

Università degli Studi di Padova – Dipartimento di Ingegneria Industriale

Corso di Laurea in Ingegneria dell'Energia

***Relazione per la prova finale
Dai decadimenti nucleari all'energia
elettrica: celle betavoltaiche e
batterie ai diamanti***

Tutor universitario: Prof. Giuseppe Zollino

Laureando: *Gabriel Llakaj*

Padova, 21/03/2024

DIVERSI TIPI DI BATTERIE: CHIMICHE, TERMICHE, MECCANICHE, OPPURE...

BATTERIE NUCLEARI

CONVERSIONE TERMICA

- Convertitori termoionici
- Convertitori termoelettrici (RTG)
- Convertitori termofotovoltaici
- Generatore Stirling a radioisotopi

CONVERSIONE NON-TERMICA

- Convertitori elettrostatici
- Convertitori radiofotovoltaici
- **Convertitori radiovoltaici**



Si potrà parlare di alfa, beta o gammavoltaico. Ma perché sono preferite le radiazioni β ?

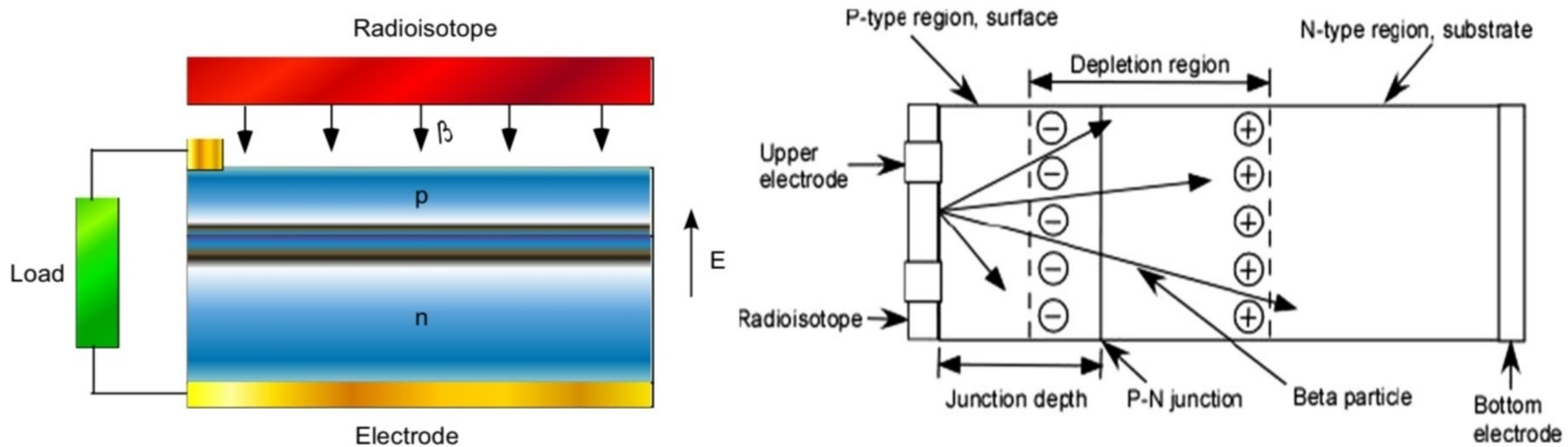
- Radiazioni α e β sono preferite alle γ poiché meno penetranti \rightarrow duplice vantaggio per miniaturizzazione
- Raggi β preferiti agli α per due motivi: α più lesive per il semiconduttore e fenomeno dell'autoschermatura più marcato.

Due tipi di decadimenti β : β^+ e β^- .

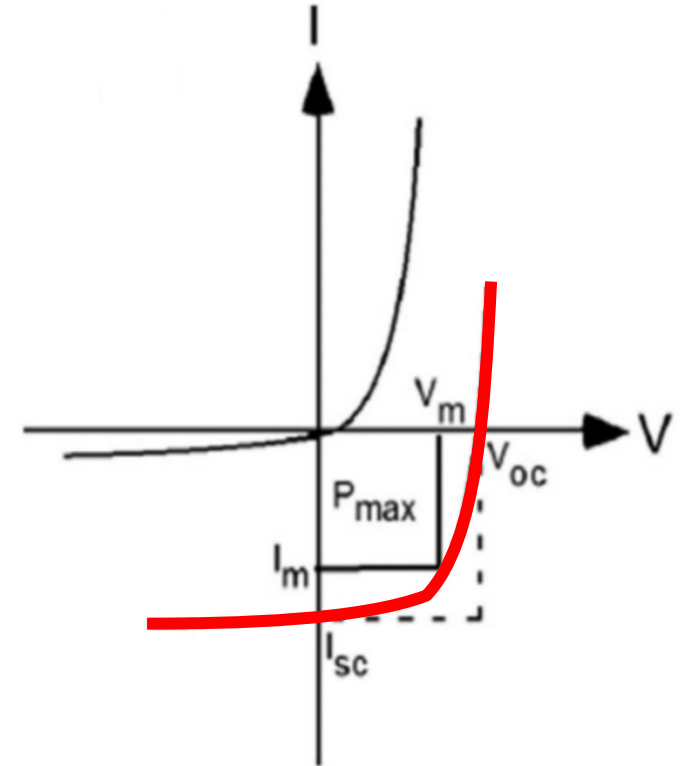
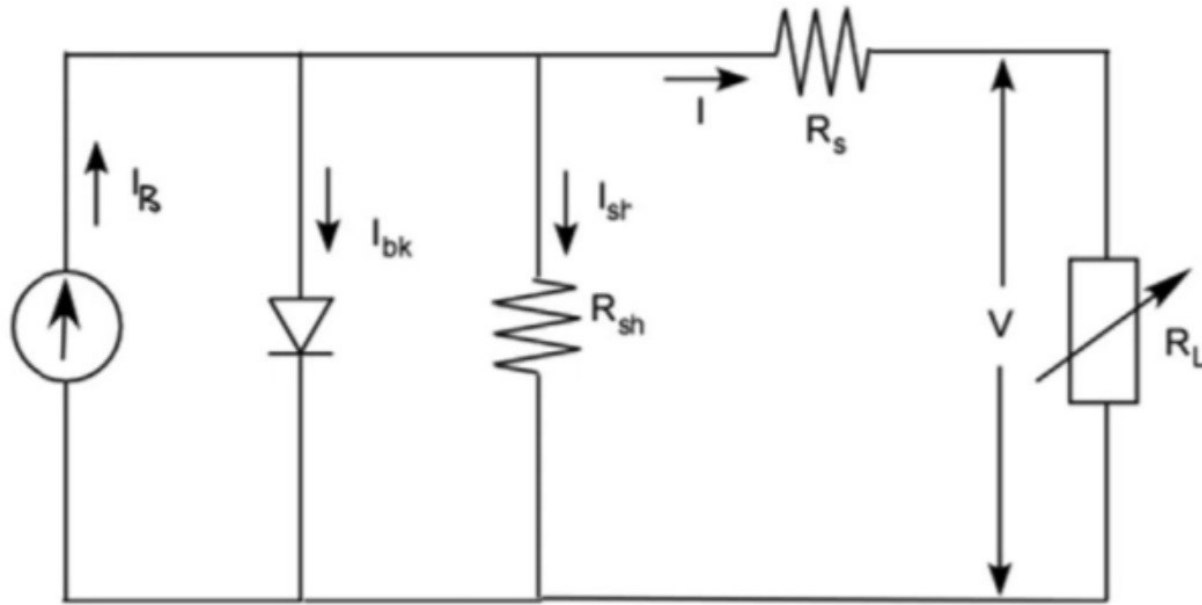
- Decadimento β^- : tipico dei nuclei con N in eccesso rispetto al relativo isobaro stabile; un neutrone viene convertito in un protone, un elettrone e un antineutrino elettronico. Di gran lunga più frequente.
- Decadimento β^+ : tipico dei nuclei con N in difetto rispetto al relativo isobaro stabile; un protone si trasforma in un neutrone emettendo un positrone e un neutrino elettronico. I positroni si annichiliscono con gli elettroni emettendo indesiderati raggi γ .



È preferito il decadimento β^- puro.



Le particelle β attraversano la zona p e raggiungono la regione di carica spaziale dove si formano delle EHPs similmente a quanto avviene con l'effetto fotovoltaico. Gli elettroni in eccesso, sotto effetto del campo elettrico inverso, migreranno dal lato p al lato n. Nella zona n si ha ora un accumulo di elettroni mentre nella zona p un accumulo di lacune che vengono raccolte dai rispettivi elettrodi (anodo nella zona p che raccoglie le lacune e catodo nella zona n che raccoglie gli elettroni). Per ricongiungersi con le lacune del lato p gli elettroni saranno obbligati a spostarsi lungo il circuito esterno: si è ottenuta una corrente elettrica che attraversa il carico.



$$(1) \quad I = I_{\beta} - I_0 \left[\exp\left(\frac{q(V + IR_s)}{nkT}\right) - 1 \right] - \frac{V + IR_s}{R_{sh}}$$

- $I=0 \rightarrow V_0 \propto R_{sh}$
- $V=0 \rightarrow I_{sc} \propto 1/R_s$

$$(2) \quad I_{\beta} = q \int_0^W G(x) CP(x) dx$$

WBG] bandgap > 2eV

- Energia radiazioni >> bandgap



Si / SiC
<ul style="list-style-type: none"> • Si: economico, consolidato, elevata purezza cristallina • SiC: molto stabile, bandgap 2.3 – 3.3 eV, molto resistente a danni da radiazioni

GaN / GaAs
<ul style="list-style-type: none"> • GaN: bandgap 3.2 eV, mobilità elettronica elevata, densità di potenza elevate • GaAs: bandgap 1,42 eV ma mobilità elettronica 4xGaAs, grande stabilità

TiO ₂ / ZnO
<ul style="list-style-type: none"> • TiO₂: bandgap 3.3 eV, economico, elevata stabilità chimica, bassa resistività.. • ZnO: buona mobilità elettronica, reticolo cristallino molto simmetrico

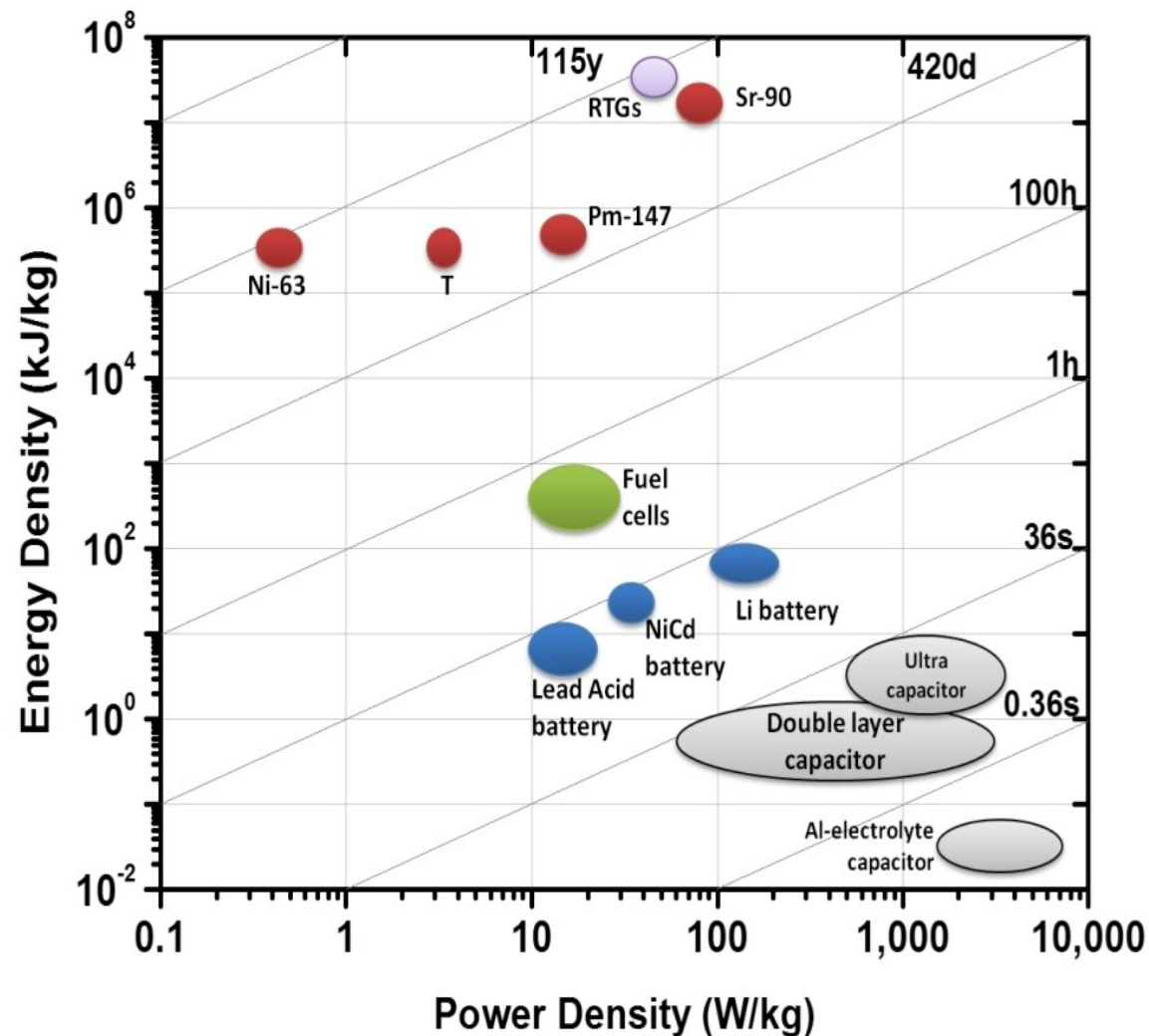
Materiali ibridi
<ul style="list-style-type: none"> • Perovskiti: elevata mobilità elettronica, bandgap facilmente regolabile • Coloranti metallo complessi: ottime proprietà elettriche, economici (celle di Grätzel)

Criteri per la scelta della radiosorgente:

- **emivita**
- **energia di decadimento**
- **costo**
- **eventuali altre radiazioni emesse**

Parameter	β-radioisotope source		
	Tritium (³ H)	Carbon-14 (¹⁴ C)	Nickel-63 (⁶³ Ni)
Density (g cm ⁻³)	2.68 × 10 ⁻⁴	1.87	8.75
Half-life <i>T</i> _{1/2} (yr)	12.32	5,730	101.2
Decay constant λ (s ⁻¹)	1.791 × 10 ⁻⁹	3.83 × 10 ⁻¹²	2.19 × 10 ⁻¹⁰
Maximum & Average radiation energy (keV)	Average: 5.69, Maximum: 18.61	Average: 49.5, Maximum: 156	Average: 17.0, Maximum: 65.9
Energy release (μW Ci ⁻¹)	33.7	296	101
Energy reserve until complete decay of the radioactive isotope (W g ⁻¹)	5,083	95,540	7,230

Altri radioisotopi considerati: promezio-147, stronzio-90, cesio-137.



È il 2016 e, durante la lectio annuale dell'Università di Bristol, Tom Scott presenta al mondo le **batterie ai nanodiamanti**.

Idea: trasformare la grafite attivata nei reattori MAGNOX da rifiuto da gestire a fonte di energia nel betavoltaico.

Si riscaldano i blocchi di grafite fino a sublimazione per espellere il C-14 in forma gassosa. Si ottiene poi il gas metano $^{14}\text{CH}_4$

Si raccoglie il C-14 tramite PECVD: nella camera di deposizione si produce un plasma di idrogeno e si introduce il reagente gassoso tra i due elettrodi promuovendo la deposizione del C-14 sul substrato

OPPURE

Si sintetizzano diamanti dopati con atomi di azoto e si irradiano: alcuni atomi di ^{14}N subiscono cattura neutronica.

Gli strati ottenuti vengono ricoperti da C-12 che agisce sia da schermante sia da WBG: si sono ottenuti i nanodiamanti

La corrente viene generata nello stesso modo visto per il betavoltaico standard.

2020 → nasce **Arkenlight** per commercializzare la batteria ai nanodiamanti (C14-DBV). Prototipo esistente al ^{63}Ni .

- **Stima:**
 - ndb con 1g di ^{14}C → 15J/die per migliaia di anni
- **VS**
- alcalina standard AA, 20g, 10kJ → 15J/die per due anni
Ma NON rimpiazzeranno le alcaline.
- **TRL 4**
- Collaborazione con **Axorus**: neuroni artificiali alimentati da ndbs; prima applicazione retina artificiale.
- Capacità di operare in **ambienti ostili**: 2018, Stromboli

Parameter	Symbol	C14-DBV	Chem Batteries
Open Circuit Voltage	V_{OC} (V)	2.20	
Short Circuit Current	I_{SC} (uA)	1.73	
Voltage at MPP	V_{MPP} (V)	1.95	1.2 – 3.9
Current at MPP	I_{MPP} (uA)	1.69	
Power at MPP	P_{MPP} (μW)	3.29	
Specific Energy to 5.73k yrs	E_S (MJ/g)	33.45	0.3
Energy Density	E_d (MJ/cm ³)	8.16	0.1×10^{-3}

VANTAGGI

- longevità;
- elevata densità energetica;
- bassa necessità di manutenzione;
- capacità di operare in condizioni operative avverse

SVANTAGGI

- implicazioni normative dovute alla produzione, commercializzazione e smaltimento di materiale radioattivo;
- diffidenza popolare verso le tecnologie nucleari;
- limitata disponibilità e costo dei radioisotopi;
- bassa densità di potenza

È necessario esaminare sicurezza, costi e fattibilità per la produzione su larga scala, per poi trovare applicazioni dove i vantaggi superino gli svantaggi. Ad oggi sono molto promettenti per applicazioni di nicchia in cui la richiesta di potenza è bassa o moderata, ma protratta nel tempo, senza picchi elevati di potenza richiesta e in ambienti dove la manutenzione o il cambio delle batterie sarebbe problematico o impraticabile. A causa delle limitazioni è improbabile che diventino una tecnologia di uso quotidiano come le moderne batterie elettrochimiche.