice – Figura 9 – per ricordare l'incontro di **Giovanni Paolo II** con i più grandi Scienziati del mondo si ispira a questa grande sintesi scientifica.

4. I limiti dell'Universo visibile

Nella parte superiore della Figura 8 è riportata, a partire dal "Big-Bang", la scala dei tempi in cui si è trovato l'Universo con le Energie corrispondenti alla scala inferiore.

Dal Big-Bang a oggi ne è passato di tempo. Per avere un'idea quantitativamente corretta, non dobbiamo misurare la vita dell'Universo in anni, come è riportato nella parte superiore sinistra della Figura 8, ma piuttosto in unità di **Tempo Fondamentale**, 10^{-42} sec, fissata dal valore dell'Energia in cui avviene la sintesi con le Forze Gravitazionali, E_{Planck} .

La vita del **nostro Universo**, misurata in unità di **Tempo Fondamentale**, corrisponde a **59 potenze di dieci**. Per capire a cosa corrispondono 59 potenze di dieci basti un esempio. Per la vita dell'uomo l'unità naturale di Tempo è il secondo: Galilei usava il battito del suo cuore come orologio per scandire i secondi. Vivere cent'anni corrisponde a poco più di **9 potenze di dieci** della **nostra unità umana di Tempo**. Se potessimo arrivare a **59 potenze di dieci** della **nostra unità di Tempo** vivremmo tremila miliardi di miliardi di miliardi di miliardi di miliardi di anni.

La più piccola quantità di Tempo che riusciamo a misurare nei nostri Laboratori è, oggi, cento picosecondi (il picosecondo — psec — corrisponde a un millesimo di miliardesimo di secondo): una quantità piccolissima per gli

standard della nostra vita quotidiana, ma enorme se messa a confronto con il Tempo tipico della **Grande Unificazione**.

Per misurare 100 psec è necessario un livello di tecnologia elettronica cui si è arrivati a metà degli anni sessanta (l'elettronica impiegata nella scoperta dell'**Antimateria** Nucleare da parte della collaborazione CERN-Bologna; nonostante siano trascorsi più di trent'anni, quella tecnologia resta valida e sarà impiegata sulla Space-Station-Alpha, dal gruppo dell'Università di Bologna che, insieme ad altri fisici americani, cinesi ed europei, cercherà di stabilire se esistono tracce di **Antimateria Nucleare** nella radiazione proveniente dal Cosmo).

Nella scala superiore della Figura 8 è anche indicato il tempo in cui la luce si è separata dalla materia: centomila anni dopo il Big-Bang. Quella Luce è oggi la Radiazione Cosmica di cui si è tanto parlato come il "*bagliore* del Big-Bang". Con gli strumenti dell'Astrofisica, basati sulla rivelazione di onde elettromagnetiche, non si può andare oltre quel "*bagliore*". Si ferma qui l'**Universo che è fuori di noi: Stelle, Galassie, Cosmo**.

Per andare oltre e avvicinarci al Tempo della **Grande Unificazione**, c'è una sola strada: quella che noi percorriamo nei nostri Laboratori. Avvicinarsi al Big-Bang è possibile se si abbandonano gli strumenti dell'Astrofisica e si adottano le tecnologie della Fisica Subnucleare.

L'esplorazione dell'**Universo Subnucleare**, effettuata in questi ultimi cinquant'anni, ci ha condotto ad Energie che l'Universo possedeva in un intervallo di tempi che si estende per 22 potenze di dieci sotto il limite del "*bagliore*" cosmico. Questa zona della Figura è indicata come l'Universo che è dentro di noi e di cui siamo fatti: nel cuore stesso della struttura intima della materia.

Nella Figura 8 i tre punti pieni, corrispondenti all'Energia del LEP (Large Electron Positron), la macchina in cui si annichilano elettroni e antielettroni, rappresentano il limite al quale siamo arrivati con gli esperimenti di oggi: un livello energetico di cento miliardi di elettron-volt, che si trova a 100 picosecondi dal Big-Bang.

Nessuno scienziato sa come si possa arrivare **in modo diretto** (e cioè attraverso la collisione tra due particelle) allo studio dei fenomeni prodotti alle Energie della **Grande Unificazione**. Fenomeni che corrispondono a tempi assai più vicini al Big-Bang *sia* di quelli raggiunti oggi con le macchine tipo LEP (CERN), HERA (DESY), TEVATRONE (FERMILAB), *sia* di quelli raggiungibili nel futuro con macchine ancora più potenti. Questi livelli d'Energia non saranno mai accessibili **in modo diretto**. Per quanto si possa estrapolare dalle tecnologie conosciute, le macchine acceleratrici necessarie avrebbero dimensioni di gran lunga superiori alla distanza Terra-Luna. A questi livelli d'Energia, è possibile, tuttavia, arrivare in modo indiretto, attraverso lo studio della stabilità della materia e di altri fenomeni rari, come la ricerca di Monopoli Magnetici, di Neutralini, e di altri fenomeni tipici del Supermondo, di cui parleremo nel prossimo Capitolo. Sono queste Frontiere della Fisica Moderna che hanno dato vita al Progetto per il **Laboratorio del Gran Sasso**, i cui esperimenti arrivano al limite massimo dalla **Grande Unificazione**.

Le sei frecce legate al **Gran Sasso** indicano le zone d'Energia suscettibili di studio diretto con le strutture del Laboratorio. La freccia relativa a "Stars" si riferisce allo studio dei neutrini da collasso stellare, mentre quella sotto M_Z indica gli esperimenti che si faranno con i neutrini prodotti al CERN.

La freccia alle Energie estreme è legata agli esperimenti già citati sulla longevità della materia (la ricerca del decadimento del nucleone) sui Monopoli Magnetici e sui Neutralini, che contribuiranno a capire se c'è il **Supermondo**.

5. *Il Supermondo ?*

Come abbiamo cercato di illustrare, i Laboratori di Ginevra (CERN), Amburgo (DESY) e Chicago (FermiLab), in cui operano potenti macchine acceleratrici sono complementari al Gran Sasso. In questi tre Laboratori si è arrivati a livelli energetici che sono sui cento miliardi di elettron-volt (i tre punti pieni nella Figura 8). È a queste Energie che stiamo cercando (al CERN di Ginevra in cui si studiano le annichilazioni elettrone-antielettrone e ad Amburgo con l'acceleratore a protoni ed elettroni) se c'è o no qualcosa che possa spingerci a concludere che deve esistere il **Supermondo**. I nostri colleghi americani stanno cercando il Supermondo usando l'annichilazione tra protoni e antiprotoni al FermiLab.

Ma, cos'è **Supermondo** ?

Il nostro mondo è fatto di "particelle-materia" e "particelle-forza", più semplicemente: "palline" e "colle". Esempio: l'acqua non è altro che un atomo di ossigeno più due di idrogeno. Un atomo di idrogeno — il più semplice di tutti gli atomi — consta di una particella nucleare (il protone) e di una particella non nucleare (l'elettrone). Queste due palline sono legate dalla colla elettromagnetica di cui la luce (il fotone) è un esempio. Dentro a un protone c'è l'Universo Subnucleare fatto anch'esso con "particelle-materia" (i quark) e "particelle-forza" (i gluoni). In corrispondenza a *ciascuna* di queste particelle, secondo le idee della Supersimmetria, dovrebbero esistere delle Superparticelle, che insieme alle "particelle-materia" e alle "particelle-forza" formano il Supermondo. Un altro modo di vedere il Supermondo è di immaginare che lo Spazio-Tempo fisico posseda delle "dimensioni aggiuntive", non solo di natura "bosonica", come sono quelle dello Spazio-Tempo a noi familiare, ma anche dimensioni di natura "fermionica", visibili solo alle particelle quantistiche di

altissima Energia. In questo modo, lo Spazio-Tempo assumerebbe la struttura che i fisici teorici chiamano "Superspazio".

Basterebbe scoprire un solo esempio di Superparticella o di Supercolla, per potere dire di essere sulla strada giusta. Questa scoperta ci permetterebbe un ulteriore salto verso l'ipotesi del **Tutto** e della **Parte**. E qui c'è la speranza di capire il vero significato del Tempo: quella quantità fisica che va soltanto in una direzione, senza mai tornare indietro.

Avere scoperto che esistono le **Leggi Fondamentali della Natura** è per la Scienza motivo di grande soddisfazione intellettuale. È stato **Galileo Galilei** ad aprirci la strada giusta, dopo gli innumerevoli tentativi, confusi quanto fuorvianti, dei quali è piena la storia del pensiero di tutte le epoche e di tutte le civiltà.

Quando in Scienza noi scopriamo qualcosa, questo corrisponde ad aprire orizzonti nuovi alle umane conoscenze. Orizzonti che possono avere due sbocchi applicativi. Uno verso il bene. L'altro verso il male. La tecnologia ha bisogno di principi etici. La Scienza, al contrario, non ha problemi di natura etica in quanto essa nasce dalla volontà creativa di Colui che ha fatto il mondo. Scoprire una Legge Fondamentale della Natura vuol dire essere riusciti a decifrare una frase scritta dal Creatore sul libro che è dinanzi agli occhi di tutti: il Creato.

È solo l'uso della Scienza — quindi la tecnologia — che deve essere posto sotto il controllo etico-morale in quanto la Tecnica può essere usata a favore del progresso e della qualità della vita, ma anche contro. Distinguere tra Scienza e uso della Scienza è un atto di necessaria civiltà culturale: *«L'uomo può perire per effetto della tecnica che egli stesso sviluppa, non della verità che egli scopre mediante la ricerca scientifica»* (Giovanni Paolo II, agli Scienziati della World Federation of Scientists).

Le tecnologie avanzate, che hanno portato il Laboratorio del Gran Sasso a essere il primo al mondo, sono tutte nate nel cuore della Scienza, con l'obiettivo di contribuire ad aumentare la qualità della vita e la difesa della dignità umana. Il **Laboratorio del Gran Sasso** è uno straordinario strumento, unico nel suo genere, per contribuire a decifrare la Logica del Creato.

6. *Conclusioni*

A un decennio e mezzo dalla loro entrata in funzione, i Laboratori del Gran Sasso si sono affermati, sul piano mondiale, come la più completa e moderna installazione scientifica sotterranea oggi esistente.

Il Gran Sasso è il terzo Laboratorio europeo, per quanto riguarda la presenza di ricercatori USA, dopo il CERN di Ginevra e DESY di Amburgo.

L'osservazione dei neutrini solari (Figura 8) e le misure di precisione eseguite grazie alle strutture tecnologiche dei Laboratori rappresentano un risultato di prima grandezza, che ha aperto orizzonti scientifici nuovi, non previsti prima.

Altre linee di grandissimo interesse sono (Figura 8):

- la possibilità di osservare i neutrini prodotti nelle supernovae della nostra Galassia;
- gli studi che permettono di esplorare le Leggi Fondamentali della Natura a livelli di Energia altrimenti irraggiungibili;
- la ricerca della cosiddetta "materia oscura" che si addensa intorno alla Galassia; e che potrebbe in parte essere fatta di Neutrini: cenere del Supermondo.

Per questi motivi, nazioni avanzate come gli USA, la Germania, l'Inghilterra, hanno investito da molti anni, e stanno investendo in misura crescente nei Laboratori, in termini di personale, fondi e attrezzature, con ricadute non trascurabili in Italia e, in particolare, in Abruzzo.

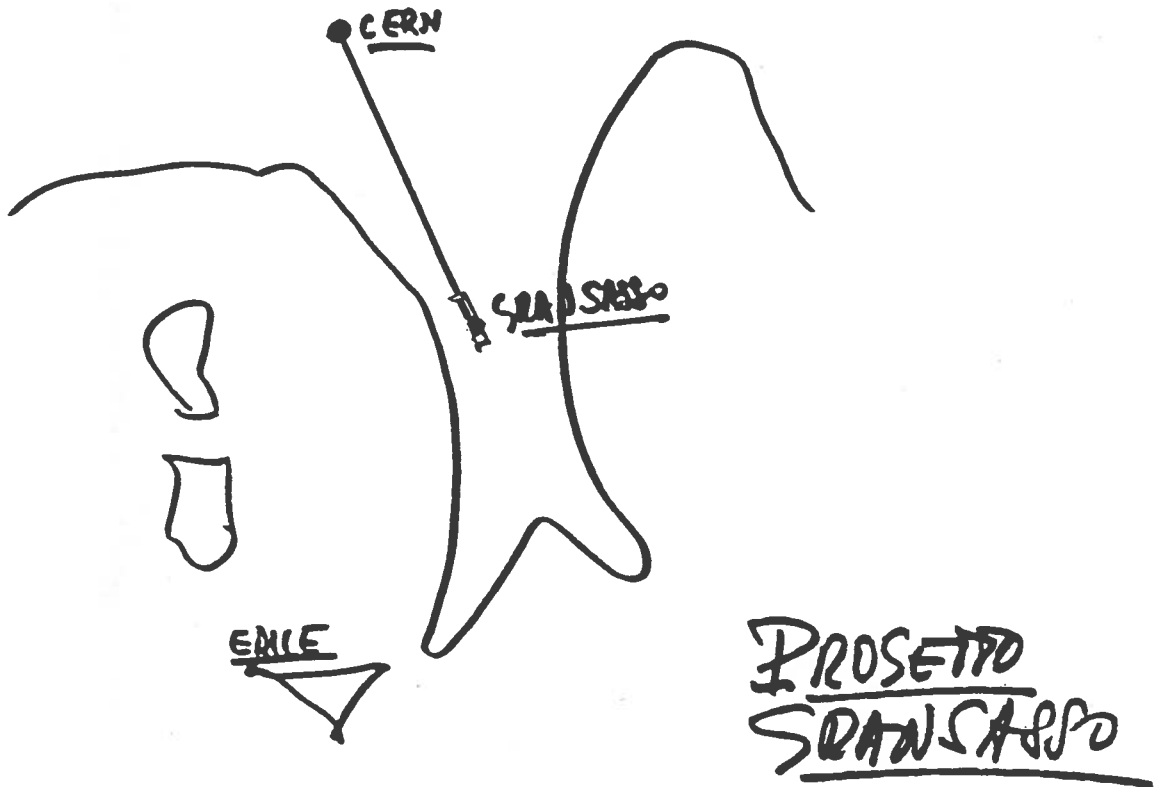
Alcuni dati:

- per l'esecuzione di GALLEX, le istituzioni tedesche hanno dotato il Laboratorio di trenta tonnellate di Gallio (la più grande quantità di questo raro materiale allora esistente al mondo) per un valore di oltre trenta miliardi di lire;
- il contenitore dell'esperimento BOREXINO, che è in fase di costruzione da parte di una impresa abruzzese (la Walter Tosto), è stato finanziato interamente dai collaboratori tedeschi della Società Max Planck. Si tratta di un'opera tecnologicamente avanzata, ad esempio per via degli stringenti requisiti antisismici. Contributi consistenti provengono anche dalla National Science Foundation degli Stati Uniti e da istituzioni scientifiche di altri Paesi.

I lavori di potenziamento e di ampliamento, in particolare il disaccoppiamento dei Laboratori dall'autostrada, non sono più rinviabili per fronteggiare le esigenze collegate al ruolo internazionale che i Laboratori stessi hanno giustamente conquistato in questi anni. Tutte le valutazioni tecniche effettuate finora indicano che non c'è alcun impatto ambientale negativo e che, pertanto, è possibile garantire ai Laboratori un futuro competitivo — come lo è stato finora — a livello mondiale senza nulla togliere ai tesori ambientali di quella natura nella quale essi sono stati inseriti, fin dalle origini, avendo come priorità assoluta il pieno rispetto di quei tesori ecologico ambientali.

Oltre alle frontiere della Fisica Fondamentale, i Laboratori possono diventare un centro di studi interdisciplinari focalizzati su questioni ambientali e geologiche relative al massiccio del Gran Sasso, favorendo l'inserimento internazionale delle realtà scientifiche oggi esistenti a L'Aquila e Teramo. Un primo passo è già stato compiuto con il consorzio del Gran Sasso. Nel futuro un centro di studi interdisciplinari ci potrebbe mettere in grado di affrontare alcune Emergenze Planetarie di particolare interesse per l'Italia, come quelle relative alla Emergenza Suolo e alla Emergenza Acqua.

COMMISSIONE LAVORI PUBBLICI DEL SENATO



Note manoscritte di A. Zichichi presentate nella Seduta della Commissione Lavori Pubblici del Senato convocata con urgenza dal Presidente del Senato per discutere la proposta del Progetto Gran Sasso (1979).

To summarize, the scientific aims of the "Gran Sasso" laboratory are the study of:

- 1) nuclear stability;
- 2) neutrino astrophysics;
- 3) new cosmic phenomenology;
- 4) neutrino oscillations;
- 5) biologically active matter;
- 6) ground stability.

NOT only
 $\tau_p \neq \infty$

Reproduction of page 13 of the Original Project (Ref. 1).

Fig. 1^a

2. THE BASIC CHARACTERISTICS OF THE LAB.

The range of scientific perspectives opened up by the Gran Sasso Laboratory goes far beyond the measurement of the proton lifetime, as shown in Fig. 1.1.

These *scientific perspectives* depend on the *basic features* of the Gran Sasso Laboratory, which are:

- 1) very low noise due to local radioactivity;
- 2) neither too deep, nor too shallow underground;
- 3) orientation towards the most powerful (artificial) source of neutrinos and other unknowns (Fig. 2.1);
- 4) link with a laboratory at the top of the Gran Sasso, which allows time coincidences to be made (Fig. 2.2);
- 5) instrumentation which uses the most advanced technologies.

The *low noise* level in terms of *natural radioactivity*, was proved before the excavation work started. The measurements of the cosmic ray flux and of the local rock radioactivity were first performed by one of my collaborators, - L. Federici ³⁾ - whom I want to pay tribute to, in this solemn occasion. These measurements demonstrated that over the length of one Km the cosmic ray flux was constant. This nice feature is due to the shape and structure of the mountain. The Gran Sasso rock radioactivity was so low that the term «laboratory of cosmic silence» could be coined.

Reproduction of page 111 of Ref. 4; Proceedings in honour of M. Conversi, a strong supporter of the Gran Sasso Project.

Fig. 1^b

REFERENCES

- [1^a] *THE GRAN SASSO PROJECT*. A. Zichichi, Proceedings of the GUD-Workshop on "Physics and Astrophysics with a Multikiloton Modular Underground Track Detector", Rome, Italy, 29-31 October 1981 (INFN, Frascati, 1982), 141.
- [1^b] *THE GRAN SASSO PROJECT*. A. Zichichi, NFN/AE-82/1, 28 February 1982.
- [1^c] *THE GRAN SASSO PROJECT*. A. Zichichi, Proceedings of the Workshop on "Science Underground", Los Alamos, NM, USA, 27 September-1 October 1982 (AIP, New York, 1983), 52.
- [2] *THE GRAN SASSO LABORATORY*. A. Zichichi, Proceedings of the International Colloquium on "Matter Non-Conservation" - ICOMAN '83, Frascati, Italy, 17-21 January 1983 (INFN, Frascati, 1983), 3.
- [3] *THE GRAN SASSO LABORATORY AND THE ELOISATRON PROJECT*. A. Zichichi, "Old and New Forces of Nature" (Plenum Press, New York-London, 1988), 335.
- [4] *PERSPECTIVES OF UNDERGROUND PHYSICS: THE GRAN SASSO PROJECT*. A. Zichichi, Invited Plenary Lecture at the Symposium on "Present Trends, Concepts and Instruments of Particle Physics", in honour of Marcello Conversi's 70th birthday, Rome, Italy, 3-4 November 1987, *Conference Proceedings* Eds. G. Baroni, L. Maiani and G. Salvini (SIF, Bologna, 1988), Vol. 15, 107.

LE TRE COLONNE

DETTE ANCHE FAMIGLIE

Flavour Space

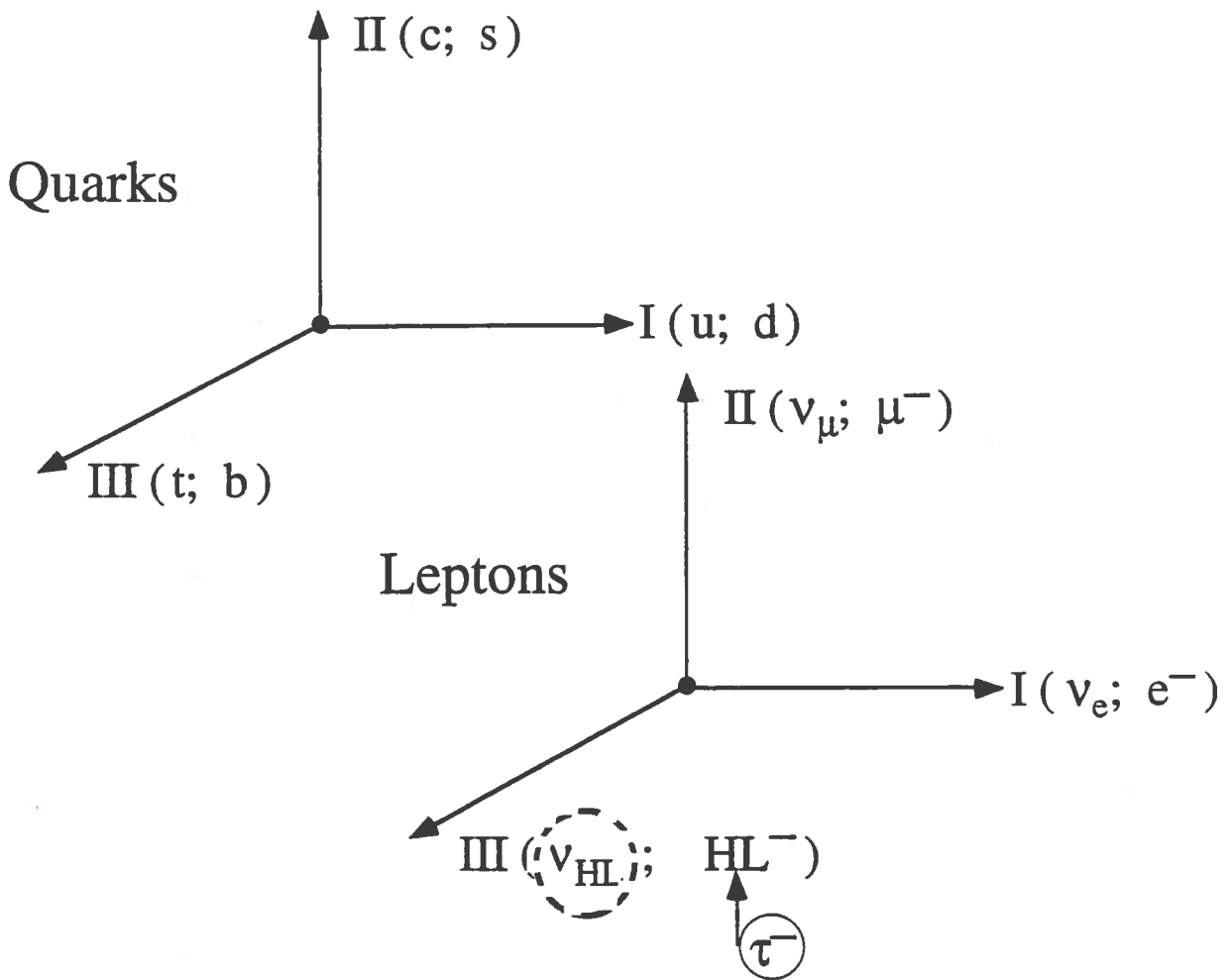
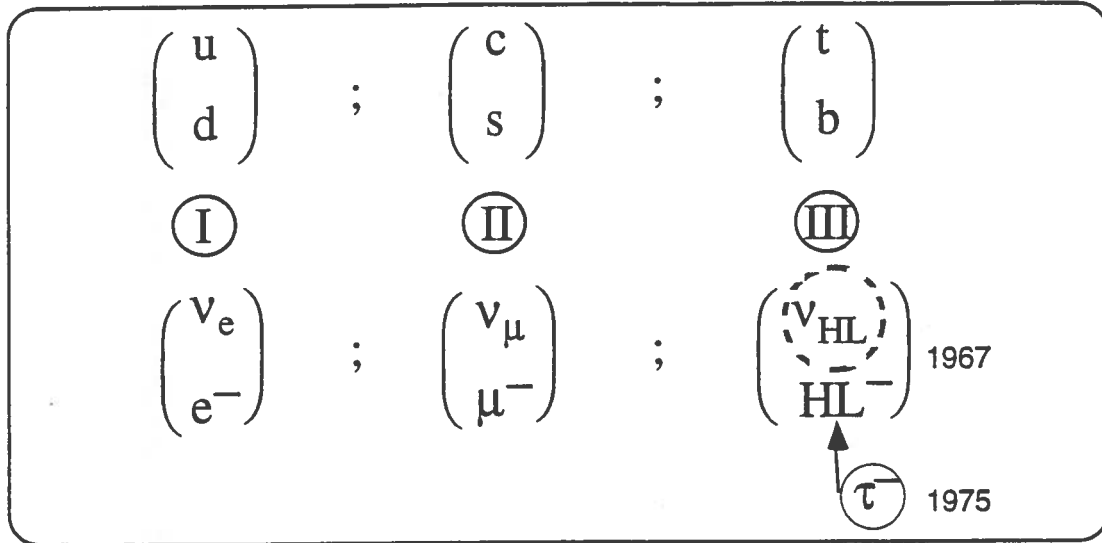


Fig. 2

LE TRE FORZE FONDAMENTALI

I: GRAVITAZIONALI; II: ELETTRODEBOLI; III: SUBNUCLEARI DI COLORE FORTE

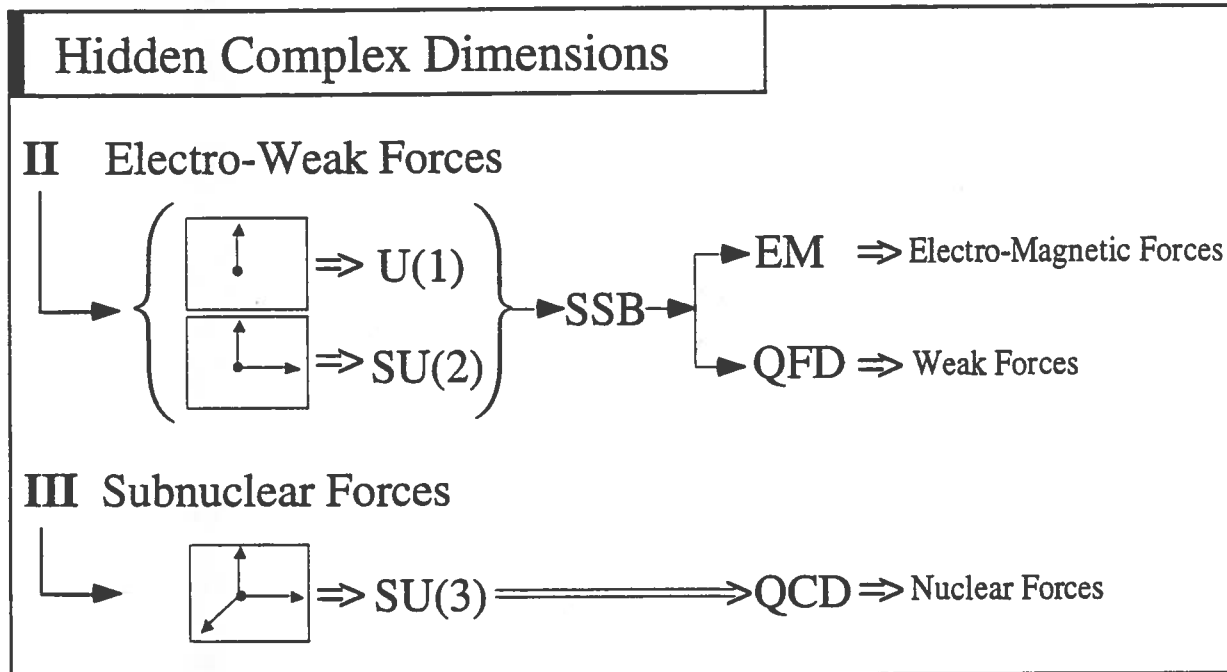
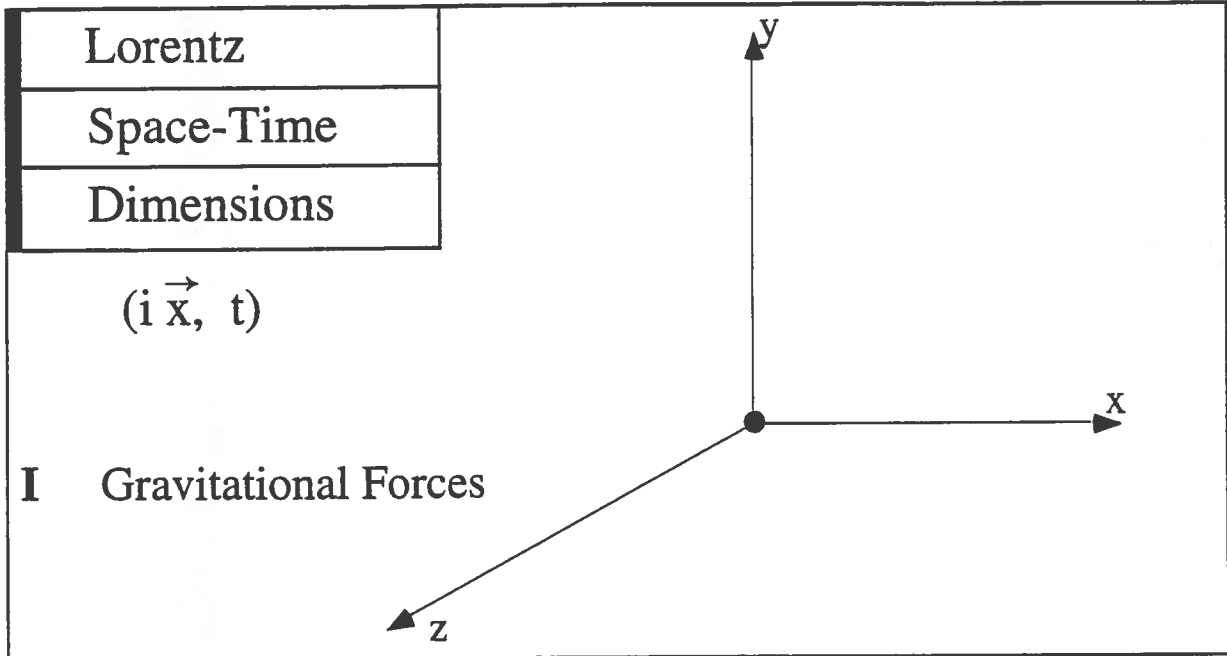


Fig. 3

SSB

The Physics of Imaginary Masses

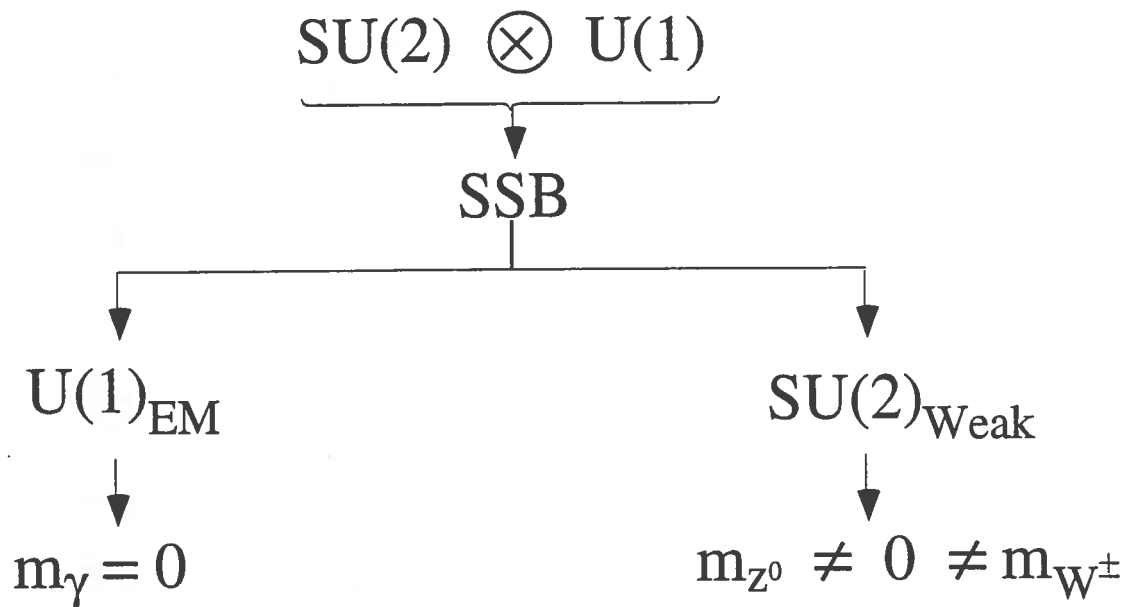
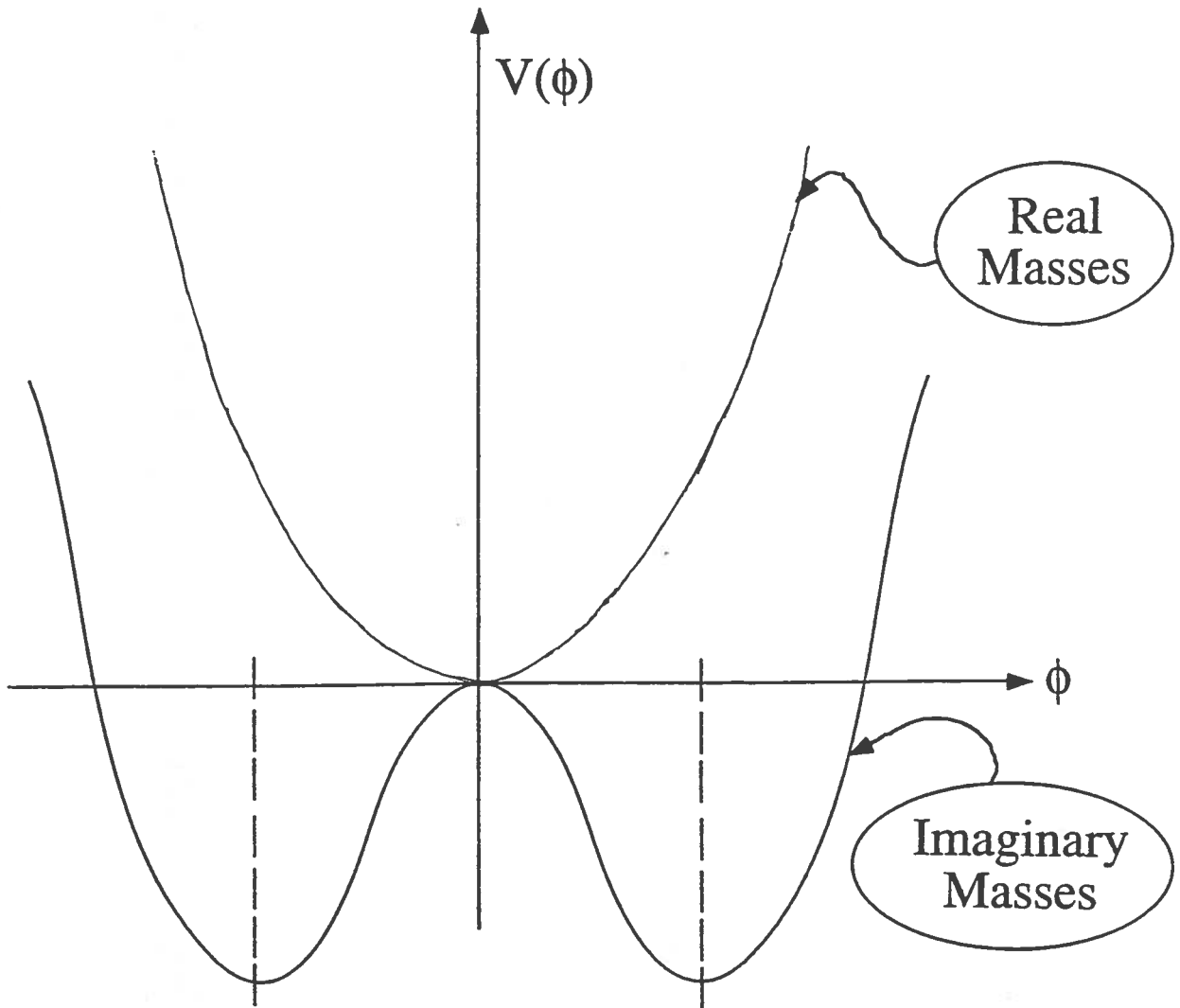


Fig. 4

SSB



Vacuum \equiv Minimum Energy

Fig. 5

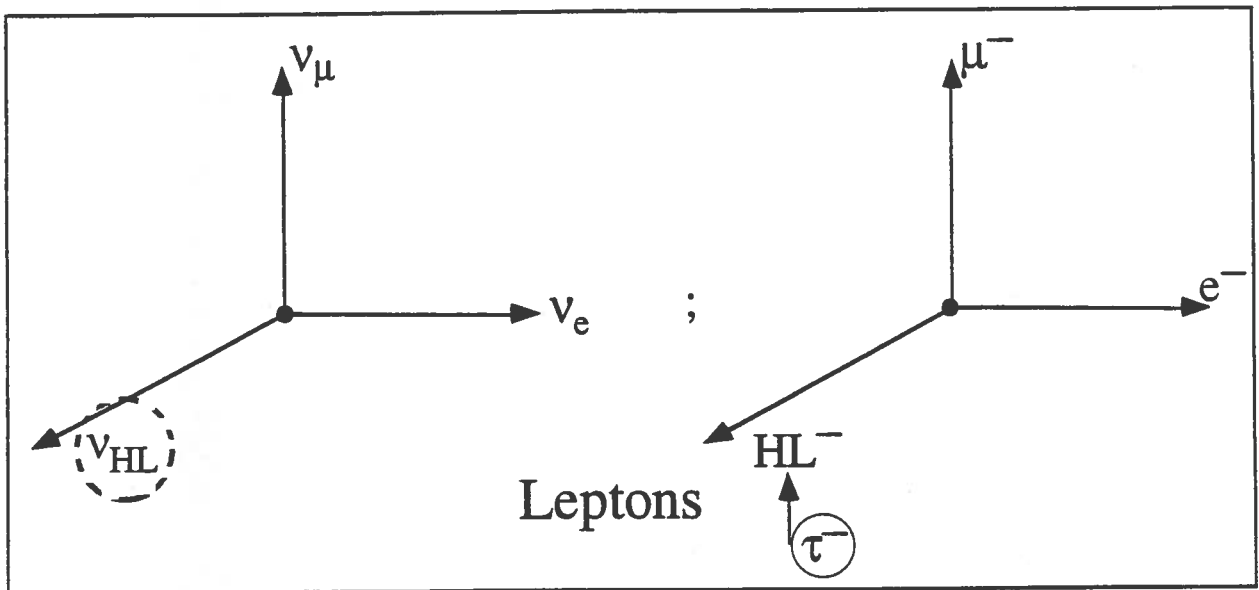
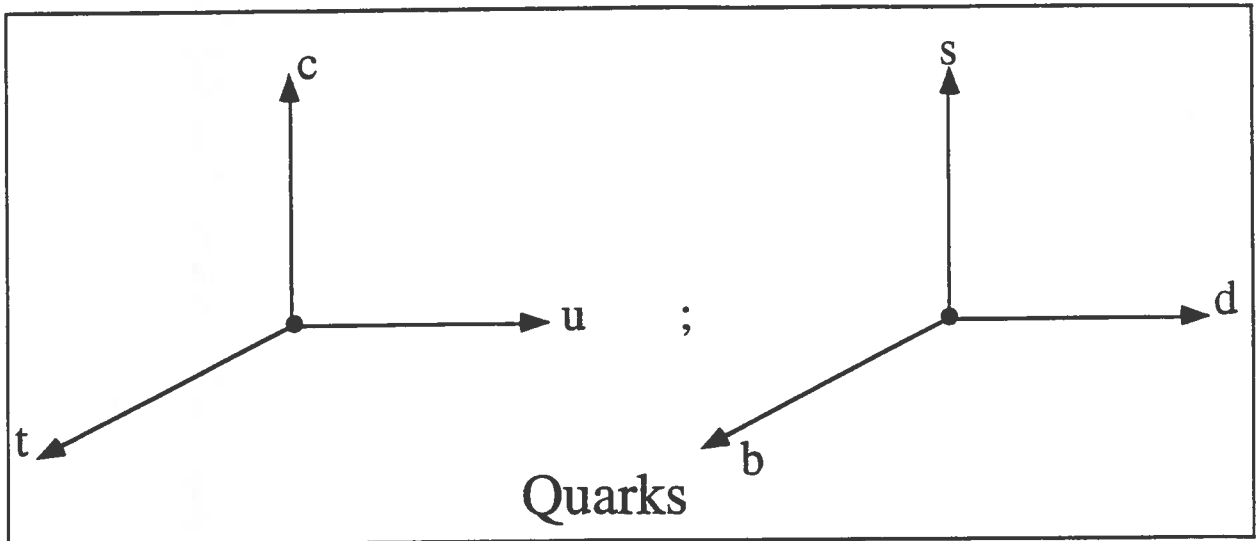
**ALL'INTERNO DI UN NUCLEONE
(QUARKS & GLUONS)**

SU(3)

QCD } \Rightarrow Asymptotic Freedom
&
 \Rightarrow Confinement

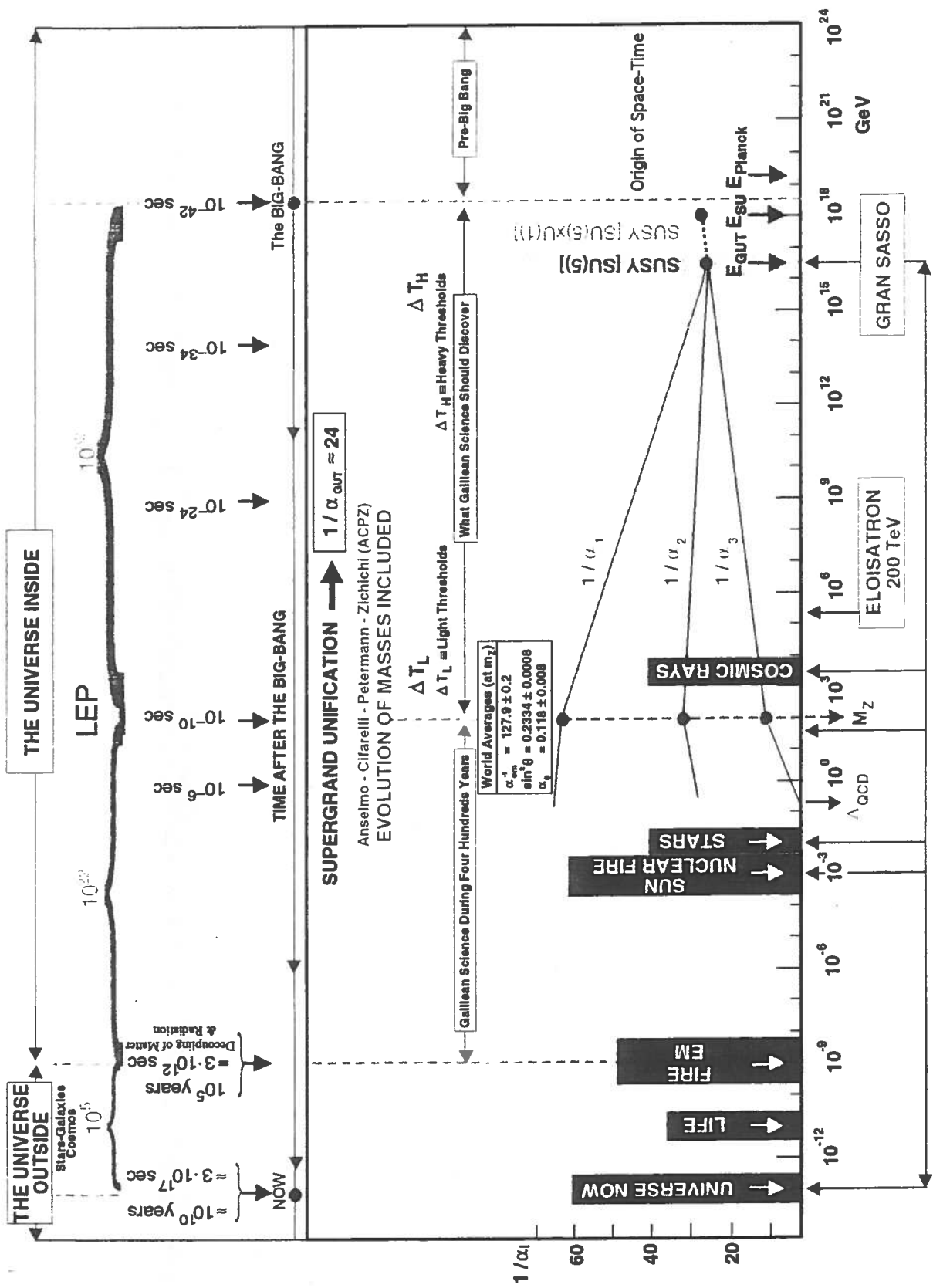
Fig. 6

Flavour Space & Mixing



$$CP \neq T \rightleftharpoons \neq$$

Fig. 7



L'UNIVERSO: FUORI DI NOI E DENTRO DI NOI. SINTESI DI TUTTE LE REALTÀ GALILEIANAMENTE RIPRODUCIBILI

Fig. 8



L'opera in bronzo realizzata da Umberto Mastroianni a Erice per ricordare l'incontro di Giovanni Paolo II con i più grandi Scienziati del mondo. L'opera si ispira alla sintesi della Grande Unificazione.

Fig. 9