

ICARUS

*Un osservatorio sotterraneo
dotato di un telescopio di
neutrini con la massima
risoluzione oggi ottenibile al
mondo*

ICARUS

Perché un laboratorio sotterraneo ?

Gli eventi di decadimento del protone e di neutrino sono così rari che la loro rivelazione sarebbe fortemente disturbata dalla intensa radiazione cosmica presente al livello del mare (200 particelle / m² / sec).

Sotto alcuni chilometri di roccia tale radiazione é fortemente attenuata (fattore 10⁻⁶) al punto da non disturbare la misura di eventi rari.

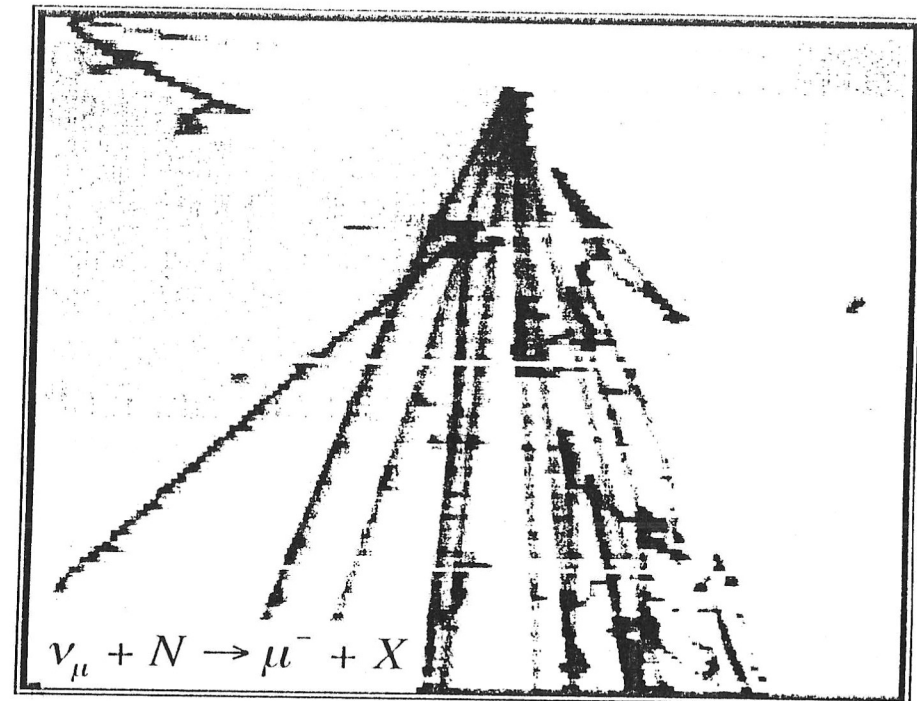
Cosmologia e Particelle elementari

Fenomeni su
Grande scala

unificazione

Fenomeni su
Piccola scala

$$E = mc^2$$



Big Bang

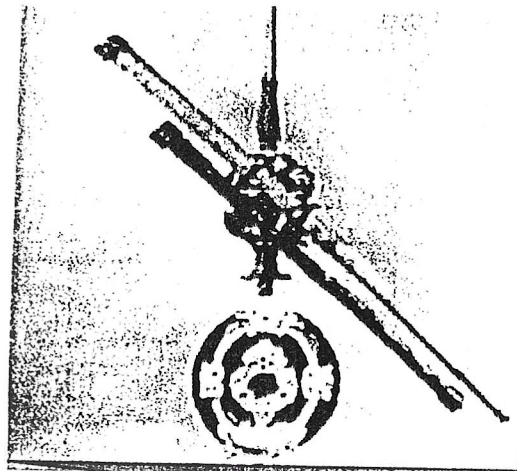
🍏 Circa 15 miliardi di anni fa una sbalorditiva “esplosione” ha dato il via all’espansione dell’universo.

🍏 Questa esplosione é nota come Big Bang. Questo evento é accaduto quando tutta la materia e l’energia erano confinate in un punto (un punto senza dimensioni spaziali e temporali).

🍏 Ciò che esisteva prima di questo evento é assolutamente sconosciuto e noi oggi riusciamo a “descrivere” tale evento solo a partire da una frazione piccolissima di tempo (10^{-43} s) dal suo verificarsi.

🍏 Non é stata una esplosione convenzionale, ma un evento che ha riempito tutto lo spazio di quelle particelle elementari che si sono separate le une dalle altre nell’*embrione dell’universo*.

L'osservazione dell'Universo

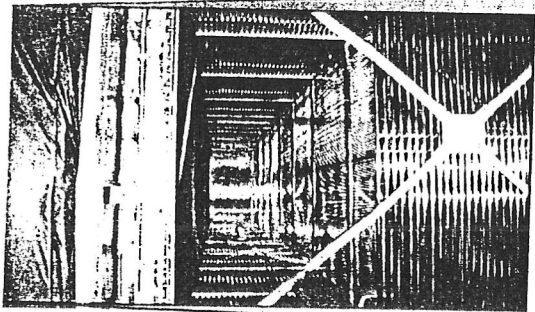


Galileo 1609

Il piu' antico

ICARUS 2002

Il piu' recente



Fotoni

Epoca attuale $t=15$ miliardi di anni

$t = 300.000$ anni

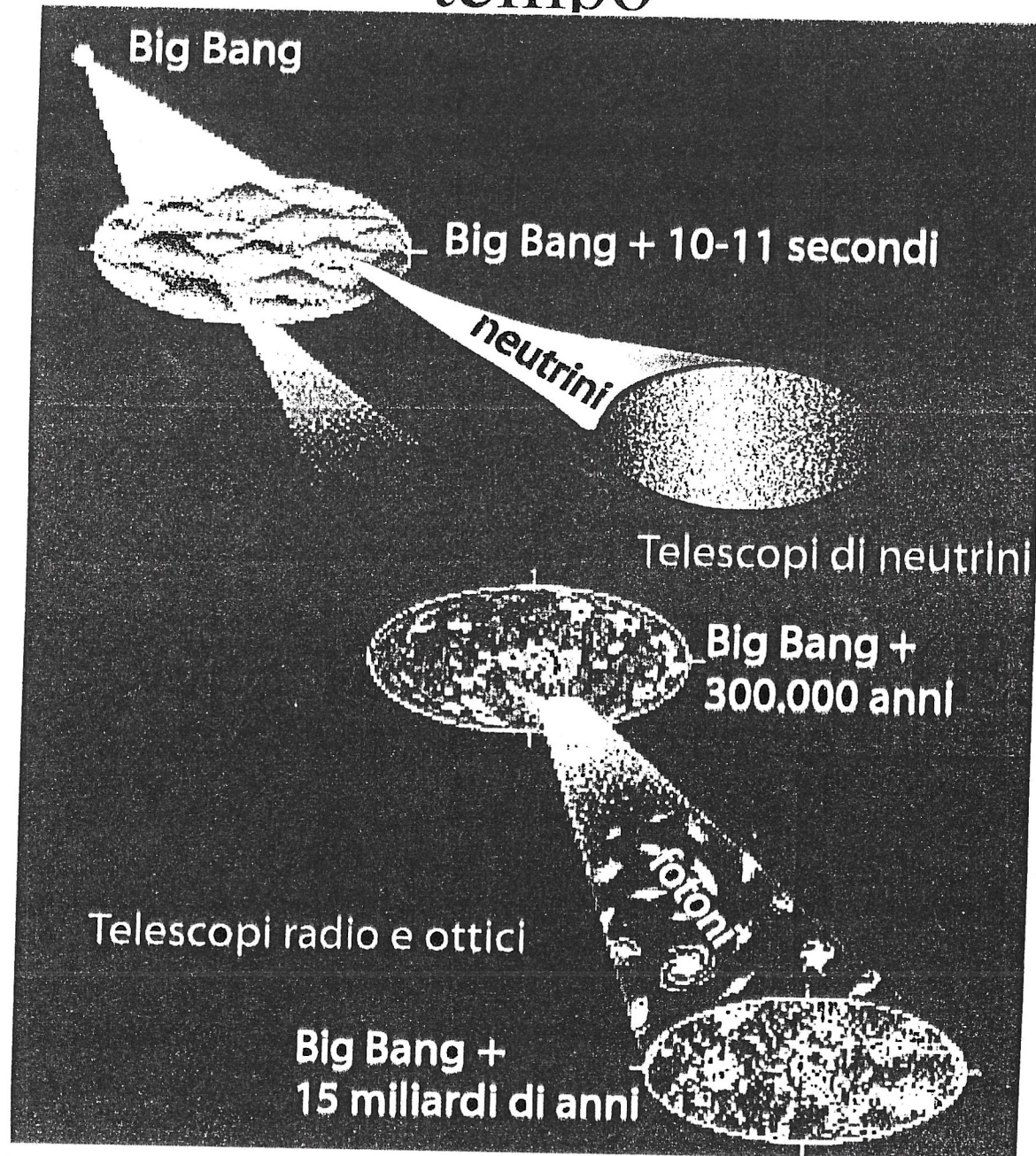
Big Bang

$t > 10^{-11}$ s

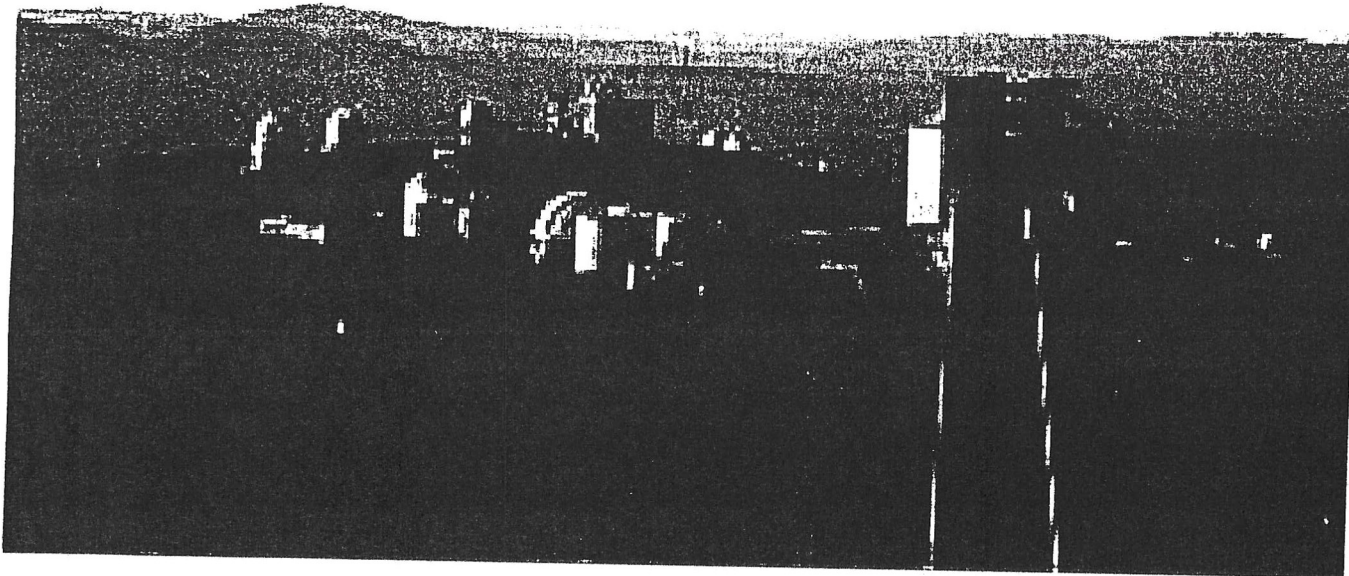
neutrini

Epoca attuale $t=15$ miliardi di anni

I telescopi di neutrini vedono piú lontano nel tempo



Telescopi molto grandi (ESO)



Interacting Galaxies in the OACDF2 Field
(MPG/ESO 2.2-m + WFI)

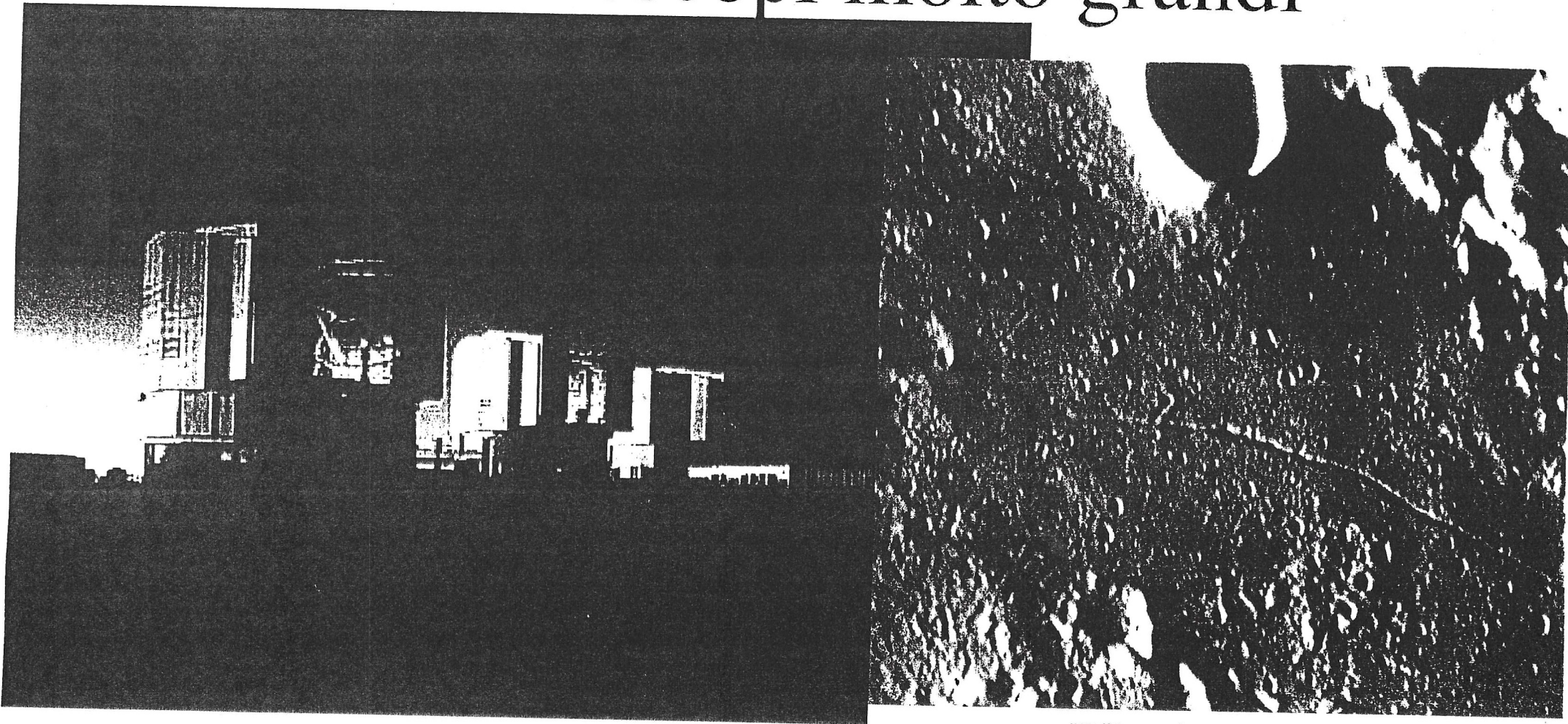
ESO DDF 00156 01-10 April 2011

European Southern Observatory




La Silla e' una montagna di 2400-m, situata nell'estremita' sud del deserto di Atacama in Cile.

ESO Telescopi molto grandi



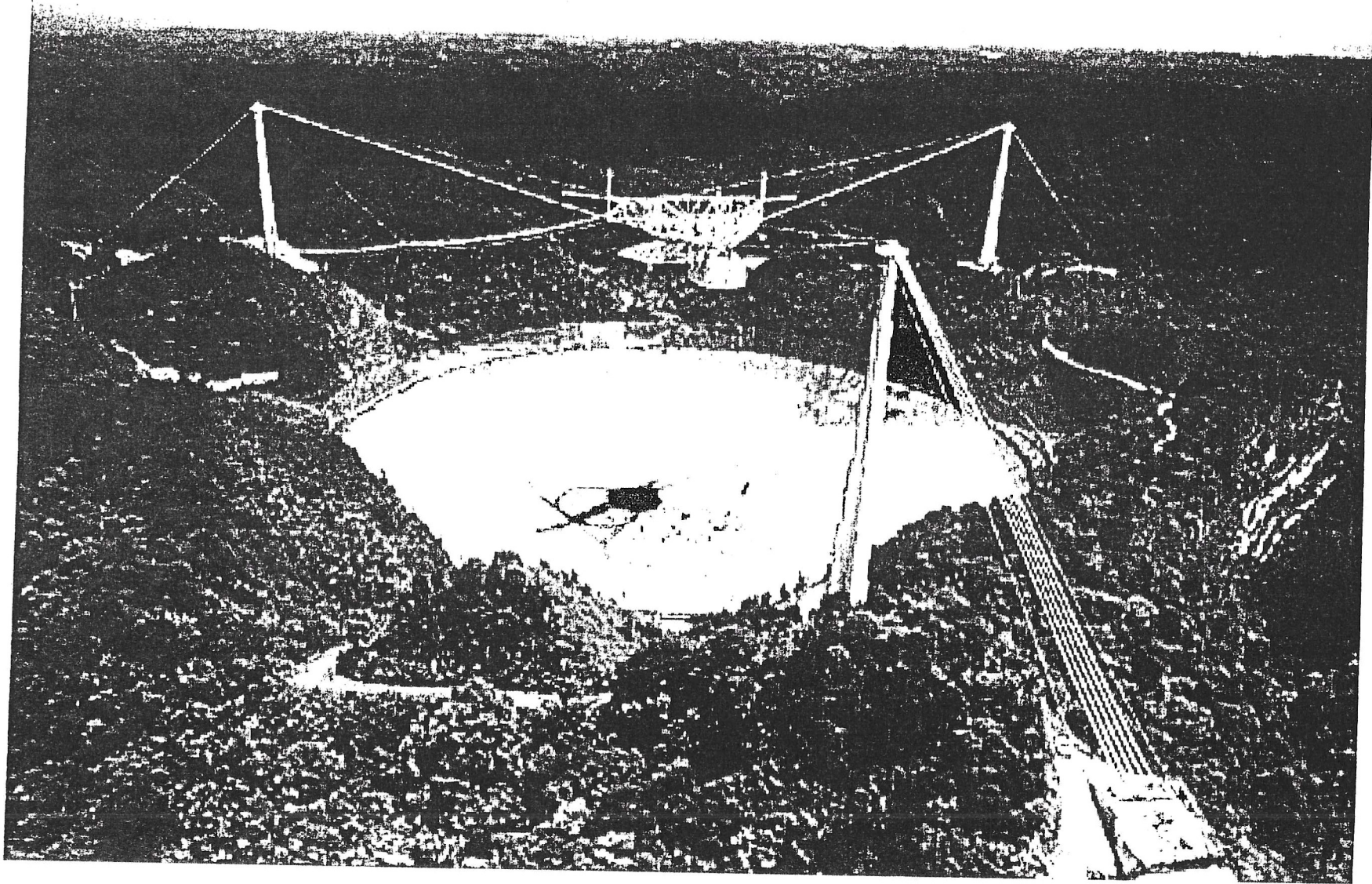
"Walking on the Moon" with the VLT
(VLT YEPUN + NACO)

ESO PR Photo 19a 02 (9 August 2002)

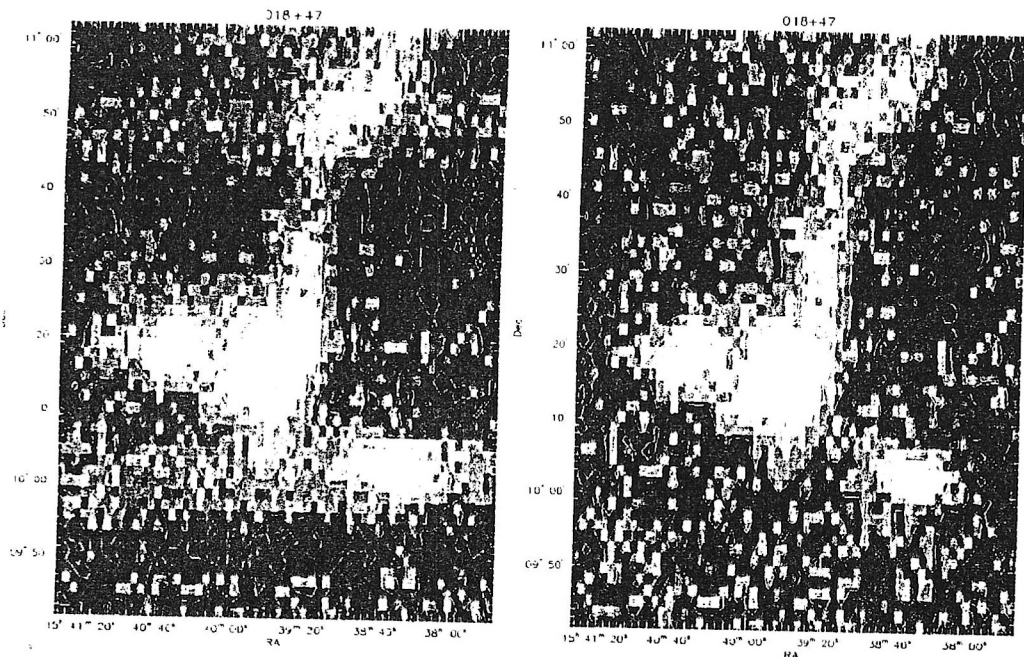
49 European Southern Observatory 

L'osservatorio di Paranal e' collocato in cima al Cerro Paranal nel deserto di Atacama al nord del Cile. Che e' ritenuto essere l'area piu' secca della terra.

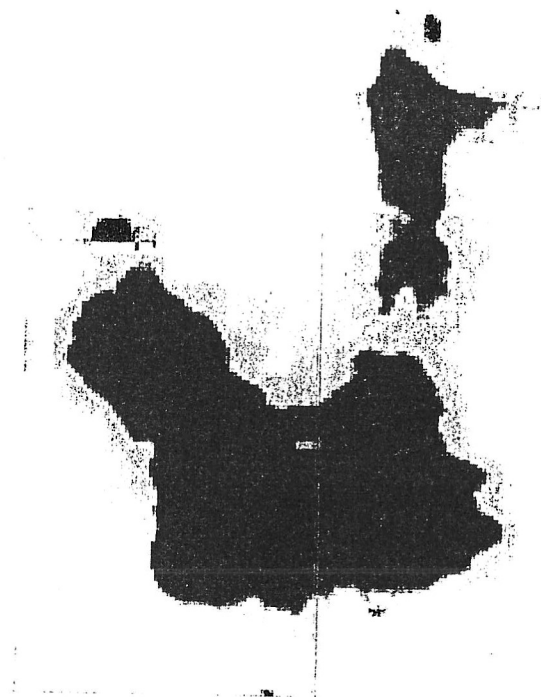
Arecibo in Portorico: radio telescopio



Radio Telescopi: Arecibo in Porto Rico

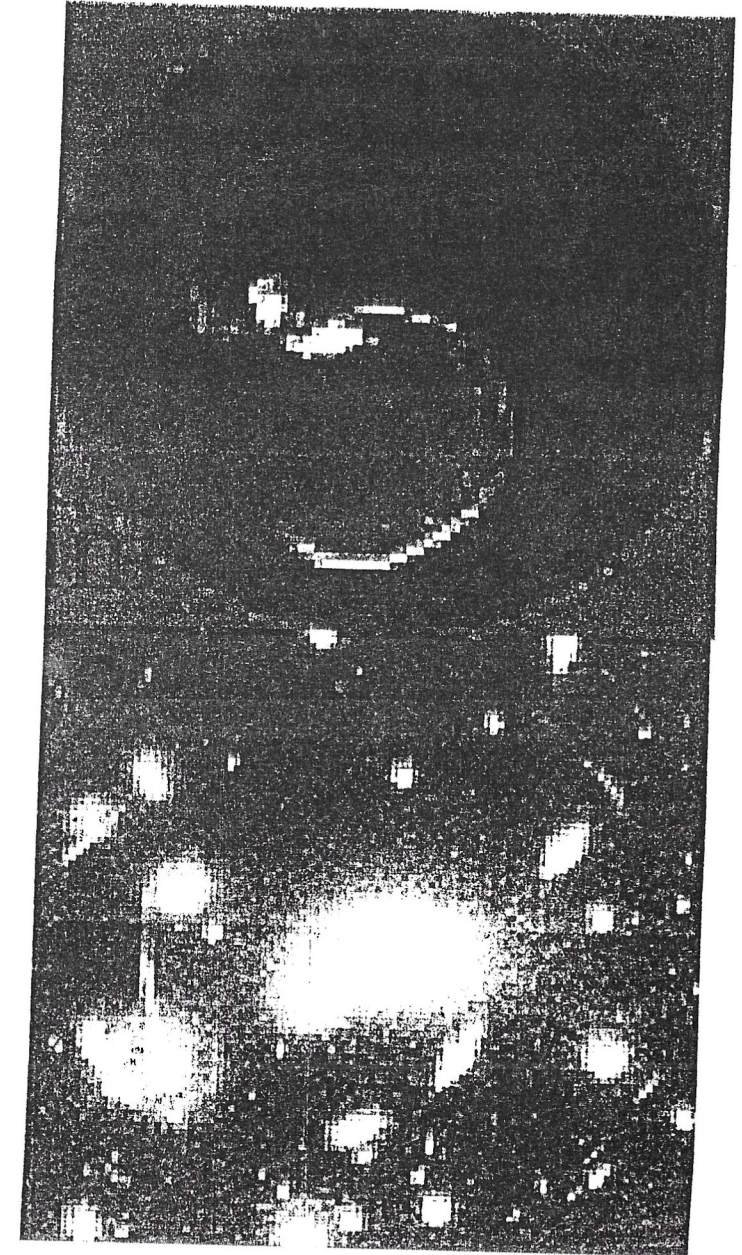
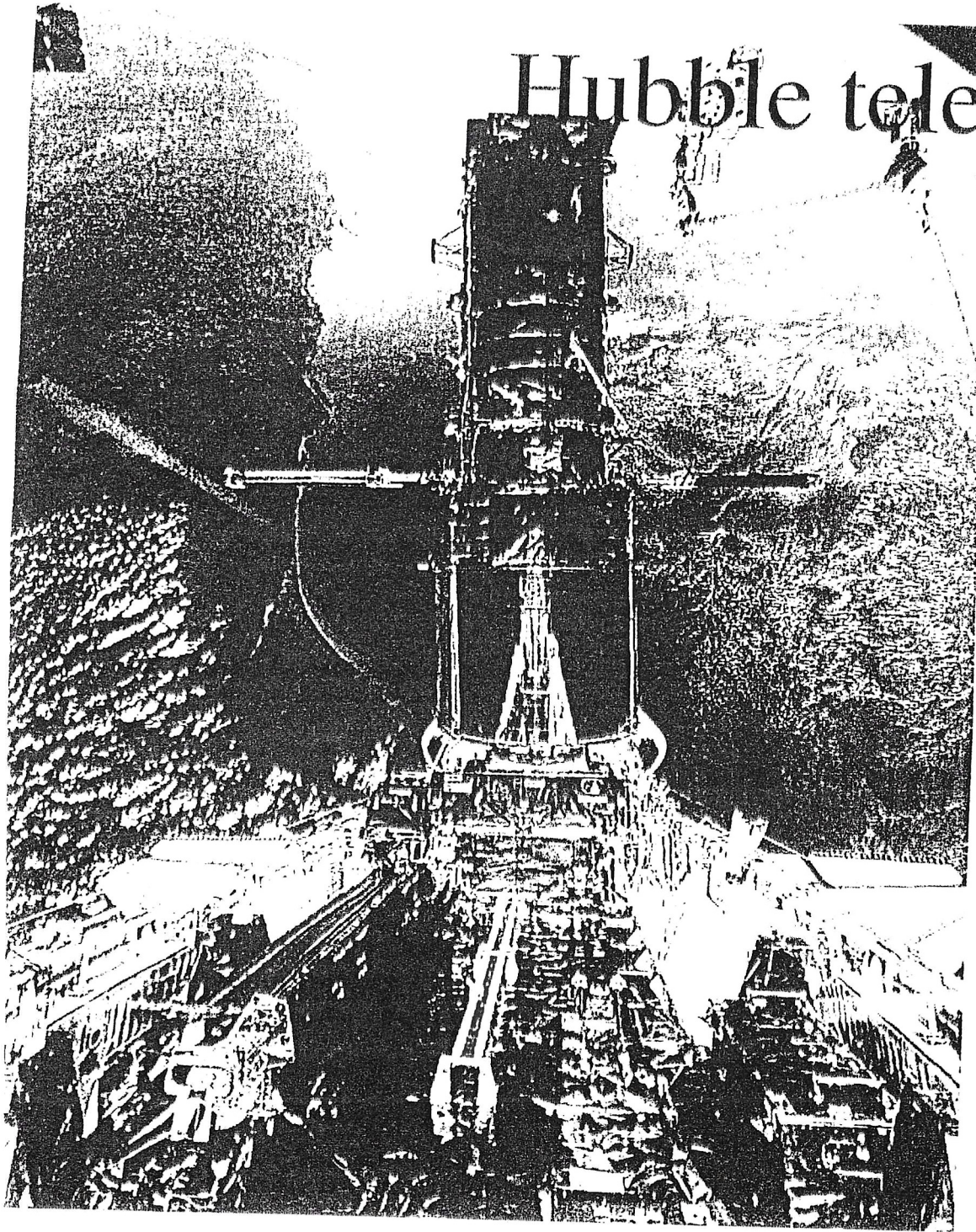


HI maps of 19 HVCs and 10 local groups dwarf Galaxies (Robishaw, Simon, Blitz, and Heiles)



Radio image of the Magellanic stream.

Hubble telescopio satellitare



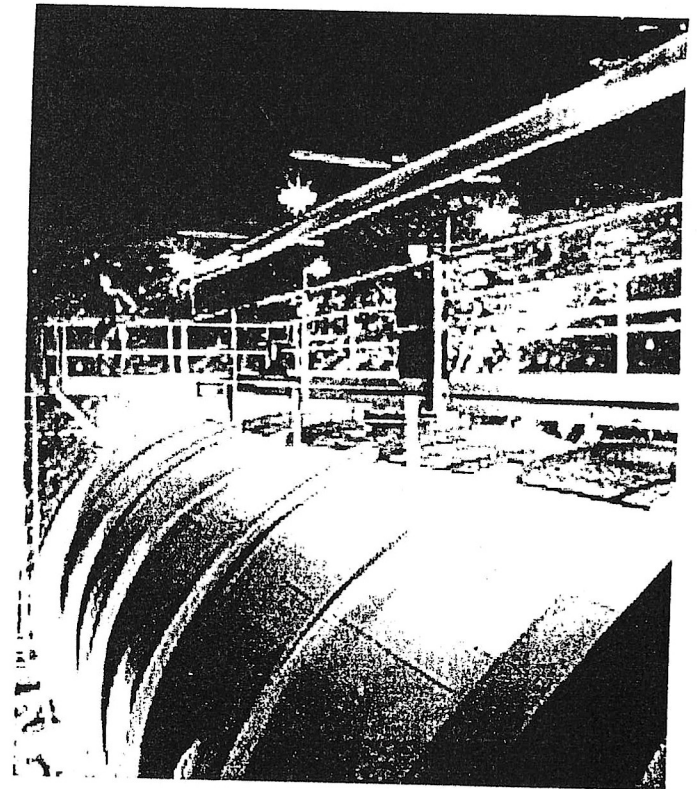
Telescopi di neutrini

Premio Nobel 2002

Raymond Davis Jr. started investigating neutrinos that were produced in Brookhaven's Graphite Research Reactor and at a reactor at the Savannah River Plant in South Carolina, in the 1950s. But these experiments were really the prelude to Davis's major triumph, which came in the early 1970s, quando per la prima volta riuscí a rivelare i neutrini provenienti dal sole in a new experiment based in Lead, South Dakota (image at right).

A solar neutrino was expected to produce radioactive argon when it interacts with a nucleus of chlorine. Davis developed an experiment based on this idea by placing a 100,000-gallon tank of perchloroethylene, a commonly used dry-cleaning chemical and a good source of chlorine, 4,800 feet underground in the Homestake Gold Mine in South Dakota and developing techniques for quantitatively extracting a few atoms of argon from the tank.

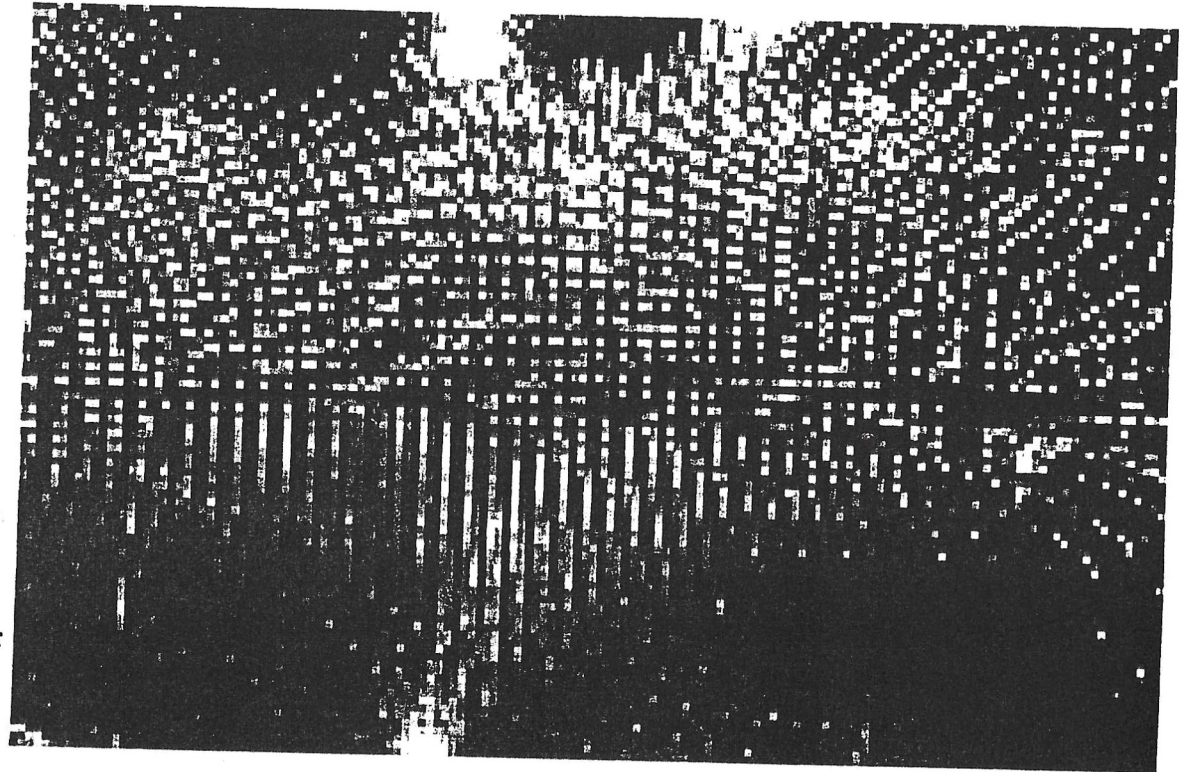
The chlorine target was located deep underground to protect it from cosmic rays. Also, the target had to be big because the probability of chlorine's capturing a neutrino was ten quadrillion times smaller than its capturing a neutron in a nuclear reactor. Despite these odds, Davis's experiment confirmed that the sun produces neutrinos, but only about one-third of the number of neutrinos predicted by theory could be detected.



Telescopi di neutrini Premio Nobel 2002

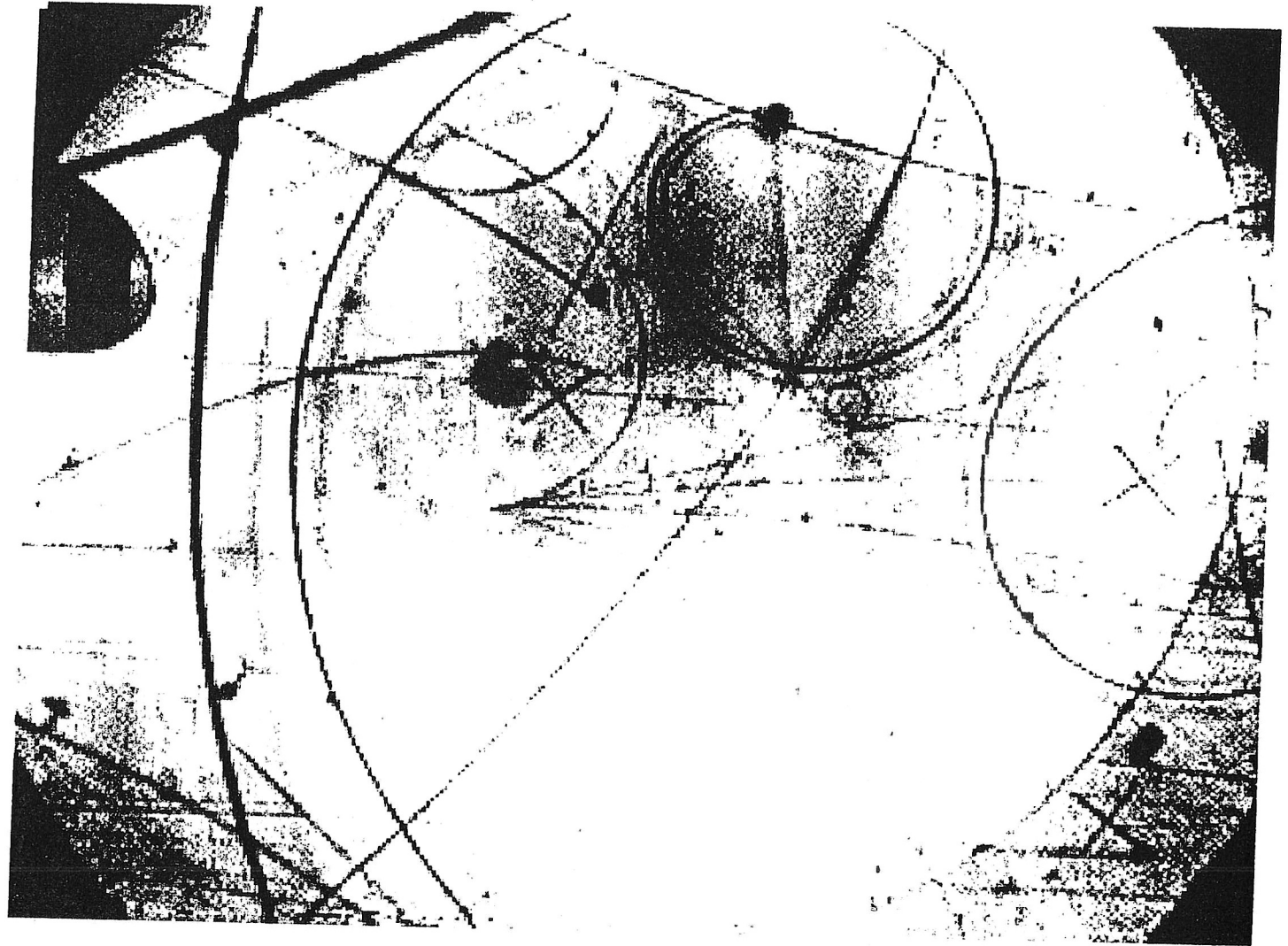
Con un altro rivelatore gigante, chiamato *Super Kamiokande*, Masatoshi Koshiba riuscí a **confermare i risultati di Davis.**

They were also able, on 23 February 1987, to detect neutrinos from a distant supernova explosion. They captured twelve of the total of 10^{16} neutrinos that passed through the detector.

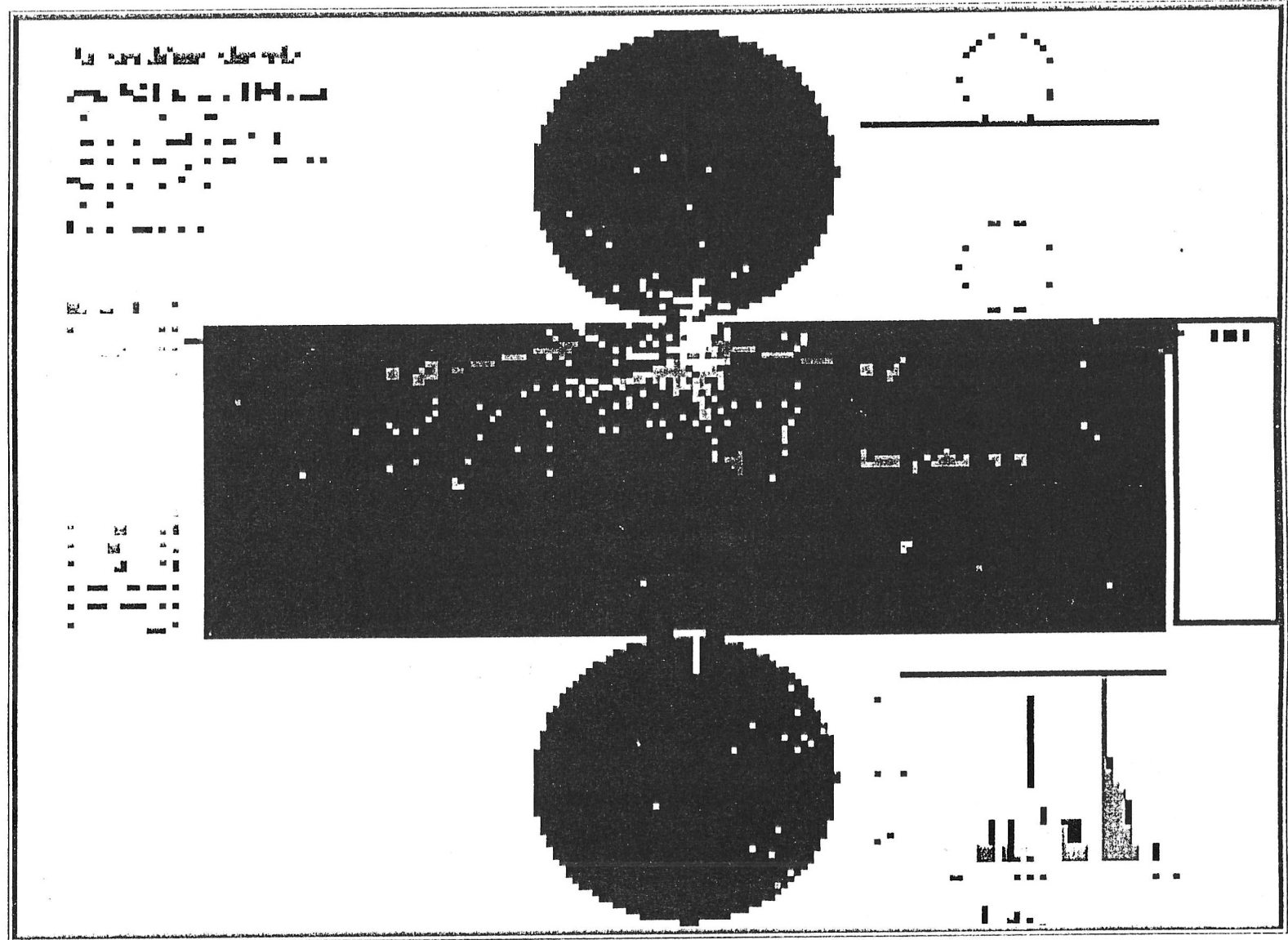


Osservazione di neutrini

Neutrino in camera a bolle al Fermilab



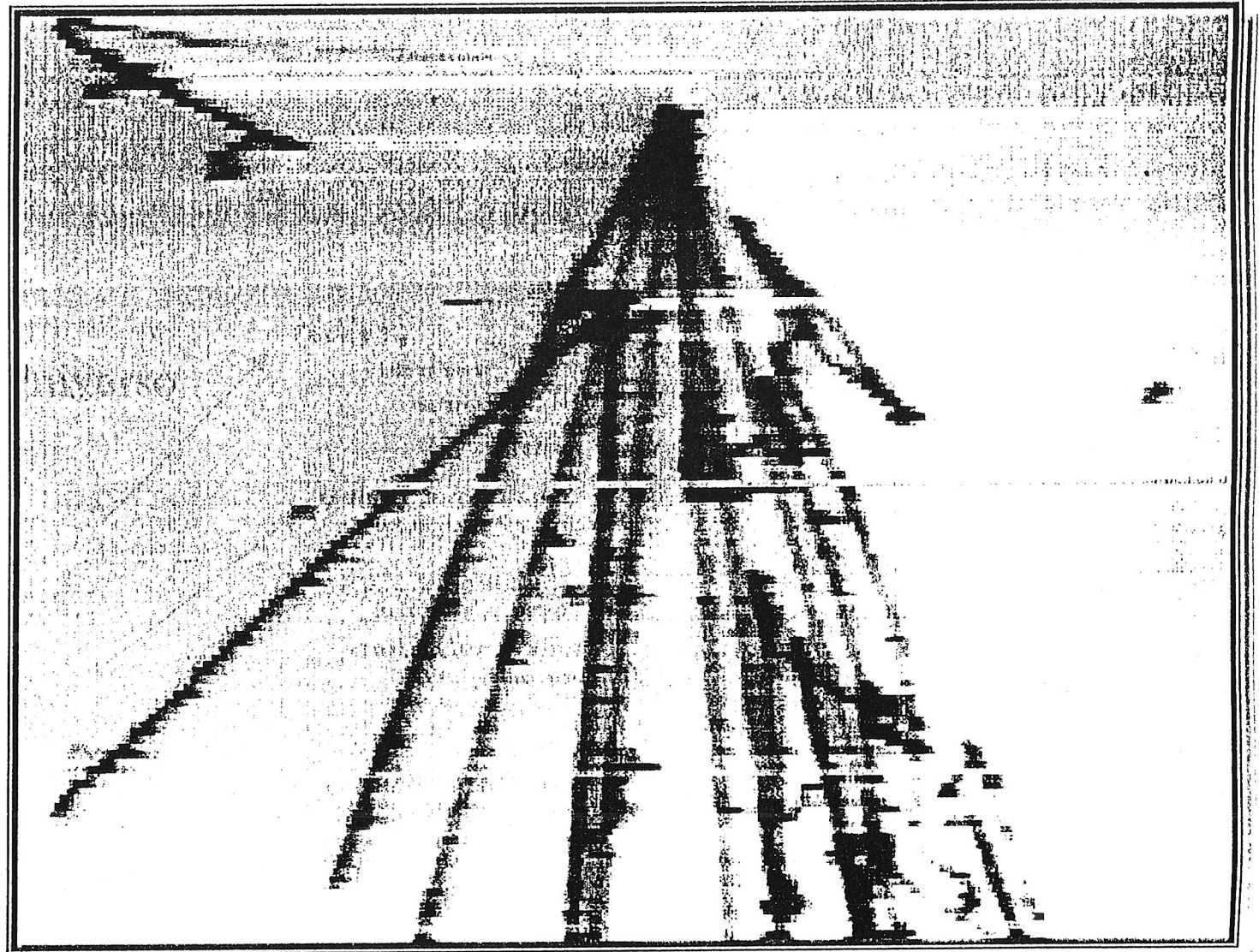
Osservazione di neutrini



K2K Super
Kamiokande
Primo evento di
neutrino

Osservazione di neutrini

ICARUS evento di
neutrino con 50 litri
al CERN



L'evoluzione temporale dell'Universo

15 miliardi di anni dal Big Bang:
oggi !

400.000 anni dal Big Bang:
formazione delle galassie

1 s dal Big Bang: formazione dei
nuclei leggeri D, He, Li
(nucleosintesi)

10^{-6} s dal Big Bang: formazione di
protoni e neutroni a partire dai
quarks

10^{-11} s dal Big Bang: formazione di
fotoni e neutrini

10^{-43} s dal Big Bang: Il passato piú
remoto che riusciamo a descrivere

Today t_0

Life on earth
Solar system
Quasars

Galaxy formation
Epoch of gravitational collapse

Recombination
Relic radiation decouples (CMB)
Matter domination
Onset of gravitational instability

Nucleosynthesis
Light elements created - D, He, Li

Quark-hadron transition
Hadrons form - protons & neutrons

Electroweak phase transition
Electromagnetic & weak nuclear
forces become differentiated:
 $SU(3) \times SU(2) \times U(1) \rightarrow SU(3) \times U(1)$

The Particle Desert
Axions, supersymmetry?

Grand unification transition
 $G \rightarrow H \rightarrow SU(3) \times SU(2) \times U(1)$
Inflation, baryogenesis,
monopoles, cosmic strings, etc.?

The Planck epoch
The quantum gravity barrier

$t = 15$ billion years

$T = 3\text{K}$ (1 eV)

$t = 3$ minutes

$t = 1$ second

$T = 1$ MeV

$t = 10^{-6}$ s

$T = 1$ GeV

$t = 10^{-11}$ s

$T = 10^3$ GeV

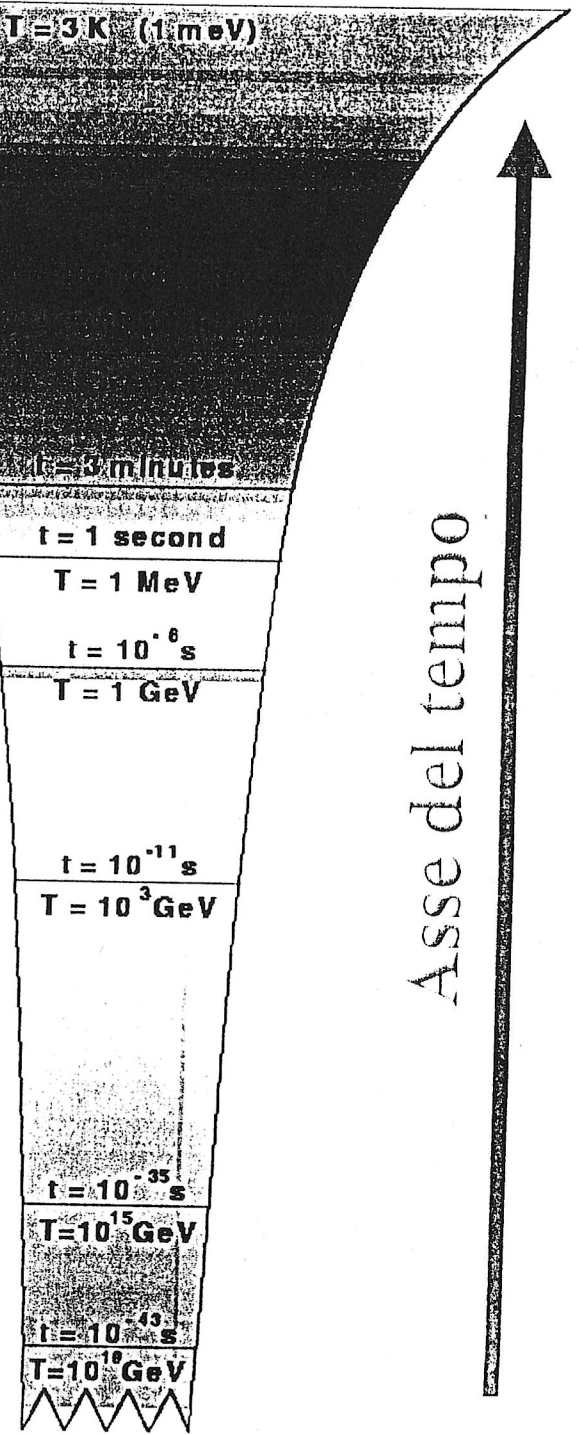
$t = 10^{-35}$ s

$T = 10^{15}$ GeV

$t = 10^{-43}$ s

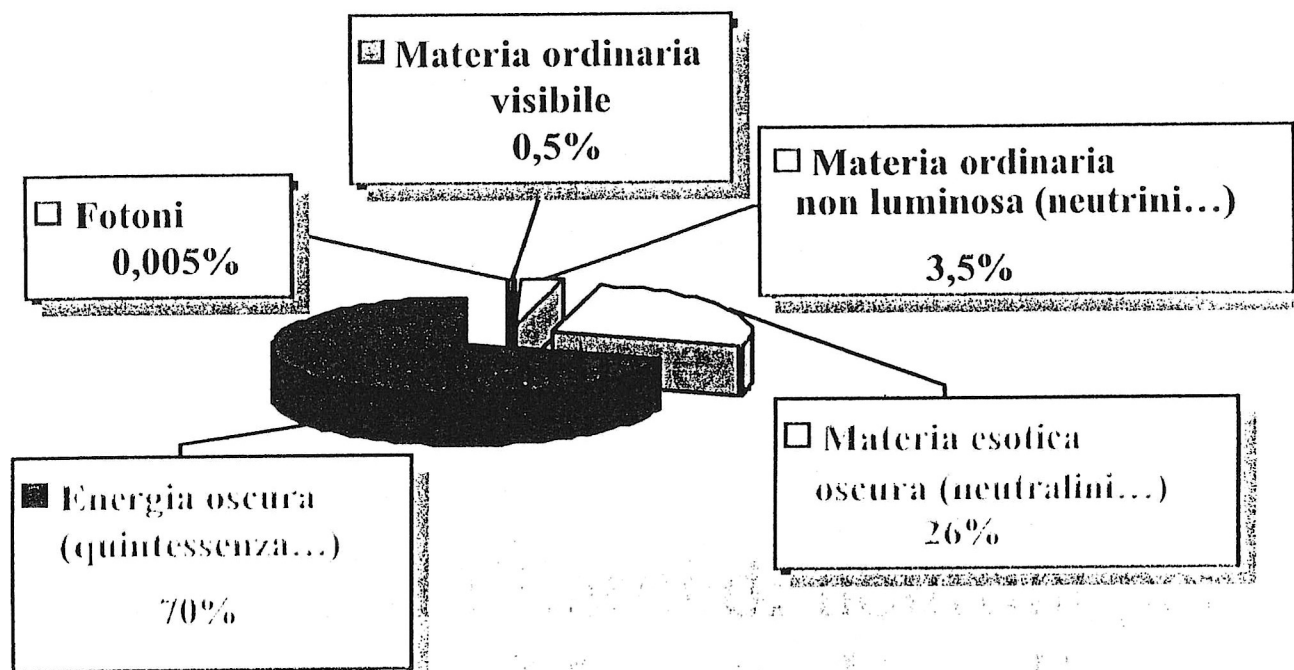
$T = 10^{19}$ GeV

Asse del tempo



La costituzione dell'universo nell'ipotesi di un universo chiuso

L'UNIVERSO "CHIUSO"



Solo il 4%
dell'Universo
sarebbe dunque
stato osservato
fino ad oggi !!!

Quanta strada
hanno ancora da
percorrere i
nostri giovani ...

Il neutrino: riempie l'Universo

- Dal Sole, 100 miliardi di neutrini per ogni cm^2 , in ogni secondo. Ma tutte le stelle producono neutrini.
- Il Sole ci invia tanti neutrini quanta luce.
- Una *trascurabile* attitudine ad interagire con la materia, ed *una vita forse infinita*.
- Un “viaggiatore” dell’universo” molto piú penetrante della luce.

Quali neutrini si trovano in natura?

- I neutrini dal Sole:
- I neutrini dalle interazioni dei raggi cosmici primari nell'atmosfera:
- I neutrini dai collassi stellari nelle profondità del cosmo.
- I neutrini prodotti dai reattori nucleari.
- I neutrini prodotti dalle macchine acceleratrici di particelle (CERN ...).

UN QUESITO FONDAMENTALE

Il neutrino ha massa?

(avrebbe implicazioni interessanti nel
“bilancio” globale dell’universo)

Lo studio delle “oscillazioni di neutrino” può aiutarci nella soluzione dell’enigma.

Le “oscillazioni” di neutrino

Di neutrini ne esistono tre specie: (ν_e, ν_μ, ν_τ).
Se il neutrino fosse privo di massa ogni specie rimarrebbe **immutabilmente se stessa**.
In caso contrario, se si verificasse una qualche tendenza di **una specie ad “oscillare” in un'altra**, il neutrino avrebbe una massa non nulla e dunque aiuterebbe a “chiudere” l'Universo.

Il “puzzle” del neutrino solare

- Davis (in un esperimento durato dal '68 al '86) misura un flusso minore del previsto.
- L'esperimento GALLEX (LNGS) conferma: solo il 60% !!
- L'esperimento Super-Kamiokande conferma il risultato di GALLEX.
- La “mancanza di neutrini” è dovuta alle oscillazioni ?
- L'esperimento SNO osserva sperimentalmente le oscillazioni di neutrini

**⇒ Dunque il neutrino ha massa,
piccola ma diversa da zero**

Dunque...

Esiste un grande interesse per **nuove ricerche**, condotte con una nuova generazione di rivelatori di grande sensibilità, in grado di distinguere le tre specie di neutrino (ν_e, ν_μ, ν_τ).

ICARUS è nato anche per questo scopo.

ICARUS

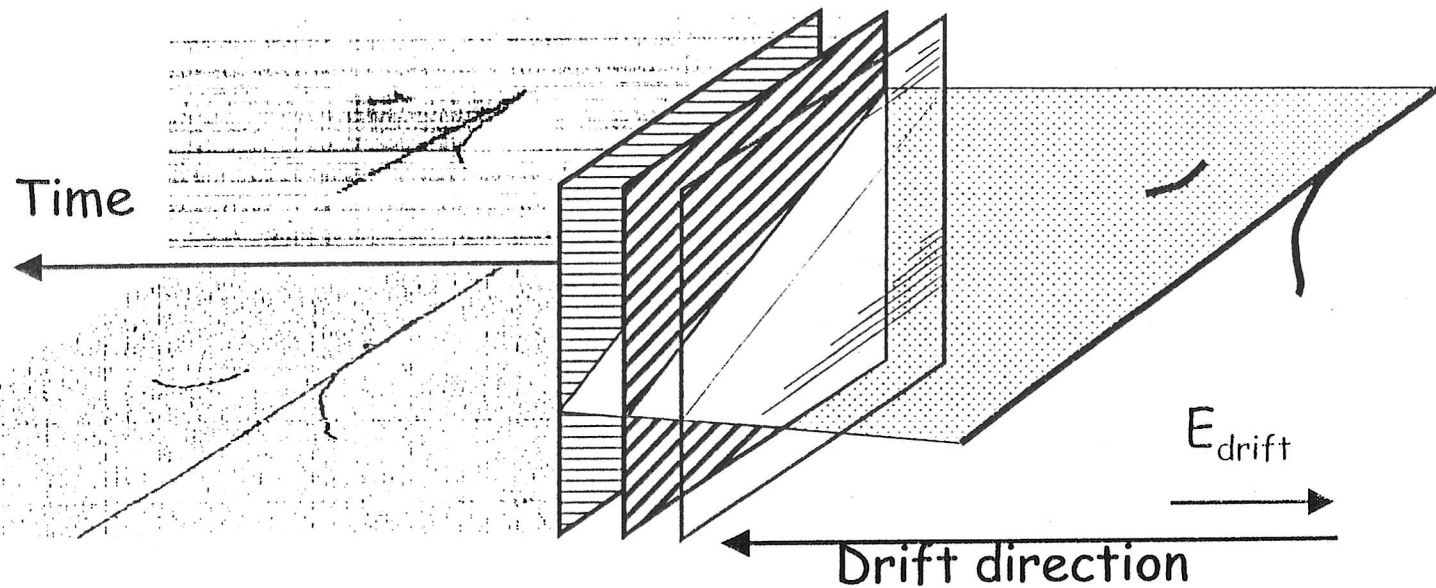
un rivelatore di nuova generazione

- 2,5 milioni di "immagini" al secondo, riprese in un volume di 400 m³ di Argon liquido (-180 C°) ultrapuro.
- Una perfetta ricostruzione a tre dimensioni degli "eventi" provocati dal passaggio dei neutrini.

Come funziona ICARUS

- » L'interazione di un neutrino su un elettrone o su un nucleo della materia di cui è fatto il rivelatore crea particelle elettricamente cariche (ionizzanti).
- » Queste, muovendosi in seno all'argon liquido, "ionizzano" producendo elettroni "liberi" che (grazie alla purezza dell'Argon) tali rimangono quanto basta per raggiungere l'elettrodo positivo (anodo) sotto l'azione di un campo elettrico.
- » Sui fili di cui è composto l'anodo si configura una "mappa" di cariche che viene letta 2,5 milioni di volte al secondo producendo una immagine adatta per tutte le analisi successive.

Principi di funzionamento



Continuously sensitive
Self-triggering

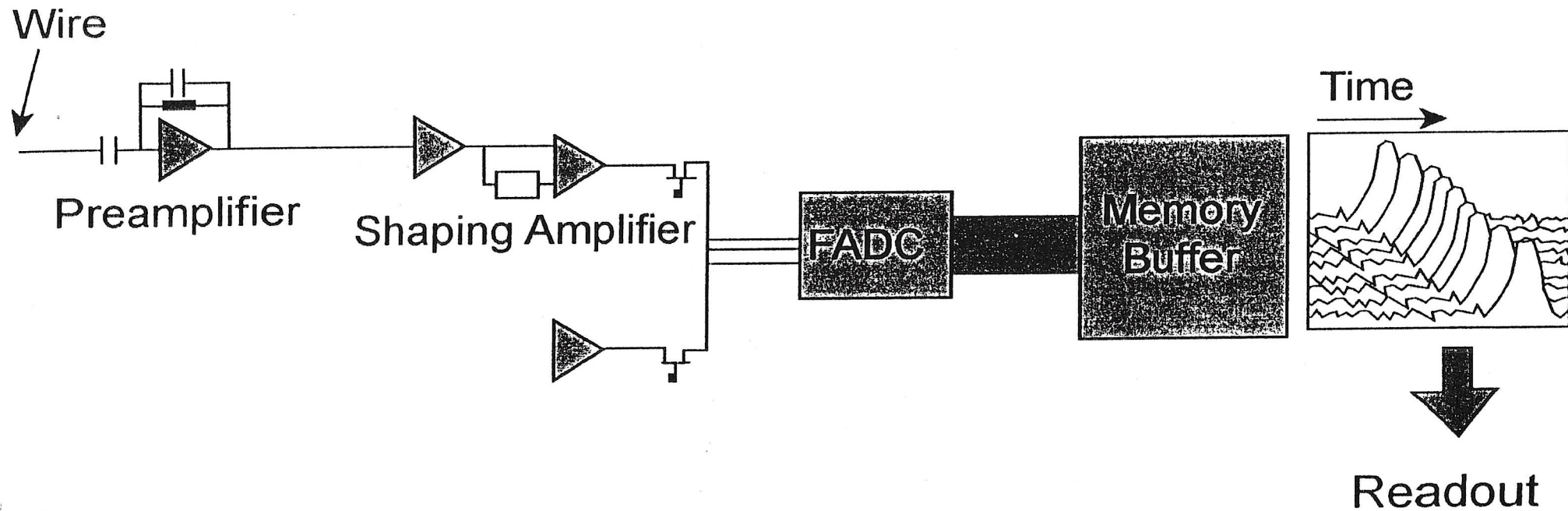
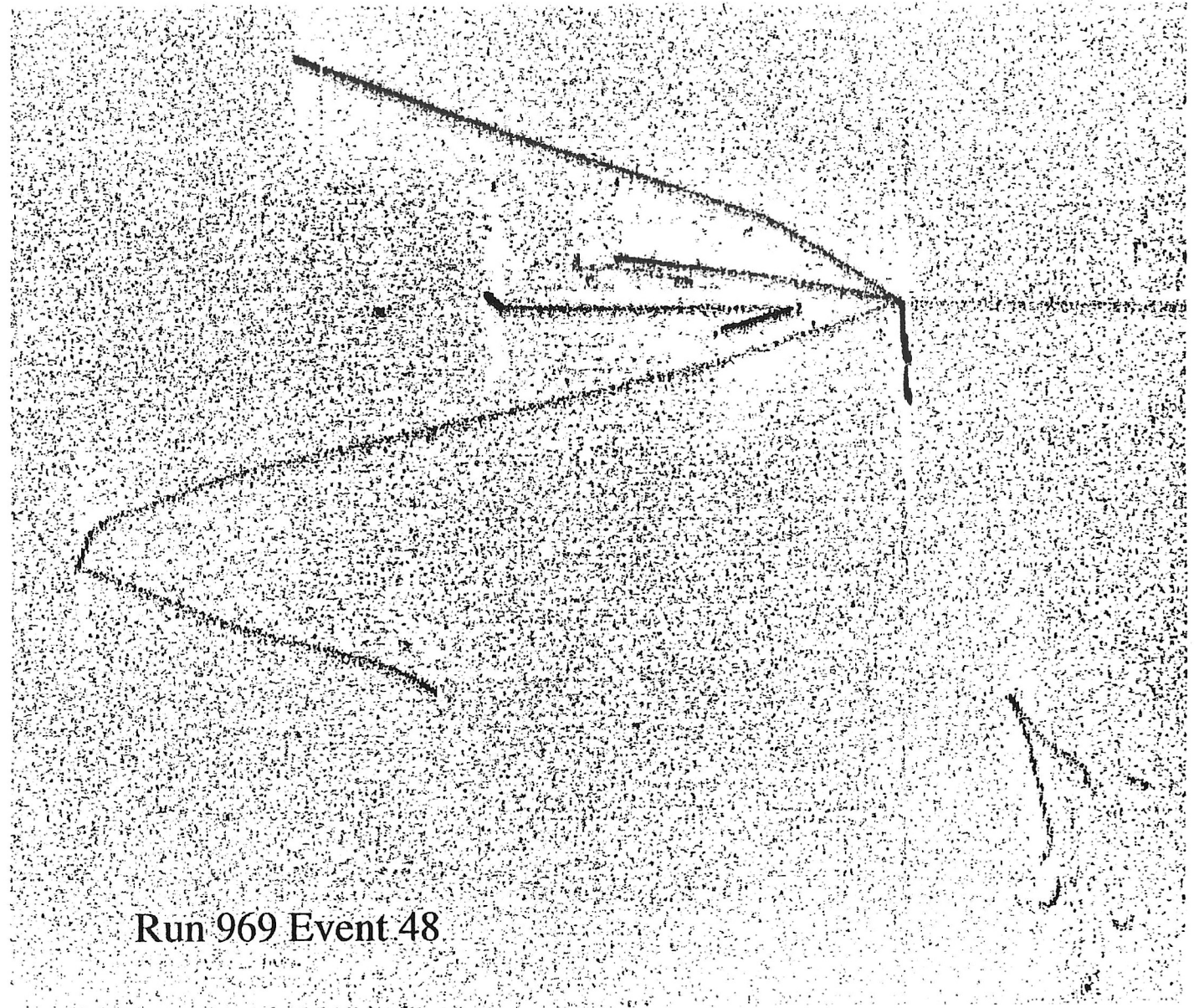


Immagine di ICARUS

Le tracce che si vedono sono prodotte dalle particelle elementari liberate in un “urto” su un nucleo di argon di cui é composto il rivelatore.



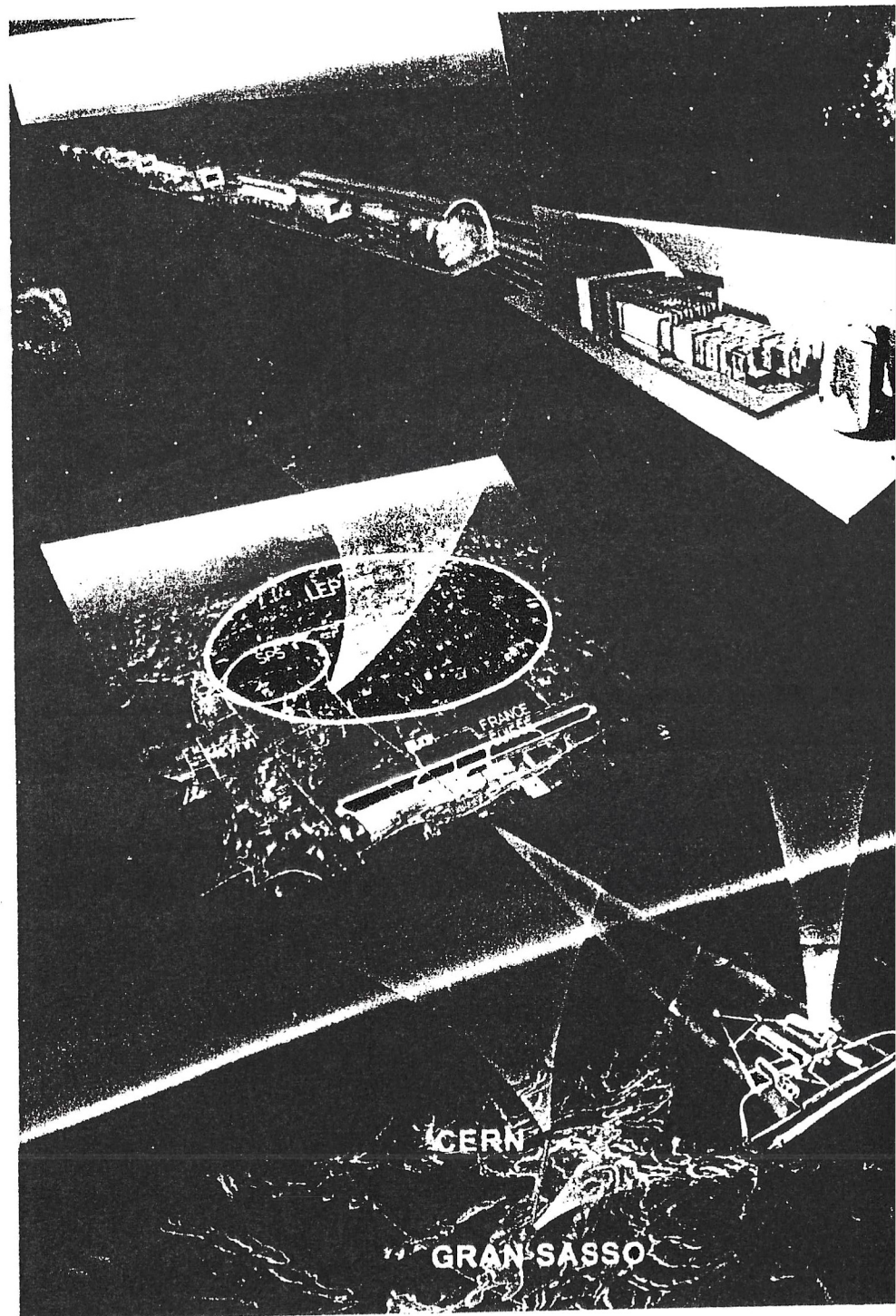
Run 969 Event 48

Un "laboratorio" lungo 740 km

Il CERNA ha iniziato la realizzazione di un fascio di neutrini verso i LNGS. 740 km di crosta terrestre per arrivare ad ICARUS, collocato nella Sala B dei più grandi laboratori sotterranei del mondo.

I neutrini muonici (ν_μ) inviati potrebbero (potranno?) mutare in una delle altre due specie ("oscillazione").

ICARUS potrà registrare la scomparsa degli uni e la comparsa degli altri.



L'obiettivo finale.

Per catturare un numero sufficiente di neutrini, la massa del rivelatore deve essere la più elevata possibile: un ICARUS da 3000 ton.

Lo si realizzerà replicando otto volte il prototipo pavese e montando il tutto in una struttura modulare.