

Optoelettronica

Lezione 1: **Introduzione**



Daniele Ielmini

DEIB – Politecnico di Milano

daniele.ielmini@polimi.it

Outline

- Informazioni pratiche sul corso
- Introduzione all'optoelettronica
- Dispositivi optoelettronici
- Conclusioni

Organizzazione del corso

Denominazione Insegnamento		CFU	Semestre	Sede	Lingua d'erogazione	Numero studenti iscritti	Programma dettagliato						
088712 - OPTOELETTRONICA		5.00	2	Milano Leonardo		--							
Scaglioni da manifesto		Orario didattico											
Data	Dove	09:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	18:00	19:00	20:00
Lunedì													
Martedì													
Mercoledì													
Giovedì													
Venerdì	25.S.2 (EX D.0.3)								[lezione] OPTOELETTRONICA (dal 28/02/2020 al 05/06/2020)				
	8.1.1 (EX F.1.1)	[lezione] OPTOELETTRONICA (dal 28/02/2020 al 05/06/2020)											

- 4 ore settimanali
 - 30 ore lezione
 - 20 ore esercitazione

- Esame = scritto

- <https://ielmini.faculty.polimi.it>

- Libro consigliato:

**Optoelectronics
and Photonics:
Principles and Practices**

S.O. Kasap
Second Edition

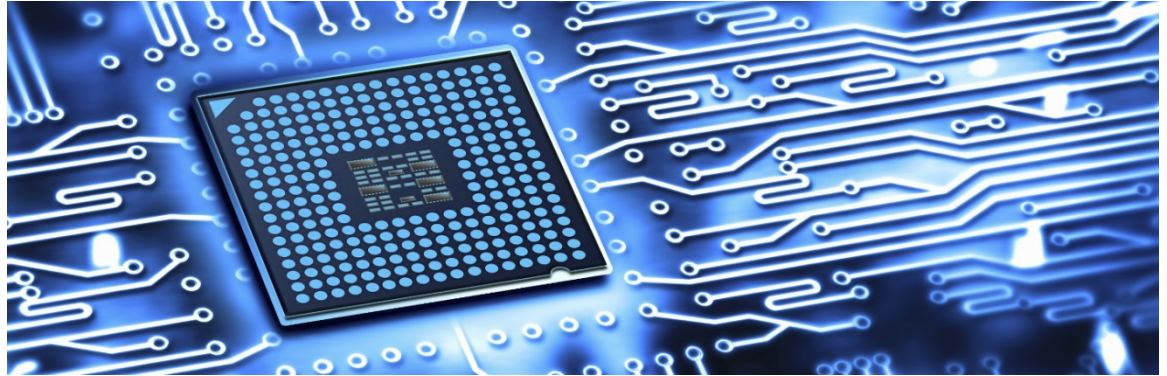
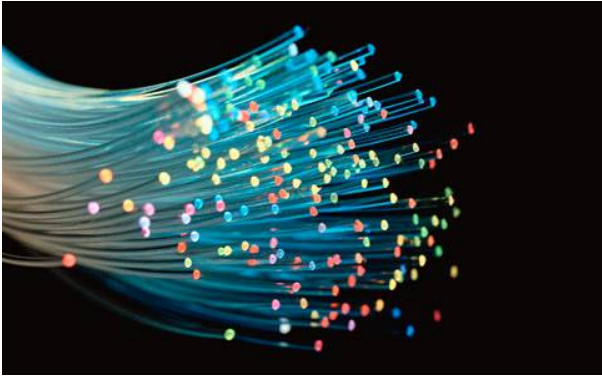
© Pearson Education Limited 2013
ISBN 10: 0-273-77417-4
ISBN 13: 978-0-273-77417-4



Obiettivi del corso

- Obiettivo: apprendere la fisica e l'ingegneria dei dispositivi optoelettronici:
 1. Trasmissione fotonica: guide d'onda, fibre ottiche
 2. Generazione fotoni:
 - Luce incoerente: emissione spontanea nel light emitting diode (LED)
 - Luce coerente: emissione stimolata nel laser
Amplificazione ottica.
 3. Rivelazione di fotoni: fotodiodi, fotovoltaico, sensori di immagine

Cos'è l'optoelettronica?

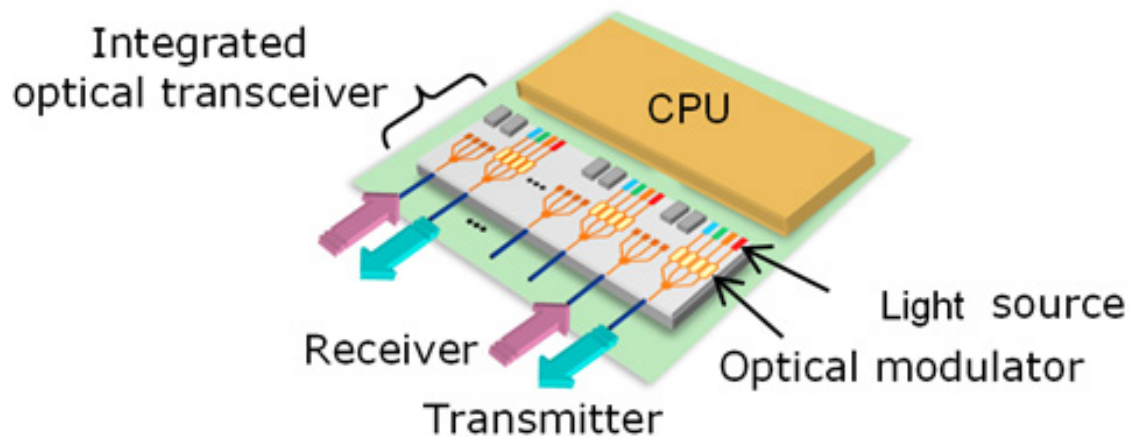
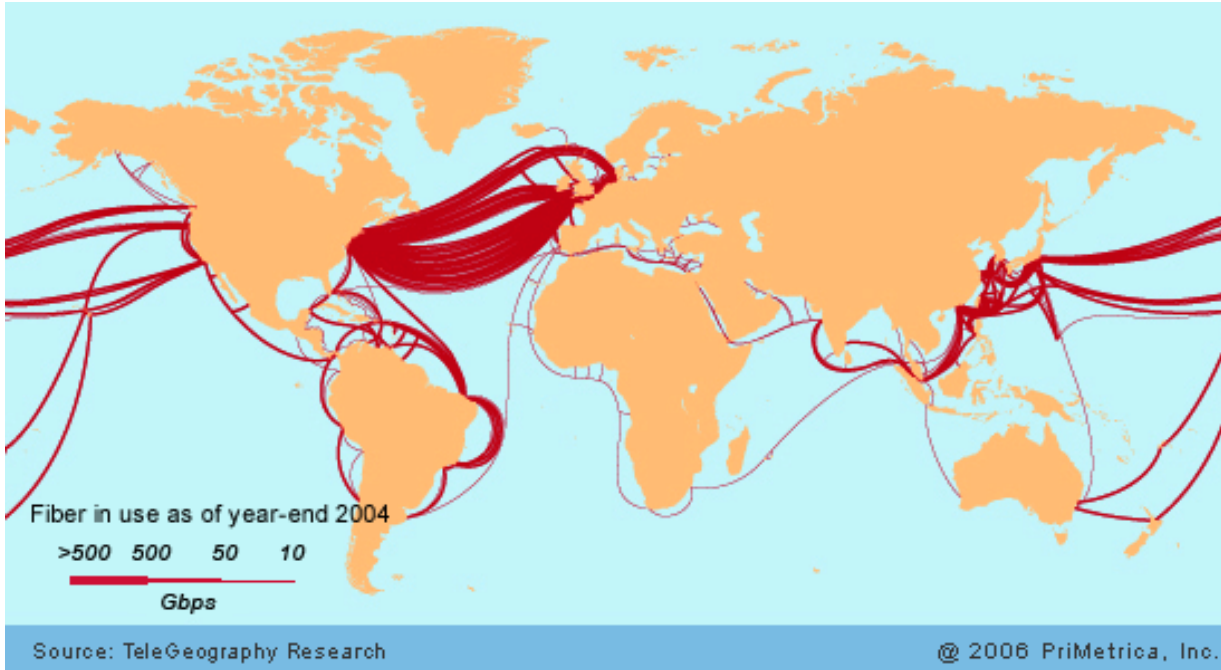


- Optoelettronica = interazione tra ottica + elettronica
- Ottica = segnali luminosi che trasportano informazioni
- Elettronica = elaborazione delle informazioni veicolate dai segnali

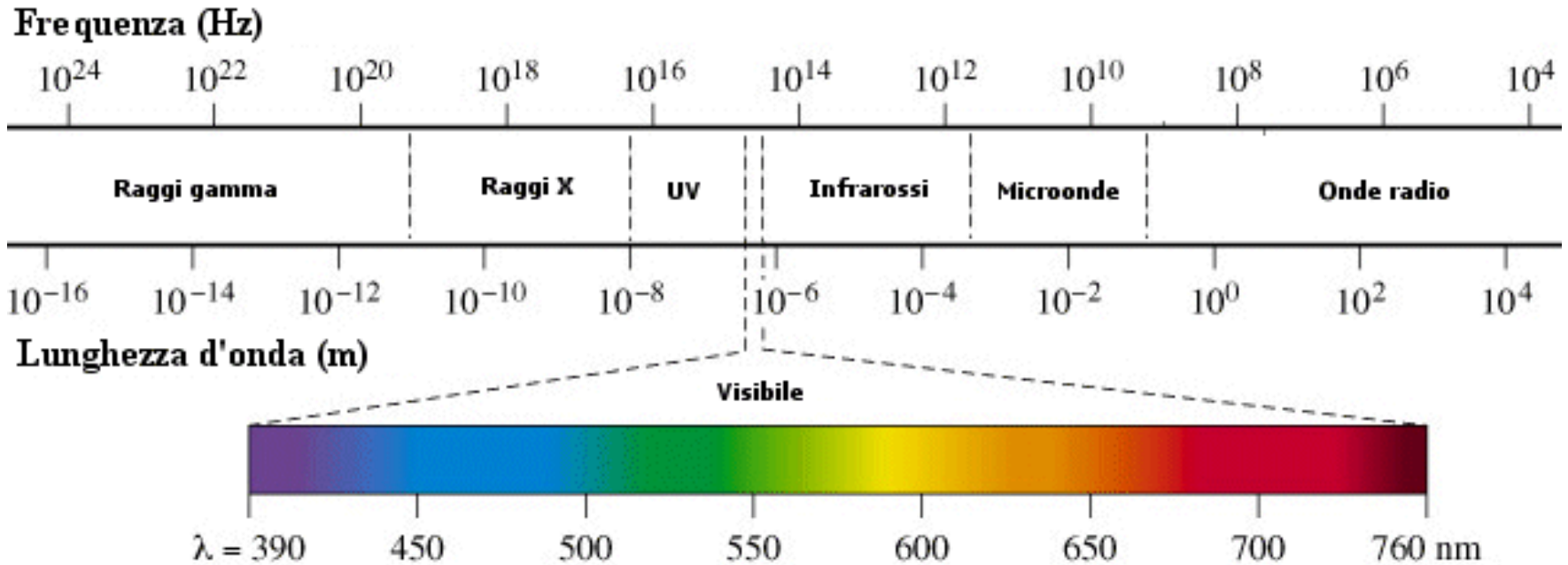
Applicazioni dell'optoelettronica

- **Trasmissione** dati ad alta velocità su diverse scale:
 - Scala globale (e.g., connessione intercontinentale)
 - Scala microscopica (optical interconnect on chip)
- **Conversione segnale** elettronico→ottico (LED, laser, display) e ottico→elettronico (photodiode)
- **Conversione energetica** (fotovoltaico)
- **Illuminazione** (LED), applicazioni industriali (laser per saldatura, interferometria)
- **Biomedica** (chirurgia laser, sensoristica)
- **Consumer** (fotocamere e telecamere in smartphones), distribuite nell'ambiente (webcam, CCV)

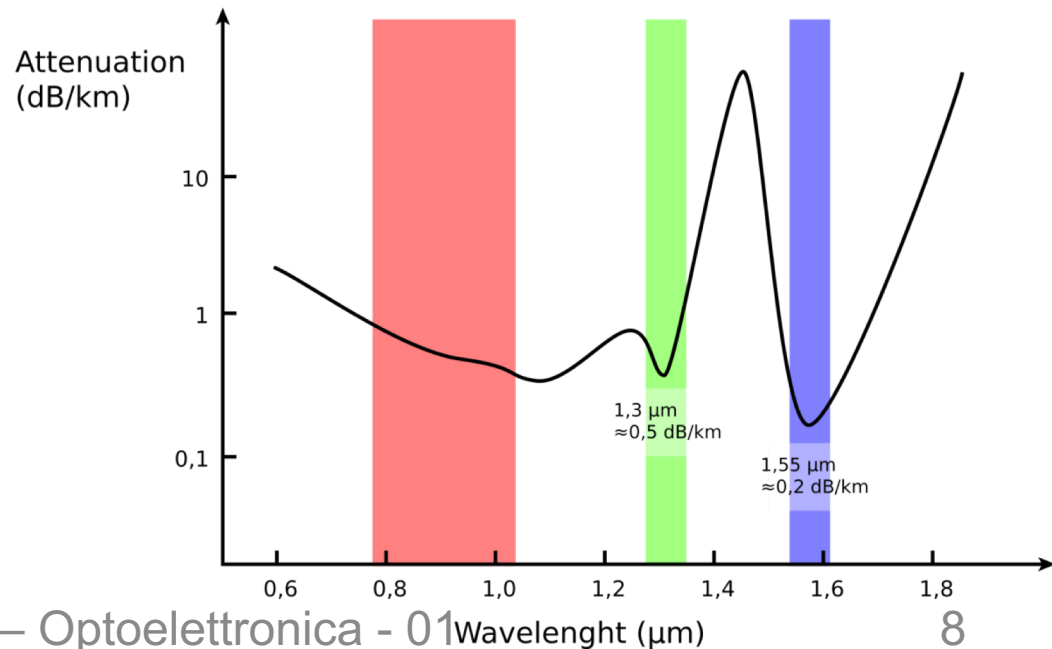
Trasmissione di informazioni



Segnali luminosi



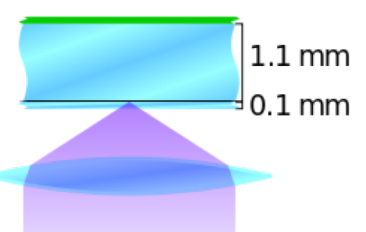
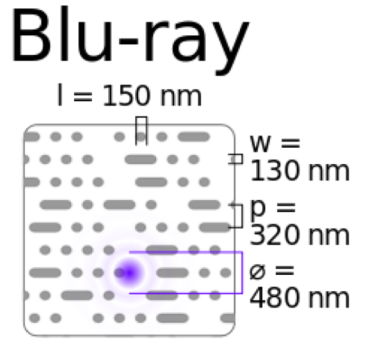
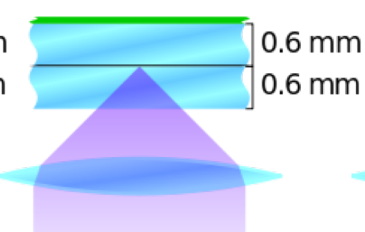
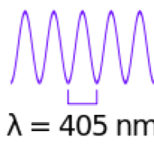
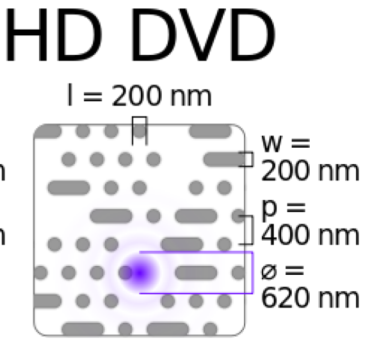
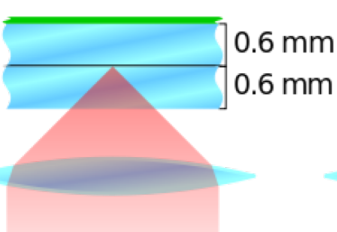
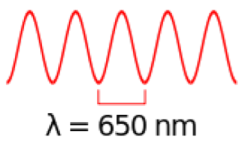
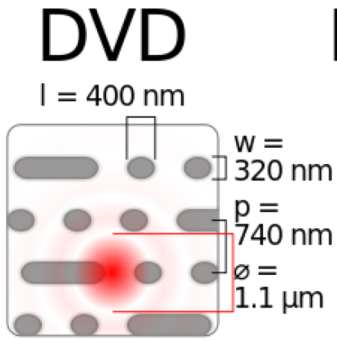
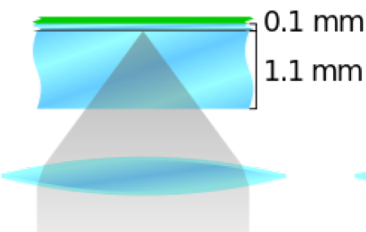
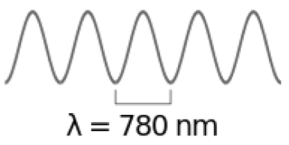
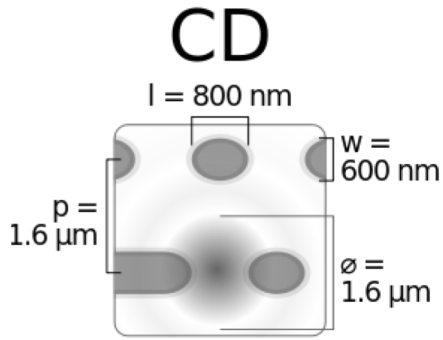
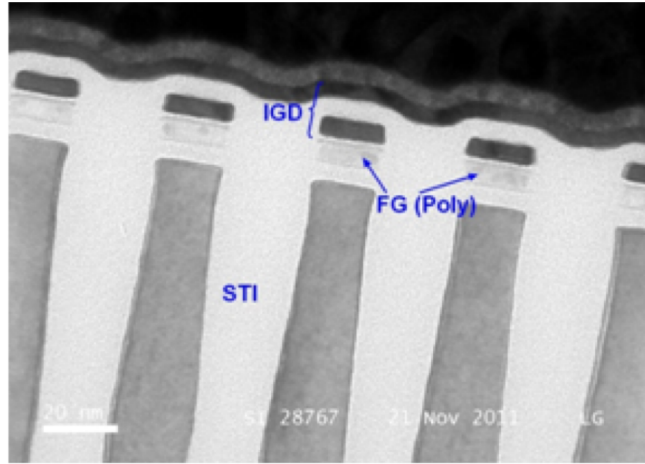
- La radiazione EM di interesse per l'optoelettronica è lo spettro visibile + infrarosso, esempio $\lambda = 1550$ nm



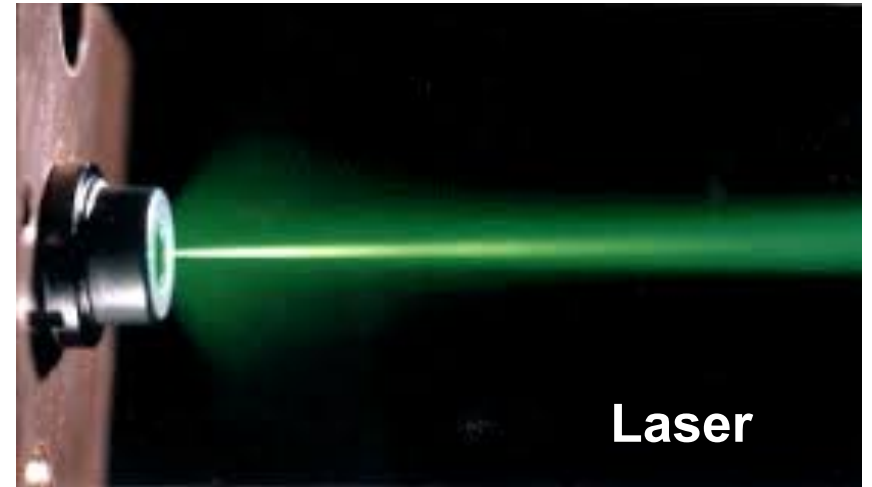
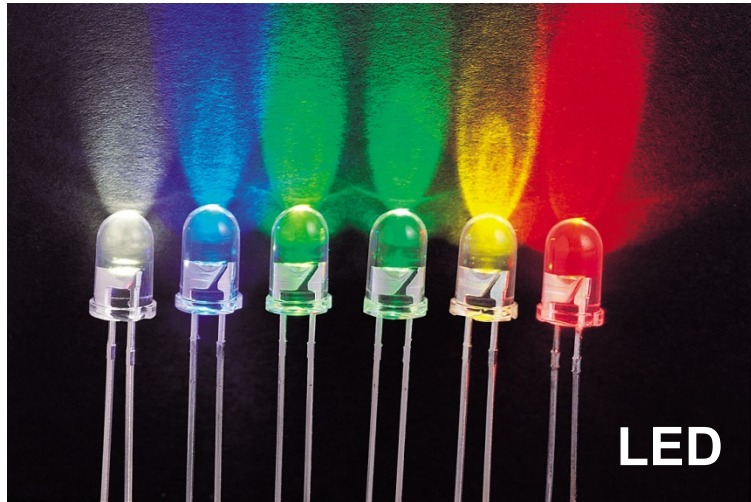
Why optical communications?

- La luce è veloce e relativamente poco attenuata, i fotoni non hanno massa/carica nessuna dissipazione associata al trasporto
- Tuttavia, l'elaborazione di segnali luminosi (optical computing, o fotonica) non è ancora stata dimostrata → c'è bisogno di un interfaccia tra elettronica (elaborazione) e ottica (trasmissione)
- Elettronica = scalabile secondo la legge di Moore (e.g., dimensione della cella Flash = 14 nm), mentre la luce è 'grande' (e.g., lunghezza d'onda 1.5 μm in fibra)

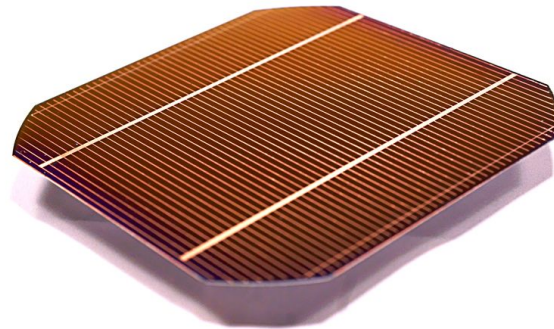
Optical vs. electronic memory



Dispositivi optoelettronici



Photodiode



Solar cell

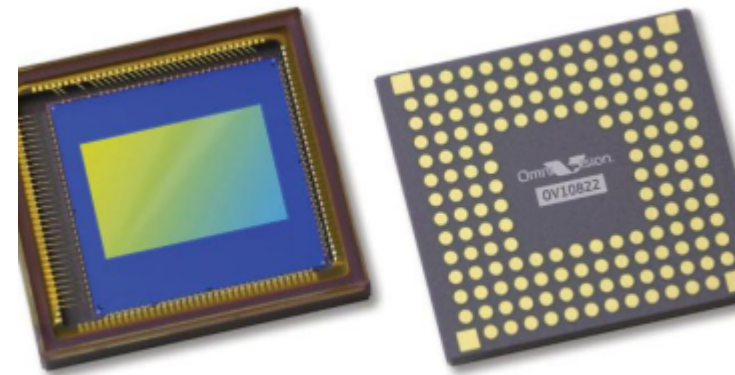


Image sensors

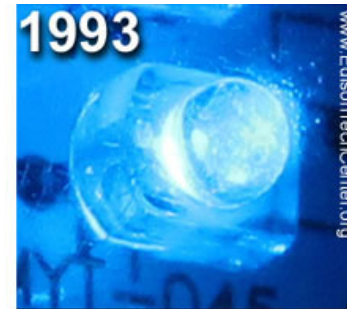
Light emitting diode (LED)



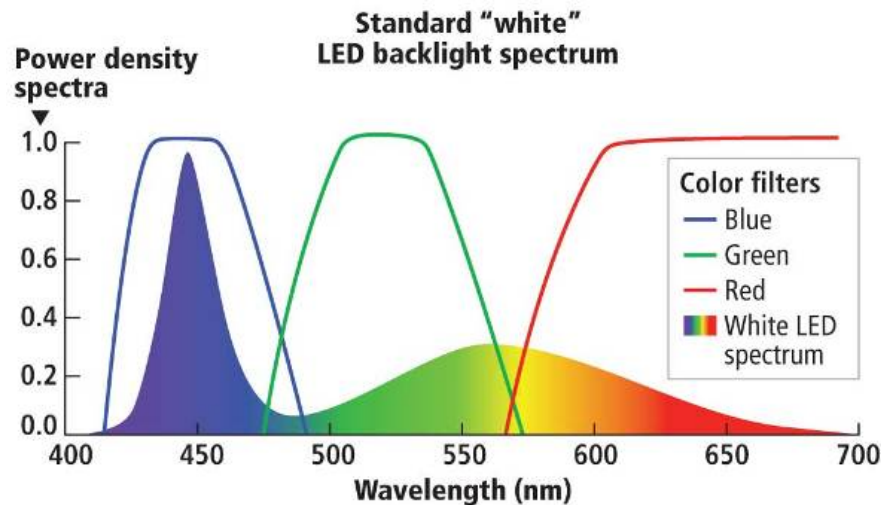
Nick Holonyak
Syracuse, NY



George Craford
St. Louis, MI



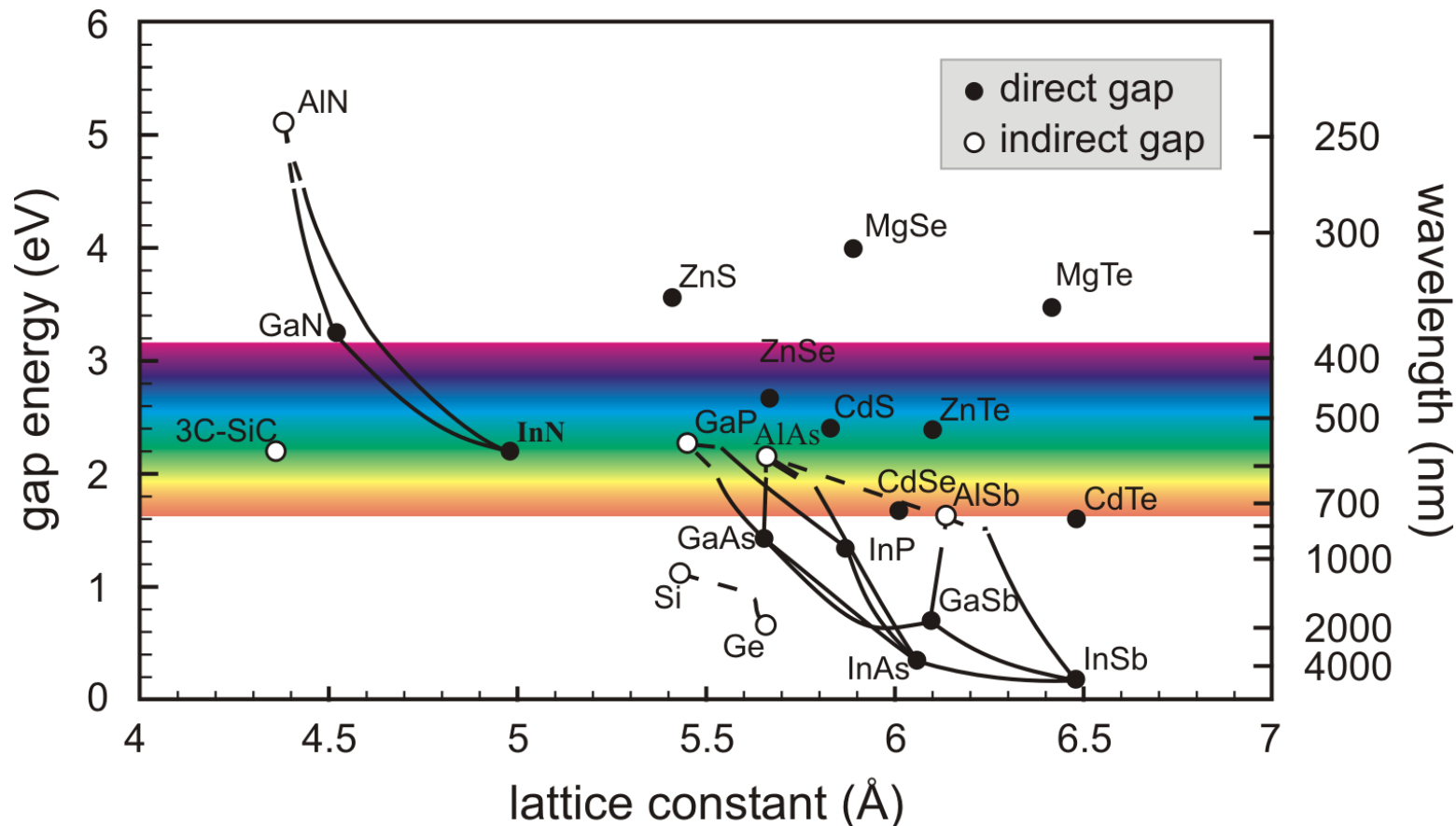
*Shuji Nakamura
Tokushima, Japan



Blue LED

- Isamu Akasaki, Hiroshi Amano e Shuji Nakamura sono i vincitori del premio Nobel per la fisica 2014 per l'invenzione dei diodi a emissione di luce blu
- Il led blu completa lo spettro della luce visibile e permette la generazione di luce bianca da LED, quindi a basso consumo, lunga durata ed alta efficienza
- L'emissione nel blu avviene grazie all'uso di semiconduttori ad alto gap, in particolare il GaN

Relazione tra colore e gap

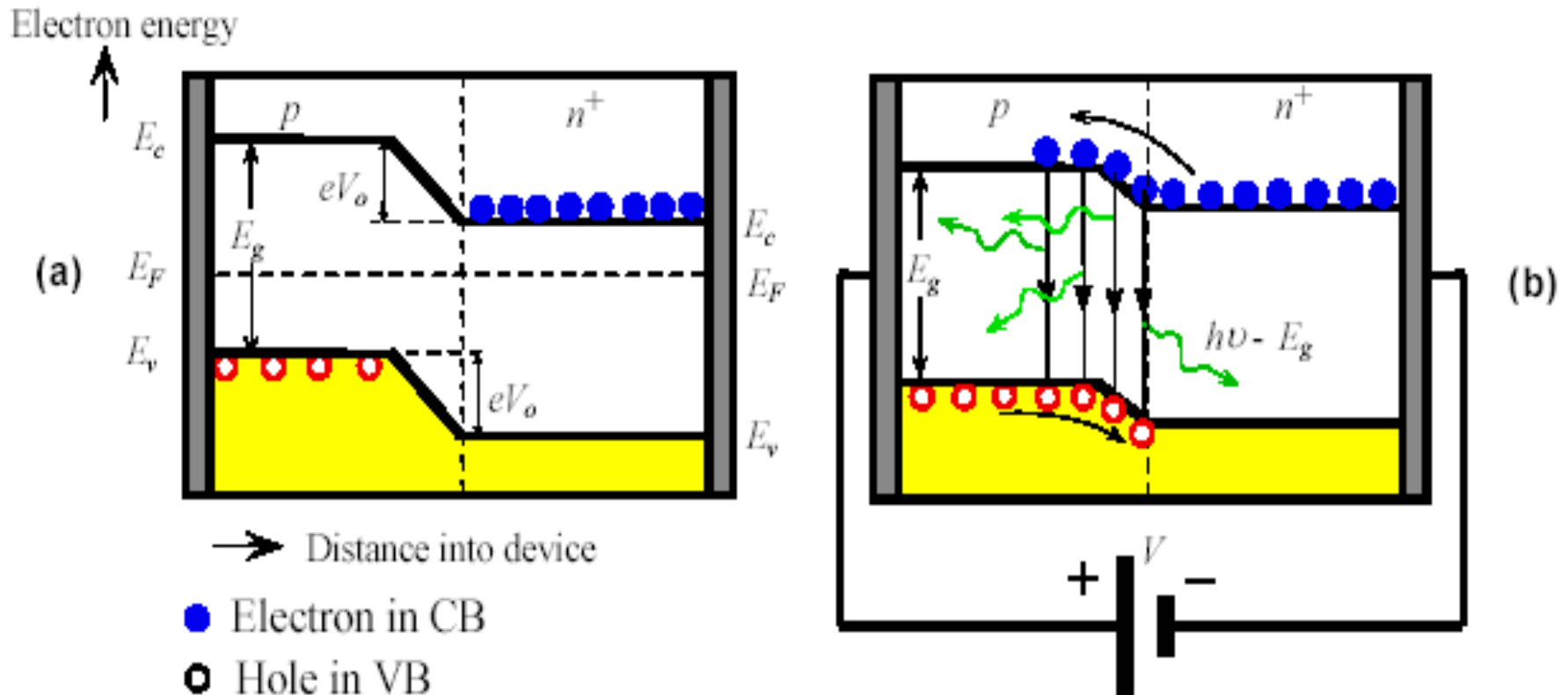


- Original infrared LED = GaAs
- Red LED using GaAsP (1962)
- Green LED = GaP, blu LED = GaN

LED material/color

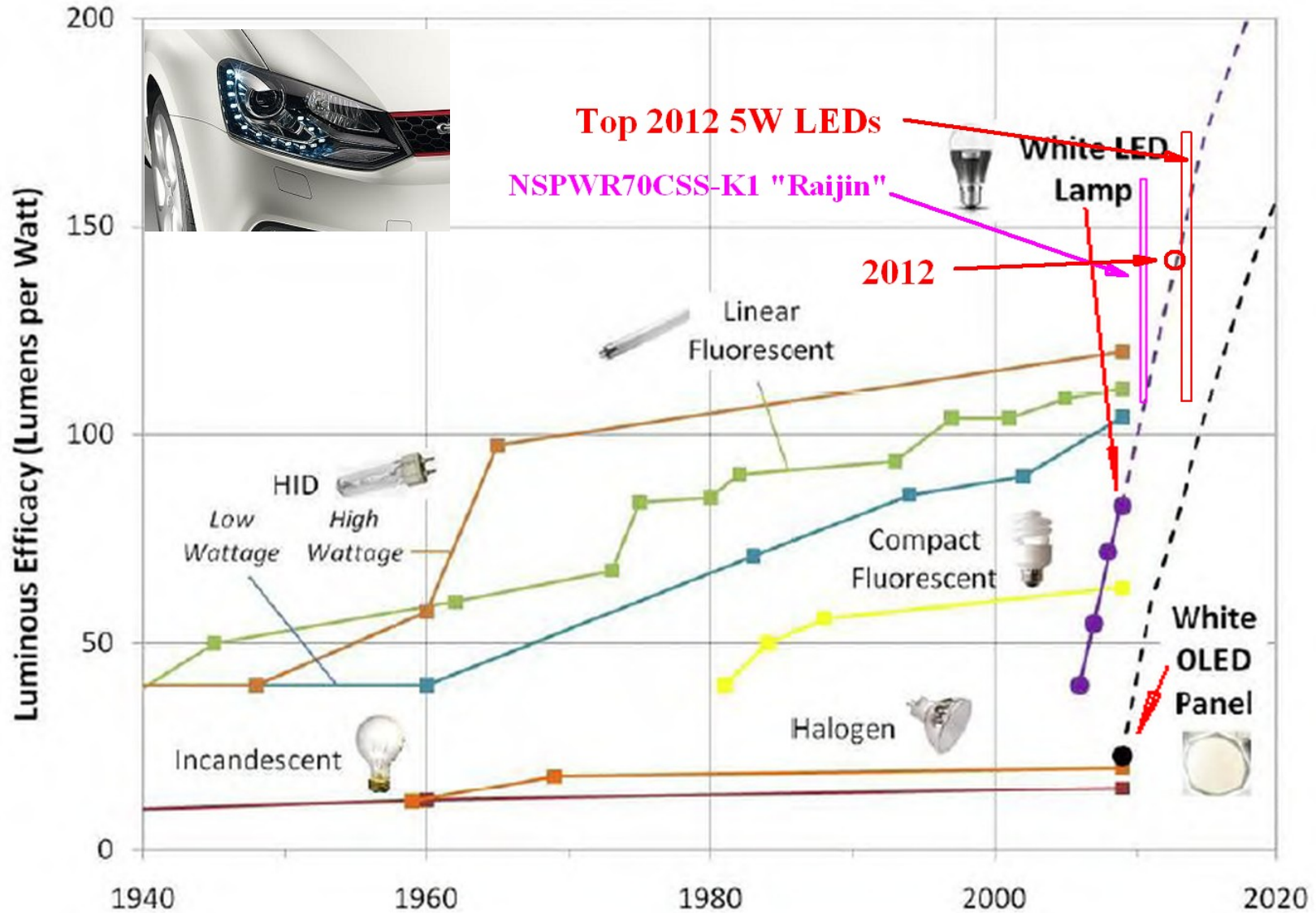
General Brightness				
GaP	GaN	GaAs	GaAlAs	--
Green, Red	Blue	Red, Infrared	Red, Infrared	--
Super Brightness				
GaAlAs	GaAsP	GaN	InGaN	GaP
Red	Red, Yellow	Blue	Green	Green
Ultra Brightness				
GaAlAs	InGaAlP	GaN	InGaN	--
Red	Red, Yellow, Orange	Blue	Green	--

Principio fisico

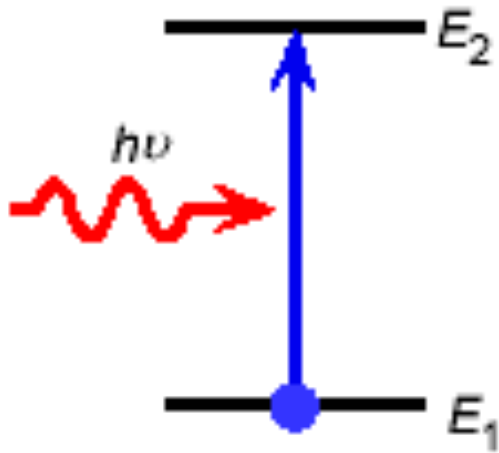


- Elettroni e lacune iniettati nella regione di giunzione \rightarrow ricombinazione radiativa
- Necessità di materiali a gap diretto

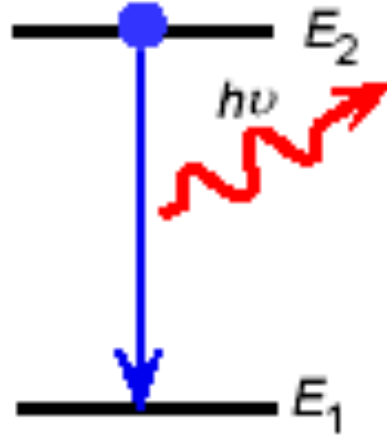
Applicazioni in illuminazione



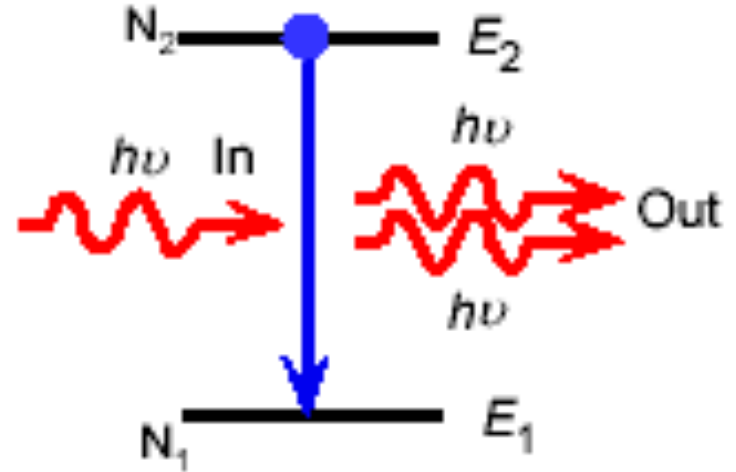
Laser diodes



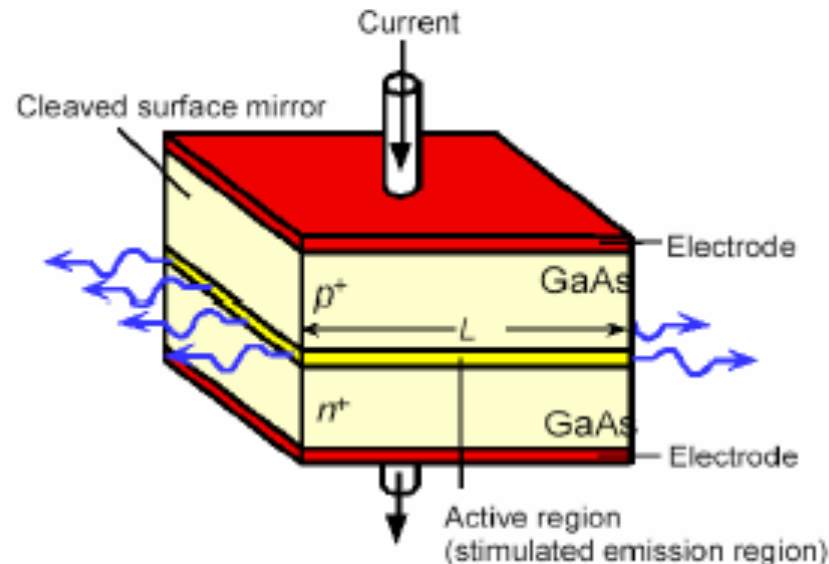
Assorbimento
(photodiode)



Emissione
spontanea (LED)



Emissione
stimolata (laser)



Storia del laser

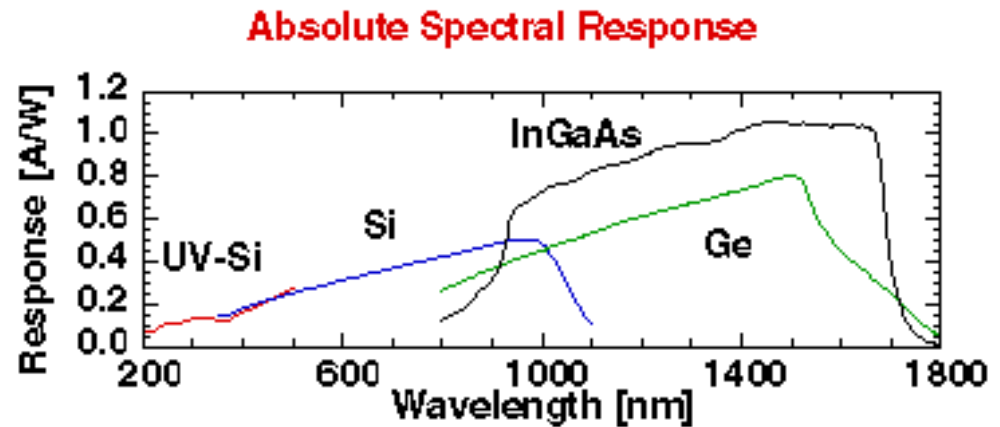
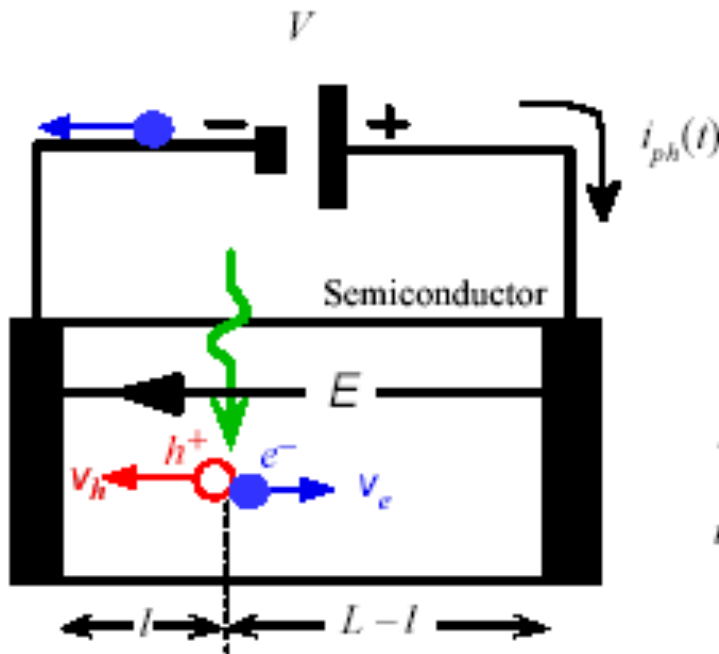


T. Maiman (1960) dimostra il primo laser a rubino



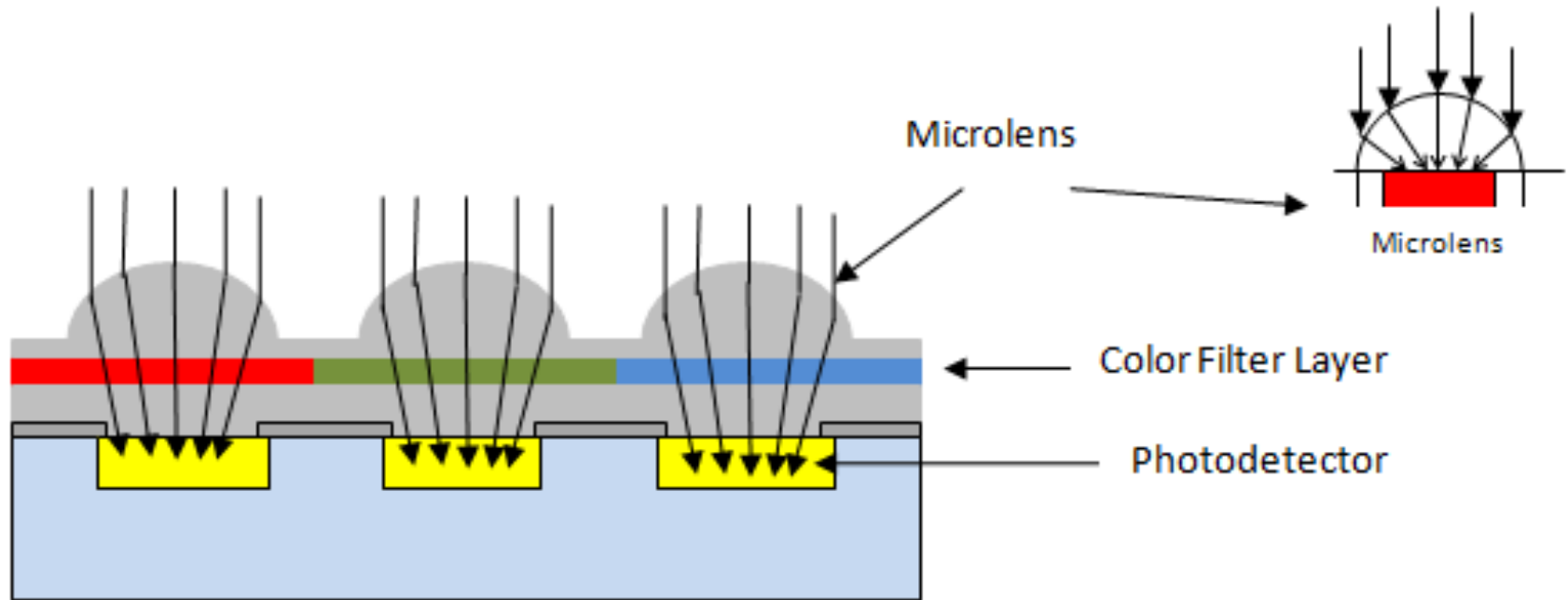
R. Hall (1962) dimostra il primo laser diode a infrarosso (GaAs)

Photodiodes



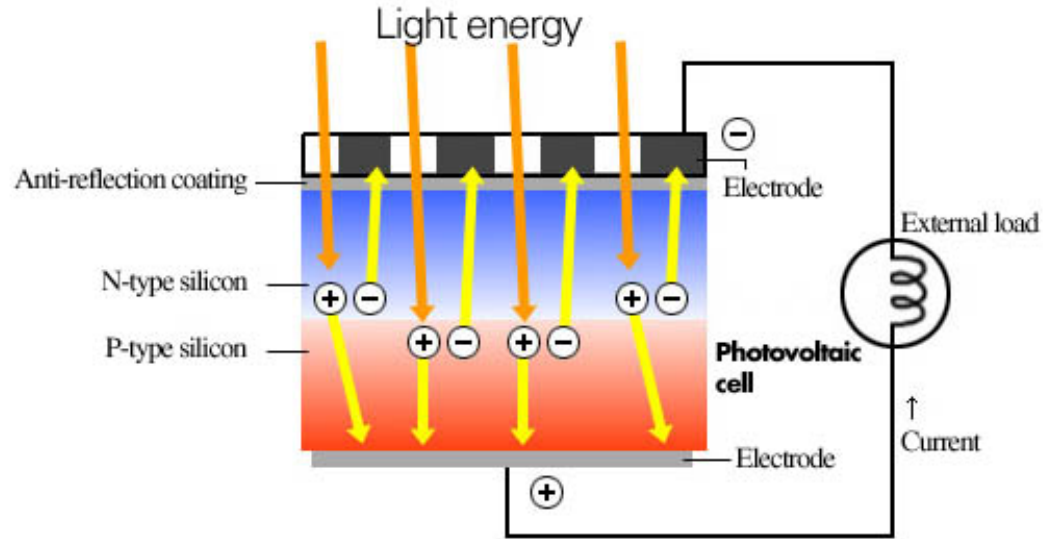
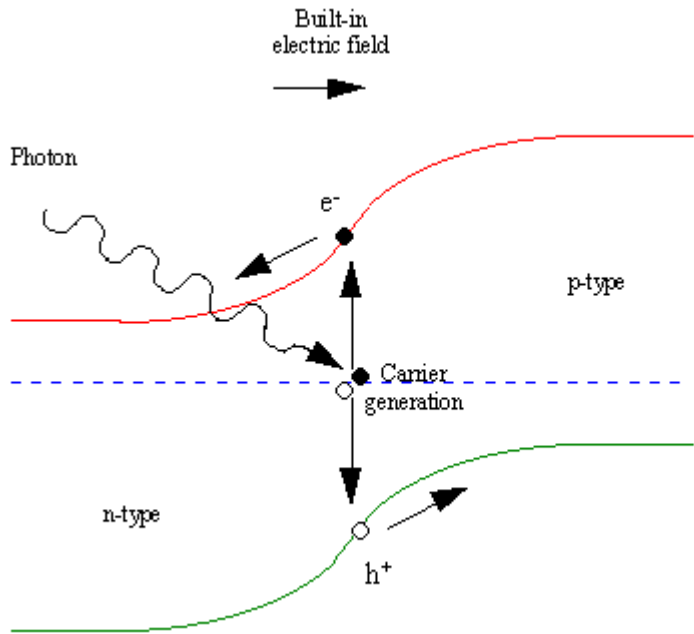
- Fotodiode = processo inverso del LED, converte luce in corrente elettrica
- Sensibilità al colore dipende dal gap

Image sensors



- Image sensor = capace di catturare un'immagine (fotocamere, smartphone, etc.)
- Pixel = picture element
- 2 technologies: CMOS and CCD, each with its own pros and cons

Solar cells



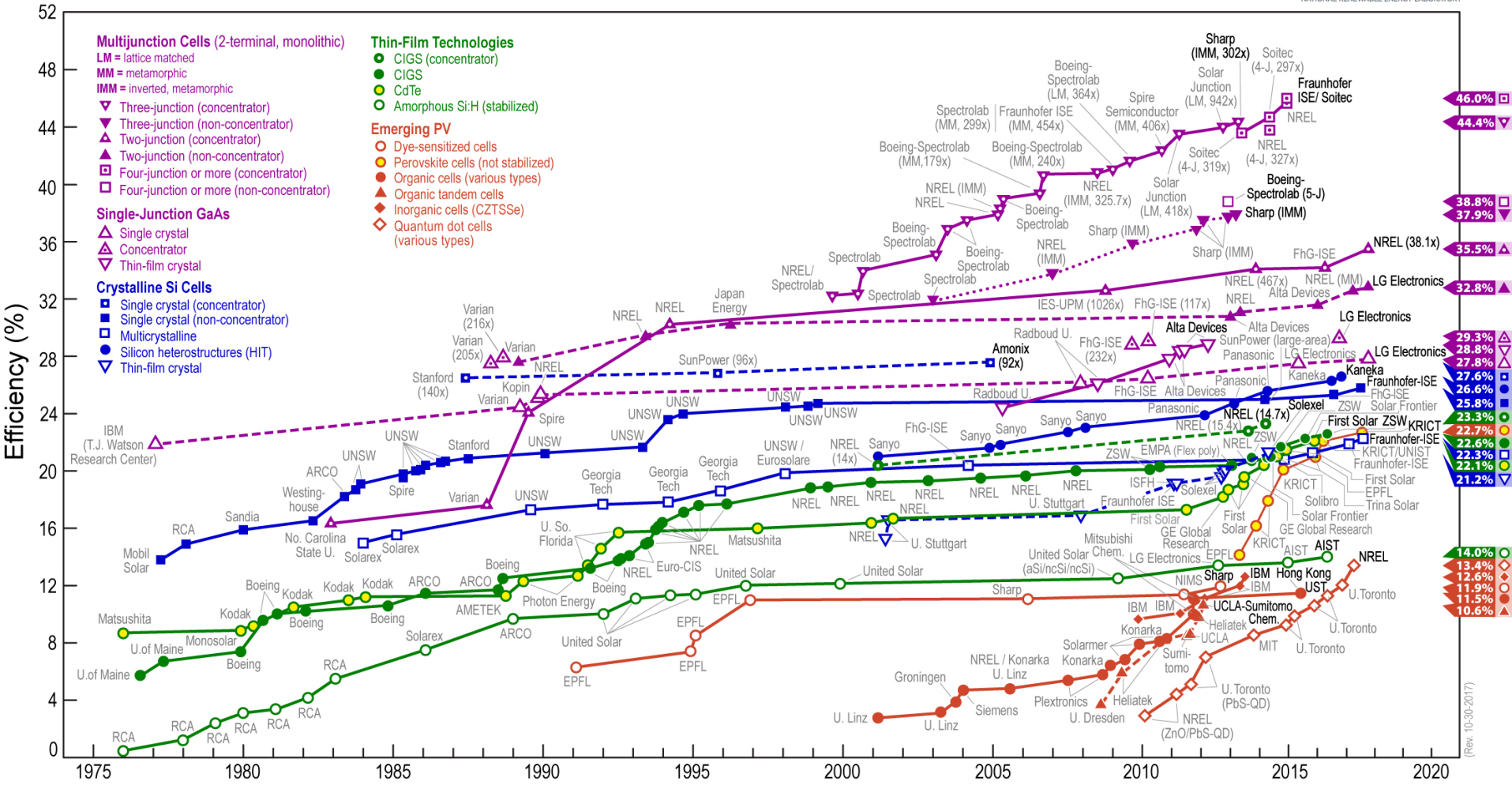
- Fotogenerazione di portatori comporta una corrente che fluisce esternamente da regione p (accumulo di lacune) a regione n (accumulo di elettroni)

Vantaggi del solare

- Unlimited, ubiquitous source of energy
- Direct Conversion of Sunlight → Electricity
- No Pollution
- No Release of Greenhouse-effect Gases
- No Waste or Heat Disposal Problems
- No Noise Pollution — very few or no moving parts
- No transmission losses — on-Site Installation

Evoluzione dell'efficienza

Best Research-Cell Efficiencies



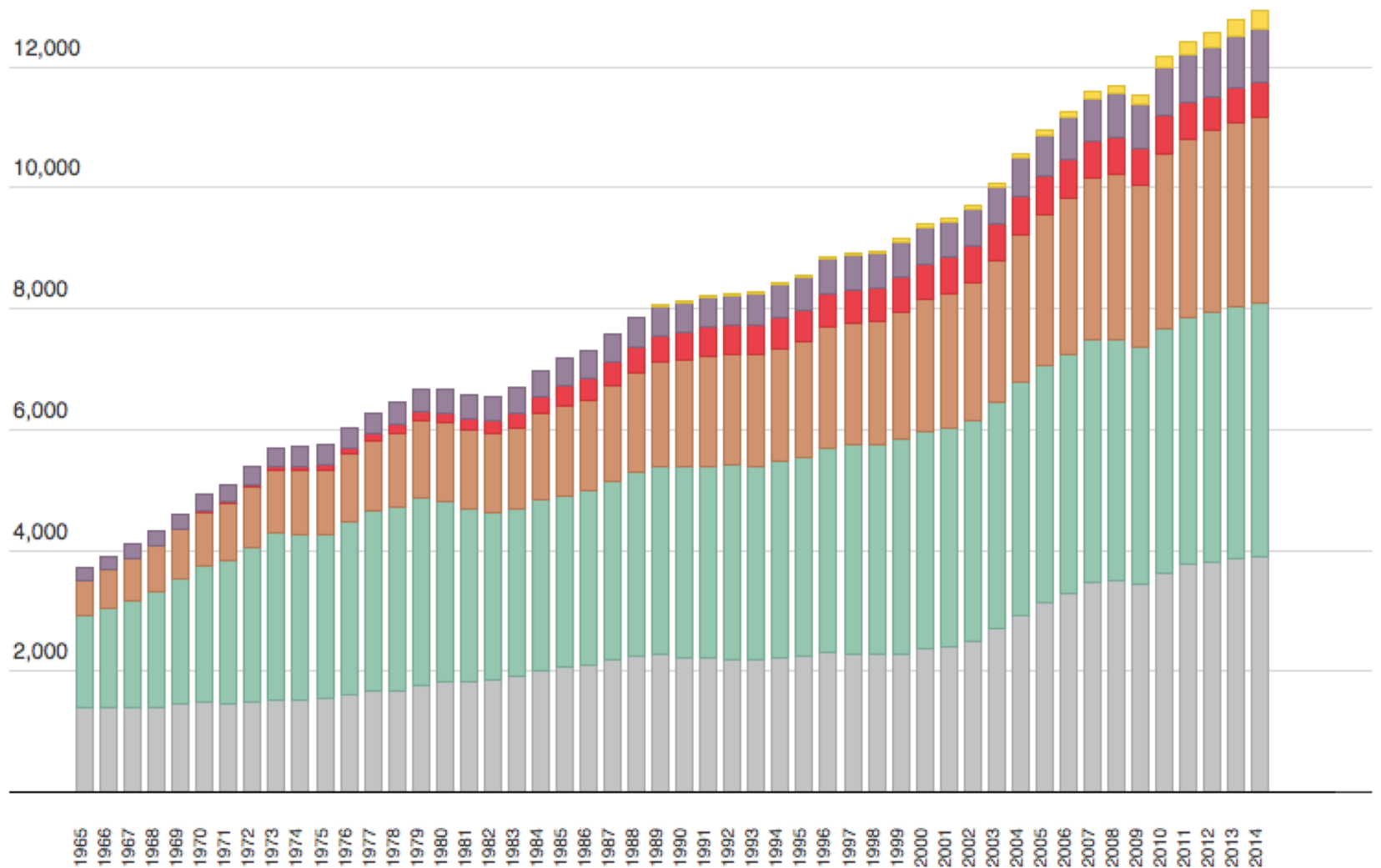
Costo-efficienza

- In generale, il costo aumenta all'aumentare dell'efficienza → tradeoff
- Dye-sensitized cells (DSC) e plasmonic solar cells (PSC) potrebbero migliorare questo tradeoff
- E.g. all'equatore la potenza dell'irraggiamento solare è di 1 kW/m^2
- Efficienza 10% → 100 W/m^2
- Solar plant da 1 km^2 → 100 MW

Global energy use by source

In millions of tons of oil equivalent

Coal Oil Natural gas Nuclear Hydroelectricity Other renewables



Source: BP Statistical Review of Energy 2015



Ascesa del fotovoltaico

