

Curriculum di Fisica Medica

OBBLIGATORI	
	FISICA MEDICA 9 CFU
	LABORATORIO DI FISICA MEDICA 12 CFU

CORSI IN ALTERNATIVA	
1	ASTROFISICA A 6 CFU
	ASTROPARTICELLE A 6 CFU
1	FISICA STATISTICA 9 CFU
	FISICA TEORICA 1 9 CFU
1	BIOFISICA 9 CFU
	INTERAZIONI FONDAMENTALI
	FISICA NUCLEARE 9 CFU

A SCELTA	
ACUSTICA 2	6 CFU
DOSIMETRIA	6 CFU
ELABORAZIONE DEI SEGNALI PER LA FISICA	6 CFU
RISONANZA MAGNETICA NUCLEARE	6 CFU
ANALISI STATISTICA DEI DATI	9 CFU
BIOFISICA	9 CFU
FISICA NUCLEARE	9 CFU
MACCHINE ACCELERATRICI	9 CFU
MACCHINE ACCELERATRICI A	6 CFU
INTERAZIONI FONDAMENTALI	9 CFU
FONDAMENTI DI INTERAZIONE RADIAZIONE MATERIA	9 CFU

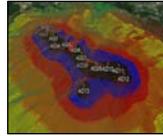
Laurea Magistrale

120 CFU di cui 45 CFU per la tesi

Fisica Applicata a:

- ❖ Beni culturali
- ❖ Ambientali
- ❖ Biologia
- ❖ Medicina

Le attività di ricerca in Acustica Ambientale presso il Dipartimento di Fisica



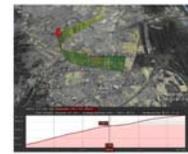
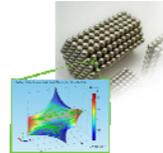
Rumore da **impianti eolici**:

- ✓ Metodi di misura dei livelli di emissione ai recettori
- ✓ Modellizzazione numerica di fenomeni di propagazione
- ✓ Valutazione dell'esposizione per studi epidemiologici



Rumore **stradale**:

- ✓ Studio e modellizzazione con metodi FEM di tecniche di misura dell'assorbimento e dell'impedenza acustica di agglomerati e schiume



Rumore **aeroportuale**:

- ✓ Modellizzazione della propagazione in ambiente urbano
- ✓ Studio dell'impatto del rumore sulle persone esposte



Acustica edilizia e architettonica:

- ✓ Studio di metodi intensimetrici per la valutazione degli indici di isolamento acustico
- ✓ Studio di nuovi modelli di diffusione sonora in ambienti.

Info @: Gaetano Licitra gaetano.licitra@arpat.toscana.it & Paolo Gallo paolo.gallo@arpat.toscana.it

Piano di studio : Fisica Medica

Acustica

(Corso di Acustica + Laboratorio, Acustica generale)

- **Acustica fisica**: descrizione e teoria dei fenomeni acustici;
- **Tecniche di misura in acustica**: metodi e strumentazione;
- Valutazione del **rumore** e dei parametri dell'inquinamento acustico;
- **La normativa nazionale e internazionale di riferimento**;
- Anatomia e fisiologia dell'organo dell'udito;



Acustica 2

- I **modelli teorici** in acustica e loro principali applicazioni;
- **Barriere acustiche**;
- Acustica in **ambienti confinati**;
- **Modellizzazione** di sale di ascolto;
- Vibrazioni in **ambiente di lavoro**;



Info @: Gaetano Licitra gaetano.licitra@arpat.toscana.it & Paolo Gallo paolo.gallo@arpat.toscana.it

Fisica Medica al Dipartimento di Fisica “E. Fermi” dell’Università di Pisa

Acustica 2

Obiettivi formativi: Fornire allo studente gli approfondimenti su argomenti di acustica ambientale, sulle tecniche avanzate di misure, sui modelli matematici di simulazione e sui loro limiti di applicazione.

La frequenza dei corsi di acustica permette un
percorso facilitato per diventare **Tecnico
Competente in Acustica Ambientale**, qualifica che
permette di poter fare misure e valutazioni per i
rispetto dei disposti previsti

(L. 447/95 “Legge quadro sull'inquinamento acustico” e Dlgs 42 17/2/2017)

- consulente in studi professionali di ingegneria o architettura
- consulente in studi che si occupano di ambiente (valutazioni di impatto ambientale, VAS...)
- Agenzie regionali per la protezione dell'ambiente
- Aziende sanitarie

Laurea Magistrale

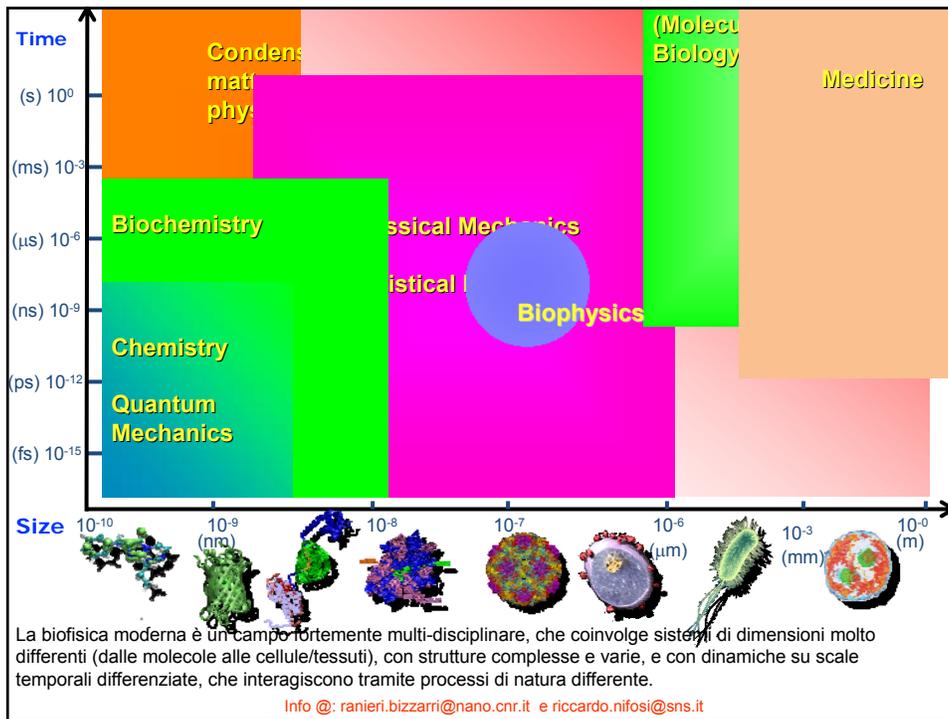
120 CFU di cui 45 CFU per la tesi

Fisica Applicata a:

- ❖ Beni culturali
- ❖ Ambientali
- ❖ **Biologia**
- ❖ Medicina

Piano di studio : Fisica Medica

Biofisica



Il corso entrerà anche nei dettagli di tecniche sperimentali in microscopia e spettroscopia utili per lo studio del funzionamento e delle interazioni dei costituenti di cellule vive ed *in-vivo*, ad esempio (a) tecniche di tracking di singola molecola per lo studio di proteine di membrana, (b) tecniche avanzate in microscopia confocale per lo studio di movimenti e interazioni di molecole in cellule vive, (c) tecniche a 2 fotoni per lo studio di neuroni in-vivo

(a)

(b)

Intensity images

Lifetime map

cdc6

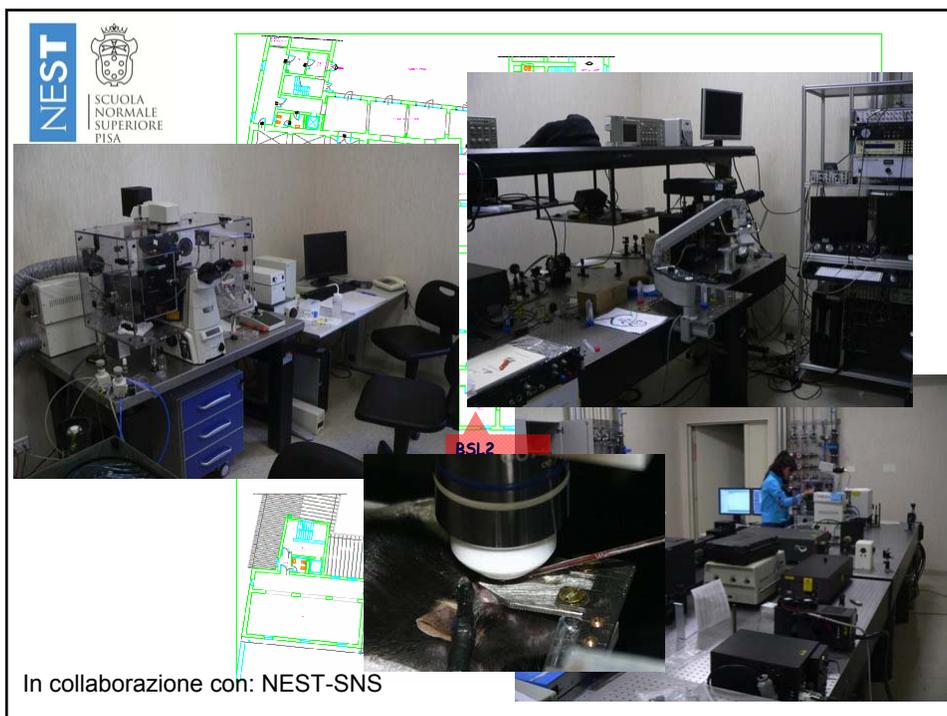
HOXC13

HOX

2.65 3.15

(c)

Info @: ranieri.bizzarri@nano.cnr.it e riccardo.nifosi@sns.it



Fisica Medica al Dipartimento di Fisica "E. Fermi" dell'Universita' di Pisa

Biofisica

Obiettivi formativi: Il corso fornisce gli elementi di base di biofisica cellulare, e descrive le tecniche spettroscopiche e microscopiche (confocale ed a forza atomica) e di dinamica molecolare con applicazioni ai sistemi fisiologici ed alla nano-biomedicina.

Fondamenti di interazione radiazione materia

Obiettivi formativi: Concetti base dell'interazione radiazione-materia. Probabilità di transizione. Matrice densità, larghezze spettrali, dinamica temporale. Quantizzazione del campo elettromagnetico ed emissione spontanea. Fluttuazioni nelle statistiche. Laser e maser. Risonanza magnetica. Risposta ottica lineare e non-lineare. Effetti coerenti. Micro- e nano-ottica

Laurea Magistrale

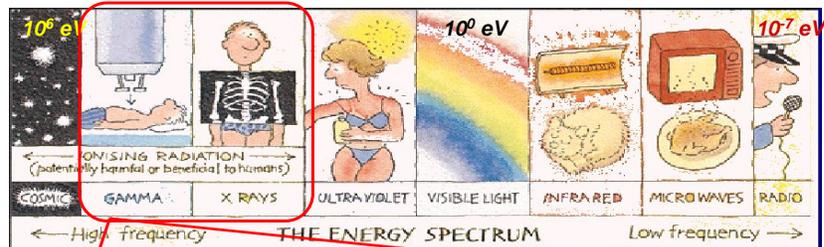
120 CFU di cui 45 CFU per la tesi

Fisica Applicata a:

- ❖ Beni culturali
- ❖ Ambientali
- ❖ Biologia
- ❖ **Medicina**

La radiazione elettromagnetica in medicina

Radiazioni ionizzanti



Diagnosi

Imaging a trasmissione **Imaging ad emissione**

RX TAC scintigrafia SPECT PET

Terapia

Radiometabolica a fasci esterni

Radiologia

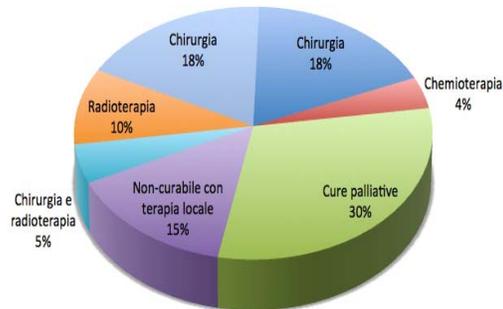
Medicina Nucleare

Trattare i tumori

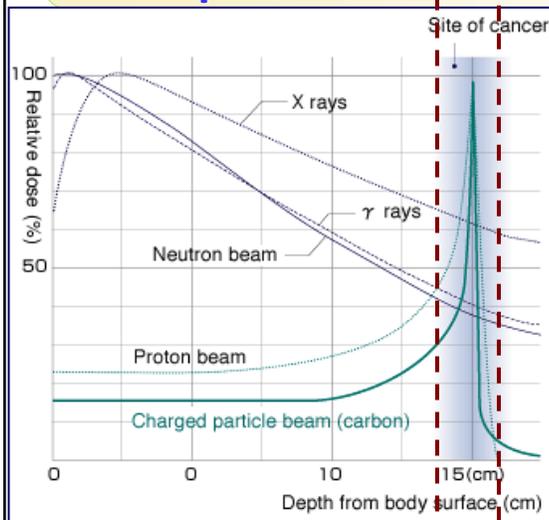
I tumori sono una delle principali cause di morte nei paesi sviluppati

Trattamenti:

- Chirurgia
- Chemioterapia
- Radioterapia



Rilascio dell'energia: particelle cariche vs fotoni



- ☐ dose relativamente bassa all'entrata (plateau)
- ☐ dose massima al picco
- ☐ rapida caduta distale



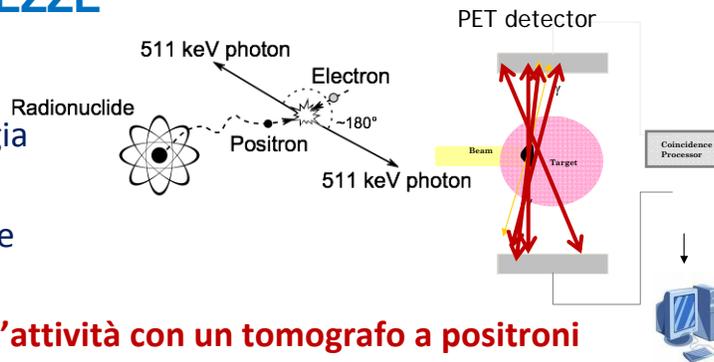
www.ptcog.ch

La PET per il monitoraggio della terapia con particelle cariche

Sorgenti di INCERTEZZE

- paziente
- radiobiologia
- Fisica
- Acceleratore

Le particelle cariche interagendo con la materia producono emettitori β^+



Misurando l'attività con un tomografo a positroni (PET) possiamo monitorare il trattamento

Un sistema PET per il monitoraggio dei trattamenti

Center	Particle	Energy	Accelerator type	Collimation
CATANA	Protons	62 MeV	Cyclotron	passive
CNAO (Pavia)	Protons /C-ions	Up to 230MeV	Synchrotron	active
Trento	Protons	Up to 230Mev	Cyclotron	active



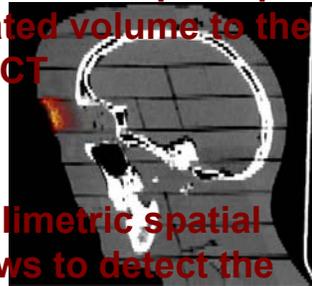
Info @: valeria.rosso@pi.infn.it

Imaging capabilities using range shifter and an antropomorphic phantom

Max proton energy 60 MeV, SOBP of 3cm, collimator: \varnothing 3 cm



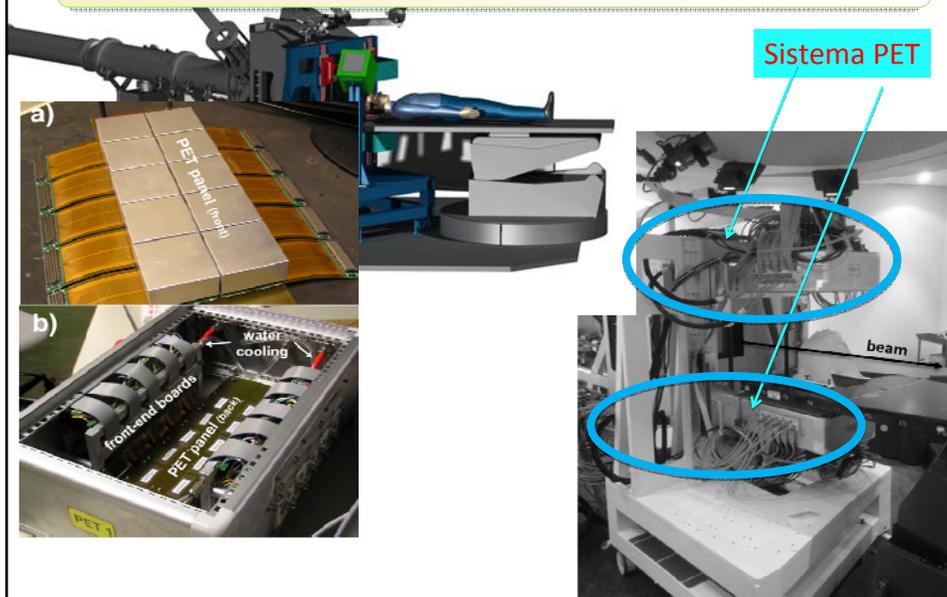
After reconstructing the data, it's possible to superimpose the activated volume to the phantom CT



The DoPET millimetric spatial resolution allows to detect the presence of the phantom eyelid and of the range shifter

Info @: valeria.rosso@pi.infn.it

Il Sistema di monitoraggio INSIDE al CNAO



Info @: giuseppina.bisogni@pi.infn.it

Il Sistema di monitoraggio INSIDE al CNAO

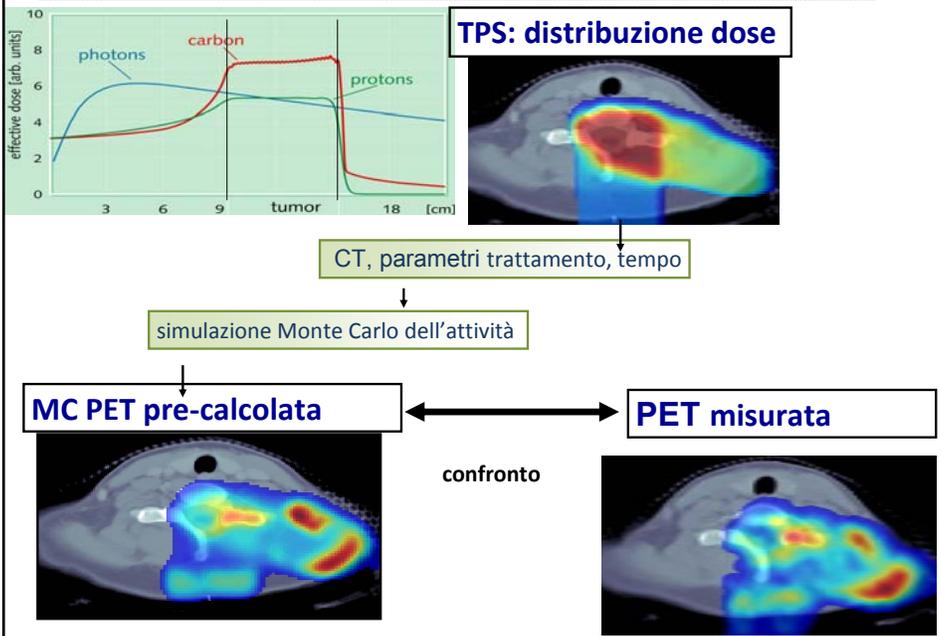


Studi preliminari su fantocci e...
In dicembre sono stati effettuati i primi monitoraggi
di trattamenti su paziente!

Info @: giuseppina.bisogni@pi.infn.it

21

Sviluppi futuri





Mercoledì 24 maggio

14,30: Caffè e pasticcini

**15,30: Fisica e Medicina: utilizzo della PET in
adroterapia**

Giuseppina Bisogni

23

**Fisica Medica al Dipartimento di Fisica
"E. Fermi" dell'Universita' di Pisa**

Fisica medica

Obiettivi formativi: Il corso fornisce le basi fisiche delle tecniche diagnostiche in radiologia con raggi X, in medicina nucleare, in ultrasonografia e in Risonanza Magnetica Nucleare. Saranno discussi elementi di radiobiologia, radioterapia ed imaging molecolare.

Laboratorio di fisica medica

Obiettivi formativi: Nel corso di laboratorio viene effettuata la caratterizzazione di scintillatori, fotorivelatori e sensori allo stato solido per la misura di campi di radiazioni ionizzanti. Saranno implementate tecniche sperimentali di imaging con sistemi diagnostici di media-alta complessita', quali TAC, SPECT, PET e MRI. Inoltre verranno effettuate simulazioni a calcolatore di codici Monte Carlo.

LABORATORIO DI FISICA MEDICA

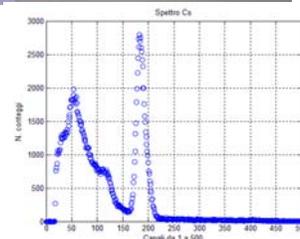
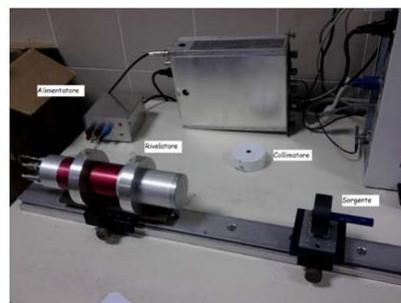
- Introduzione alle principali strumentazioni di misura di interesse in Fisica Medica e alle tecniche di analisi dei dati;
- Approfondita comprensione e capacità operativa per un'attività di ricerca e di inserimento in differenti settori di lavoro, nel campo della Fisica Medica, con particolare attenzione allo sviluppo e/o utilizzo di dispositivi fisici per diagnostica biomedica.

25

Set-up sperimentali ed esperienze didattiche



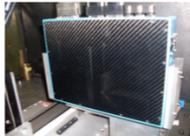
Laboratori Didattici Polo Fibonacci



Digital radiography

- Tubo radiogeno HAMAMATSU 60Kv

- Rivelatore CMOS 2307 DEXELA



- ✓ Rivelatore conversione indiretta
- ✓ Dimensioni pixel: $75 \mu\text{m}$
- ✓ Area attiva:
(229.8×64.6) $\text{mm}^2 \rightarrow (3072 \times 864)$ pixel
- ✓ Range energetico rivelazione: $12\text{--}130 \text{ kV}$
- ✓ Pixel binning: 1×1 ; 2×2 ; 3×3



- ✓ Anodo in Tungsteno ($Z=74$)
- ✓ Finestra di Berillio ($Z=4$)
- ✓ Focal spot size: 30
- ✓ Cone beam angle:
- ✓ Max d.d.p: 60 kV
- ✓ Range corrente an

- Learn to acquire a simple digital radiography
- Learn to correct pixel response using “flat fields” and “dark fields”
- Flat panel detector characterization
- Measure of the the Modulation Transfer Function (MTF) with the “slanted edge” method (spatial resolution)

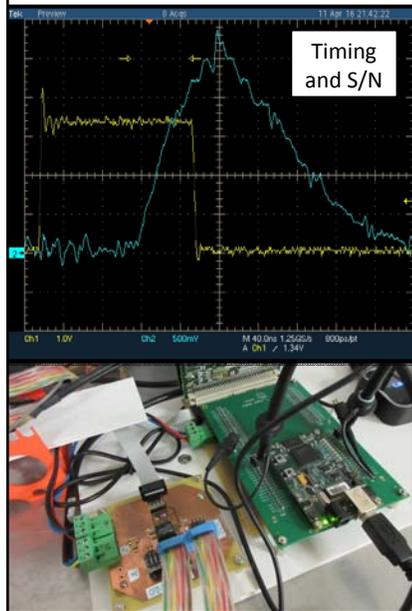


Laboratorio di Fisica medica INFN

PIPET: un dimostratore PET

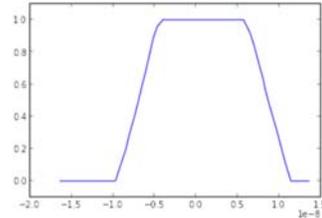


Calibration exercises

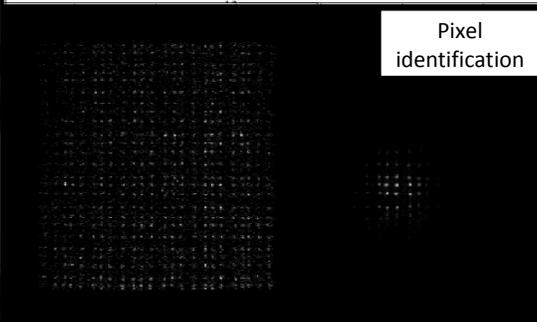


Expected FWHM = 15.62 ns
Measured FWHM = 16.98 ns
Offset = 1.12 ns

Coincidence window

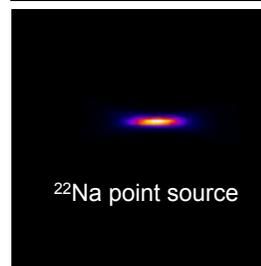
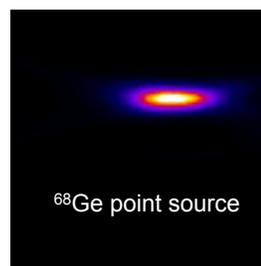


Pixel identification



Imaging with the PIPET

- Tomographic iterative reconstruction of images with PIPET
- Characterization of the PIPET using the NEMA (National Electrical Manufacturers Association) standard
 - Measurement of the spatial resolution
 - Measurement of the system sensitivity



Fisica Medica al Dipartimento di Fisica "E. Fermi" dell'Universita' di Pisa

Fisica nucleare

Obiettivi formativi: struttura e modelli dei nuclei, urti fra nucleoni, scambio di un pione e simmetria chirale, reazioni nucleari, ciclo dell'idrogeno, ciclo CNO, sintesi di elementi pesanti.

Dosimetria

Obiettivi formativi: Questo corso presenta una introduzione alla dosimetria delle radiazioni ionizzanti. Vengono illustrati concetti quali l'equilibrio delle particelle cariche, il teorema di reciprocità e la teoria delle cavità applicata a semplici calcoli di dose.

Fisica Medica al Dipartimento di Fisica "E. Fermi" dell'Universita' di Pisa

Metodi montecarlo nella fisica sperimentale

Obiettivi formativi: Fornire conoscenza sulle metodologie statistiche avanzate per la simulazione montecarlo impiegate sia nella progettazione che nella comprensione delle risposte di complessi apparati sperimentali.

Macchine Acceleratrici

Obiettivi formativi: Il corso presenterà i principi e i modi di funzionamento di acceleratori di elettroni e di protoni

Acceleratori di elettroni e di ioni

Linac



Centro Nazionale Adroterapia Oncologica, Pavia:

Diametro sincrotrone= 25m
24 quadrupoli
20 magneti



Corso : Macchine acceleratrici (9 cfu)

Why do we need high energy beams

- * Resolution of "Matter" Microscopes
→ Wavelength of Particles (γ , e, p, ...) (de Broglie, 1923)

$$\lambda = h/p = 1.2 \text{ fm}/p [\text{ GeV}/c]$$

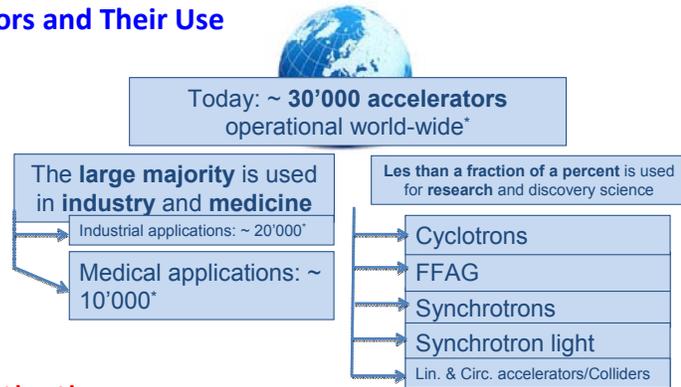
→ Higher momentum \Rightarrow shorter wavelength \Rightarrow better the resolution

- * Energy to Matter
→ Higher energy produces heavier particles

$$E = mc^2 = \frac{m_0 c^2}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} = \gamma m_0 c^2$$

- * Penetrate more deeply into matter

Accelerators and Their Use



Course Motivation

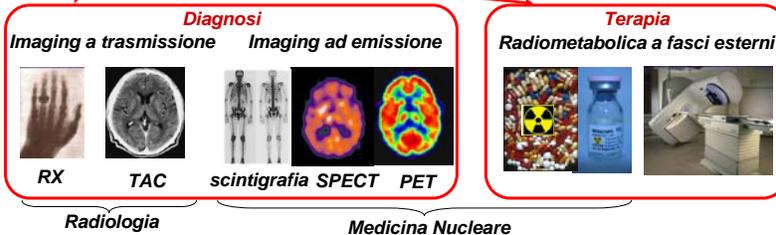
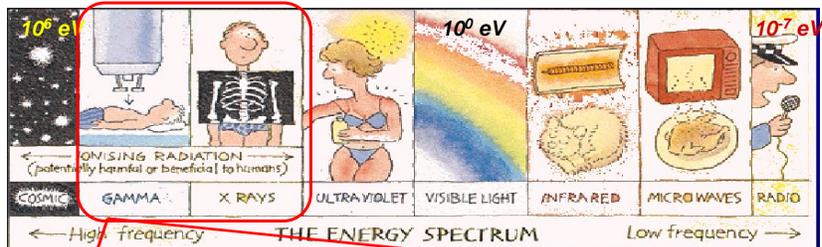
- physical mechanisms that determine the particle motion
- basic components of an accelerator
- how particles (more or less!) follow a specified path, even if our accelerator is not designed perfectly

Info @: franco.cervelli@pi.infn.it

35

La radiazione elettromagnetica in medicina

Radiazioni ionizzanti

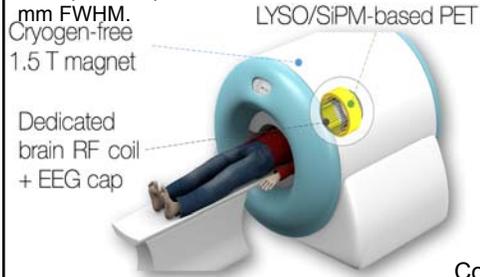


36

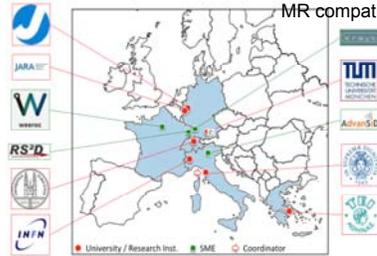
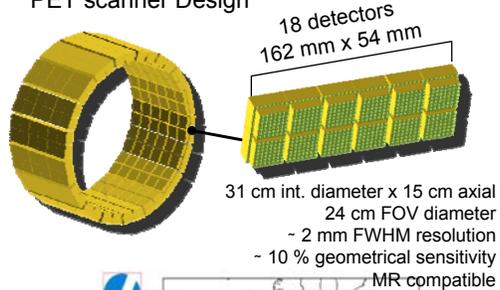
TRIMAGE project



The TRIMAGE consortium aims to develop a cost-effective, fully-integrated PET/MR/EEG brain scanner dedicated to the early diagnosis of schizophrenia and other mental health disorders. The MR component of the TRIMAGE scanner features a compact, cryogen free 1.5 T magnet while the PET designed is aimed to provide performance beyond the present state of the art for clinical PET systems with an expected spatial resolution around 2 mm FWHM.



PET scanner Design



Consorzio di 7 centri di ricerca/Univ. e 4 PMI

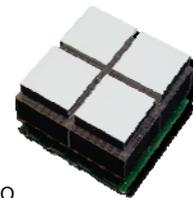
Info @: nicola.belcari@df.unipi.it

TRIMAGE ongoing

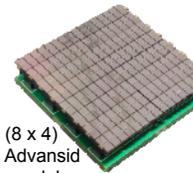


Attualmente, l'attività di sviluppo del gruppo di Fisica Medica in TRIMAGE è concentrata su:

- Sviluppo e test del rivelatore PET basato su matrici di SiPM e Cristalli scintillatori
- Sviluppo firmware e software del sistema di acquisizione dati
- Algoritmi di processamento dei dati e ricostruzione delle immagini
- Assemblaggio e caratterizzazione del sistema PET



Staggered LYSO
3.3 mm x 3.3 mm pitch
12 mm + 8 mm thickness
Oversampling+DOI



SiPM Matrix (8 x 4)
NUV type from Advansid
8 matrici per module
Readout by 4 x 64 ch TRIROC ASIC

Info @: nicola.belcari@df.unipi.it

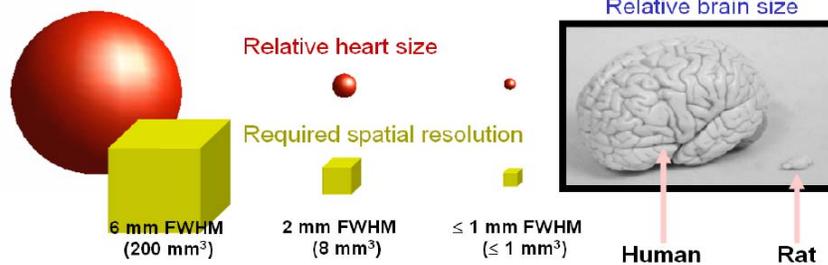
Preclinical studies

Spatial resolution requirements

Human body: ~70 kg
Heart mass: ~300 g
Aortic cannula Ø: ~30 mm
Brain cortex apex – temporal lobe: ~105 mm

Rat body: ~200 g
Heart mass: ~1 g
Aortic cannula Ø: 1.5 - 2.2 mm
Brain cortex apex – temporal lobe: ~10 mm

Mouse body: ~20 g
Heart mass: ~0.1 g
Aortic cannula Ø: 0.9 - 1.3 mm
Brain cortex apex – temporal lobe: ~6 mm



Combined PET/CT for small animals
 in collaboration with IFC-CNR Pisa



Small animal PET/SPECT
 system YAP-(S)PET.
 Tecnologia: Scintillatori
 (YAP:Ce) e PS-PMT



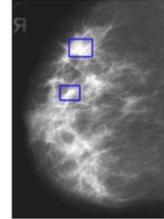
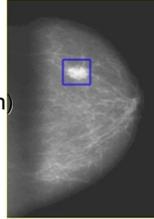
Small animal CT system XaltHR*.
 Tecnologia: CMOS detectors e
 microfocus X-ray source

- **PRECLINICAL STUDIES**
- Heart and bone metabolism
- Evaluate the efficacy of stem cells in bone regeneration
- Neoangiogenesis in a heart stroke model in rats

Temi passati e .. futuri

Principal Mammography task:

- ✓ Detection of the tumor masses
(objects with contrast < 1% and diameter \approx 1-5 mm)
- ✓ Detection of the microcalcifications
(objects with high contrast and small dimensions \approx 100 μ m)



A) Breast carcinoma surrounded

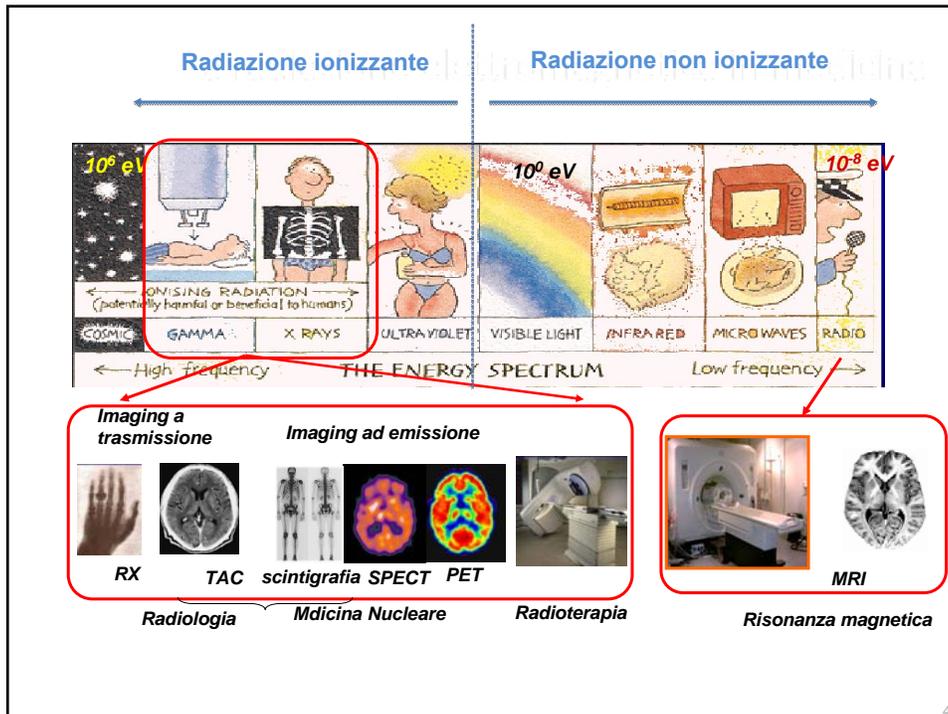
B) Breast carcinoma surrounded



Progetto RADIO IOM
(RADiazioni IOnizzanti in Mammografia)
Kick-Off Meeting

Pisa, 23 Maggio 2017

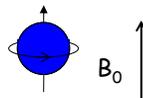
Info @: maria.evelina.fantacci@df.unipi.it



Fisica Medica al Dipartimento di Fisica "E. Fermi" dell'Universita' di Pisa

Risonanza Magnetica Nucleare

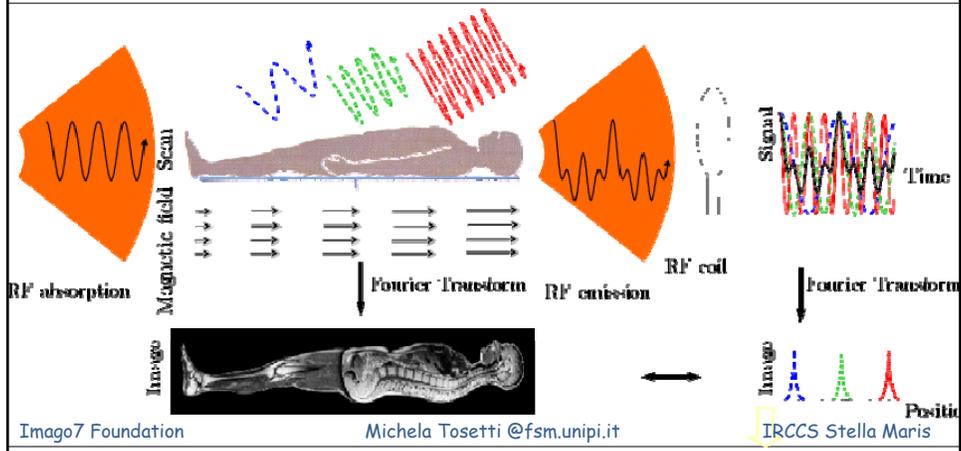
Obiettivi formativi: Il corso fornisce le conoscenze di base della RMN trattata in forma classica e quantistica. Vengono discussi i principi e le tecniche della tomografia 3D con risonanza magnetica per l'imaging "in-vivo", la spettroscopia e l'imaging funzionale.



NMR is a phenomenon given by the interaction effect between nuclear spin and magnetic field

Magnetic Fields

- A. static (B_0 + shims): $\sim T$
- B. dB/dt (gradients): $\sim mT/m$
- C. radio frequency (B_1): $\sim \mu T$





FONDAZIONE
STELLA MARIS - IRCCS
ISTITUTO DI RICOVERO E CURA A CARATTERE SCIENTIFICO
OSPEDALE DI RILIEVO NAZIONALE E DI ALTA SPECIALIZZAZIONE
PER LA NEUROPSICHIATRIA DELL'INFANZIA E DELL'ADOLESCENZA
ISTITUTO DI RIABILITAZIONE PER PATOLOGIE NEUROPSICHIATRICHE

IMAGO7

Centro di Ricerca sulle
Biotecnologie di Risonanza Magnetica
a Campo Ultra-Alto

**UOC Laboratorio di Fisica Medica e
Biotecnologie di Risonanza Magnetica**

Via dei Giacinti 2
56128 Calambrone Pisa

PISA

0T



1.5T



7T



Imago7 Foundation

Michela Tosetti @fsm.unipi.it

IRCCS Stella Maris

1000 km = 100,000,000,000 neurons

Spectroscopy

fMRI

Perfusion DTI

Imago7 Foundation

Michela Tosetti @fsm.unipi.it

IRCCS Stella Maris

IMAGO7
INFN
Istituto Nazionale
di Fisica Nucleare

Radiofrequency (RF) coil development for Ultra-High Field magnetic resonance (MR)

MRI Scanner Cutaway

- RF coil for Proton (^1H) and Phosphorous (^{31}P) signal detection
- Each channel is a single-loop RF coil
- Suitable for neuromuscular disease studies

Info @: alessandra.retico@pi.infn.it e evelina.fantacci@df.unipi.it

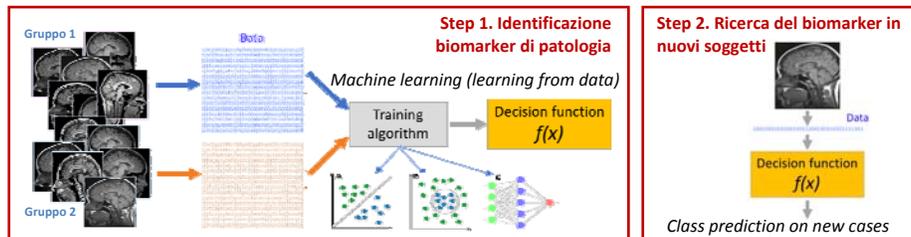
Ricerca di **Biomarker** di patologia da dati di neuroimaging

- La comprensione dei meccanismi alla base del funzionamento del nostro cervello è una delle principali sfide del nostro secolo.
- L'Imaging di Risonanza Magnetica (MRI) ha un ruolo centrale nello studio del cervello sia in condizioni patologiche che fisiologiche.

Info @: evelina.fantacci@df.unipi.it e alessandra.retico@pi.infn.it

Analisi di grandi moli di dati: *big data*

- Grandi collaborazioni internazionali mettono a disposizione decine di TB di dati strutturali e funzionali.
- Sviluppi tecnologici (e.g. MRI 7T) generano dati sempre più pesanti: ~10 GB per soggetto



- Oltre ai metodi statistici tradizionali, tecniche di analisi dati basate sull'apprendimento di regole dai dati (*machine learning*) vengono usate per identificare *biomarker* di patologia dai dati di neuroimaging.
- Studio di disturbi neurologici (Alzheimer, Parkinson, SLA) e psichiatrici (Autismo, ADHD, etc.)

Info @: alessandra.retico@pi.infn.it e evelina.fantacci@df.unipi.it

Fisica Medica al Dipartimento di Fisica "E. Fermi" dell'Universita' di Pisa

Elaborazione dei segnali

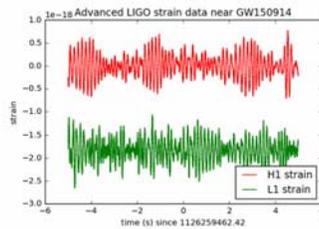
Obiettivi formativi: Fornire conoscenza su metodologie avanzate di analisi ed integrazione di segnali: filtri ottimi / adattativi, Total Least Squares, analisi a Componenti Indipendenti; rivelazione di eventi, classificazione, apprendimento e validazione

Elaborazione dei segnali per la fisica

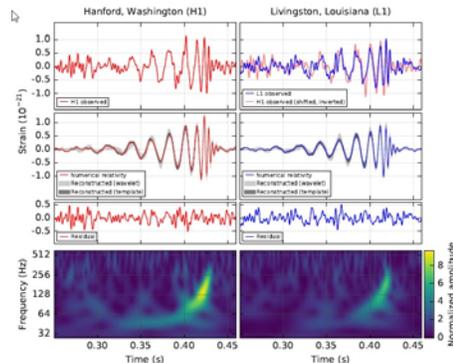
- Caratteristiche dei segnali di interesse fisico.
- Trasformate di Fourier discrete e a tempo discreto.
- Trasformata z.
- Sistemi lineari tempo invarianti ad impulso finito ed infinito.
- Filtri digitali: principi di disegno.
- Segnali casuali: teorema di Wiener-Kintchine.
- Teorema del campionamento.
- Conversione D/A e A/D.
- Stime spettrali

Elaborazione dei segnali per la fisica

- Ricerca di onde gravitazionali
- Sismologia, sismologia di esplorazione
- Analisi dei segnali biomedici (ECG, EEG)
- Acustica
- In generale, nozioni di analisi dei segnali sono necessari ovunque una quantità fisica dipendente dal tempo viene digitalizzata ad intervalli regolari.



- Elaborazione dei dati di LIGO: il segnale GW150914

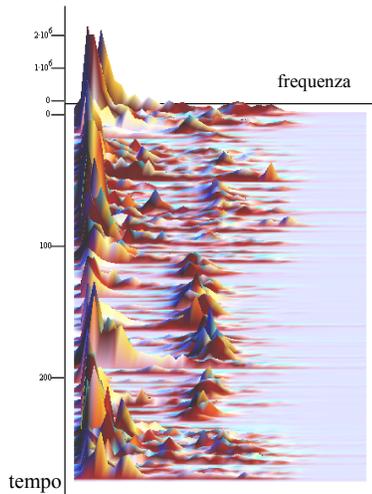


Info @: isidoro.ferrante@df.unipi.it

Programma

- Segnali a tempo discreto e a tempo continuo;
- Segnali aleatori
- Operazioni tra segnali: correlazione e convoluzione;
- Trasformate di Fourier;
- Teorema di Nyquist;
- Teorema di Wiener -Kintchine;
- Stime spettrali non parametriche;
- Lo spettrogramma;
- Sistemi dinamici LTI;
- Risposta in frequenza e in impulso.
- Filtri FIR ed IIR;
- Trasformata z;
- Disegno di semplici filtri: filtro derivatore, filtro adattato.
- Cenni sulle tecniche di conversione analogico-digitale.
- Dimostrazioni con Matlab – non richiesto all'esame.

Elaborazione dei segnali



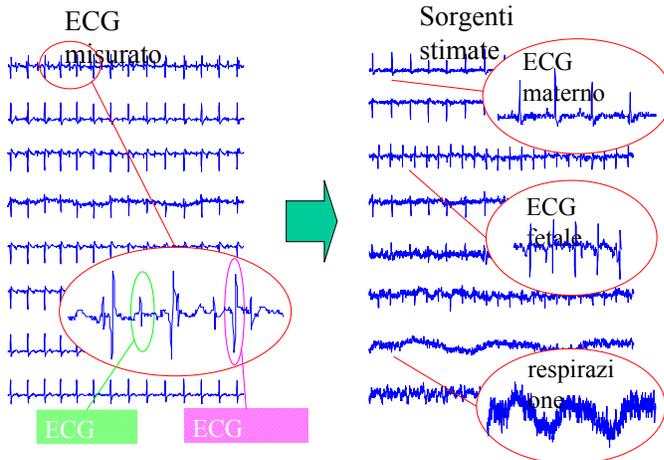
Estrarre informazione di interesse da un sistema di segnali contenenti rumore, artefatti ed altre componenti

Info @: maurizio.varanini@ifc.cnr.it

Stima di un modello che separa l'informazione di interesse

Estrazione dell'ECG fetale dall' ECG addominale materno

Modello:
mixing istantaneo e lineare di sorgenti indipendenti



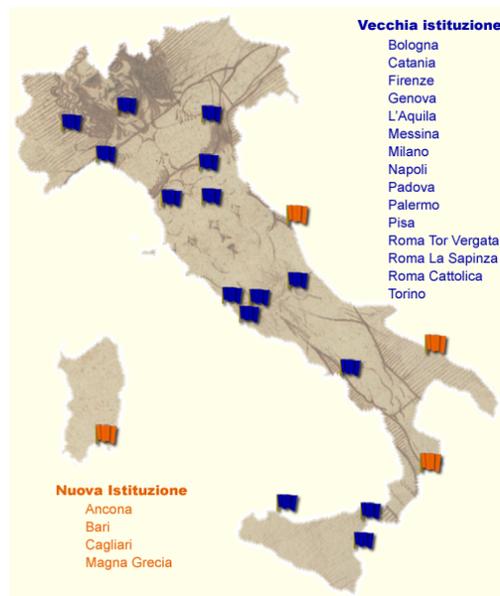
Info @: maurizio.varanini@ifc.cnr.it

..... per “il futuro”

❖ **Dottorato in Fisica**

❖ **Scuola di Specializzazione in Fisica Medica**

Scuole di specializzazione in Italia



Il fisico medico

è una figura professionale che applica i principi e le metodologie della fisica in medicina, nei settori della prevenzione, della diagnosi e della cura, al fine di assicurare la qualità delle prestazioni erogate e la prevenzione dei rischi per i pazienti, gli operatori e gli individui della popolazione in generale

IL FISICO IN AMBITO SANITARIO

E' la figura professionale che applica i principi e le metodologie della fisica a scopo sanitario nell'ambito del Servizio Sanitario Nazionale

Fornisce al medico le indicazioni necessarie per utilizzare al meglio e in modo sicuro le tecnologie

Caratterizzazione delle apparecchiature
Controlli di qualità
Valutazione delle tecnologie
Scelta delle apparecchiature idonee