

Università degli Studi di Catania

Facoltà di Ingegneria – Corso di Laurea in Ingegneria Informatica

Tesi di Laurea

**UN SIMULATORE IN C++ BASATO SU GEANT4
PER LO STUDIO DI SENSORI NELLA
TOMOGRAFIA AD EMISSIONE DI POSITRONI**

Fabio Vincenzo Salamone

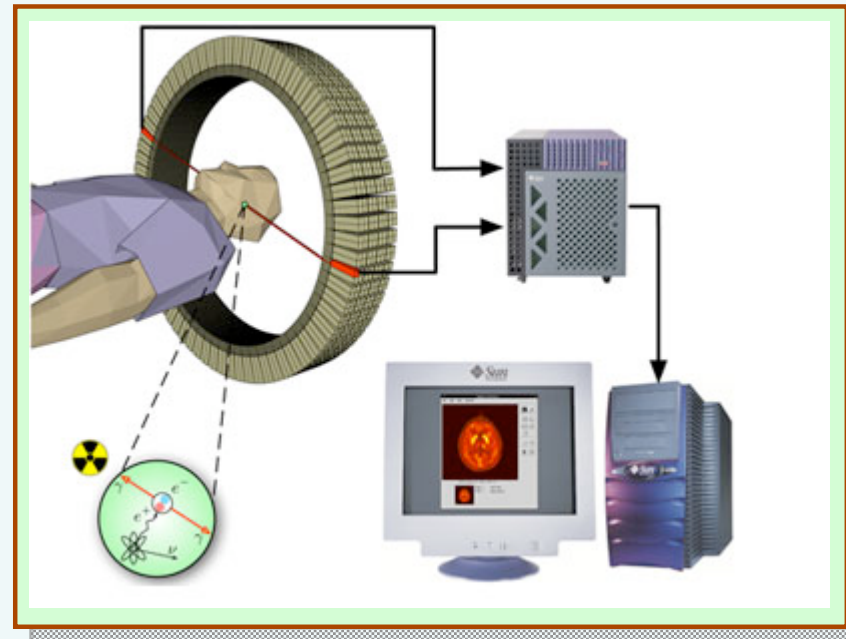
Relatori:

Prof. Michele Malgeri

Dott. Paolo Finocchiaro

SOMMARIO

- Motivazione fisica
- Scelte informatiche
- Sviluppi effettuati
- Configurazioni
- Risultati
- Prospettive
- Conclusioni



Schema funzionale di una PET

PET (Tomografia ad Emissione di Positroni)

Strumento di diagnostica oncologica

Tecnica di medicina nucleare

- Immagini tridimensionali
- Mappe processi funzionali

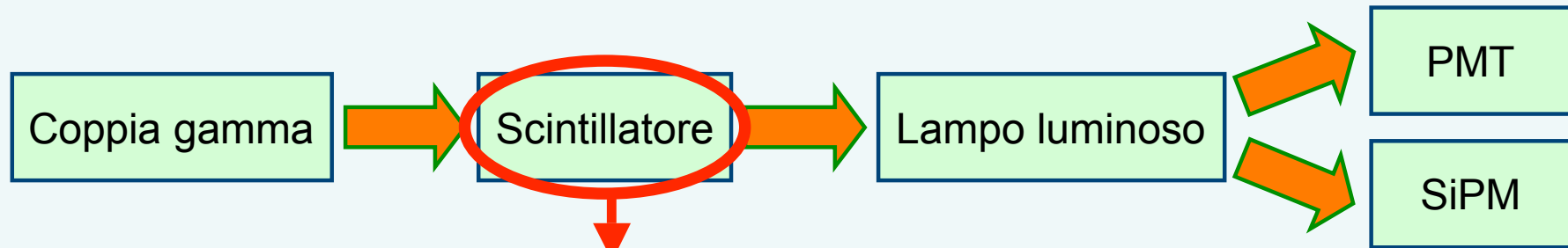


Tipica PET in ambito medico

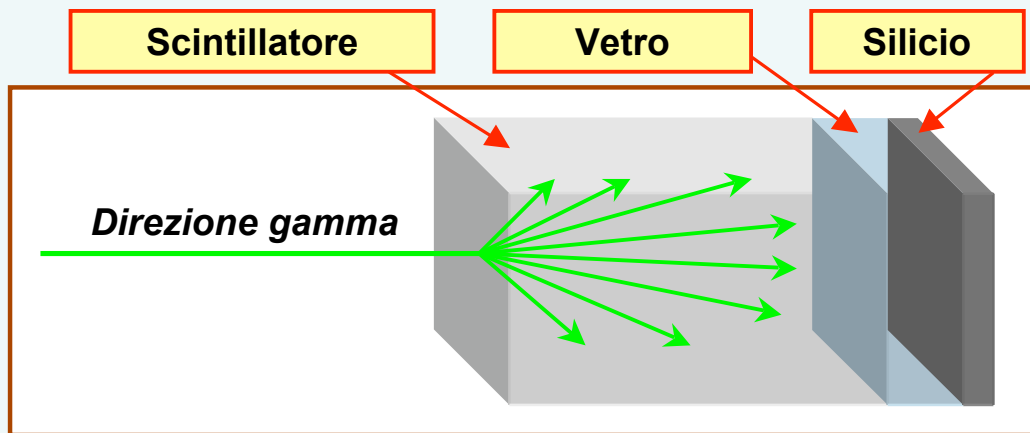
FUNZIONAMENTO DELLA PET

- Iniezione isotopo tracciante (FDG)
- Decadimento isotopo ed emissione positrone
- Annichilazione positrone-elettrone
- Produzione coppia raggi gamma da 511 keV
- Rivelazione coppia di gamma tramite **sensori**

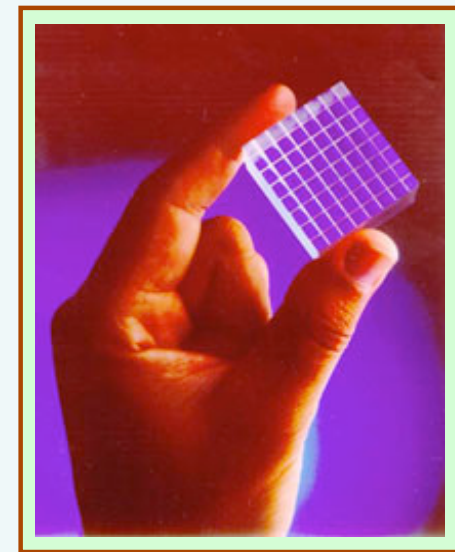
SENSORI



Materiale in grado di emettere impulsi di luce se attraversato da fotoni ad alta energia (raggi gamma da 511 keV)



Configurazione logica dei sensori sviluppati in questa tesi



SCELTE INFORMATICHE

C++



Object Oriented



Incapsulamento

Polimorfismo

Ereditarietà

GEANT4



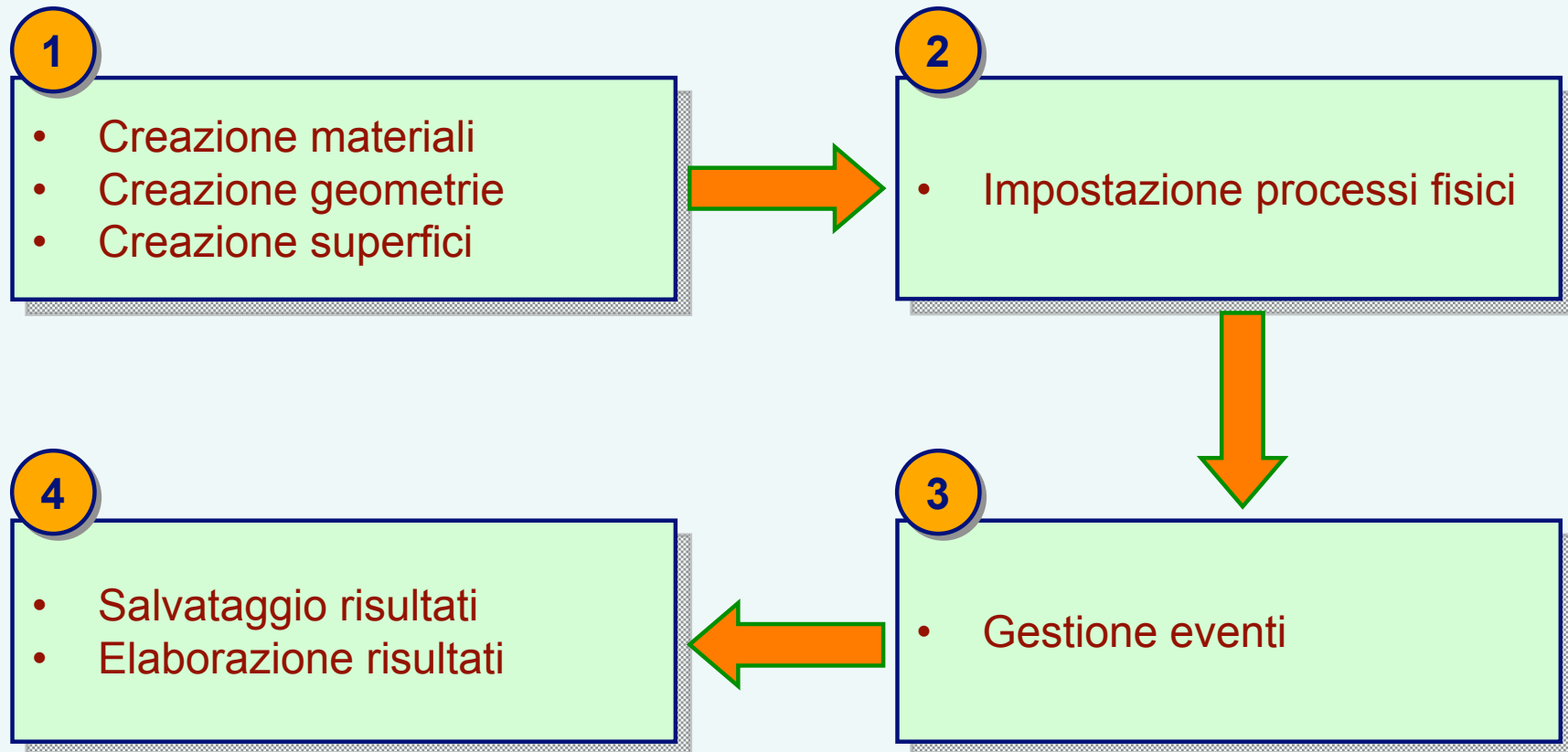
Gestione ad eventi



Passaggio di particelle
attraverso la materia

C++ E GEANT4

SVILUPPO DEL SOFTWARE

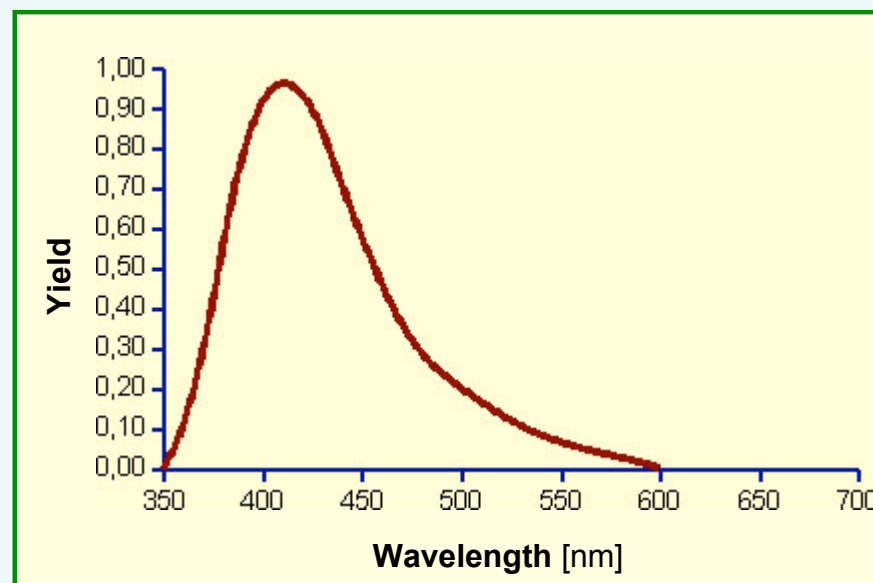


MATERIALI SIMULATI

Scintillator	Refractive Index	Scint. Yield [phot/MeV]	Decay time [ns]	Abs. Length [cm]
• CsI (Caesium Iodide)	1,8	50000	1000	35
• LSO (Lutetium Oxy-Orthosilicate)	1,82	26000	40	50
• BGO (Bismuth Germanate)	2,15	9000	300	400
• BC408 (Plastic Scintillator)	1,58	10000	2,1	330



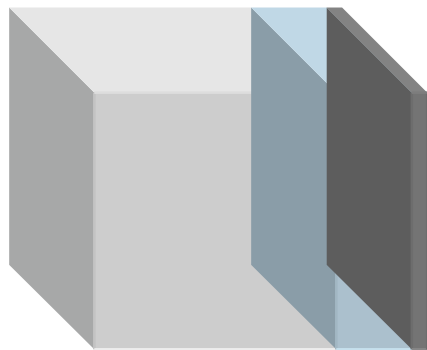
Cristalli di scintillatore



Resa di scintillazione dell'LSO

GEOMETRIE SIMULATE

A CUBO

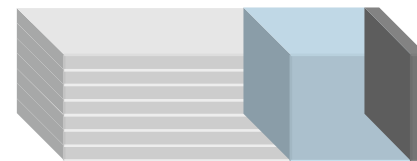


CsI
LSO
BC408

BAST. E SANDWICH CORTO (λ)



CsI
BGO
LSO



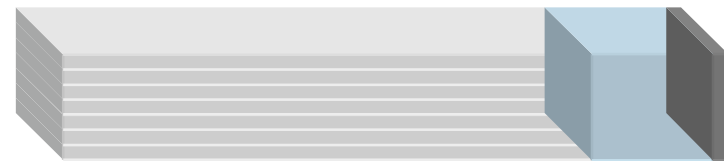
CsI-BC408
BGO-BC408
LSO-BC408

A BASTONCINO E SANDWICH

CsI BGO LSO

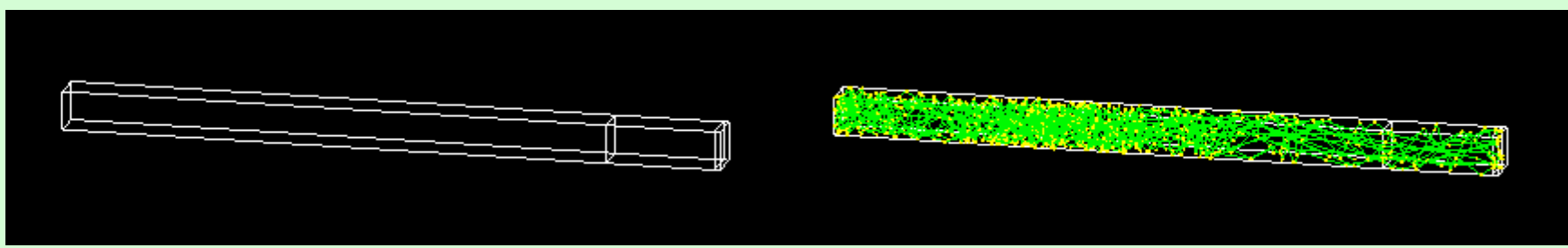


CsI-BC408 BGO-BC408 LSO-BC408



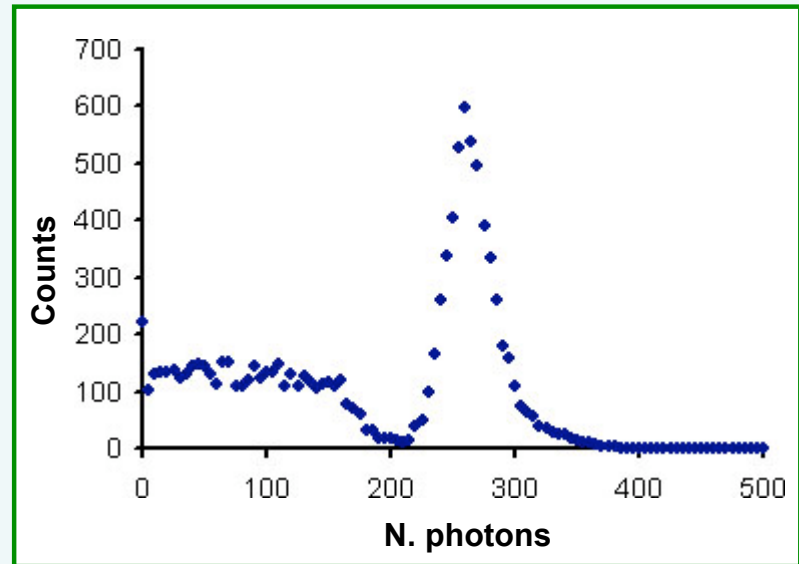
GEOMETRIA A BASTONCINO CON CsI

```
G4double Scintillator_dim_x = 2.5*cm;  
G4double Scintillator_dim_y = 1.75*mm;  
G4double Scintillator_dim_z = 1.75*mm;  
  
G4double Scintillator_pos_x = 0.*cm;  
G4double Scintillator_pos_y = 0.*cm;  
G4double Scintillator_pos_z = 0.*cm;  
  
G4ThreeVector Scintillator_position = G4ThreeVector  
    (Scintillator_pos_x, Scintillator_pos_y, Scintillator_pos_z);  
  
G4Box* Scintillator_box = new G4Box("Scintillator_box",  
    Scintillator_dim_x, Scintillator_dim_y, Scintillator_dim_z);  
  
Scintillator_log = new G4LogicalVolume(Scintillator_box, CsI, "Scintillator_log");  
  
Scintillator_phys = new G4PVPlacement(0, Scintillator_position,  
    Scintillator_log, "Scintillator", experimentalHall_log, false, 0);
```

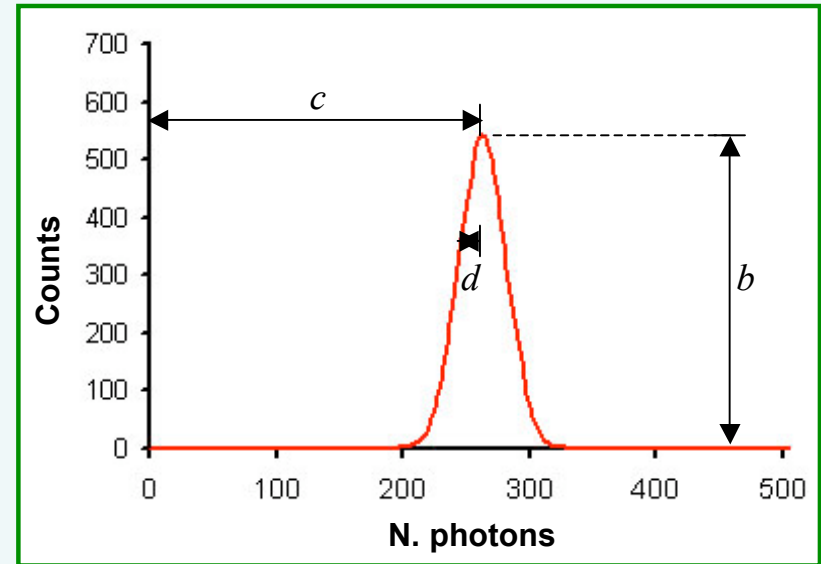


Esempio di configurazione a bastoncino prima e dopo l'esecuzione della simulazione

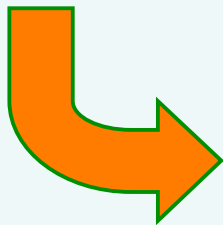
NUMERO DI FOTONI RILEVATI PER EVENTO



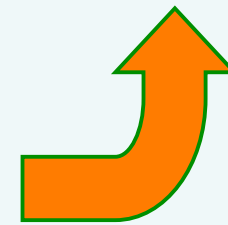
Numero di fotoni rivelati per evento (dati)



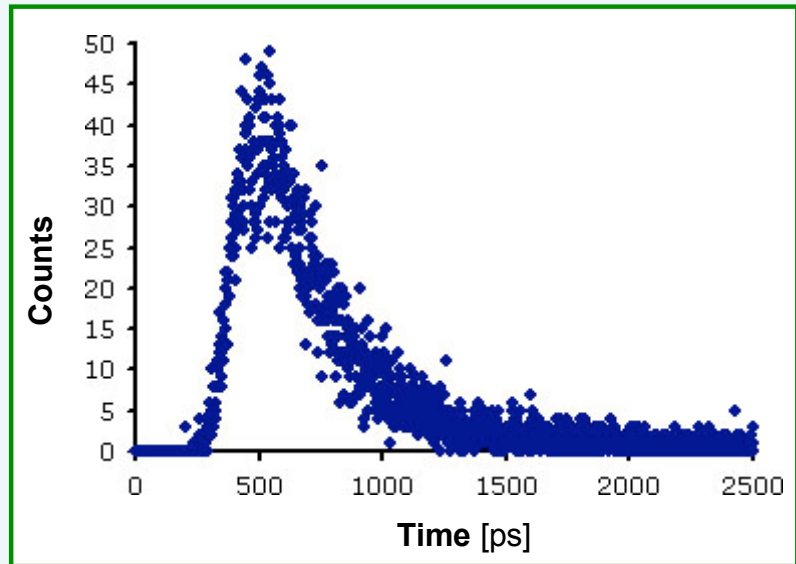
Fit con una funzione gaussiana



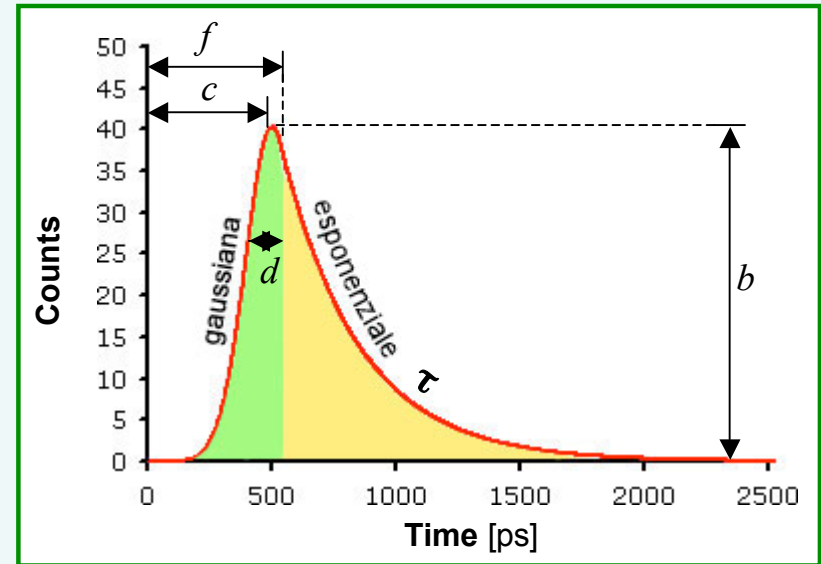
$$f(x) = b \cdot e^{-\frac{1}{2} \left(\frac{x-c}{d} \right)^2}$$



TEMPO DI ARRIVO DEL PRIMO FOTONE



Tempo di arrivo del primo fotone



Fit con una funzione gaussiana/esponenziale

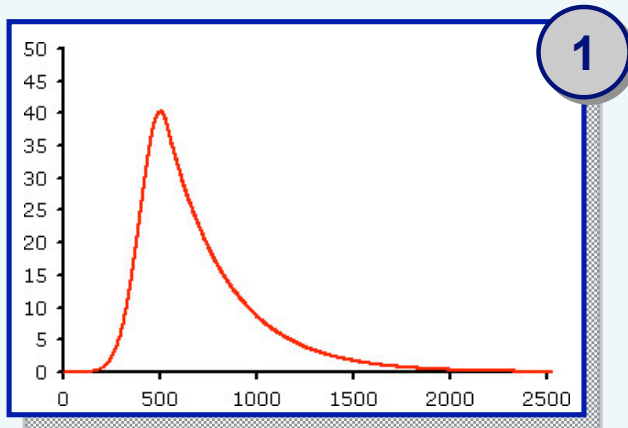
$$f(x) = \begin{cases} b \cdot e^{-\frac{1}{2} \left(\frac{x-c}{d} \right)^2} & \text{se } x < f \\ b \cdot e^{-\frac{1}{2} \left(\frac{c-f}{d} \right)^2} \cdot e^{-\frac{x-f}{\tau}} & \text{se } x > f \end{cases}$$

TABELLA DEI RISULTATI

SENSOR PROPERTIES				TIME						N. PHOTONS				
scintillator	geometry [cm]	particle	geoeff.	offset	ampl	avg.	sigma	tau	(tau + sigma) / 2	ampl.	avg.	sigma	photo-peak eff.	resol. (sigma / avg.)
CsI	5x5x5	p	1	607,2	195,0	573,7	112,5	377,9	245,2	646,9	3948,4	61,4	0,995	0,016
BC408	5x5x5	p	1	349,4	492,3	338,7	14,4	19,4	16,9	273,6	848,4	29,2	1,000	0,034
LSO	5x5x5	p	1	449,2	148,1	429,6	40,1	82,2	61,2	559,4	1313,2	35,5	0,996	0,027
CsI	5x5x5	γ	1	692,1	119,2	614,5	188,4	457,2	322,8	401,4	4004,2	68,8	0,692	0,017
BC408	5x5x5	γ	1	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/
LSO	5x5x5	γ	1	489,2	104,1	433,0	66,9	79,5	73,2	502,4	1333,6	37,0	0,933	0,028
CsI	0.35x0.35x5	γ	1	580,0	21,6	600,7	169,0	896,6	532,8	33,6	2252,7	75,4	0,212	0,033
LSO	0.35x0.35x5	γ	1	486,3	21,5	447,0	75,8	146,2	111,0	93,3	729,3	29,6	0,462	0,041
BGO	0.35x0.35x5	γ	1	624,0	3,6	665,6	139,3	1450,0	794,7	83,3	305,2	18,5	0,644	0,061
CsI	0.35x0.35x5	γ	0.36	711,3	32,7	685,0	226,2	1948,0	1087,1	210,5	813,0	43,9	0,232	0,054
LSO	0.35x0.35x5	γ	0.36	539,1	40,3	503,3	105,7	311,6	208,6	544,2	262,8	18,7	0,509	0,071
BGO	0.35x0.35x5	γ	0.36	935,0	4,8	962,2	378,4	3278,8	1828,6	489,4	108,3	10,4	0,641	0,096
CsI-BC408	0.35x0.35x5	γ	0.36	644,0	34,8	625,2	188,8	1895,5	1042,2	185,8	879,3	45,5	0,212	0,052
LSO-BC408	0.35x0.35x5	γ	0.36	517,7	43,4	487,0	95,1	293,9	194,5	498,5	284,6	19,4	0,484	0,068
BGO-BC408	0.35x0.35x5	γ	0.36	886,0	5,8	808,4	244,8	2764,8	1504,8	410,6	133,1	11,9	0,611	0,089
CsI	0.35x0.35x2.5	γ	0.36	530,0	32,7	503,4	221,8	1432,5	827,2	145,2	1283,5	55,4	0,202	0,043
LSO	0.35x0.35x1.2	γ	0.36	240,3	42,9	217,6	65,4	188,7	127,0	291,9	518,9	22,6	0,331	0,044
BGO	0.35x0.35x1.2	γ	0.36	604,0	4,8	558,8	310,3	2133,6	1222,0	245,3	181,9	13,6	0,418	0,075
CsI-BC408	0.35x0.35x2.5	γ	0.36	469,7	35,2	450,9	161,5	1385,7	773,6	125,9	1350,8	62,1	0,196	0,046
LSO-BC408	0.35x0.35x1.2	γ	0.36	215,6	47,4	202,4	49,4	184,8	117,1	265,9	542,6	24,2	0,323	0,045
BGO-BC408	0.35x0.35x1.2	γ	0.36	448,0	5,3	446,1	175,1	2008,9	1092,0	215,9	199,3	15,1	0,408	0,076

INTERPRETAZIONE DEI RISULTATI

scintillator	geometry [cm]	particle	geoeff.	offset	ampl	avg.	sigma	1 tau	(tau + sigma) / 2	ampl.	avg.	2 sigma	photo-peak eff.	resol. (sigma / avg.)
CsI-BC408	0.35x0.35x2.5	γ	0.36	469,7	35,2	450,9	161,5	1385,7	773,6	125,9	1350,8	62,1	0,196	0,046
LSO-BC408	0.35x0.35x1.2	γ	0.36	215,6	47,4	202,4	49,4	184,8	117,1	265,9	542,6	24,2	0,323	0,045
BGO-BC408	0.35x0.35x1.2	γ	0.36	448,0	5,3	446,1	175,1	2008,9	1092,0	215,9	199,3	15,1	0,408	0,076



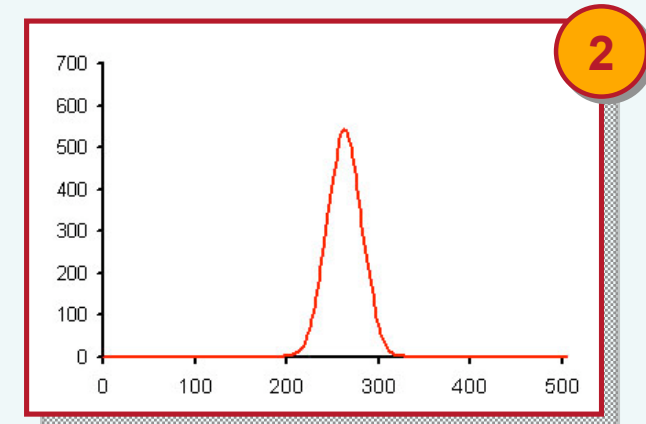
(tau + sigma) / 2: risoluzione temporale → larghezza della distribuzione del tempo di arrivo del primo fotone

efficienza di fotopicco: probabilità di interazione tramite effetto fotoelettrico → il gamma rilascia tutta la sua energia dentro lo scintillatore

risoluzione: minima variazione apprezzabile del numero di fotoni che possono essere rivelati → indeterminazione della misura di energia

$$p.p.e. = \frac{ampl \cdot sigma \cdot \sqrt{2\pi}}{n}$$

$$res = \frac{sigma}{avg}$$



PROSPETTIVE

- Test protoni **OK**
- Test gamma **OK**

- Bastoncino **OK**
- Bastoncino corto **OK**

- Sandwich **OK**

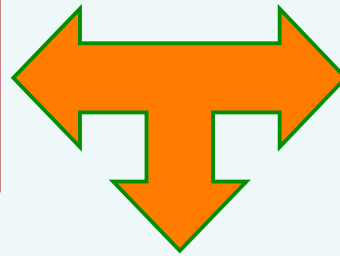
SANDWICH CORTO

Risultati promettenti dal
punto di vista temporale

SiPM

PROSPETTIVE

**Campo
fisico-applicativo**



**Campo
medico-oncologico**

**Ingegneria
del software**

**Simulazione di svariate geometrie e materiali
con risparmio di risorse umane ed economiche**

FINE

**Grazie per la cortese
attenzione!**

Ringraziamenti

- *Dott. Paolo Finocchiaro*
- *Prof. Michele Malgeri*
- *I LNS-INFN per l'ospitalità*