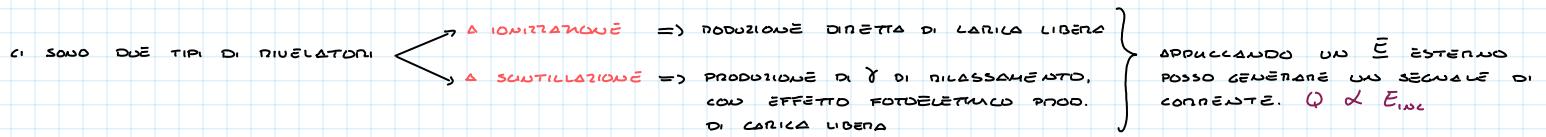


RIVELATORI

AVENDO STUDIATO LA RADIAZIONE E LA SUA INTERAZIONE CON LA MATERIA POSSIAMO ORA INIZIARE A DISCUTERE I RIVELATORI.



POSSIAMO SCHEMATIZZARE IL RIVELATORE COME UN CAPACITORE:



\Rightarrow IL CONDENSATORE È CARATTERIZZATO DA UNA CAPACITÀ C , UNA CARICA Q_0 ED UNA TENSIONE V_0 .

C , Q_0 ED E SONO PROPRI. CON L'INTERAZIONE CON UNA PARTICELLA SI VENNE A PRODURRE DELLA CARICA, IN NOTO, E , APPLICANDO IL TEOREMA DI RAMO, SAPPIAMO CHE QUEST'ULTIMA GENERA UN ΔQ SULLE ELETTRONIDI CHE CAUSA UNA DIMINUZIONE DI Q_0 ED È GENERANDO UNA CORRENTE CHE PERDURA FINCHÉ NON SONO STATE RACCOLTE TUTTE LE CARICHE.

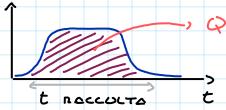
$$\text{SI SA CHE } E = \frac{1}{2} CV_0^2 \Rightarrow \text{PER RAMO } \Delta E = CV_0 \Delta V = V_0 \Delta Q \Rightarrow \text{DA QUI } dW = E \cdot dS = qE \cdot dS = dE$$

$$\text{DA QUI RICAVIAMO CHE } dQ = \frac{qE}{V_0} \cdot dS \quad \text{E QUINDI LA CORRENTE GENERATA È } i(t) = \frac{dQ}{dt} = q \frac{E}{V_0} \underset{\approx}{=} \text{QUESTA}$$

CORRENTE È DIVERSA DA ZERO FINCHÉ C'È MOTO DI CARICA, INOLTRE IL TEMPO DI RACCOLTA RISULTA ESSERE PROPORZIONALE SIA ALLA VELOCITÀ DELLE CARICHE SIA ALLA DISTANZA CHE DEBONO PERCORSIERE.

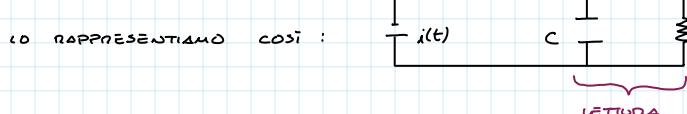
$$\text{SI HA CHE } Q_{\text{TOT}} = \int i(t) dt = e \frac{E}{W} \Rightarrow \text{LEGENDO LA CARICA FORMATASI RISALGO ALLA QUANTITÀ DI } E \text{ DEPOSITATO.}$$

\Rightarrow ASSIMILABILE AD UN GENERATORE IMPULSIVO DI CORRENTE.



QUINDI I RIVELATORI CHE CI INTERESSANO SONO DI TIPO IMPULSIVO \Rightarrow DA UN SINGOLO EVENTO RICAVO

$\left\{ \begin{array}{l} \text{CARICA } Q \\ \text{TEMPO } t_0 \\ \text{ALTRO } (\tau, \text{POSIZIONE...}) \end{array} \right.$



LA PRIMA PARTE DEL CIRCUITO DI LETTURA È IL PREAMPIFICATORE CHE HA COME SCOPO INTEGRARE LA $i(t)$ SU UNA CAPACITÀ PER RICAVARE LA CARICA PRODOTTO:

$$C_{\text{TOT}} = C_{\text{RIVELATORE}} + C_{\text{CAVI}} + C_{\text{CIRCUITO DI LETTURA}} \Rightarrow \text{CALCOLAMO LA } V(t). \quad V(t) = R i_a(t) = R(i(t) - i_c(t)) =$$

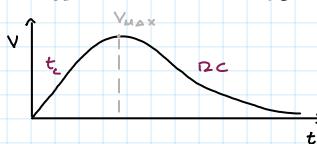
$$= R i(t) - R C \frac{dV}{dt} \Rightarrow \text{SOMMO DEL MOMENTO: CONDIZIONI INIZIALI } i(t) = 0 \text{ TRanne PER } t = 0 \quad (\delta \text{ DI CORRENTE})$$

QUINDI SI HA UNA SCATTA ISTANTANEA A ΔV_R E Poi UN RILASSAMENTO $\Rightarrow V(t) = V_0 e^{-\frac{t}{RC}}$ CON RC = TEMPO DI RISPOSTA DEL CIRCUITO (O DI RILASSAMENTO).

SOLUZIONE PARTICOLARE (QUANTITATIVA) \Rightarrow DUE CASI:

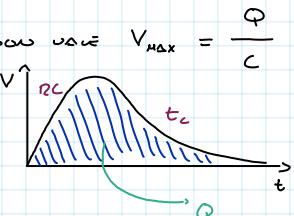
1) SEGUONI RAPIDI $\Rightarrow t_c \ll RC$, UNITE DI UNA δ . QUESTA È LA CONDIZIONE IDEALE PER LE MISURE DI SPECTROSCOPIA

IN QUESTO CASO SI HA CHE VALORE $V_{\text{MAX}} = \frac{Q}{C} \propto E$



\Rightarrow SALTO REGOLATO DAL TEMPO DI RACCOLTA, DISLESSO DAL TEMPO CARATTERISTICO DEL SISTEMA

2) SEGUONI LENTI $\Rightarrow t_c \gg RC$, IN QUESTO CASO SI HA CHE IL CONDENSATORE È UN CIRCUITO APERTO, QUINDI SI HA $C \approx 0$ E $t_c = \frac{1}{RC} \rightarrow \infty$, QUINDI LA CORRENTE AI CAPI DI R È ESSENZIALMENTE UGUALE A QUELLA PRODOTTA DAL RIVELATORE, IN QUESTO CASO SONO VALORE $V_{\text{MAX}} = \frac{Q}{C}$, MA $i(t) \propto V(t) \Rightarrow Q = \int V(t) dt$ IN QUESTO CASO NON C'È STATA INTEGRAZIONE.



SPETTROSCOPIA

LA SPETTROSCOPIA È LO STUDIO DELLA STRUTTURA INTERNA DI ATOMI, MOLECOLE O SOLIDI TRAMITE L'ANALISI DEI LORO SPECTRA OPPURE LA DISTRIBUZIONE DI INTENSITÀ DELLA RADIATORE AL VARIARE DELLA FREQUENZA O DELL'ENERGIA (IL CASO CHE NOI STUDIAMO È IL SECONDO).

DRA ESSENDO DISTRIBUTORI SI HA UNA FLUTTUAZIONE DELLE MISURAZIONI CHE PORTA AD AVERE UNA DETERMINATA MISURAZIONE

LA MISURAZIONE LA SI VUOLE AL FWHM, QUINDI SI HA $R_{FWHM} = 2.35 \frac{\sigma_H}{H}$ (CON H L'OSSERVABILE). IN GENERALE LA

$$\text{MISURAZIONE È DATA DA } R = \frac{\sigma_H}{H} \Big|_{\text{STAT}} = \frac{\sigma_N}{N} = \sqrt{\frac{F_N}{N^2}} = \sqrt{\frac{F}{N}}$$

COSTRUZIONE DI UN RIVELATORE

PRIMA DI CAPIRE COME DI COSTRUIRE E FUNZIONA UN RIVELATORE BISOGNA CAPIRE UN PAIO DI CARATTERISTICHE DELLA MATERIA.

CI SONO 3 TIPI DI MATERIALE $\xrightarrow{\text{CONDUTTORI}} \Rightarrow$ METALLI, CONDUcono CORRENTE $\forall T$

$\xrightarrow{\text{ISOLANTI}} \Rightarrow$ NON CONDUcono CORRENTE $\forall T$

$\xrightarrow{\text{SEMICONDUTTORI}} \Rightarrow$ - ΔT BASSO NON CONDUcono

- AL CRESCERE DI T LA RESISTITÙ DIMINUISCE, INIZIA CONDUZIONE

- LA RESISTITÙ VARIA AL DRAGGIO

- I PORTATORI DI CARGA SONO e^- E h^+

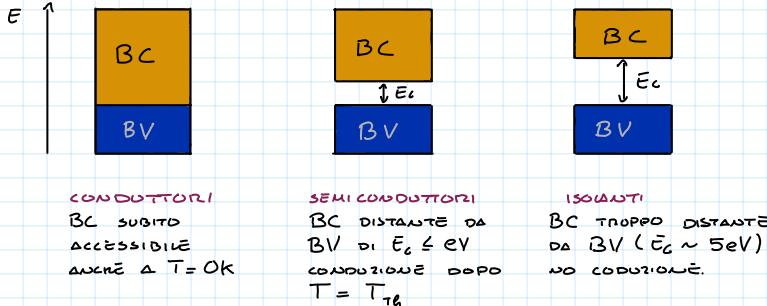
- ILLUMINATI CON WAVE LONG WAVELENGTH LA RESISTITÙ DIMINUISCE

SI LAVORA CON DEI PATICOLI CRISTALLINI E LA CARATTERISTICA DI QUESTE STRUTTURE È L'ASSERTA DI LUCELLI ATOMICI E LA CREAZIONE DI BANDA \Rightarrow SU e^- NON SONO PIÙ LOCALIZZATI SUL SINGOLI ATOMI. SI DEFINISCE BANDA DI VOLLENZA

CU ORBITA DI VOLLENZA CHE INTERAGISCONO, MA NON PERMETTONO CONDUZIONE IN QUANTO SONO PIENI.

SI DEFINISCE BANDA DI CONDUZIONE I LUCELLI AD È PIÙ ALTA MUOTI DOVE PUÒ AVVENIRE CONDUZIONE.

ENERGY GAP: DISTANZA ENERGETICA TRA BV E BC



PER I RIVELATORI SI UTILIZZANO ELEMENTI COME Si E Ge CHE HANNO $4e^-$ SULLA SHELL PIÙ ESTERNA, QUINDI PER FINIRE IN UNA CONDIZIONE STABILE FORMANO 4 LEGAMI COVALENTI. A $T = 0K$ TUTTI SU e^- SONO IN LEGAMI COVALENTI, QUANDO AUMENTARE DI T ALCUNI e^- SI STACCONO E DANNANO VITA A DUE COPPIE $e^- - h^+$ \Rightarrow APPLICANDO UN E_{ext} CREO UNA CORRENTE. (PORTATORI INTRINSICHI).

ONO È POSSIBILE AUMENTARE LA CONDUCIBILITÀ DEI SEMICONDUTTORI TRAMITE DRAGGIO, SONANO DEFINITI DONATORI GLI ELEMENTI CON PIÙ e^- E ACCETTOREI QUelli CON PIÙ h^+ .

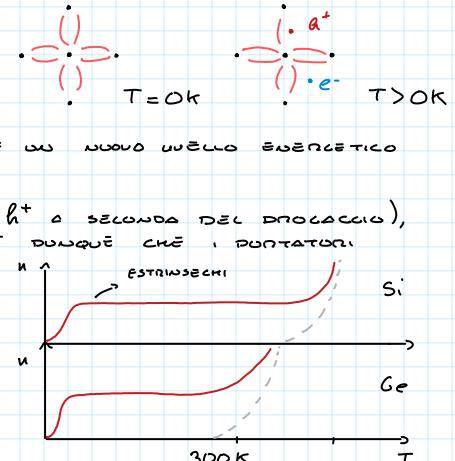
VEDIAMO I DUE CASI:

DRAGGIO U \Rightarrow SU e^- SONO MENO LEGATI DEGLI ALTRI È PIÙ FACILE LIBERARLI, IL LORO LUCCOLO È VICINO A BC

DRAGGIO P \Rightarrow SU h^+ ATTACCONO FACILMENTE SU e^- QUINDI SI VENE A CREARE UN NUOVO LUCCOLO ENERGETICO MUOTO, VICINO A BV, TRA BV E BC.

QUESTO PORTA AD AVERE CONDUZIONE A T BASSE \Rightarrow PORTATORI ESTRINSICI (e^- O h^+ A SECONDA DEL DRAGGIO), DOPODICHÉ PER T CHE AUMENTA COMPAGNO ANCHE I PORTATORI INTRINSICHI. SI DARA DUNQUE CHE I PORTATORI MAGGIORITARI PER DRAGGIO U SONO e^- , PER DRAGGIO P h^+ .

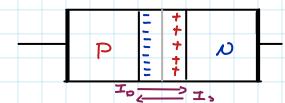
$[N.B \Rightarrow E_c(Si) \approx 1.16 \text{ eV} \text{ E } E_c(Ge) \approx 0.6 \text{ eV}.$ IL Ge HA P ESTRINSICI GIÀ A $T \approx 300K$, AMBIENTE]



GIUNZIONE P-N

SFRUTTANDO IL DRAGGIO DI UN SEMICONDUTTORE IN FORMA CRISTALLINA SI POSSONO CREARE LE GIUNZIONI P-N. CONSISTE IN DUE REGIONI DI UN CRISTALLO DRAGATE UNA N L'ALTRA P POSTE A CONTATTO, ALLE ESTREMITÀ OPPOSTE VI È INSTAURATO UN CONTATTO METALLICO CHE TERMINA IN ANODO, DALLA PARTE P, E IN UN COTODO DALLA PARTE DI N.

DAL MOMENTO CHE IN P HO VOLTE h^+ E IN N e^- SI CREA UNA CORRENTE DI DIFFUSIONE CHE PORTA h^+ IN N E e^- IN P. SU e^- E h^+ SI RICOMBINANO E COMPLETANO I LEGAMI IN UNA REGIONE A MUODO DEL CONFINE P-U \Rightarrow REGIONE DI SVUOTATO (LE CARICHE LIBERE SONO MOLTE



MENO), UNA ESSENDO SPONITE LE CARICHE LIBERE, SI SONO FORMATI I^+ NELLA ZONA N E I^- NELLA ZONA P DELLA REGIONE DI SVUOTAMENTO. QUESTE CARICHE SONO FISSE E GENERANO UN E DI SENSO OPPOSTO ALLA CORRENTE DI DIFFUSIONE \Rightarrow SI È CREATO QUINDI UN DDP V_0 . IN CONTO A V_0 SI CHE LE CARICHE MINORITARIE (h^+ PER N E e^- PER P), PRODOTTE PER AGITAZIONE TERMICA, CREANO UNA CORRENTE DI DERIVA I_d , OPPOSTA A $I_D \Rightarrow$ IN CONDIZIONI DI EQUILIBRIO $I_s = I_D \Rightarrow I_{tot} = 0$

POLARIZZAZIONE

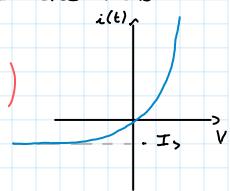
UNA CIRCUITONE P-N SI PUÒ POLARIZZARE APPLICANDO UNA ULTERIORE DDP TRA ANODO E CATHODE, IN PARTICOLARE CI SONO DUE TIPI DI POLARIZZAZIONE:

1) INVERSA: IL POTENZIALE APPLICATO A N (CATHODE) È MAGGIORRE DI QUELLO A P (ANODO) \Rightarrow SI HA CHE LA CORRENTE I_D VIENE OSTACOLATA IN QUANTO LA ZONA DI SVUOTAMENTO SI ALLARGA E LA DDP TOTALE AUMENTA $\Rightarrow V_{tot} = V_D + V_R \Rightarrow$ PIÙ V_R AUMENTA, PIÙ I_D DIMINUISCE FINO AD ANNULLARSI E QUINDI RIMANE SOLO I_s CHE È DEBOLESSIMA E NON DIPENDE DA V , MA DA T .

2) DIRETTA: IL POTENZIALE APPLICATO A P (CATHODE) È MINORE DI QUELLO A N (ANODO) \Rightarrow SI HA CHE LA CORRENTE I_D VIENE AVVANTAGGIATA IN QUANTO LA ZONA DI SVUOTAMENTO SI RIDUCE E LA DDP TOTALE DIMINUISCE $\Rightarrow V_{tot} = V_D - V_f \Rightarrow$ PIÙ V_f AUMENTA, PIÙ I_D CRESCE RAPIDAMENTE GRAZIE ALLE PIÙ CARICHE MOBILI ANDANDO COSÌ DA SUPERASSARE AMPIAMENTE LA I_s .

L'EQUAZIONE CHE MI DESCRIVE QUESTA CONDIZIONE È QUELLA DI SCHOTTKY $\Rightarrow I(V) = I_s(e^{V_{th}} - 1)$ CON $V_{th} \approx 26 \text{ mV}$

IN CASO DI POL DIRETTA SI HA CHE LA $V_0 \approx 0.5 - 0.6 \text{ V}$



COMMENTO SULLA ZONA DI SVUOTAMENTO

CONSIDERIAMO LA SITUAZIONE DI POLARIZZAZIONE INVERSA \Rightarrow 2DS AMPIA E SENZA CARICHE INCIDENTI. SE UNA PARTICELLA INTERAGISCE CON GLI ATOMI DEL 2DS SI HA LA PRODUZIONE DI $e^- - h^+$ CONSEGUENTI UNA CORRENTE DI SEGNALE CHE SI SOVRAPPONE A I_s . I_s SIGNIFICA DEBOLE QUINDI. I_s DEVE ESSERE TENUTA AL MINIMO POSSIBILE \Rightarrow DIPENDE DA T E E_c

INOLTRE SE SI CONOSCE N_A E N_D È POSSIBILE TROVARE LA DIMENSIONE DELLA 2DV CON $d = \sqrt{\frac{2eV}{eN_A}}$ \Rightarrow NOTARE CHE LA CARICA SPAZIALE SI DEVE CONSIDERARE QUINDI SE $N_D \gg N_A$ LA 2DV SARÀ PRINCIPALMENTE NELLA ZONA P

RISOLUZIONE PER RIVELATORI DI α

QUANDO SI LAURA CON I RIVELATORI SI VOGLIE CAPIRE ANCHE QUANTO È BUONA LA RISOLUZIONE DELLA MISURA, IN PARTICOLARE SI HANNO TRE TIPI DI EFFETTI: STATISTICO, DEL RIVELATORE E ELETTRONICO. (SONO RIV AL Si).

1) STATISTICO: DI NORMA SONO RIV. CON $W \approx 3.6 \text{ eV}$. QUINDI SE KO $E_\alpha = 1 \text{ MeV}$ RICAVO $N \approx 10^6$ COPPIE DI $e^- - h^+ \Rightarrow R_{FWHM} = 2.355 \sqrt{\frac{F}{N}} \approx 2.355 \cdot 10^{-3} \Rightarrow$ SI HA CHE PER $E_\alpha = 1 \text{ MeV} \Rightarrow \Delta E \approx 10 \text{ keV}$

2) RIVELATORE: STRATO MORTO \Rightarrow PRIMA DEL RIVELATORE STESSO VI È UNO STRATO DI $Au + SiO_2$ CHE PERMETTE UNA STRUMENTAZIONE DI FUNZIONARE. QUESTO STRATO ASSORBE CIRCA $\Delta E_\alpha \approx 10 \text{ keV}$. INOLTRE C'È L'EFFETTO DI FALSO VUOTO $\Rightarrow E_\alpha$ DISPOSITATO SULLE PARTICELLE DELL'ATMOSFERA RESIDUA \Rightarrow FORMAZIONE DI CODE VERSO IL PIÙ BASSO NELLO SPECTRO.

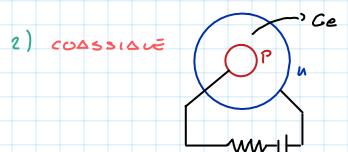
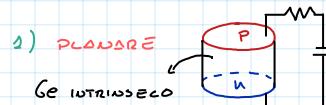
3) ELETTRONICO: DOVUTO ALLE CORRENTI DI FUCA (CON ANNEDDE FATTURAZIONI) E AL RUMORE DELLA CATENA DI LETTURA DOVUTO PRINCIPALMENTE ALLE CAPACITÀ DELLE VARIOLE COMPONENTI.

PER MIGLIORARE AL MASSIMO LA RISOLUZIONE SI CERCA SORGENTI PICCOLE (NO AUTOASSORBIMENTO), SI LAURA IN CAMERE A VUOTO E IL RIVELATORE HA IL MINIMO POSSIBILE (SE NON ZERO) ZONE PASSIVE (O MORTE).

SEMICONDUTTORI PER SPECTROSCOPIA γ

PER LO STUDIO DELLE γ SI UTILIZZANO RIVELATORI AL GERMANIO $\Rightarrow E_g \approx 0.67 \text{ eV}$ CON UN $W \approx 1 \text{ eV}$, A PARITÀ DI E INCIDENTE, IL Ge PRODUCE PIÙ CARICHE RISPETTO AL Si. VISTA LA PENETRABILITÀ DELLE γ SI HA BISOGNO DI UN 2DV CON UNA ZONA DI SVUOTAMENTO CON $d = \text{cm}$, MA QUESTO COMPORTA UN $N \approx 10^{10} (\text{ATOMI})/\text{cm}^3 \Rightarrow$ HIGH PURITY GERMANIUM.

UNO UNO RIVELATORE AL Ge LAURA A $T \approx 77 \text{ K}$ IN QUANTO $I_{fuca} \propto T^2 e^{-E_g/kT} \Rightarrow$ CI SONO DUE POSSIBILI CONFIGURAZIONI: PLANARE E COASSIALE



$$\text{QUINDI: } FWHM = \sigma_x^2 + \sigma_y^2 + \sigma_{el}^2 \quad \text{E} \quad R_{tot} = R_s + R_x + R_{el}$$

IN ENTRAMBI I CASI LA RISOLUZIONE È LA FWHM DIPENDENTE DA UN TERMINE STATISTICO, INTRINSECO DELLA FISICA ($\sigma_x^2 \Rightarrow R_s$), UN TERMINE DI RACCOLTA INCOMPLETA, SI PERDONO DEI γ ($\sigma_y^2 \Rightarrow R_x$) E UN TERMINE DI RUMORE ELETTRONICO ($\sigma_{el}^2 \Rightarrow R_{el}$).

RIVELATORI A SCINTILLAZIONE

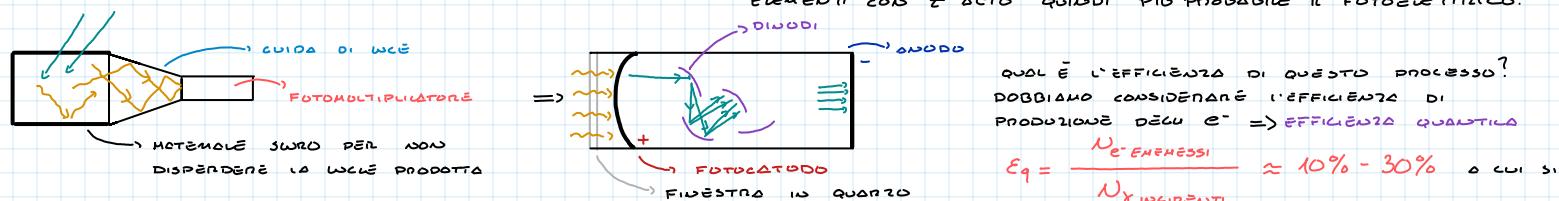
I RIVELATORI A SCINTILLAZIONE SONO UNA CLASSE DI RIVELATORI CHE SFROTTA LA PRODUZIONE DI WAVELE VISIBILI, PRODOTTA DALLA RADIATORE INTERAGENTE, PER STUDIARE LE VARIÉ SORGENTI LA WAVE PRODOTTA HA DIVERSE PROPRIETÀ: È ISOTROPA, VIENE EMESSA CON I TEMPI DI DELAYMENTO TIPICI DEL MATERIALE E $\propto N_e \propto E_{\text{neut}}$.

CI SONO DUE PROCESSI DI SCINTILLAZIONE

- FLUORESCENZA ($\tau \approx 1 \mu\text{s}$)
- FOSFOROSCENZA ($\tau \approx 10^{-6} - 10^3 \text{s}$)

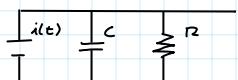
$\left. \begin{array}{l} \tau = \text{TEMPO DI SCINTILLAZIONE} \Rightarrow \text{NOI} \\ \text{VOCIAMO SFROTTARE IL PRIMO TIPO DI SCINTILLAZIONE, DA QUI POI ESISTONO DUE TIPI DI SCINTILLATORI CON COMPITI DIVERSI:} \end{array} \right\}$

→ ORGANICI (PLASTICI) $\Rightarrow \tau \approx 2-3 \mu\text{s}$, HANNO UN LIGHT YIELD $L_Y \leq 10^4 \text{ f/MeV}$ \Rightarrow UTILIZZATI PER MISURE DI TIMING
 → INORGANICI $\Rightarrow \tau \approx 100 \mu\text{s}$, $L_Y = 6 \cdot 10^6 \text{ f/MeV}$ \Rightarrow UTILIZZATI PER SPETTROSCOPIA IN QUANTO SONO COMPOSTI DA ELEMENTI CON UN ALTO QUINDI PIÙ PROBABILE IL FOTOELETTRICO.



ANALIZZIAMO IL RAPPORTO TRA $L_Y \equiv N_e \Rightarrow N_e = L_Y \cdot E_g \cdot E_q$ UTILIZZANDO VALORI NEGLI DI $E_g \approx 0.75$ E $E_q \approx 0.2$
 SI HA CHE $N_e \approx 6000 \frac{\text{e}^-}{\text{MeV}}$ \Rightarrow SE $E_\gamma = 1 \text{ MeV}$ ALLORA $N_e = 6000 \Rightarrow$ PER 1 STADIO e^- HO BISOGNO DI $W = 150 \text{ eV}$
 DO WI POSSIAMO RICAVARE LA RISOLUZIONE $\Rightarrow R = 2.355 \frac{1}{\sqrt{6000}} = 0.03 \Rightarrow$ A 1 MeV $R = 30 \text{ KeV}$.

ANALIZZIAMO ORA LA CORRENTE PRODOTTA DAI FOTO-ELETTRONI: $I(t) = \frac{Q}{\pi} e^{-\frac{t}{\tau}}$ CON τ TEMPO DI VITA MEDIA, ESSENDO IL RIVELATORE CONSIDERABILE COME UN CIRCUITO RC POSSIAMO SCRIVERE:

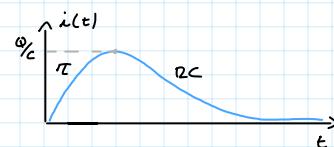


$$C = C_{\text{caja}} + C_{\text{anodo}} + C_{\text{input}} + \dots \Rightarrow$$

DA CUI RISOLVENDO IL CIRCUITO RICAVO CHE $V(t) = \frac{Q}{C} \frac{RC}{RC - \tau} (e^{-\frac{t}{RC}} - e^{\frac{t}{RC}})$ \Rightarrow HO DUE POSSIBILI CASI :

1) $RC \gg \tau$: PERFETTO PER SPETTROSCOPIA

$$\left. \begin{array}{l} V(t) = \frac{Q}{C} \left(1 - e^{-\frac{t}{RC}} \right) \text{ PER } t \text{ CORTI} \\ V(t) = \frac{Q}{C} e^{-\frac{t}{RC}} \text{ PER } t \text{ LONGHI} \end{array} \right\} \text{ SI HA UN GRAFICO DEL TIPO}$$



2) $RC \ll \tau$: PERFETTO PER MISURE DI TIMING

$$\left. \begin{array}{l} V(t) = \frac{Q}{C} e^{-\frac{t}{RC}} \text{ PER } t \text{ CORTI} \\ V(t) = \frac{Q}{C} \left(1 - e^{-\frac{t}{RC}} \right) \text{ PER } t \text{ LONGHI} \end{array} \right\} \text{ SI HA UN GRAFICO DEL TIPO}$$

