APPLICAZIONE DI TECNICHE NUCLEARI NEL CAMPO DELLA SICUREZZA E DEL CONTRASTO DEL CONTRABBANDO

Giuseppe Viesti

Collaborazione EXPLODET

Istituto Nazionale di Fisica Nucleare

Dipartimento di Fisica, Università di Padova

Villa Gualino 2001

Programma delle Lezioni

1) Generalità sulla rivelazione di esplosivi nascosti
2) Applicazioni di tecniche nucleari nello sminamento umanitario.
3) Genaralità sul munizionamento inesploso (UXO) ed armi chimiche.
4) Sistemi anti-contrabbando: droghe.
5) Sistemi per la repressione del contrabbando di auto ed anti immigrazione clandestina.

Ricerca di Esplosivi Nascosti

Campo di applicazione:

1) Sicurezza aereo-portuale
2) Anti-terrorismo
3) Bonifica campi minati
4) Bonifiche per edilizia civile

Esigenze:

1) Scanning rapido per identificare targets sospetti
2) Rivelazione ed Identificazione della presenza di esplosivi in targets sospetti

TABELLA I

Proprietà fisiche e composizione percentuale in peso di alcuni comuni materiali esplosivi.

Materiale	Stato fisico	Densità (g/cm3)	H(%)	C(%)	N(%)	O(%)	Altro
Nitroglicerina	Liquido	1.6	2.2	15.9	18.5	63.4	
Nitrato di ammonio	Solido	1.7	5.0	0.0	35.0	58.0	
Polvere nera	Solido	1.7-1.95	0.5	11.0	10.5	36.0	10%S 29%K
Nitrocellulosa	Solido	1.5-1.7	2.4	24.3	14.1	59.2	
PETN	Solido	1.76	2.4	19.0	17.7	60.7	
TNT	Solido	1.5-1.6	2.2	37.0	18.5	42.3	
C-3	Solido	1.58-1.62	2.9	22.8	32.8	41.6	
C-4	Solido	1.64-1.66	3.6	21.9	34.5	40.2	
Comp B	Solido	1.71	2.7	24.4	30.5	42.7	
Tetryl	Solido	1.57-1.71	1.8	29.3	24.4	44.6	
Dinamite	Solido	1.25	4.0	14.0	15-20	59	10%Na
Trinitroanisole	Solido	1.41	2.1	34.6	17.3	46.1	
Trinitroxilene	Solido	1.60	3.5	42.4	16.5	37.6	
Cordite	Solido	1.66			13.1		

TABELLA II

Tecniche per lo sminamento in sviluppo e/o disponibili (fonte NATO)

Sensor Technology	Maturity	Cost & Complexity
Passive Infrared	Near	Medium
Active Infrared	Near	Medium
Polarized Infrared	Near	Medium
Passive Electro-Optical	Near	Medium
Multi-hyperspectral	Far	High
Passive mm-Wave	Far	High
mm-Wave radar	Near	High
Ground Penetrating radar	Near	Medium
Ultra-wideband radar	Far	High
Active acoustic	Mid	Medium
Active sismic	Mid	Medium
Magneting field sensing	Near	Medium
Metal detection	Available	Low
Neutron activation analysis	Near	High
Charged Particle detection	Far	High
Nuclear Quadrupole Res.	Far	High
Chemical sensing	Mid	High
Biosensors	Far	High
Dogs	Available	Medium
Prodding	Available	Low

Ricerca di esplosivi nascosti: Requirements generali

Dal punto di vista tecnico:

- **Individuazione della caratteristica chimico-fisica discriminante tra esplosivo e background che ottimizzi il rapporto segnale-rumore.**
- **Determinazione delle quantità minime di esplosivo da rivelare**
- **Determinazione dei tempi di misura compatibili con l' applicazione**
- **Stima della detection probability e del numero di falsi positivi e falsi negativi**

Dal punto di vista economico:

- **Stima dei tempi e dei costi di sviluppo**
- **Stima del volume del mercato**
- **Definizione del Business Plan**

Objectives

Remote minefield detection to delineate mined areas

Benefits Identification of the mined areas and focusing of the close-in search resources.

Vehicle based mine detection

Benefits Maintenance of transportation infrastructure

Handheld mine detection

Benefits Improvement in the productivity of current practices
Restoration of productive land
Reduction in medical costs

JRC Developing a mine detecting product

HAND-HELD MINE DETECTOR AS A POSSIBLE EXAMPLE

APPROX 4 YEARS TO FIELD PRODUCT (2 Y DEV AND 2 PROD)

30% SHARE OF THE MARKET OF 2000 UNITS

SALES OF APPROX 580 UNITS OVER A 10 YEAR PERIOD

COST OF DEVELOPMENT, PRODUCTION, FIELD SUPPORT= $4M

COMPANY INVESTMENT = $2M (NO INTEREST FACTORED)

A BREAKEVEN FROM 5 TO 9 YEARS IS FINANCIALLY RISKY FOR A PRODUCT WITH NO CLEARLY IDENTIFIED CUSTOMER

David.Daniels@era.co.uk

Market

Product	Cost	Volume	User	IN THE FIELD?
Remote	High	Low	Expat	>5 years
Vehicle	High	Low	Expat	>3 years
Hand-held Multi-high	Med	Med	Expat Indigenous	>3 years
Hand-held Multi-low	Med./low	Med./High	Indigenous Expat	>3year

David.Daniels@era.co.uk

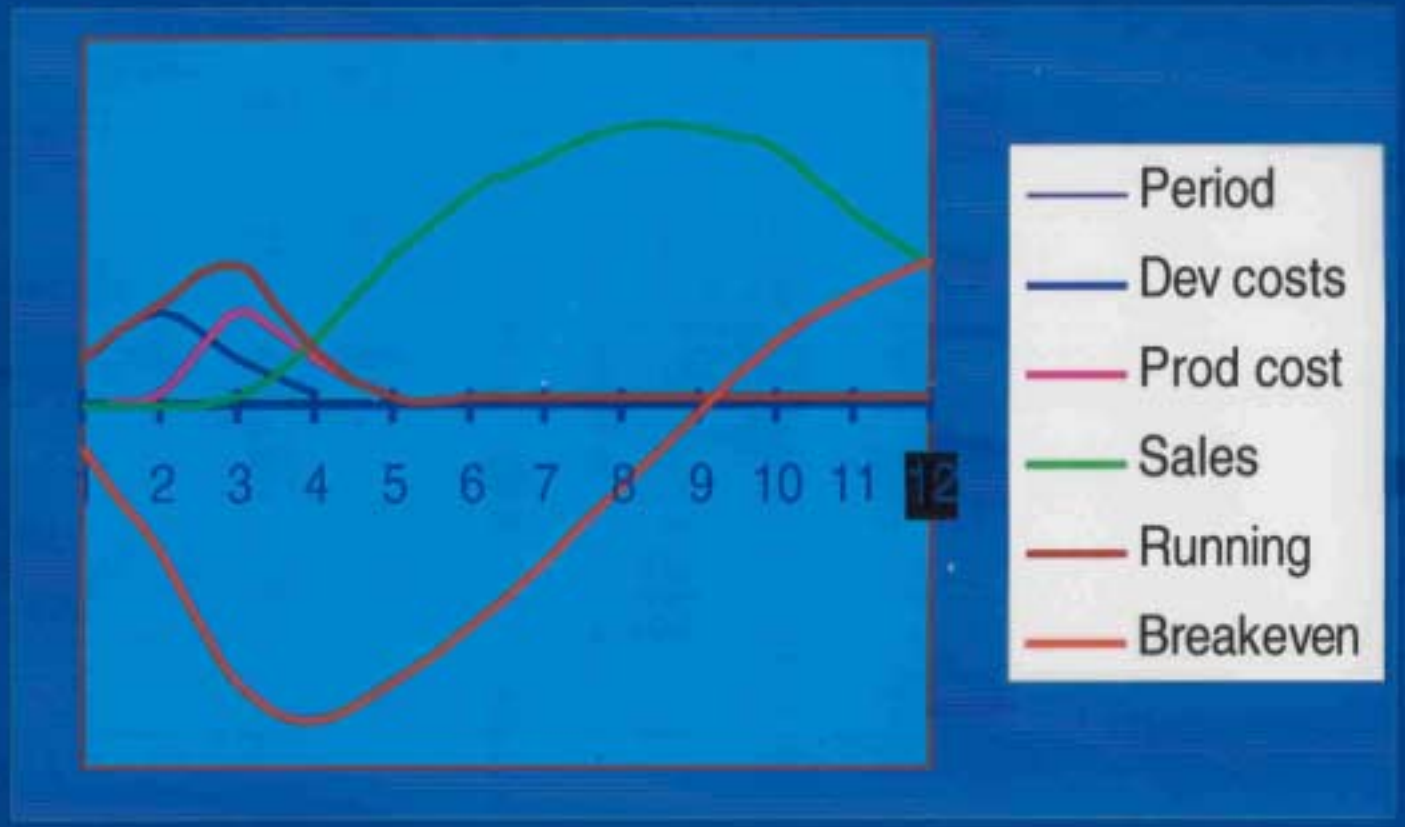
JRC Developing a mine detecting product

Prices in US Dollars ?

Product	Unit price	Volume	Total	Time
Remote	>1M	>25	>25M	>10 Y
Vehicle	>250k	>250	>62.5M	>5 Y
Hand-held Multi-high	>25k	>2000	>50M	>10 Y
Hand-held Multi-low	>5k	>20,000	>100M	>10 Y
Metal detectors	>5k	>50.000	>250M	>1998

David.Daniels@era.co.uk

JRC Developing a mine detecting product

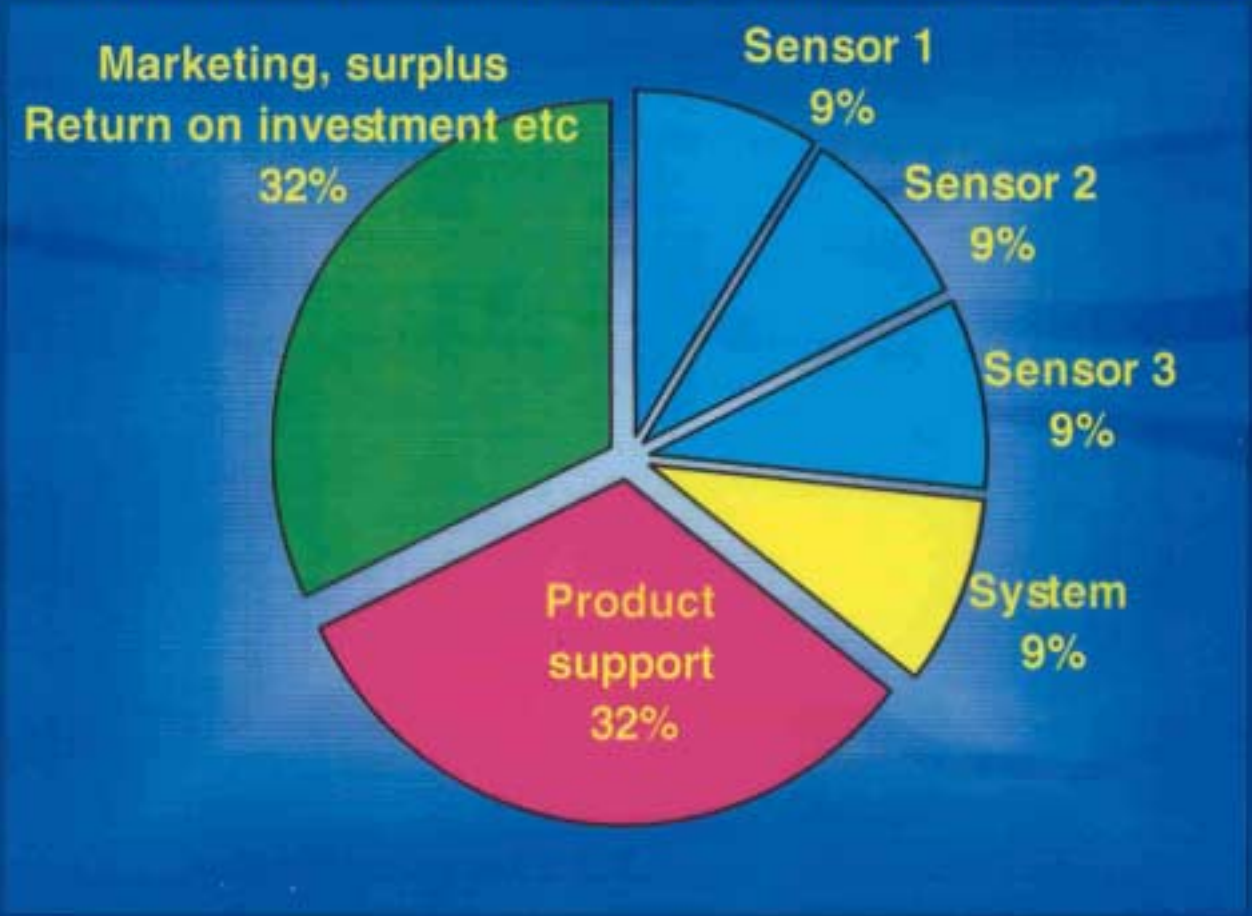


Initial assessment model of the financial history of a product development
Dev. and production year 3, peak sales year 8, 30% recovery on price
600 units at a sales price of ???????

Breakeven 9 years after start

David.Daniels@era.co.uk

Breakdown of the hand-held, multi-sensor, mine detector product pricing



David.Daniels@era.co.uk

Ricerca di esplosivi nascosti: Requirements generali-Esempi

Applicazione	Quantità minima da rivelare	Tempo di misura caratteristico
Sicurezza Aeroportuale Scanning Bagaglio da Imbarcare	100 g	t=6 s
HD Identificazione Mine AT	5-6 kg	t=1-10 m
HD Identificazione Mine AP	>35 g	t=1-10 m
Antiterrorismo	>10 g	indefinito
UXO	>>1 kg	indefinito

Ricerca di esplosivi nascosti: il ruolo delle tecniche nucleari

1) Utilizzare radiazioni ionizzanti penetranti per ispezionare in profondità il campione.
2) Rivelare radiazioni ionizzanti secondarie penetranti prodotte nel bombardamento del campione che siano caratteristiche del materiale da rivelare e non prodotte dall' irragiamento del background. Tale radiazione deve poter fuoruscire dal campione.

Tipicamente si utilizzano neutroni come radiazione ionizzante e gamma o neutroni lenti come radiazione secondaria.

	High	Low	to None	High

TABELLA III

Principali caratteristiche delle tecniche nucleari possibili per la rivelazione di esplosivi.

Tecnica	Radiazione Incidente	Sorgente	Reazione Nucleare	Radiazione Rivelata	Elementi Misurabili
TNA (Thermal Neutron Analysis)	Neutroni termici	^{252}Cf o neutroni prodotti con acceleratori	(n,γ)	Gamma di cattura (inclusivi)	N, Cl, H
PTNA (Pulsed TNA)	Neutroni termici pulsati (μs)	neutroni pulsati (μs) prodotti con acceleratori	(n(t),γ)	Gamma di cattura in opportune finestre temporali	N, Cl, H
FNA (Fast Neutron Analysis)	Neutroni veloci	neutroni prodotti con acceleratori	(n,n'γ)	Gamma da eccitazione inelastica	O, C, N, Cl
FNA/PTNA	Neutroni veloci e termici pulsati (μs)	neutroni prodotti con acceleratori	(n,n'γ) (n(t),γ)	Gamma da eccitazione inelastica e di cattura	O, C, N, Cl, H
PFNA (Pulsed FNA)	Neutroni veloci pulsati (ns)	neutroni prodotti con acceleratori	(n,n'γ)	Gamma da eccitazione inelastica	O, C, N, Cl, altri
API (Associated Particle Imaging)	Neutroni etichettati da 14 MeV	neutroni prodotti con acceleratori (D+T)	(n,n'γ)	Gamma da eccitazione inelastica	O, C, N, Cl, altri
FNSA (Fast Neutron Scattering Analysis)	Neutroni veloci pulsati (ns)	neutroni prodotti con acceleratori	(n,n)	Neutroni diffusi o attenuati	O, N, C, H
Attivazione con fasci di fotoni	Gamma di bremsstrhalung pulsati	Fasci di elettroni pulsati E>13 MeV	(γ,xn)	Attivazione con raggi gamma	^{14}N(γ,2n)^{12}N

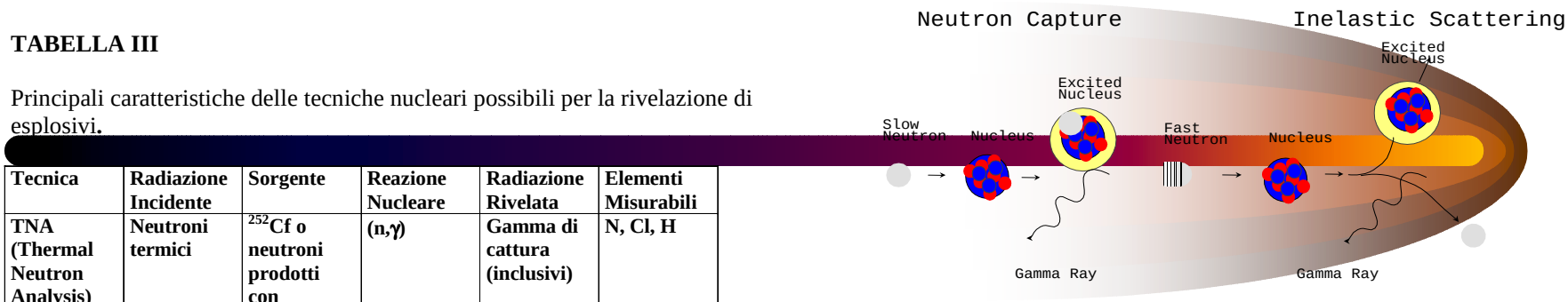


Figure 1. Nuclear reactions initiated by thermal neutrons (capture react (inelasti s attering)

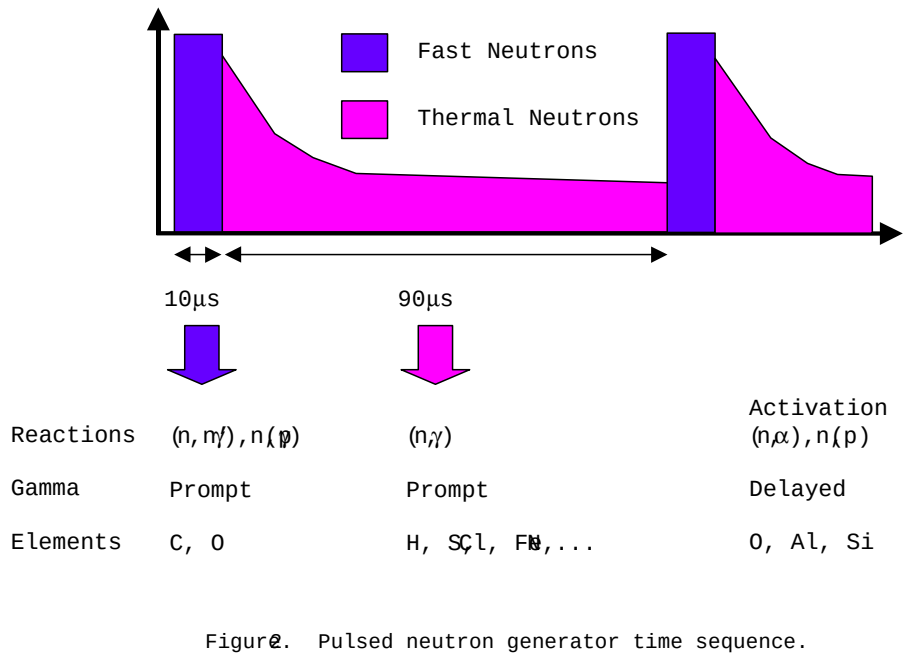


Figure 2. Pulsed neutron generator time sequence.

Ricerca di esplosivi nascosti. Sorgenti di neutroni-generalità

L' uso di sorgenti di neutroni è fortente condizionato dal quadro legislativo per quello che riguarda l' utilizzo di radiazioni ionizzanti. Nella attuale legislazione italiana vanno tenuti come limiti pratici:

1) **Il limite di 10^7 neutroni/secondo per l' intensità della sorgente di una installazione fissa;**
2) **Il limite di 10^6 neutroni/secondo per l' intensità della sorgente di una installazione mobile;**
3) **Il limite di 1 milliSievert/anno come dose per l' operatore non professionalmente esposto.**

Tipicamente si utilizzano:

1) **Sorgenti radioisotopiche (^{252}Cf)**
2) **Piccoli acceleratori o sorgenti elettroniche di neutroni**

Ricerca di esplosivi nascosti. Sorgenti di neutroni-^{252}Cf

252-Californio:

Tempo di dimezzamento effettivo: 2.65 anni

Tempo di dimezzamento alfa: 2.73 anni (E_{alfa}=6.117 MeV)

Tempo di dimezzamento per fissione spontanea: 85.5 anni

Attività specifica: 500 μCi / μg di cui 6.2 x 10^5 fissioni / μg

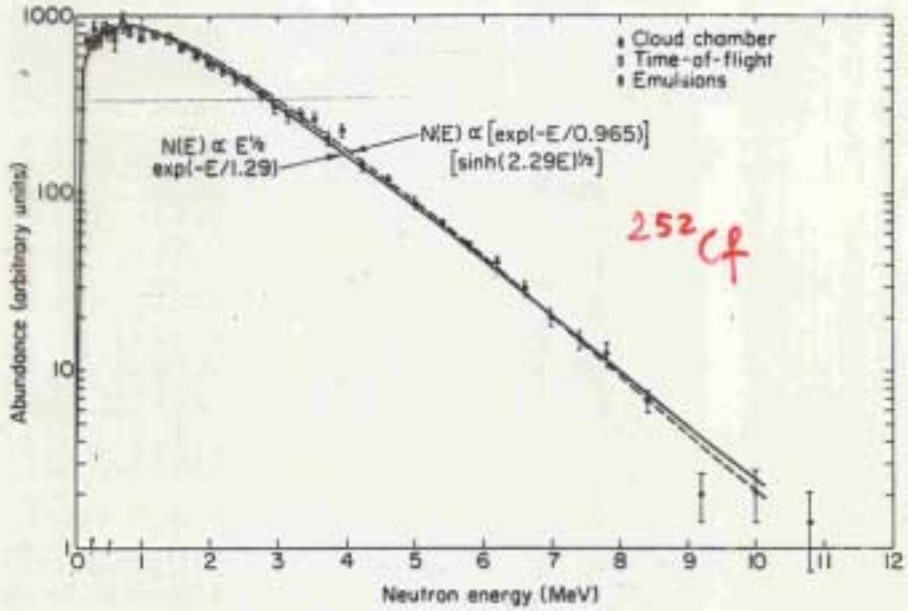
Neutroni per fissione: 3.76 ($<E_n>$=2.35 MeV)

Gamma per fissione: circa 10 (80% con energia E<1. MeV)

Sorgenti sigillate, contenute in una doppia camicia saldata di inox. Tipica geometria (contenitore tipo Svannah River) : cilindro altezza 3.7 cm diametro 0.92 cm.

Il radioisotopo è contenuto in un pellet ceramico di 1 mm^3 all' interno del contenitore di inox.

Tipico spettro neutronico da una sorgente di ^{252}Cf



Spettri di neutroni prodotti Tramite la reazione D+Be (target spesso)

^{9}Be(d,n) $\langle E_n \rangle = 1.21 + 0.28\, E_d$ MeV

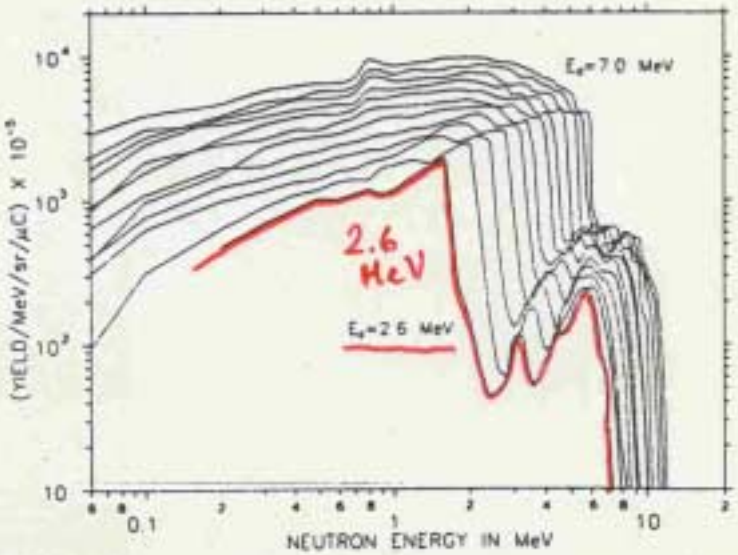
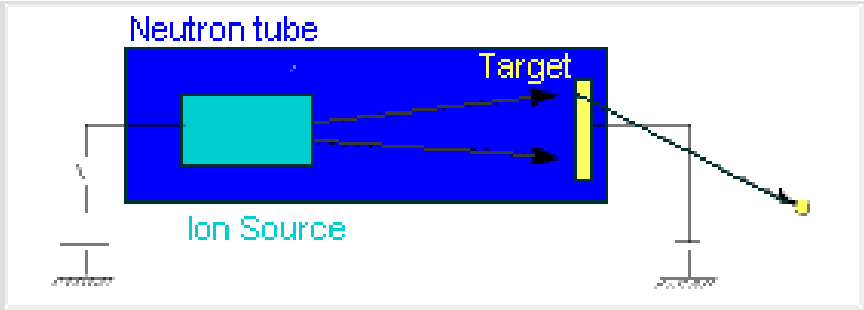
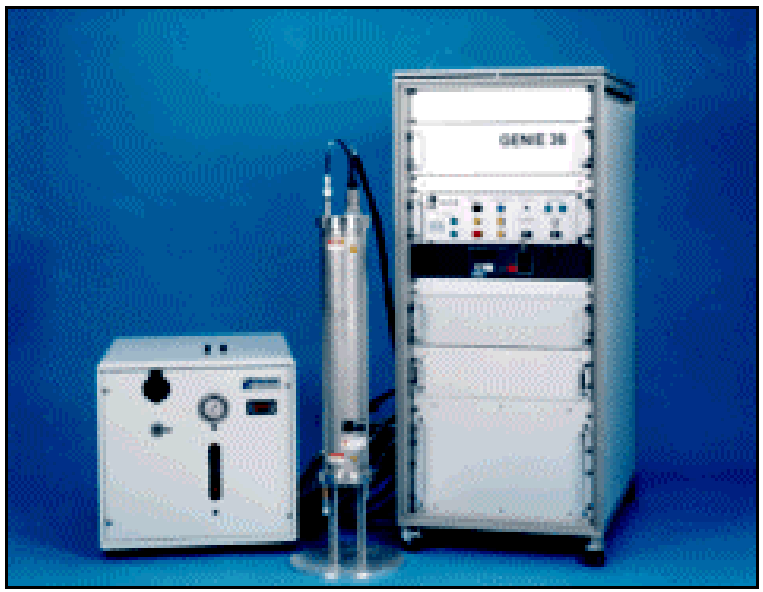


Fig. 4. A summary of the ^{9}Be(d, n) thick-target spectra for deuteron energies of 2.6 to 7 MeV in steps o

Ricerca di esplosivi nascosti. Sorgenti di neutroni-Tubi sigillati





Reazioni D+D, D+T. D accelerati fino a 100-250 kV. Flussi di neutroni da 10^7 fino a 10^{12} n/s/4π per la reazione D+T (un ordine di grandezza in meno per la D+D).

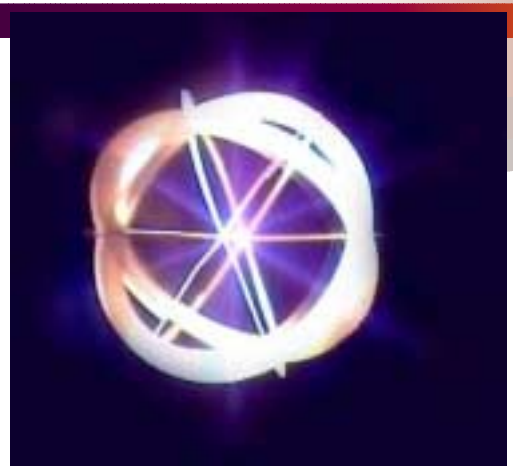
Problemi:

1) **Contenuto di Trizio (120 GBq per 10^8 n/s)**
2) **Vita media della testa (circa 2000 ore)**
3) **Costo del ricambio (circa 30-40 ML)**

Ricerca di esplosivi nascosti. Sorgenti di neutroni-Linac

Generatori di neutroni che utilizzano la reazioni sorgente Be(d,n) o Be(p,n) su targetta spessa. I fasci di deutoni (tra E=0.9-3.9 MeV) o di protoni (tra E=3.9-11 MeV) sono prodotti da piccoli Linac mobili.
Le caratteristiche della struttura accelerante sono:
Lunghezza tra 1.35 e 6 m, Peso tra 250 e 3500 kg, Potenza tra 10 e 130 kVA.
I flussi di neutroni ottenibili sono tra $1x10^{10}$ e $3x10^{13}$ neutroni/sec/4p

Ricerca di esplosivi nascosti. Sorgenti di neutroni-Reattori a fusione



Spherical Inertial Electrostatic Confinement Fusion Grade Deuterium Plasma (sviluppato da G.H. Miley University of Illinois at Champaign-Urbana).

Gli ioni di deuterio a bassa pressione (10^{-2} mbar) sono accelerati attraverso un catodo a griglia tenuto a 30-90 kV fino a formare un plasma al centro della zona di confinamento.

Flusso: 1 x10^7 neutroni/s/4p E=2.45 MeV nessuna emissione gamma e X.

Reactor Chamber : 59 cm x 26 cm , Peso 20 kg.

Ingegnerizzato da DaimlerChrysler Aerospace, ora European Aeronautic Defence and Space Company EADS. Mercato: sostituzione delle sorgenti di ^{252}Cf.

Ricerca di esplosivi nascosti. Rivelatori gamma.

1) **Rivelatori HPGe**

Vantaggi: Risoluzione di energia 2-3 keV a 1.33 MeV
Buona efficienza

Svantaggi: Alti Costi, Raffreddamento, Manutenzione

2) **Scintillatori Inorganici**

Vantaggi: Buona efficienza, Bassi Costi

Svantaggi: Risoluzione energetica limitata 4-5 % a 1.33 MeV

Caratteristiche dei principali scintillatori

Scintillatore	Uscita di Luce Fotoni/MeV	Costanti di decadimento (μs)	Tempo di Salita (μs) (10-90 %)	Densità (g/cm^3)	Ampiezza Relativa del Segnale (PMT-Bialkali)
NaI(Tl)	38000	0.23	0.5	3.67	1.000
CsI(Tl)	52000	1.0	4	4.51	0.49
BGO	8200	0.30	0.8	7.13	0.13
BaF2 (slow)	10000	0.62	3	4.89	0.13
BaF2(fast)	---------	0.0006	----------	4.89	0.03

Ricerca di esplosivi nascosti. Rivelatori gamma.

Elemento	Sezione d'urto (n,γ) [mb]	E_γ [MeV] (Probabilità)
H	332	2.223 (100%)
C	3.4	4.945 (68%)
O	0.27	0.871(100%),3.271(18%)
N	75	10.8 (18%)
Na	400	0.472(60%),6.395(22%)
I	6200	5.560(1%),6.691(0.5%)
Cs	2900	5.252(1%),6.696(0.4%)
Pb	170	7.368(94%)

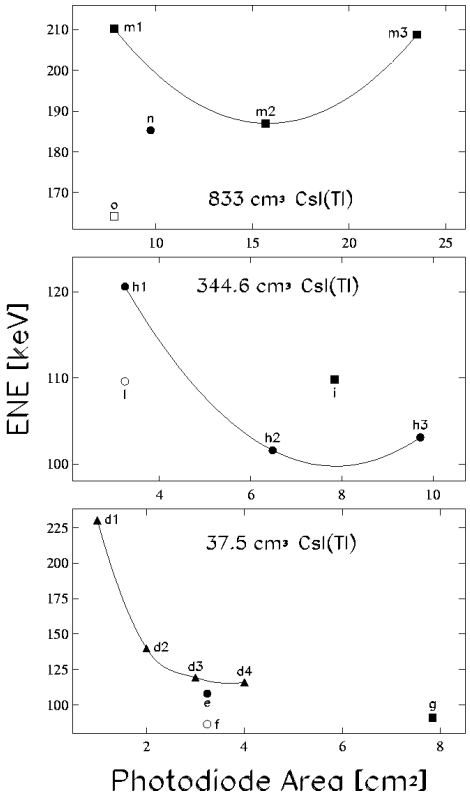
Elemento	E_γ [MeV](σ[mb])	E_γ [MeV](σ[mb])	E_γ [MeV](σ[mb])	E_γ [MeV](σ[mb])
C	4.45 (210)			
O	6.13(160)	3.85(85)	6.91(60)	3.10(50)
N	5.10(70)	4.45(65)	2.30(70)	7.03(35)
Na	0.44(330)	1.27(140)	1.64(110)	0.63(20)
I	0.06(270)	0.20(100)		
Pb	0.57(950)	0.84(910)	1.06(365)	2.60(280)

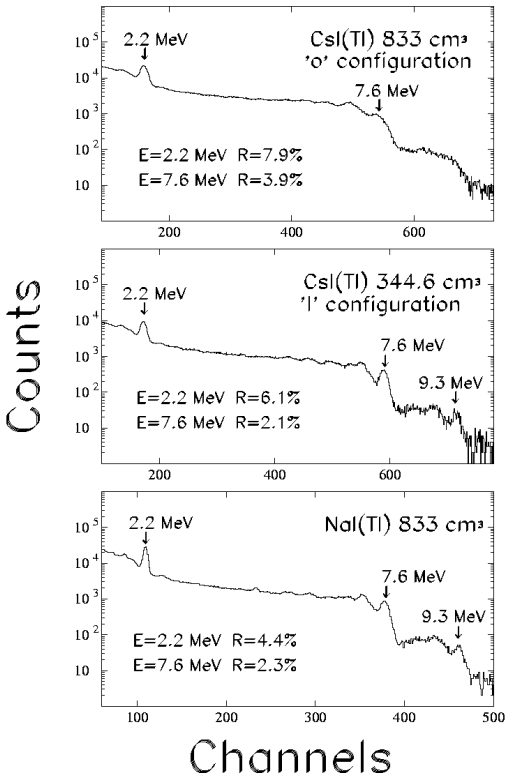
(Fonte: Computer Index of Neutron Data, CINDA)

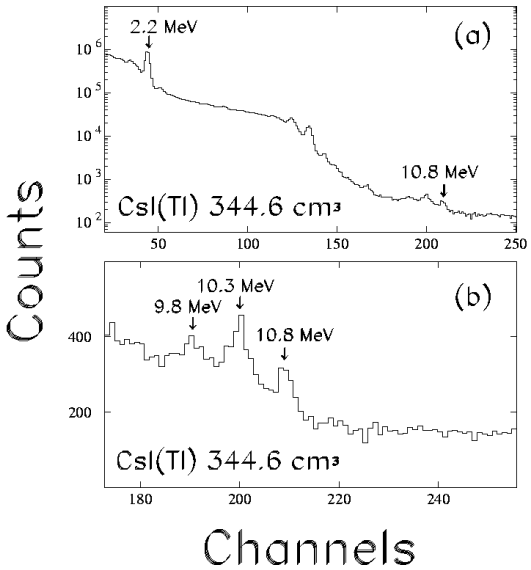
E. Fioretto et al

NIM A442(2000)412

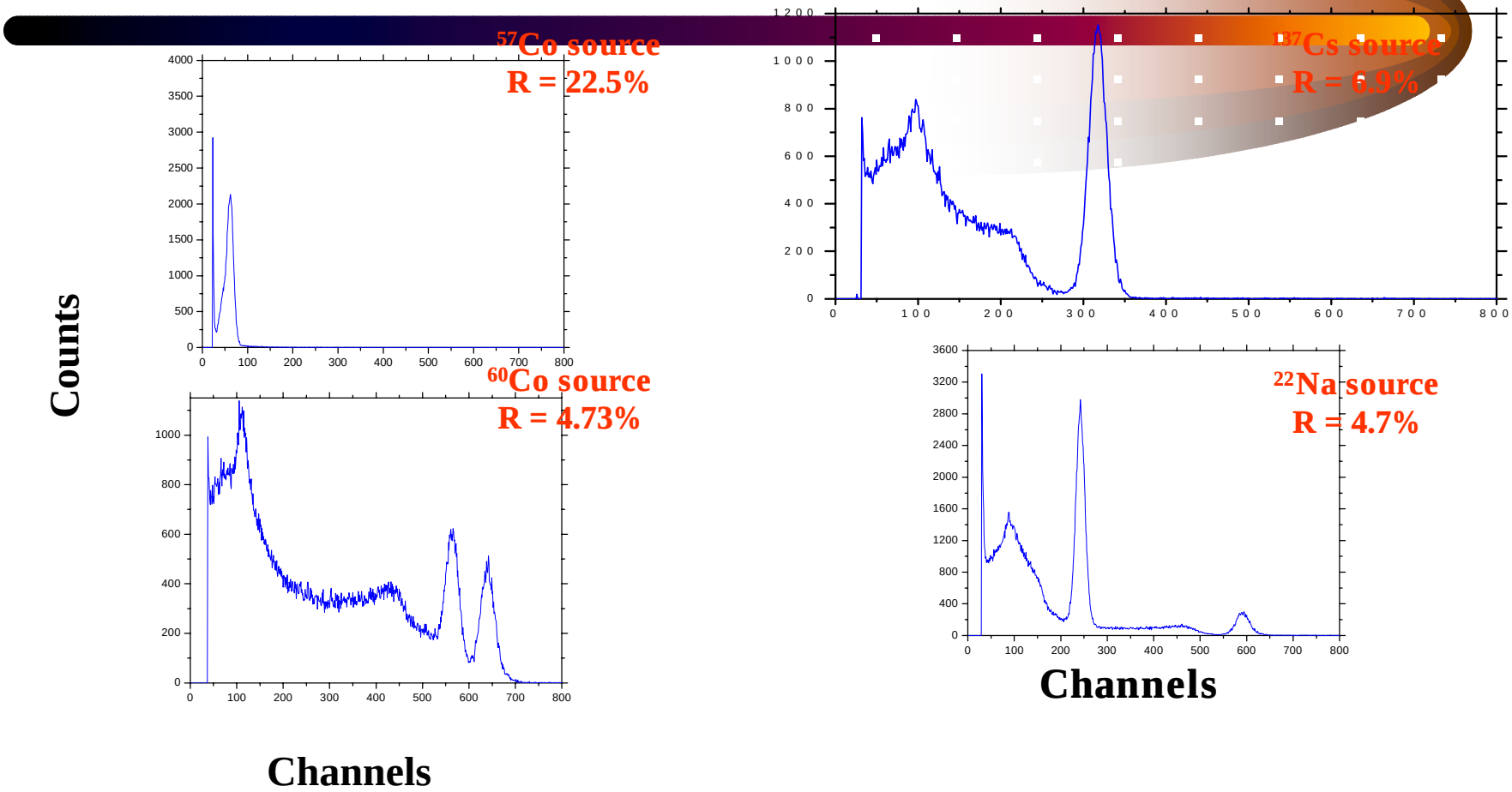
Ricerca di esplosivi nascosti. Rivelatori gamma. Lettura con PD



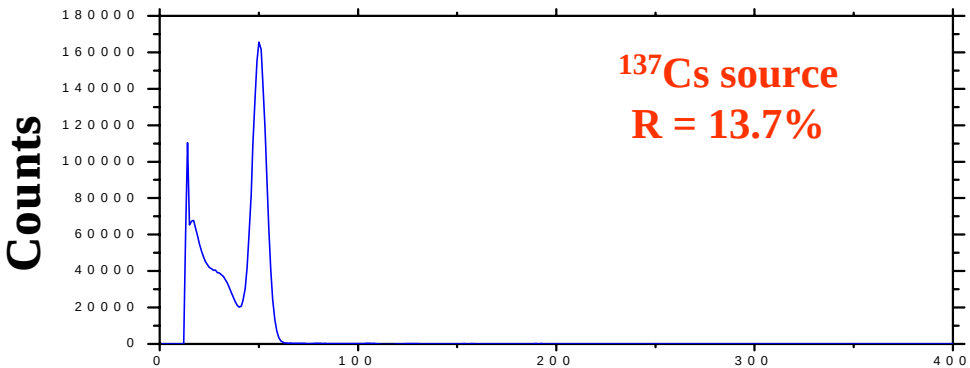


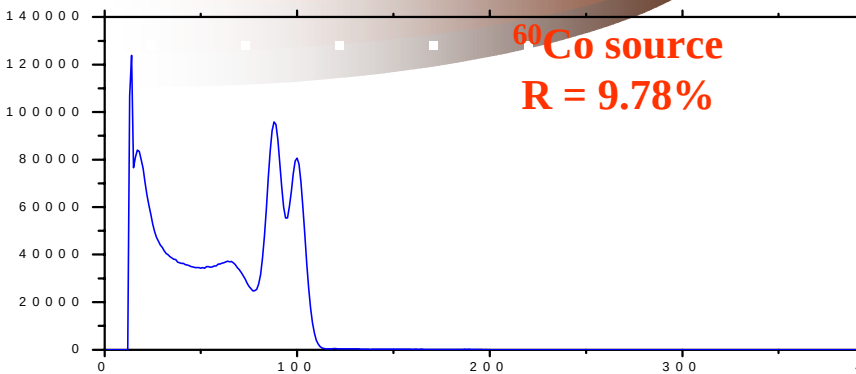


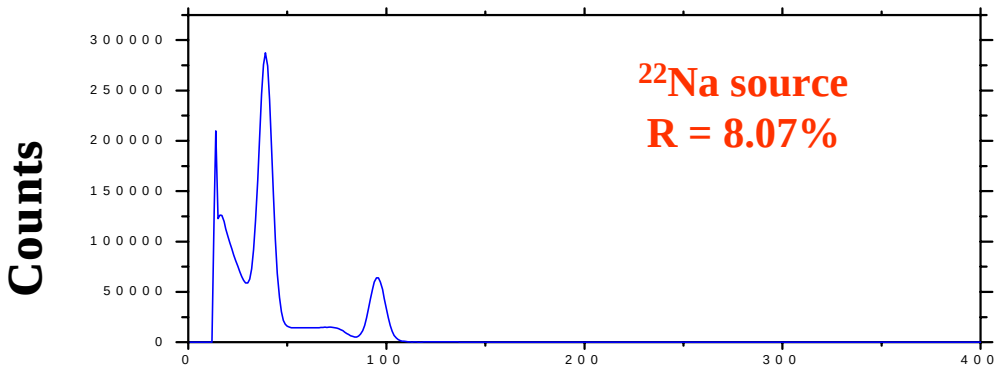
1”x 1” CsI(Tl) with LAAPD read-out



3”x 3” CsI(Tl) with LAAPD read-out. I



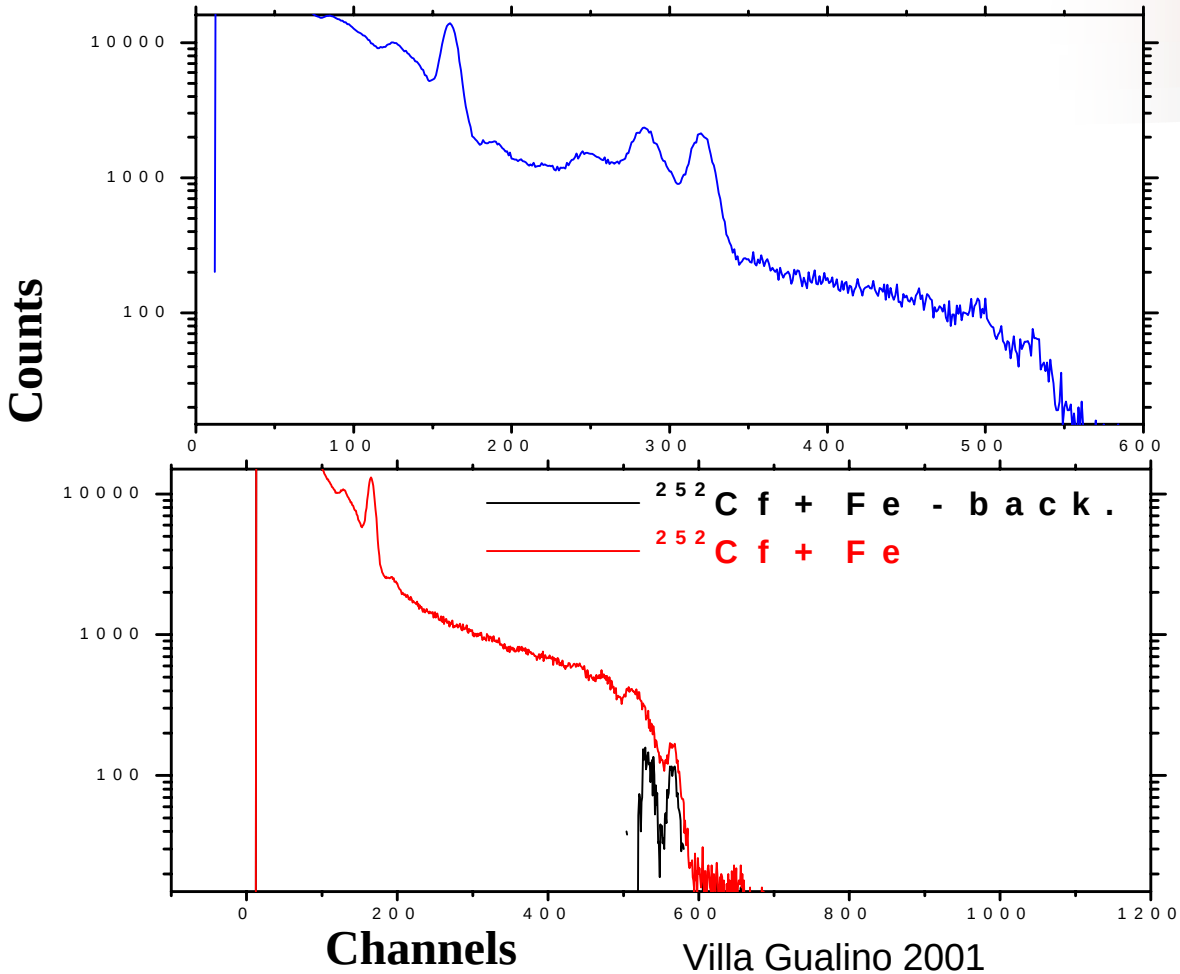




Channels

Channels

3”x 3” CsI(Tl) with LAAPD read-out. II



Am-Be source
R = 6.38% (2.2 MeV)
R = 4.58% (4.41 MeV)

R = 2.57% (7.6 MeV)

Villa Gualino 2001