

Fondamenti di Elettronica

W
W
W

Docente: Andrea CASTOLDI
HO Esercitatore: Christian PADOVANI

HEN

Ricevimento: 2h/sett. oppure on
demand (da definire)

HERE

↳ Dip. di Elettronica, Informazione e Bioingegneria
Ed. 24, Via Golgi 40



Andrea.Castoldi@polimi.it

Subject: Fondamenti di Elettronica



02 2399 6321

LEZIONI/ESERCITAZIONI

orario

085746 - FONDAMENTI DI ELETTRONICA		10.00	1	Milano Leonardo		--							
Funzioni disponibili													
Aula virtuale destinata a ricevimento studenti, esami orali, eventuali attività di gruppo e da usare come piattaforma alternativa in caso di interruzione del servizio CISCO Webex Meetings.													
	Aula virtuale Teams												
	Scaglioni da manifesto (Mostra >>)		Scaglioni per esame (Mostra >>)		Orario didattico (Nascondi <<)								
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	3.1.2												
Martedì	26.11	FONDAMENTI DI ELETTRONICA lezione (dal 13/09/2022 al 20/12/2022)											
Mercoledì													
Giovedì	T.0.2												
Venerdì													
Sabato													

- la prima settimana verifichiamo la logistica (aula/lavagne etc)

presenza/distanza

- linee guida del CCS INF non e' previsto lo streaming delle lez/es.
- verranno effettuate/condivise tutte le registrazioni lez/es.

LIBRI DI RIFERIMENTO SUGGERITI

□ Libro di testo (3 possibili scelte)



F. Zappa
Elettronica, 2a ed.
EdiSeS Universita' Srl, 2016

Fondamenti di Elettronica

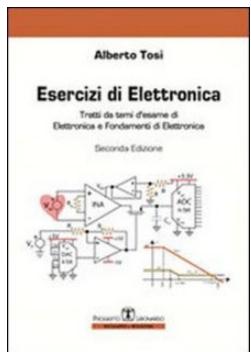


G. Acconcia/A. Castoldi/S. Levantino/N. Lusardi
Fondamenti di Elettronica, McGraw Hill, 2020



Sedra/Smith Circuiti per la Microelettronica, EdiSeS Universita', 2019
(trad. Microelectronics Circuit 7th edition, Oxford University Press)

□ Eserciziario



Tosi, Esercizi di Elettronica, Progetto Leonardo, Esculapio (Bologna), 2011

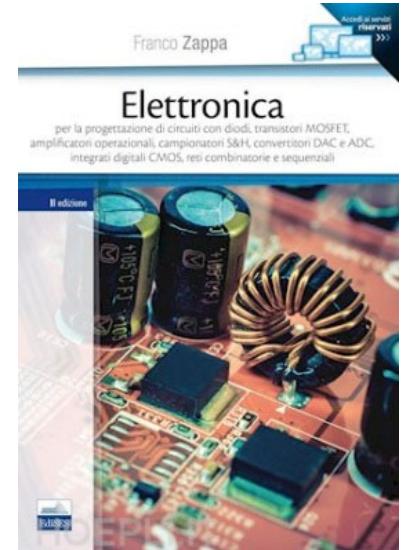
La scelta del testo e' libera

Un singolo testo fornisce una **copertura al 80-90% degli argomenti del corso**. L'integrazione con il **materiale disponibile (WeBeep)** completa i supporti didattici necessari.

- Vi invito caldamente ad utilizzare un libro di testo per lo **STUDIO INIZIALE** dei singoli argomenti.
- Successivamente potete fare esercizi specifici per argomento (dal libro, da eserciziario, da WeBeep)
- **SOLO ALLA FINE** cimentatevi con i temi d'esame.

Zappa, Elettronica, EdiSeS Univ., 2° ed. 2016: Dettaglio indice

- Cap.1 Segnali e sistemi
- Cap.2 Semiconduttori
- Cap.3 Diodo (3.1,3.2,3.3,3.4, da 3.7 a 3.12 cenni esempi applicativi)
- Cap.4 Transistore MOS (4.1, 4.2, 4.3 cenni)
- Cap.5 Analisi in frequenza
- Cap.6 Amplificatori (no struttura interna OpAmp)
- Cap.7 Circuiti lineari con OpAmp (7.1, 7.2, 7.3)
- Cap.8 Circuiti non lineari con OpAmp (8.3, 8.4.5)
 - 8.3 Trigger di Schmitt
 - 8.4.5 Multivibratore astabile
- Cap.9 Caratteristiche degli OpAmp
- Cap.10 Stabilità e compensazione (10.1, 10.3, cenni 10.4-10.5)
- Cap.11 Campionamento e S&H (11.1 cenni, 11.3, 11.4, 11.5)
 - 11.1 Teorema del campionamento
 - 11.3 Sample&Hold
 - 11.4 Non idealità dei S&H
 - 11.5 Esempi di simulazione
- Cap.12 Convertitori DAC (no 12.5.3 SiNAD, no 12.5.4 Distorsione armonica)
- Cap.13 Convertitori ADC (13.1, 13.2, 13.3, 13.4, 13.7 cenni)
 - 13.1 Generalità
 - 13.2 Caratteristiche statiche
 - 13.3 Classificazione degli ADC
 - 13.4 Architetture
 - 13.7 Requisiti di pilotaggio degli ADC
- Cap.14 Logica CMOS (no 14.8 Confronto CMOS/TTL, no 14.9 High-Speed CMOS)
- Cap. 15 Reti digitali (solo i cenni dati nel corso)



G. Acconcia/A. Castoldi/S. Levantino/N. Lusardi

Fondamenti di Elettronica, McGraw Hill, 2020

Parte I

1 - Capitolo 1 - Introduzione all'elettronica	3
1.1 Breve storia dell'elettronica: dai tubi a vuoto ai sistemi a scala di integrazione gigantesca	
1.2 Classificazione dei segnali elettronici	
1.3 Convenzioni sulle notazioni	
1.4 Metodologia per la soluzione dei problemi	
1.5 Richiami di teoria dei circuiti	
1.6 Spettro di frequenza dei segnali elettronici	
1.7 Amplificatori	
1.8 Variazione dei parametri nella progettazione circuitale	
1.9 Precisione numerica	
2 - Capitolo 2 - Elettronica dello stato solido	
2.1 Materiali dell'elettronica a stato solido	
2.2 Modello a legame covalente	
2.3 Correnti di deriva e mobilità nei semiconduttori	
2.4 Resistività del silicio intrinseco	
2.5 Impurità nei semiconduttori	
2.6 Concentrazioni degli elettroni e delle lacune nei semiconduttori estratti	
2.7 Mobilità e resistività nei semiconduttori estrinseci	
2.8 Corrente di diffusione	
2.9 Corrente totale	
2.10 Modello a bande di energia	
2.11 Cenni sulla fabbricazione dei circuiti integrati	
3 - Capitolo 3 - Diodo a stato solido e circuiti a diodi	
3.1 Il diodo a giunzione pn	
3.2 Caratteristica i-v del diodo	
3.3 L'equazione del diodo: un modello matematico per il diodo	
3.4 Diodo in polarizzazione inversa, nulla e diretta	
3.5 Coefficiente di temperatura del diodo	
3.6 Il diodo in polarizzazione inversa	
3.7 Capacità della giunzione pn	
3.8 Diodo a barriera Schottky	
3.9 Modello SPICE e layout del diodo	
3.10 Analisi dei circuiti a diodi	
3.11 Circuiti a più diodi	
3.12 Analisi di diodi polarizzati nella regione di rottura	
3.13 Raddrizzatore a semionda	
3.14 Raddrizzatore a doppia semionda	
3.15 Raddrizzatore a ponte a doppi	
3.16 Confronto tra i raddrizzatori e cir	
3.17 Il diodo in commutazione	
3.18 Fotodiodi, celle solari e diodi en'	

Fondamenti di Elettronica

Giovanni Acconcia
Andrea Castoldi
Salvatore Levantino
Nicola Lusardi
Politecnico di Milano
Corso di laurea in Ingegneria Informatica



4 - Capitolo 4 - Transistori a effetto di campo	
4.1 Il condensatore MOS	
4.2 MOSFET a canale n (NMOS)	
4.3 MOSFET a canale p (PMOS)	
4.4 Simboli circuituali del MOSFET	
4.5 Capacità del MOSFET	
4.6 Modello SPICE del MOSFET	
4.7 Riduzione delle dimensioni del transistore MOS	
4.8 Fabbricazione del transistore MOS e regole di progetto	
4.9 Polarizzazione del MOSFET	
4.10 Polarizzazione dei transistori PMOS	
5 - Capitolo 6 - Introduzione all'elettronica digitale	
6.1 Porte logiche ideali	
6.2 Definizione dei livelli logici e dei margini di rumore	
6.3 Risposta dinamica di una porta logica	
6.4 Richiami di algebra booleana	
6.5 Progetto di circuiti logici NMOS	
6.6 Utilizzo di dispositivi attivi in alternativa al resistore di cari	
6.7 Confronto fra gli invertitori NMOS	
6.8 Effetto della saturazione della velocità sul progetto statico	
6.9 Porte logiche NMOS elementari	
6.10 Porte logiche NMOS complesse	
6.11 Dissipazione di potenza	
6.12 Comportamento dinamico delle porte NMOS	
6.13 Porte logiche PMOS	
6 - Capitolo 7 - Progetto di circuiti logici MOS complementari (CMOS)	
7.1 Tecnologia dell'invertitore CMOS	
7.2 Caratteristiche statiche dell'invertitore CMOS	
7.3 Comportamento dinamico dell'invertitore CMOS	
7.4 Dissipazione di potenza e prodotto ritardo-potenza nelle	
7.5 Porte NOR e NAND CMOS	
7.6 Porte logiche CMOS complesse	
7.7 Progetto e prestazioni di porte logiche ad area minima	
7.8 Circuiti di buffer	
7.9 La porta di trasmissione CMOS	
7.10 Circuito bistabile	
7.11 Il problema del latchup	

13 - Capitolo 10 - Sistemi analogici e amplificatori operazionali	316
10.1 Un esempio di sistema elettronico analogico	317
10.2 Amplificazione	318
10.3 Modelli a doppio bipolo	323
10.4 Disadattamento delle impedenze del generatore e di carico	327
10.5 Introduzione all'amplificatore operazionale	329
10.6 Distorsione negli amplificatori	332
10.7 Modello dell'amplificatore differenziale	333
10.8 L'amplificatore differenziale e l'amplificatore operazionale ideali	335
10.9 Circuiti con amplificatori operazionali ideali	337
10.10 Funzione di trasferimento e risposta in frequenza	350
14 - Capitolo 11 - Operazionali non ideali e stabilità della retroazione degli amplificatori operazionali	372
11.1 Sistemi con retroazione	373
11.2 Analisi di circuiti con amplificatori operazionali non ideali	375
11.3 Circuiti con retroazione serie e parallelo	386
11.4 Metodo generale per il calcolo del guadagno di amplificatori retroazionati	388
11.5 Retroazione serie-parallelo - amplificatore di tensione	389
11.6 Retroazione parallelo-parallelo - amplificatore di transresistenza	395
11.7 Retroazione serie-serie - amplificatore di transconduttanza	400
11.8 Retroazione parallelo-serie - amplificatore di corrente	404
11.9 Calcolo del guadagno di anello con iniezioni successive di tensione e corrente	409
11.10 Riduzione della distorsione per mezzo della retroazione	412
11.11 Cause di errore in continua e limitazioni dell'escursione in uscita	413
11.12 Reiezione di modo comune e resistenza di ingresso	420
11.13 Risposta in frequenza e larghezza di banda degli amplificatori operazionali	430
11.14 Stabilità degli amplificatori retroazionati	441
15 - Capitolo 12 - Applicazioni degli amplificatori operazionali	454
12.1 Connessione in cascata di amplificatori	455
12.2 Amplificatore per strumentazione	467
12.3 Filtri attivi	470
12.4 Circuiti a capacità commutate	483
12.5 Conversione digitale-analogica	490
12.6 Conversione analogico-digitale	497
12.7 Oscillatori	509
12.8 Applicazioni non lineari	516
12.9 Circuiti a retroazione positiva	519
16 - Memorie e circuiti programmabili	527
16.1 Memoria a sola lettura (ROM)	527
16.2 Indirizzamento bidimensionale di una ROM	532
16.3 Applicazioni delle ROM	533
16.4 ROM programmabili (PROM)	537
16.5 PROM cancellabili	538
16.6 Dispositivi logici programmabili	540
16.7 Memoria ad accesso casuale (RAM)	545
16.8 Celle di memoria lettura-scrittura	549
16.9 Celle per RAM bipolar	554
16.10 Microprocessori e microelaboratori	556
16.11 Conversione dei segnali	558
16.12 Convertitori digitali-analogici (D/A)	563
16.13 Convertitori analogico-digitali (A/D)	566

Sedra/Smith, Circuiti per la Microelettronica, EdiSeS Univ., 2019

Dettaglio indice

1. Elettronica e semiconduttori
2. Amplificatori operazionali
3. Diodi (no 3.7 Tipi particolari di diodi)
5. Transistori ad effetto di campo MOS (MOSFETs) (5.1, 5.2, 5.3, no effetto body)
6. Amplificatori a transistori (6.1, cenni)
10. La retroazione (10.1, 10.2, 10.7, 10.8, 10.9, 10.10)
14. Circuiti generatori di segnale e formatori d'onda (14.4, 14.5)
 - 14.4 Multivibratori bistabili
 - 14.5 Uso dei multivibratori astabili per la generazione di forma d'onda
15. Circuiti logici digitali CMOS
16. Tematiche avanzate nella progettazione di circuiti integrati digitali (16.4, pass transistor logic)
17. Circuiti di memoria (17.1, 17.2, 17.3)
 - 17.1 Latch e Flip/Flop
 - 17.2 Memorie a semiconduttore: tipi ed architetture
 - 17.3 Celle di memoria ad accesso casuale (RAM)



RICEVIMENTO

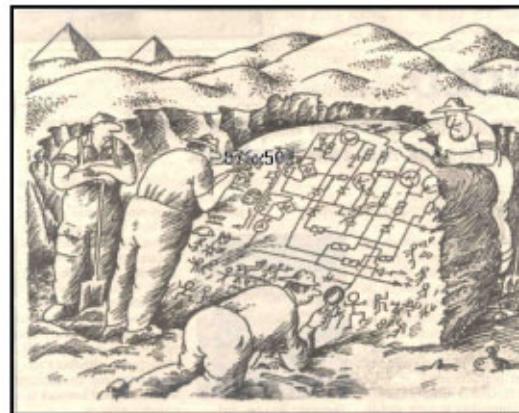
□ Ricevimento: 2h/settimana tutto l'anno

- Sono disponibile per **qualsiasi spiegazione o dubbio, durante tutto l'anno.** L'ideale e' quando vi state preparando per l'esame o durante il corso per chiarire possibili dubbi o affinare/approfondire le proprie conoscenze.
- «venite» da soli o in piccoli gruppi di studio condividendo i vostri appunti/esercizi svolti, con un elenco puntato di domande, risolvendo in diretta, etc. E' un'opportunita' per confrontarvi apertamente e rafforzare la vostra preparazione.
- quando: il vostro orario e' abbastanza pieno...
- mar 17:30 ? oppure on-demand ?

materiale didattico/integrativo su WeBeep

fondadiele2020

- slides/pdf usati durante il corso
- traccia esercitazioni svolte in aula
- brevi dispense su argomenti singoli (ad es. richiami analisi circuiti lineari, circuiti reazionati)
- temi d'esame con traccia di soluzione
- registrazioni Webex (link)
- modalita' d'esame, avvertenze, variazioni, etc.



CONOSCENZE DI BASE/PREREQUISITI

- ✓ Leggi di Kirchhoff
 - ✓ Equivalente Thevenin e Norton
 - ✓ Concetto di impedenza - Reti in regime sinusoidale
 - ✓ Reti elementari in regime transitorio: e.g. circuito RC e CR
- senza sufficiente conoscenza e capacita' di applicazione di questi concetti e' senza dubbio difficile superare l'esame di Fondamenti di Elettronica
- Si intende che non bisogna solo «conoscere» il teorema o il concetto solo «teoricamente»....
- ...bisogna padroneggiare questi strumenti (esercitarsi, esercitarsi), cioe' saperli applicare e risolvere circuiti specifici

MODALITA' D'ESAME

- L'esame consta di una **prova scritta** che verte su **tutto il programma del corso**.
 - Sono previste le **2 prove in itinere** a metà/fine semestre
- In generale le domande possono richiedere la risoluzione di **problematiche specifiche** oppure possono anche essere **domande di carattere teorico**.
- Viene valutato lo **svolgimento**, non il mero risultato numerico/grafico. Vanno quindi **motivati con chiarezza e logica** i **passaggi salienti** della risoluzione adattata.
 - Disponibili numerosi esempi di temi d'esame risolti

TEMA D'ESAME - esempio

Fondamenti di Elettronica – Ing. INFORMATICA - AA 2020/2021

12 Febbraio 2021 – secondo appello - modalità a distanza – durata 2h 30min

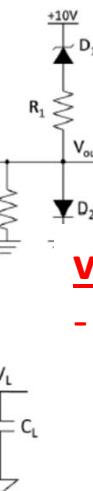
1. Numerare tutti i fogli e riportare su ciascun foglio nome, cognome e codice persona.
2. Indicare chiaramente la domanda a cui si sta rispondendo. Ad esempio 1a)...
3. Non sono ammessi libri o appunti o altro materiale, eccetto la calcolatrice.

Esercizio 1

Dati: $R_1 = R_2 = 1 \text{ k}\Omega$, $C = 2nF$, $I_L \in [-5mA; +5mA]$. Diodo zener con $V_{BD} = -5V$.

- a) Disegnare su un grafico quotato la caratteristica statica $V_{out} - I_L$.
- b) Tracciare su un grafico quotato $V_{out}(t)$ in risposta ad un gradino di corrente I_L da 0mA a -5mA.

2 es. (6.6 pts)



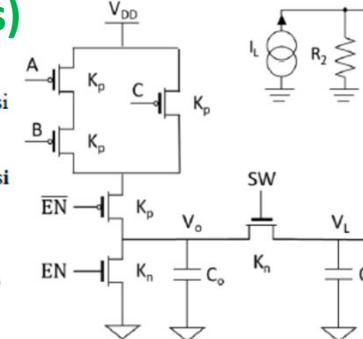
Esercizio 2

Dati: $V_{dd} = 5V$, $V_{Tn} = |V_{Tp}| = 2V$, $k_n = \frac{1mA}{V^2}$, $C_o = 10pF$, $C_L = 1pF$.

Si consideri EN=1 e SW=0.

- a) Dimensionare k_p per avere $V_{oH} = 4V$ e $V_{oL} = 0V$ nelle configurazioni ABC=000 e ABC=111.
- b) Calcolare il tempo di propagazione su V_o quando ABC commutano istantaneamente da 000 a 111; si consideri una soglia di commutazione pari a $V_{dd}/2$.
- c) Sia ora EN = 0, SW = 0 e $V_o = V_{oH}$; calcolare il livello di tensione finale su $V_L (= V_{L,final})$ quando SW = '1' e considerando una tensione iniziale su $V_L (= V_{L,iniziale})$ di 2.5 V. A che tensione minima si deve comandare il gate SW per una corretta accensione del relativo interruttore?

3 es. (9.9 pts)



valutazione:

- ciascun esercizio viene valutato con un punteggio da 0 a 1 (e.g. es. svolto al 100%)
- 1 pts = 3.3/30

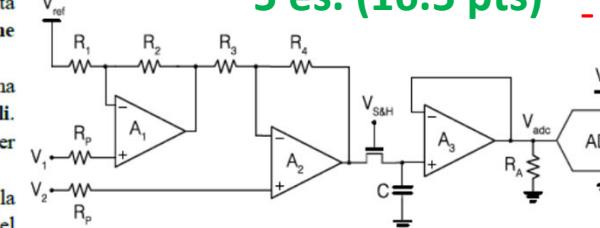
Esercizio 3

Dati: $V_{dd} = 5 \text{ V}$, $V_{ref} = 2.5 \text{ V}$, $R_p = R_1 = 4 \text{ k}\Omega$, $R_A = R_2 = R_3 = 1 \text{ k}\Omega$, $C = 10 \text{ nF}$. OpAmp: $I_{BLAS} = 100 \text{ nA}$, $\text{GBWP} = 1 \text{ MHz}$. Interruttore MOS: $R_{ON} = 100\Omega$. ADC SAR a 10 bit, $f_{CK,ADC} = 250 \text{ kHz}$.

Si consideri la catena di acquisizione del segnale differenziale V_1-V_2 .

- a) Determinare il valore di R_4 , affinché il guadagno di modo comune ($V_1 = V_2 = V_{CM}$) del primo stadio sia nullo.
- b) Calcolare ora il valore di R_4 necessario per avere l'uscita del primo stadio a metà dinamica in assenza di segnale. Ricavare, quindi, la risoluzione in volt della tensione differenziale d'ingresso V_1-V_2 in queste condizioni.
- c) Considerando ora $R_4 = R_1$ e tutti gli OpAmp ideali tranne A_2 , disegnare il diagramma di Bode del modulo del guadagno $V_{adc}/(V_1-V_2)$ in fase di sample, in condizioni reali.
- d) Determinare lo Slew Rate del terzo amplificatore operazionale (A_3) necessario per non distorcere un segnale che sfrutta l'intera dinamica del circuito.
- e) Assumendo che il segnale da convertire abbia una banda $\leq 10 \text{ kHz}$, determinare la massima durata della fase di sample compatibile con il corretto campionamento del segnale. In queste condizioni, calcolare l'errore in fase di sample ed in fase di hold in termini di LSB.

5 es. (16.5 pts)



caso 10 esercizi totali:

5.3 punti-esercizio: 17.5/30

>9.2 punti-esercizio: 30Lode

**tempo indicativo: 2.5h/10es.
si veda su WeBeep archivio temi d'esame**

ALTRÉ INFORMAZIONI

Consegnare del compito

- vi chiedo di **autovalutare la propria prova** e di mantenerla per la successiva correzione solo se la si ritiene ragionevolmente «vicina» ad un esito sufficiente.
- basta mandare una mail entro scadenza (2-3gg) per ritirare il compito

Opportunità di Preappello completo & 2a prova itinere

- in occasione della seconda prova in itinere a fine corso (riservata a coloro che hanno superato la prima prova), chi non ha superato la prima prova puo' sostenere l'esame sull'intero programma, come in un appello regolare il giorno della seconda prova in it., con un tema d'esame differenziato (su tutto il programma del corso).

Opportunità di **congelare il voto nella stessa sessione d'esame**

- per tentare di migliorare la propria prova, e' possibile chiedere di «congelare» il voto al primo appello di una sessione d'esame. Dopo aver fatto richiesta, lo studente rifiuta il voto e si presentera' all'appello successivo. Lo studente potra' valutare se mantenere il voto congelato o consegnare la nuova prova.

domande?

Questa e' Elettronica?





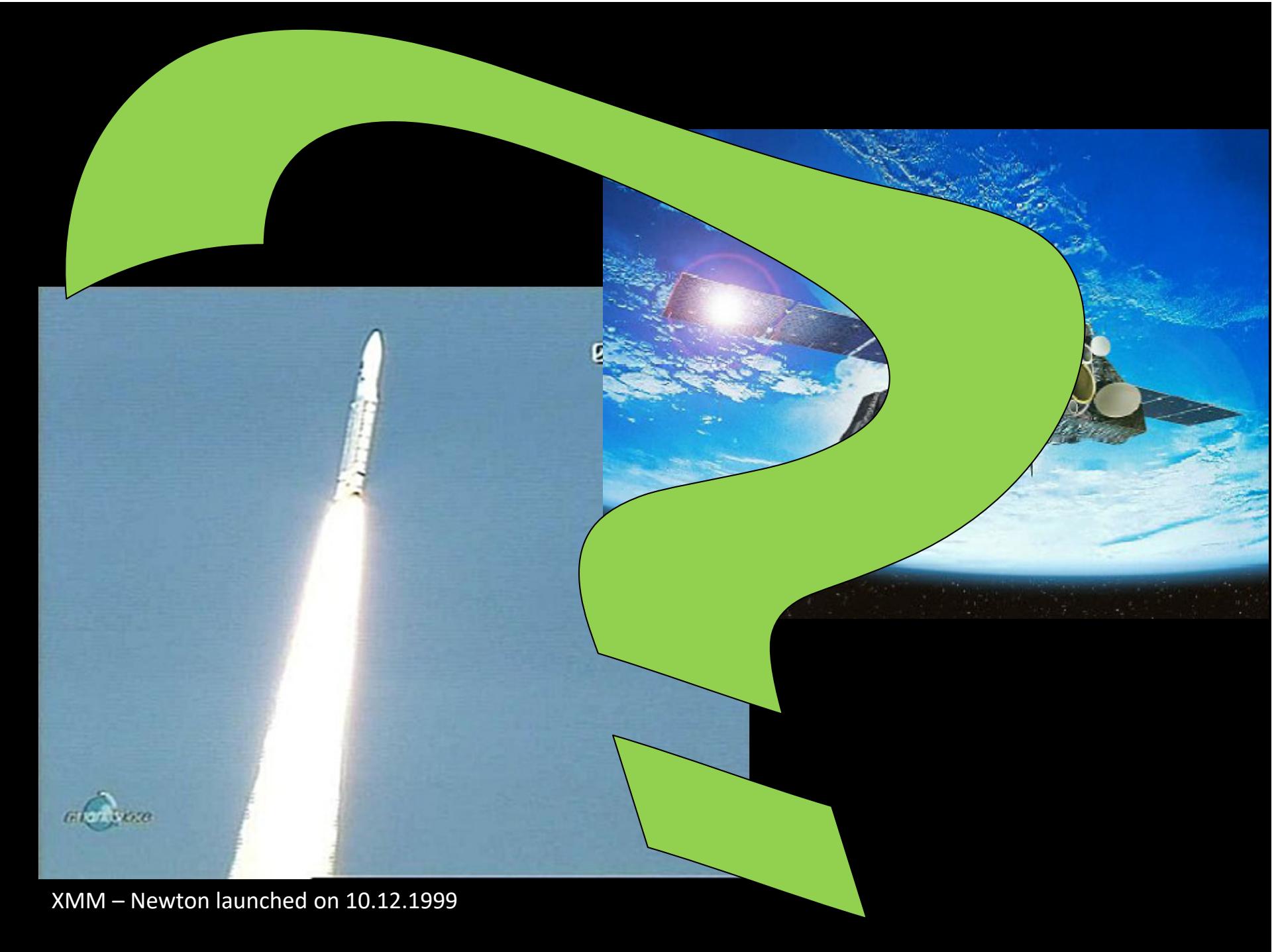




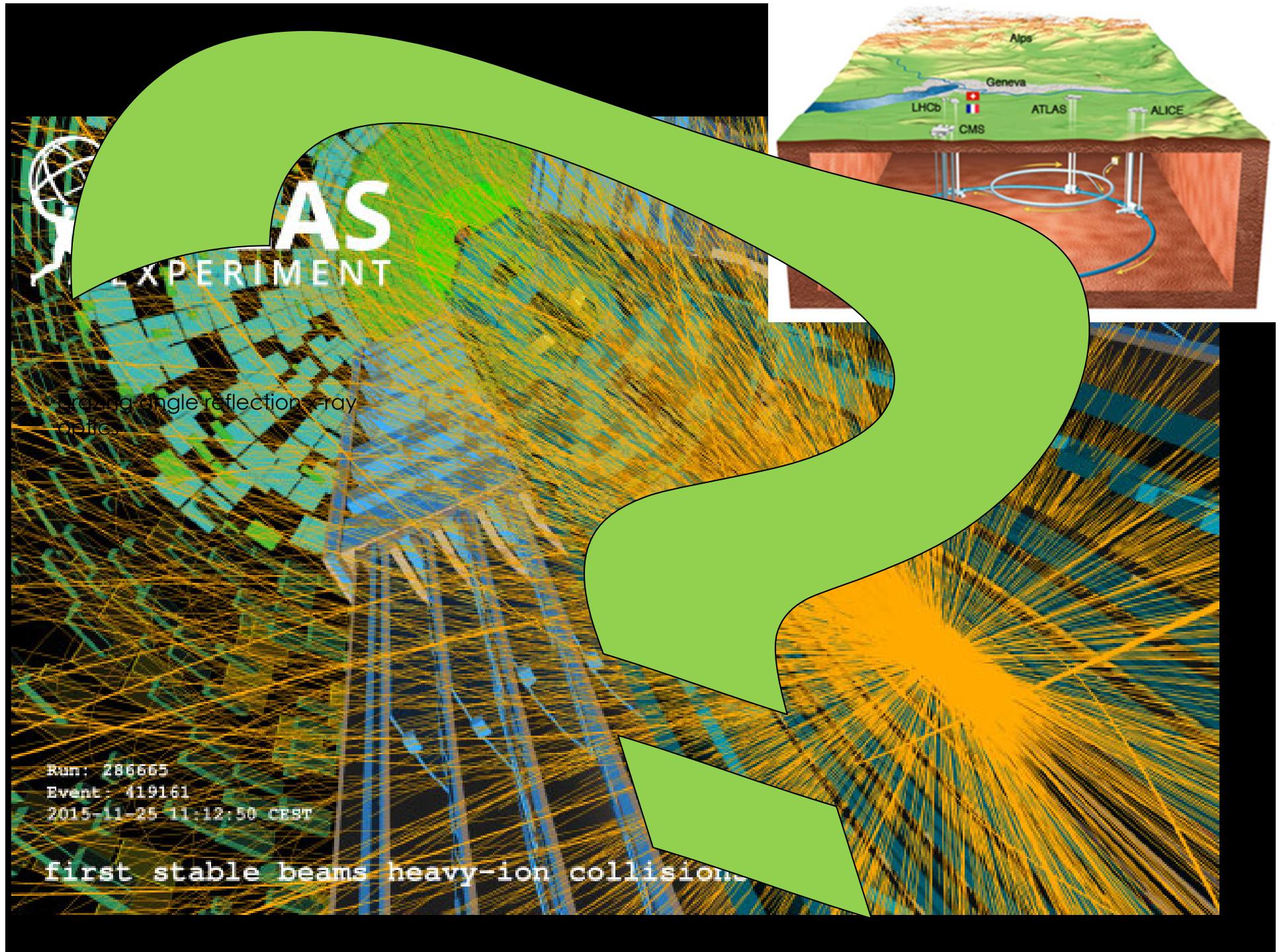








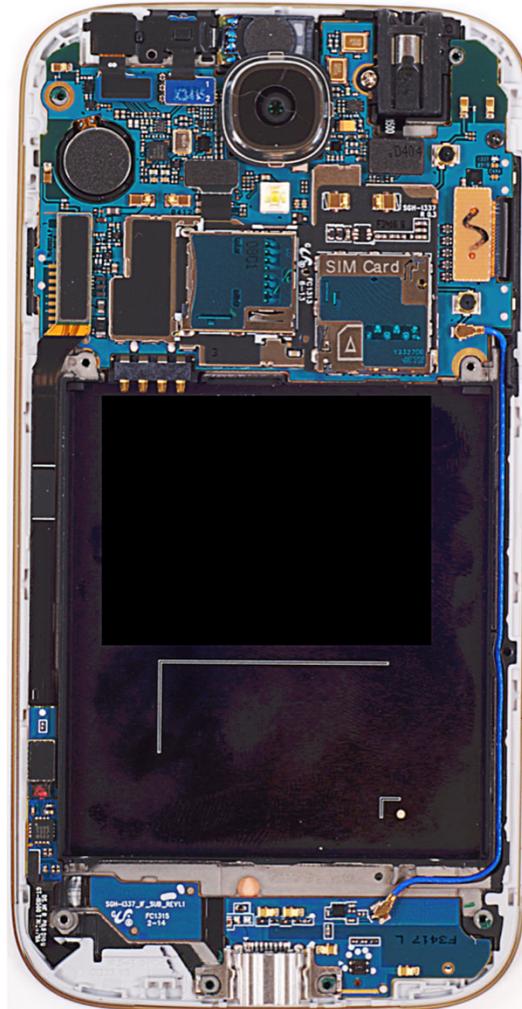
XMM – Newton launched on 10.12.1999





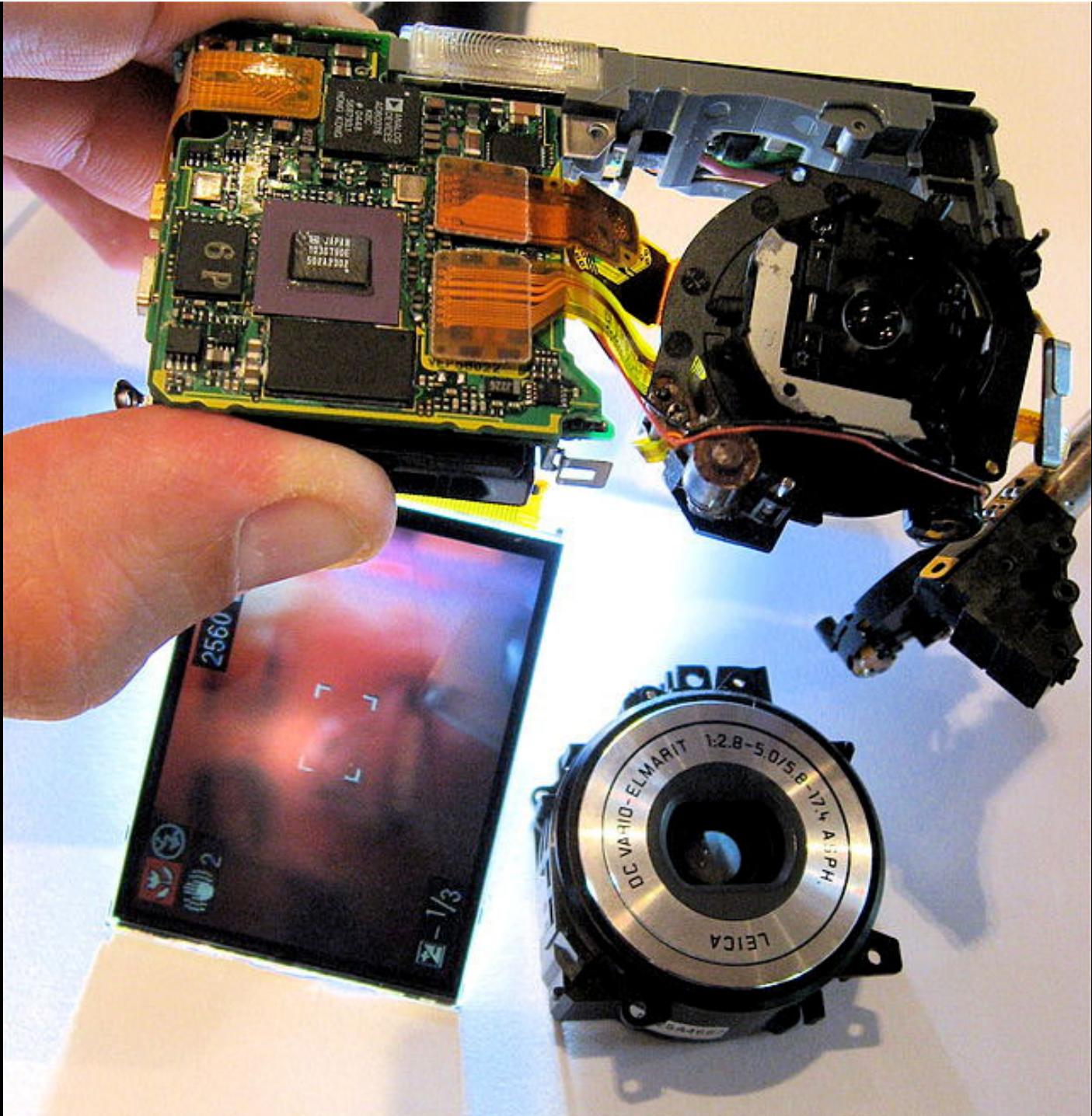


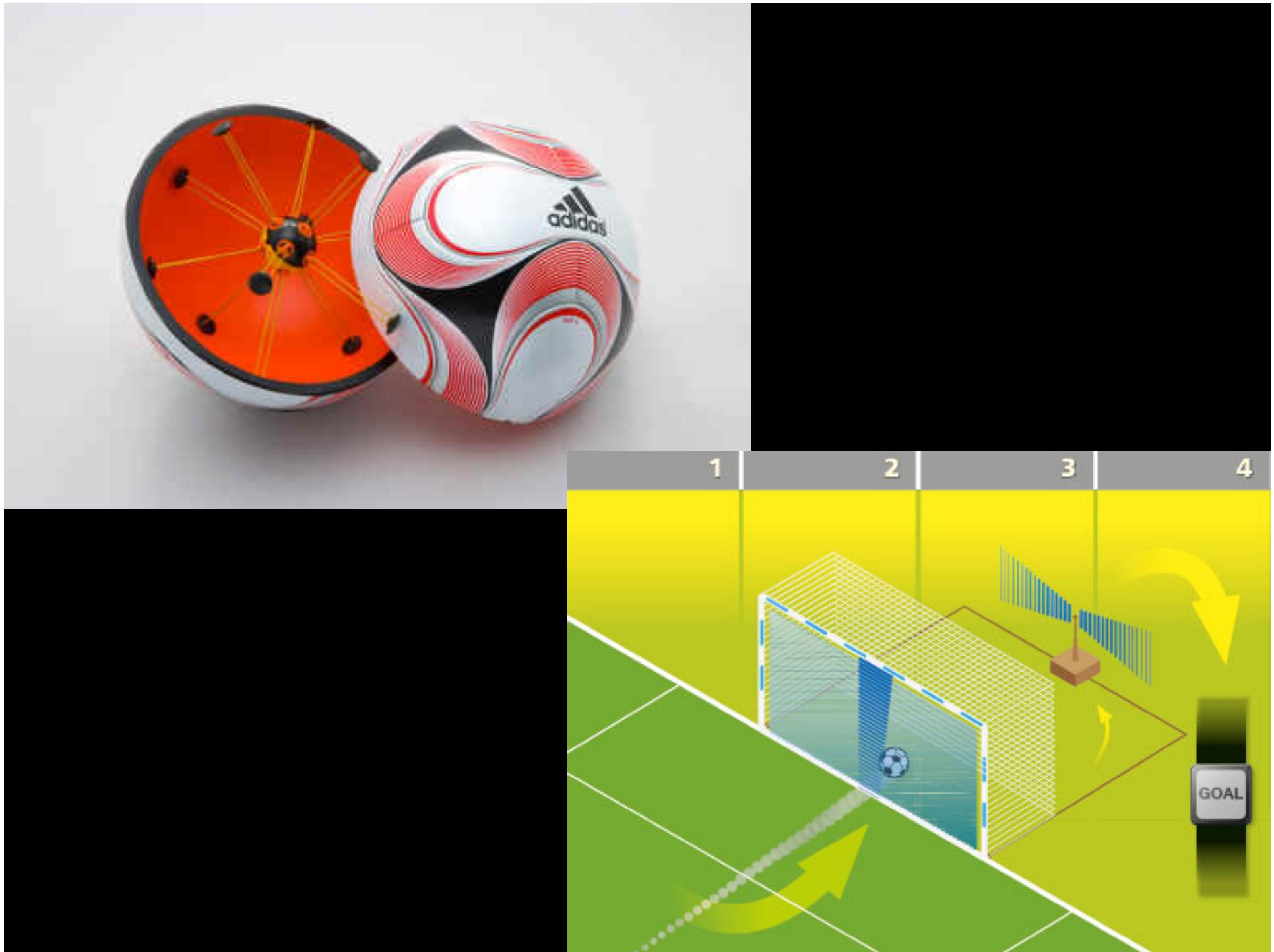
Samsung Galaxy S3

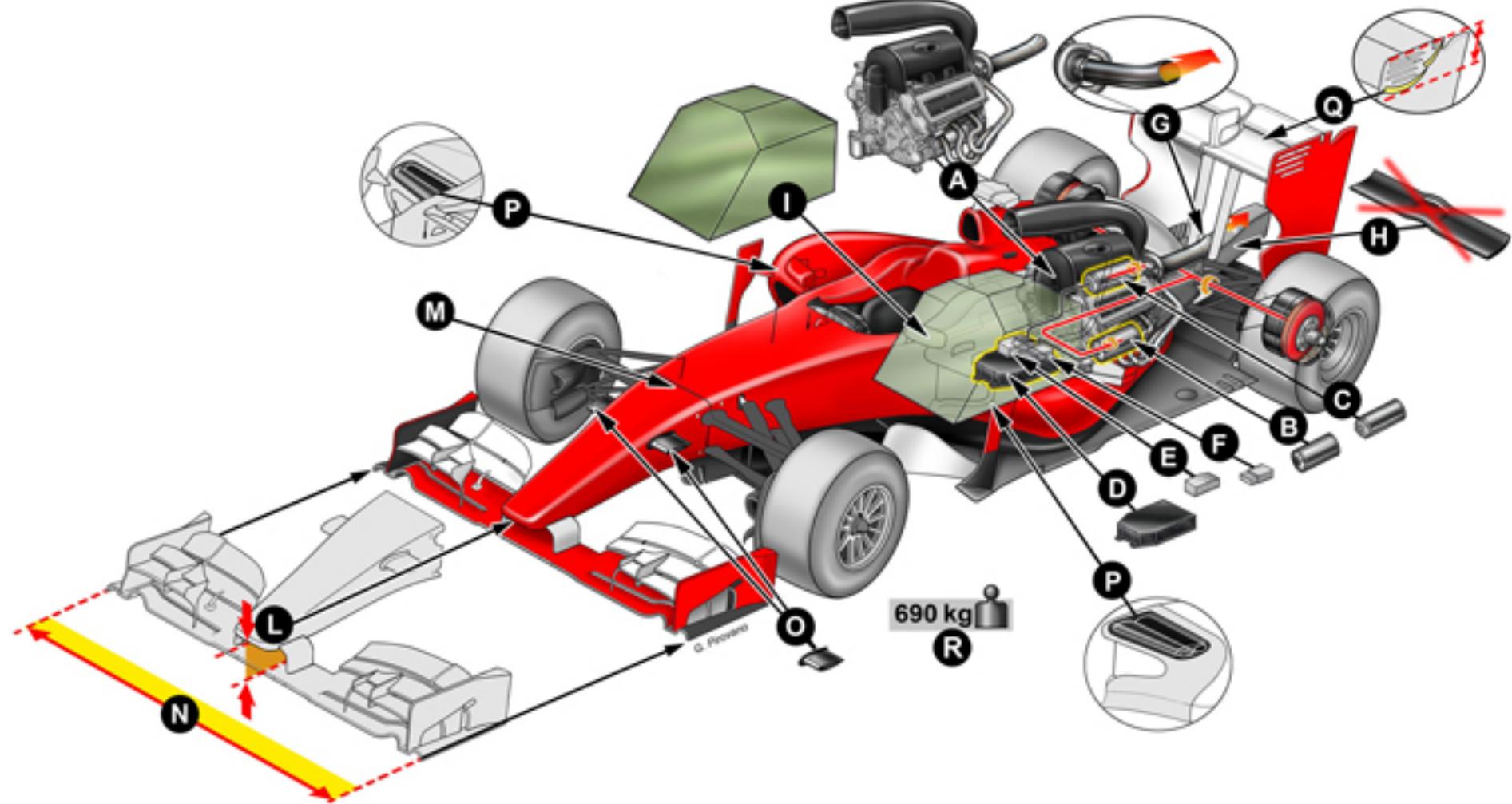


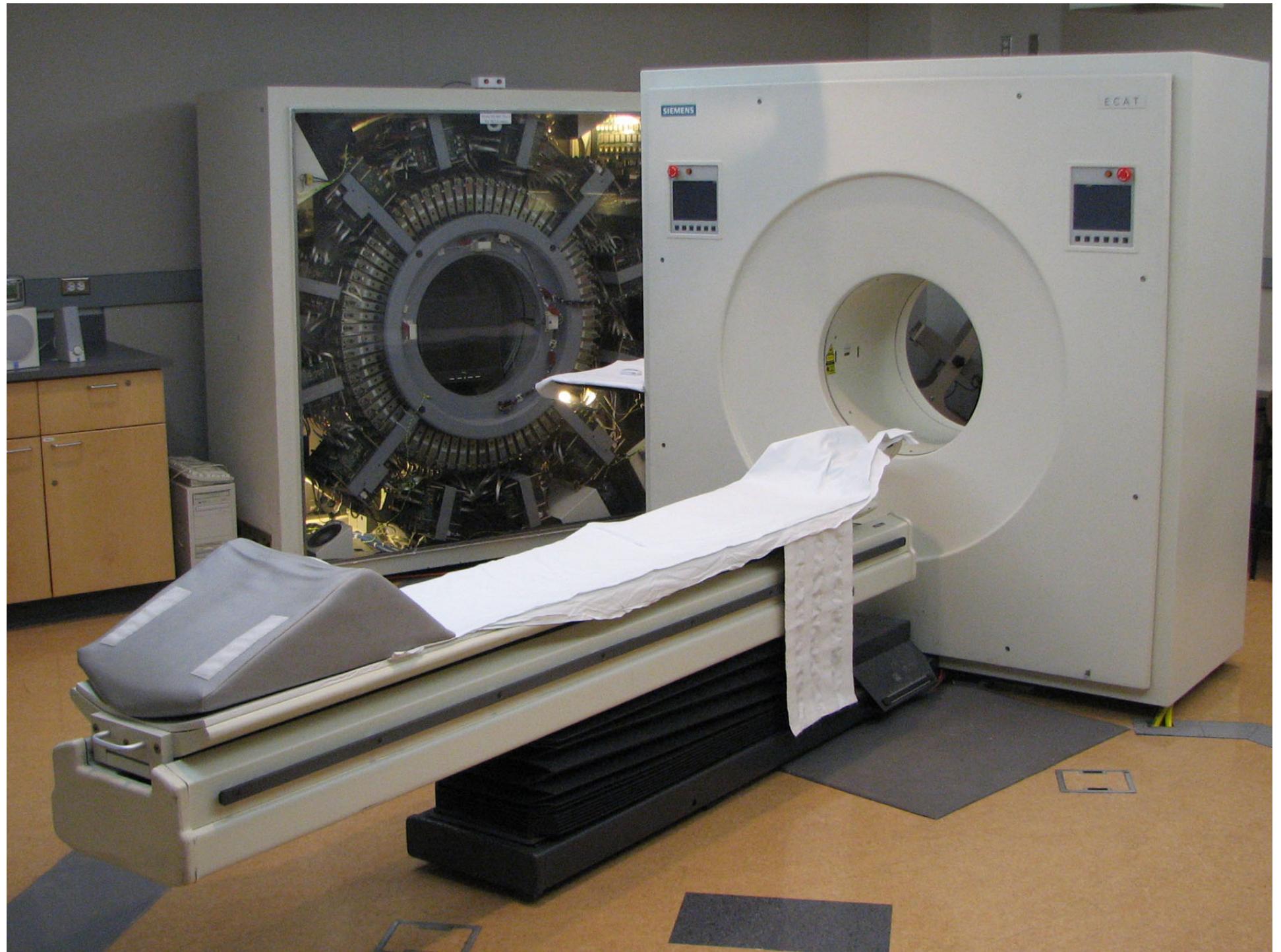
Samsung Galaxy S4

Images not to scale.

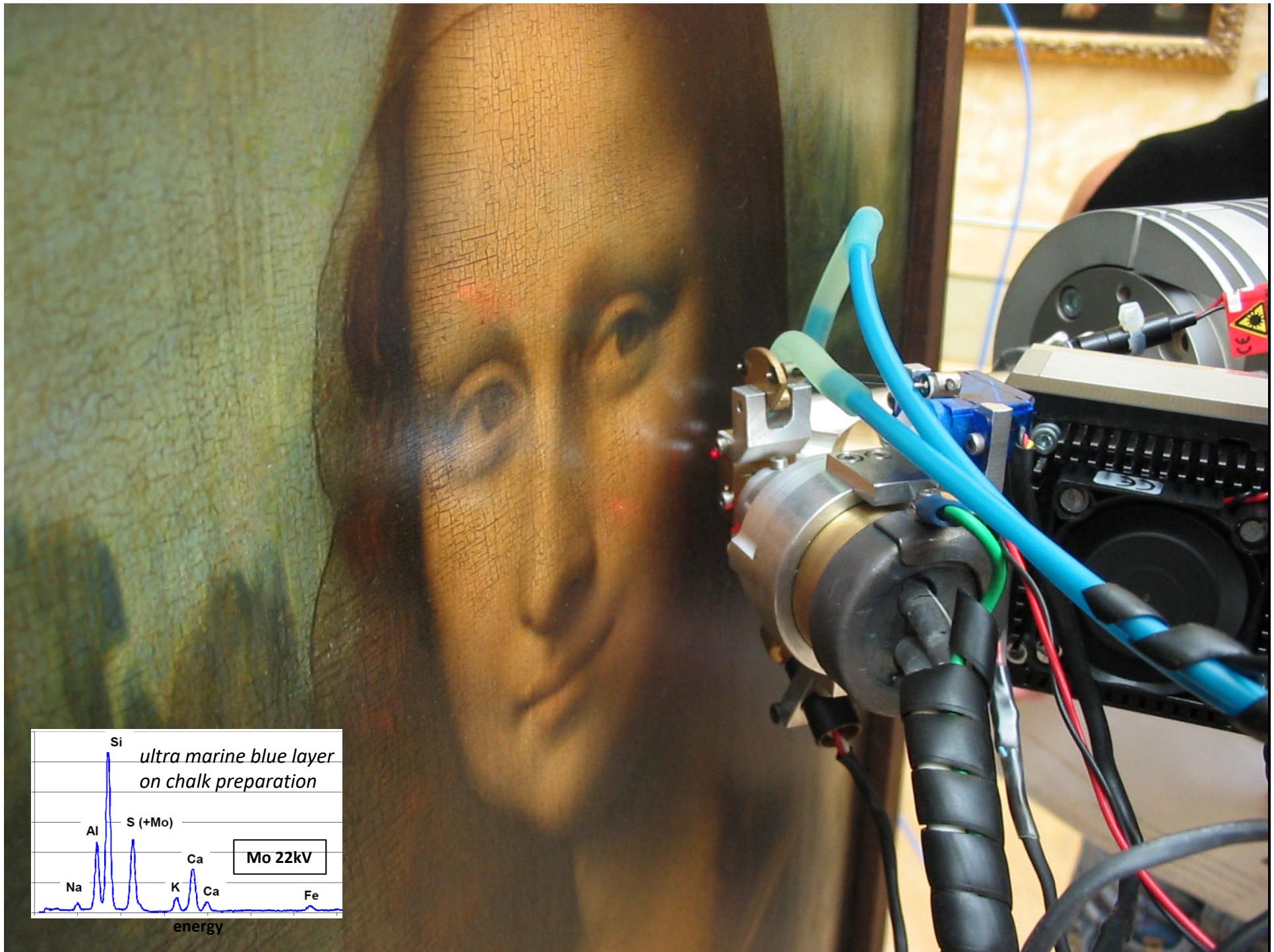


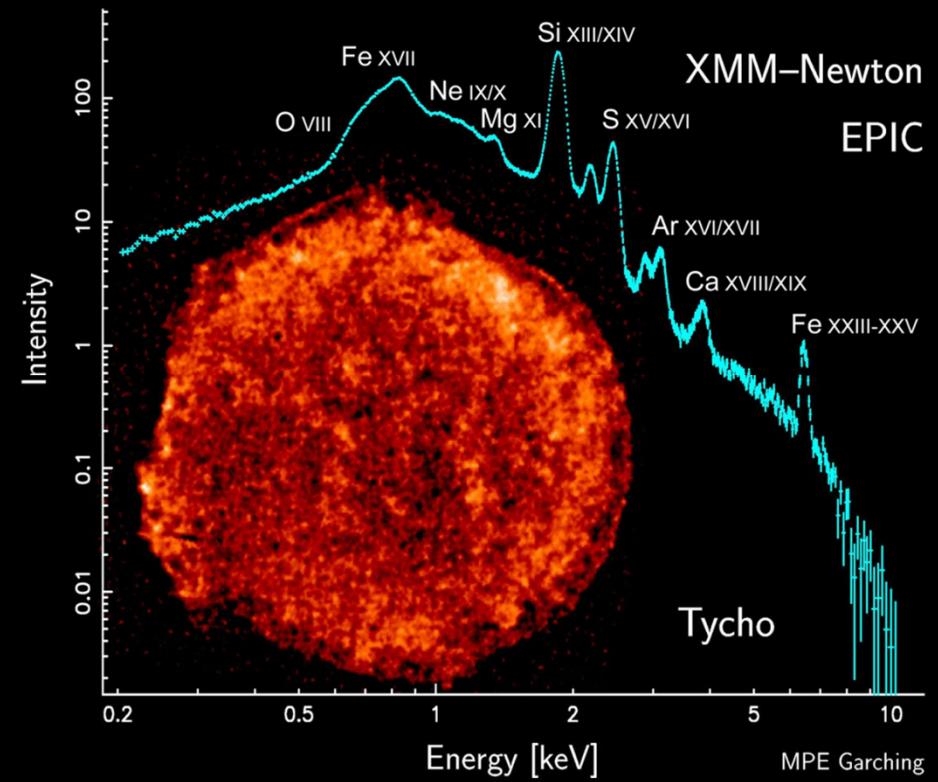
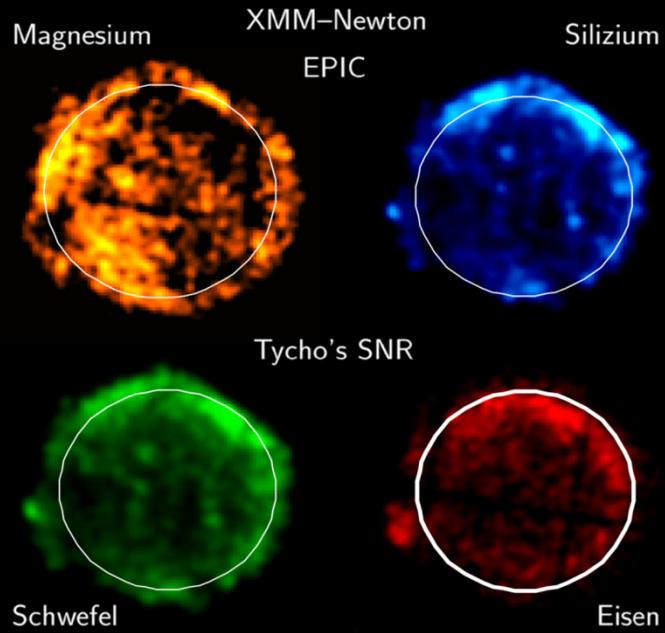
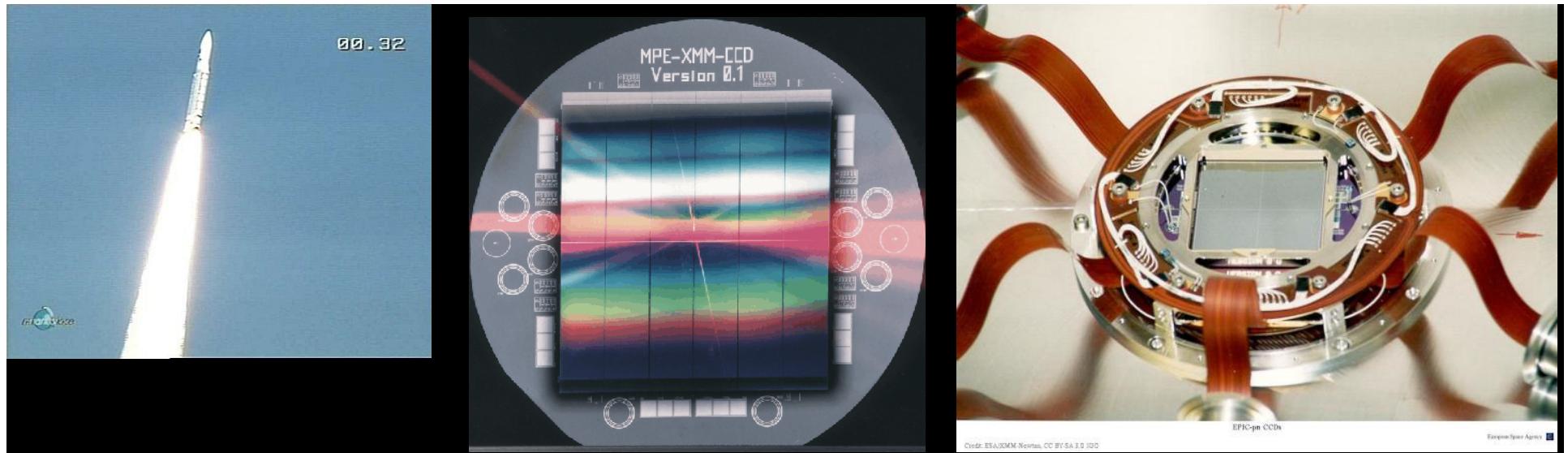


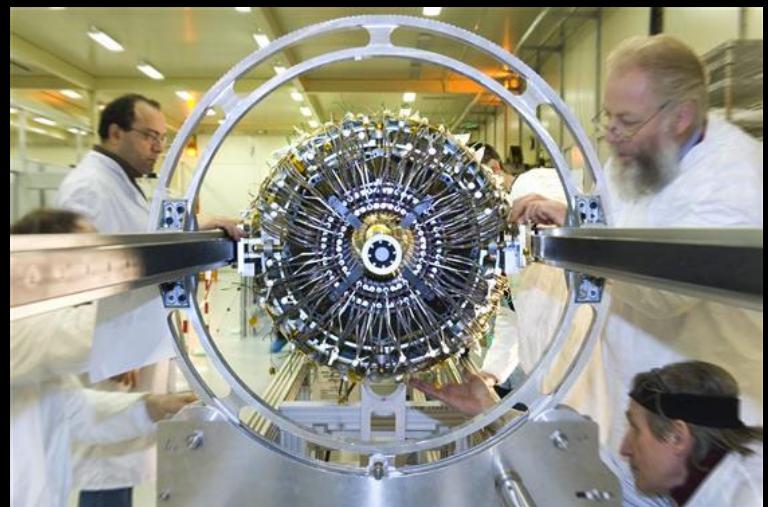
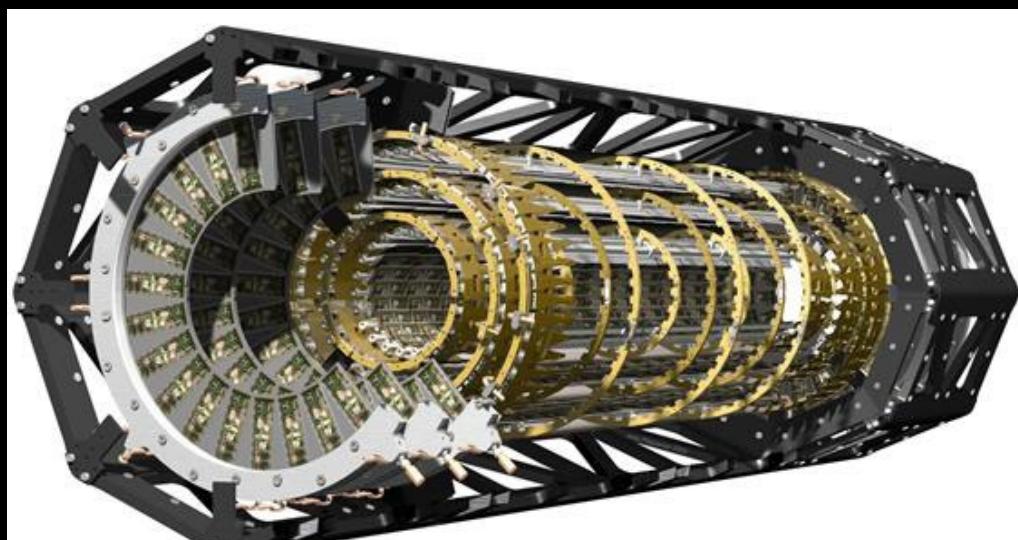
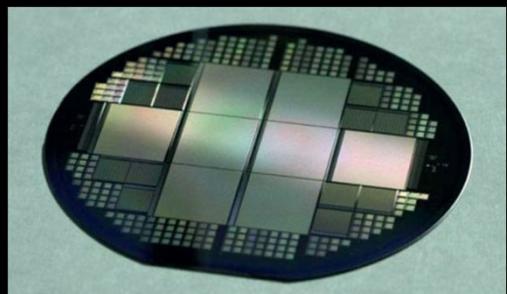
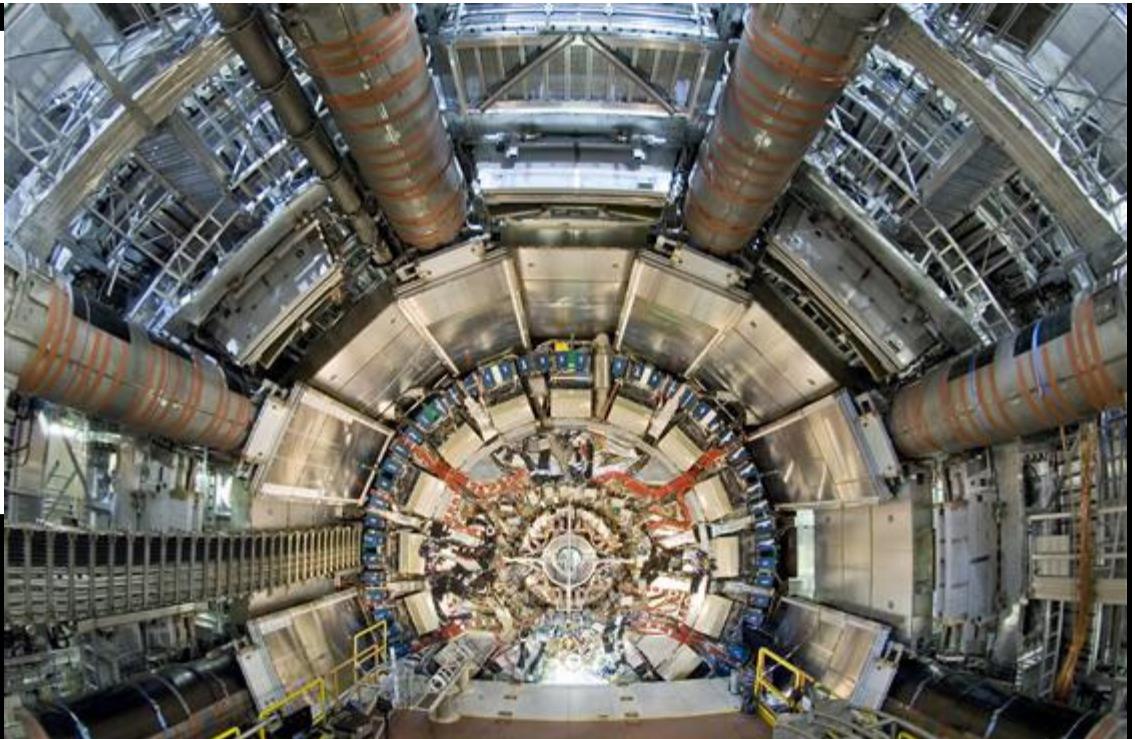
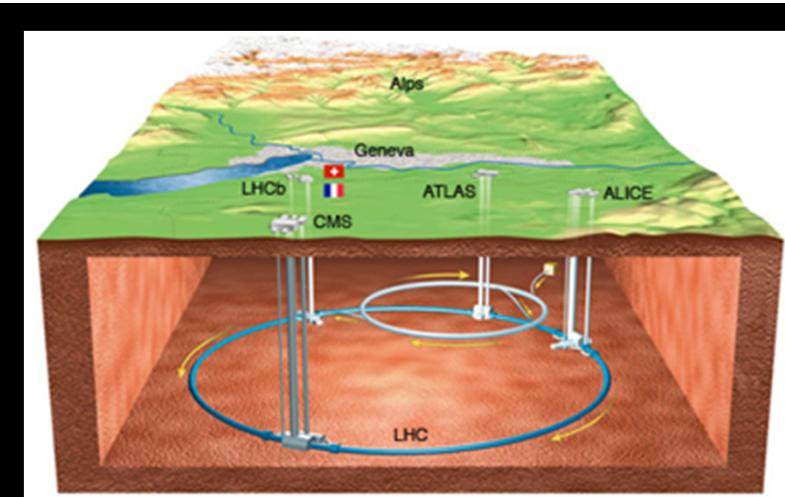












<https://home.cern/resources/image/experiments/atlas-images-gallery>

DEFINIZIONE(I) DI ELETTRONICA

Letteralmente (Wikipedia): L'elettronica e' la Scienza e la Tecnologia che studia il “controllo” degli elettroni



WIKIPEDIA
L'enciclopedia libera

Elettronica

Da Wikipedia, l'enciclopedia libera.

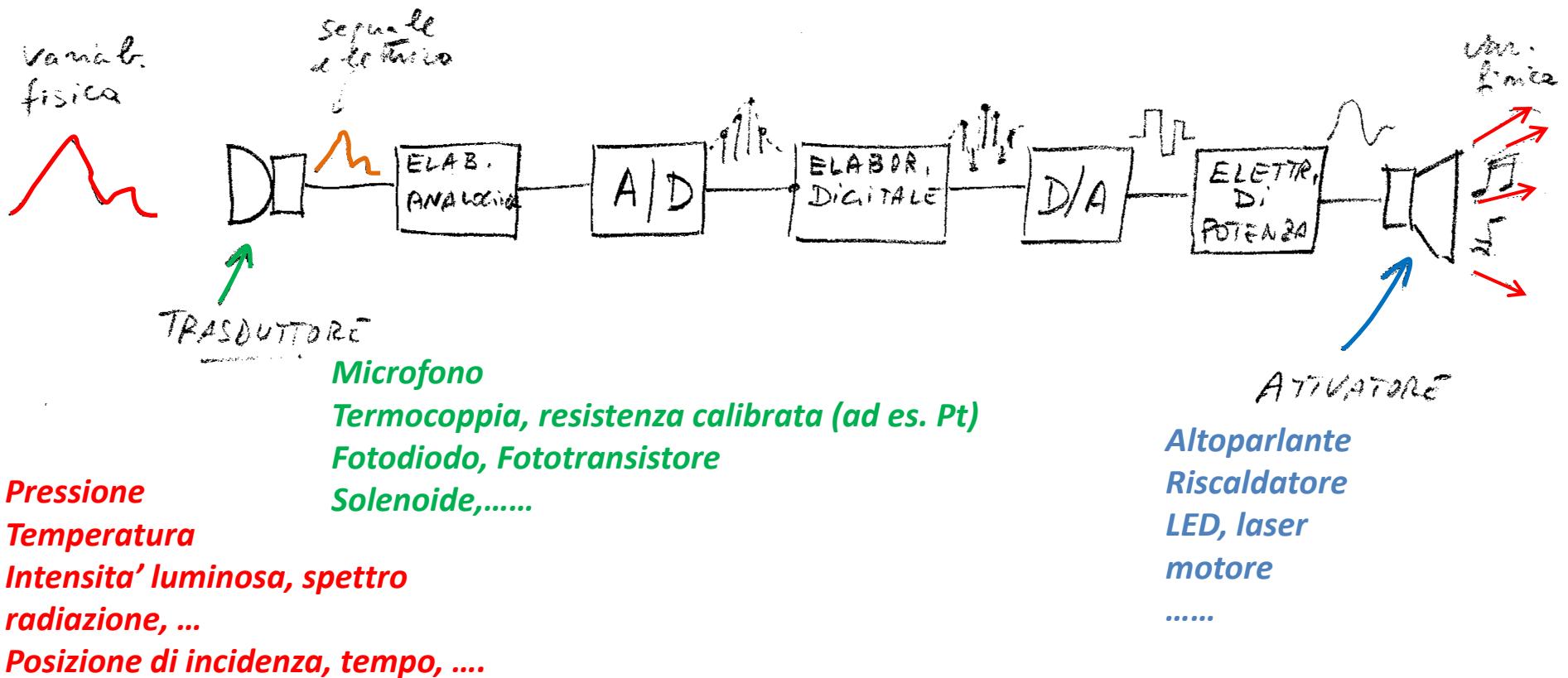
Letteralmente l'**elettronica** è la **scienza e la tecnologia del controllo degli elettroni**. Di fatto ad oggi questo termine **indica l'insieme di conoscenze e metodologie teoriche e pratiche necessarie per la progettazione e realizzazione di sistemi e apparati hardware in grado di elaborare grandezze fisiche sotto forma di segnali, spesso contenenti informazione, per svariati tipi di applicazioni**. Le realizzazioni dell'elettronica sono quindi dei **circuiti elettronici** costituiti da dei **componenti elettronici**, attivi e passivi, collegati a mezzo di fili o tracciati conduttori, in genere metallici, attraverso cui circolano **correnti elettriche**. Di tale ambito si occupa l'**ingegneria elettronica**.

Descrizione [modifica]

Secondo molti autori (tra cui [Jacob Millman](#)), si può definire l'**elettronica come lo studio del moto degli elettroni al di fuori dei metalli**. Secondo questa definizione, l'elettrotecnica e le applicazioni radio classiche non rientrano nel campo dell'elettronica, che è riservato ai dispositivi a semiconduttore ([silicio](#), [germanio](#), [semiconduttori composti](#)), ai tubi a vuoto ([valvole](#)) e alla propagazione del campo elettromagnetico in [mezzi dielettrici](#) come l'aria o il vetro ([fibre ottiche](#)).

- l'**insieme di conoscenze teoriche e sperimentali** necessarie per **ideare, progettare e realizzare dispositivi&apparati** in grado di **misurare ed elaborare grandezze fisiche tradotte in segnali elettrici**
ovvero
- la **Scienza e la Tecnologia di elaborazione delle informazioni** basata sul **trattamento dei segnali di tipo elettrico**

Un sistema elettronico...



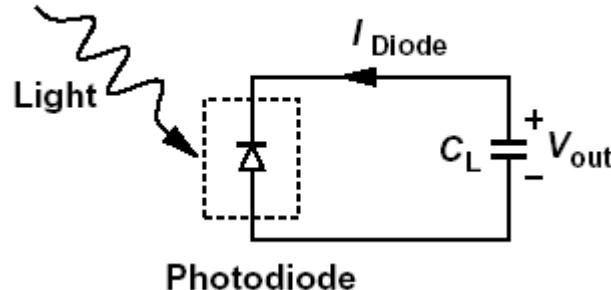
...“in a nutshell” il programma del corso: dispositivi elettronici,
elettronica analogica, elettronica digitale, conversione analogico-digitale



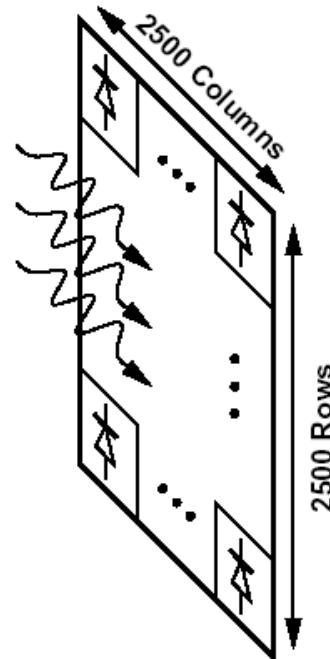
Es. :FOTOCAMERA DIGITALE



Sensore per la conversione della luce in un segnale elettrico

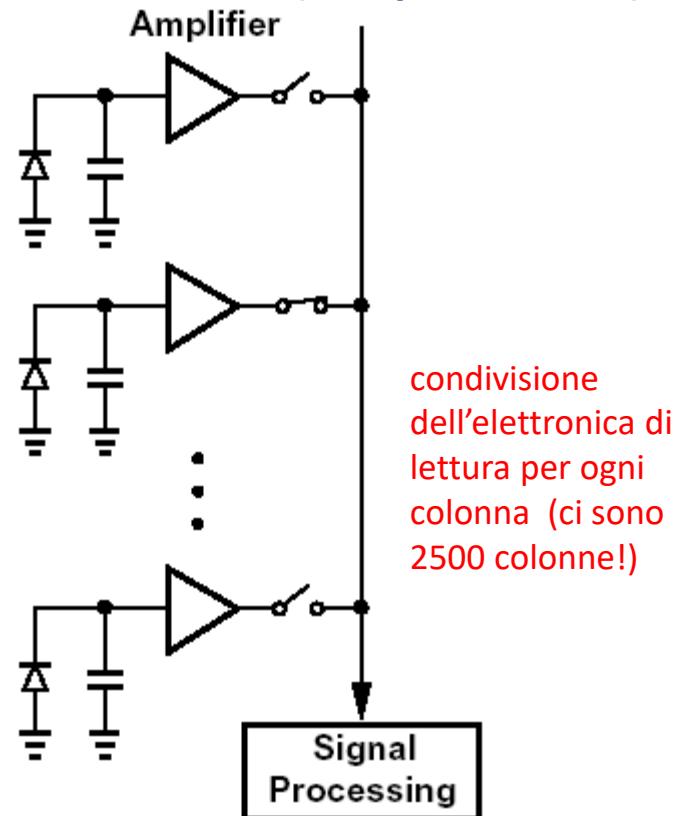


Matrice monolitica di sensori

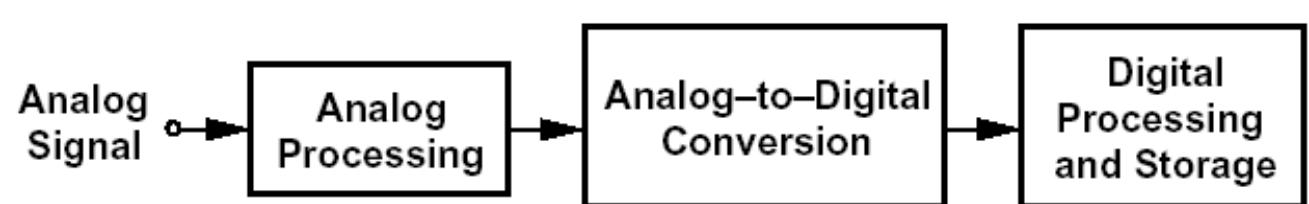


ad esempio
2500x2500 pixel
= 6.25 Mpixel

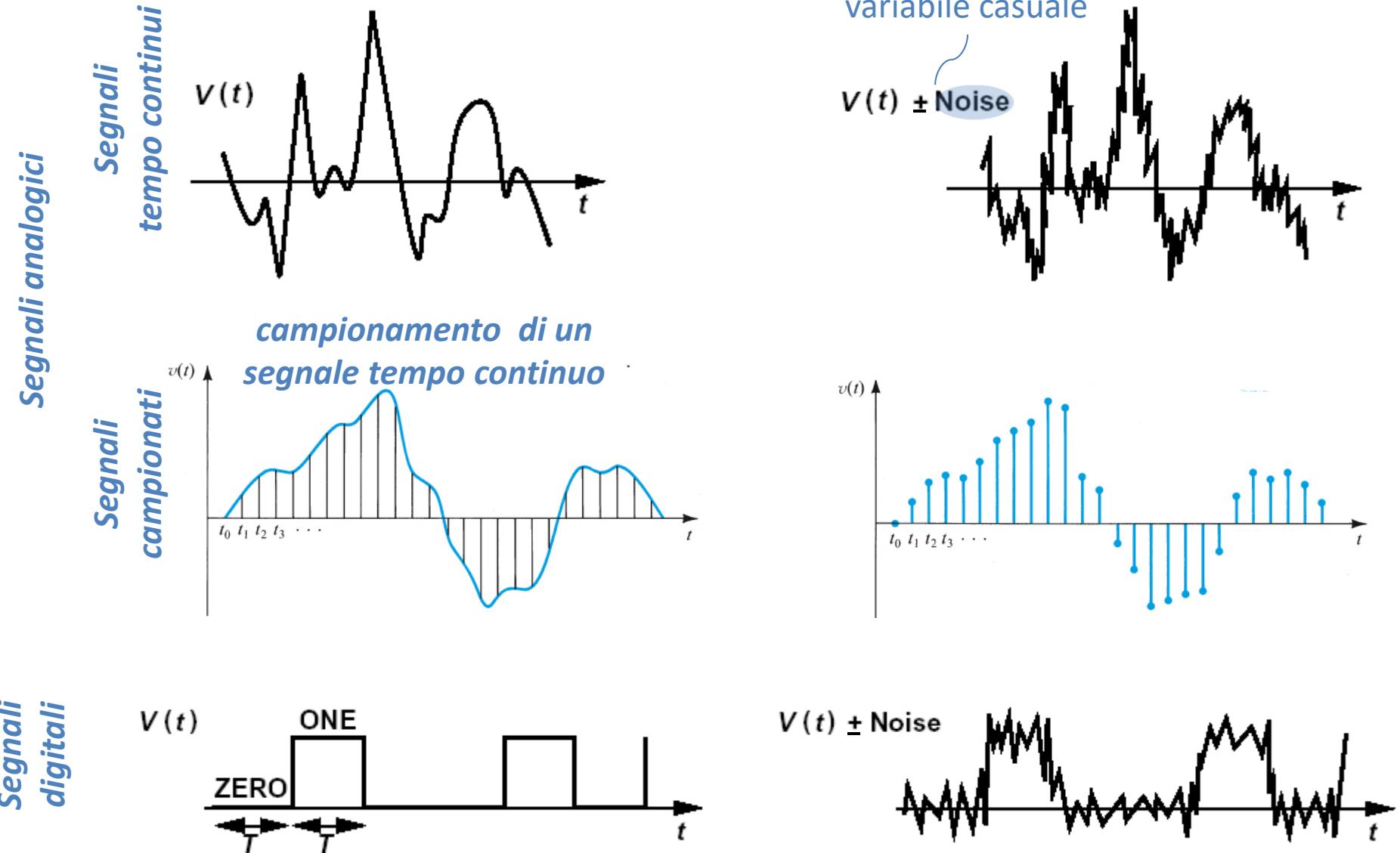
Catena di elaborazione (una per colonna)



Pre-elab. analogica, conversione A/D, elaborazione digitale

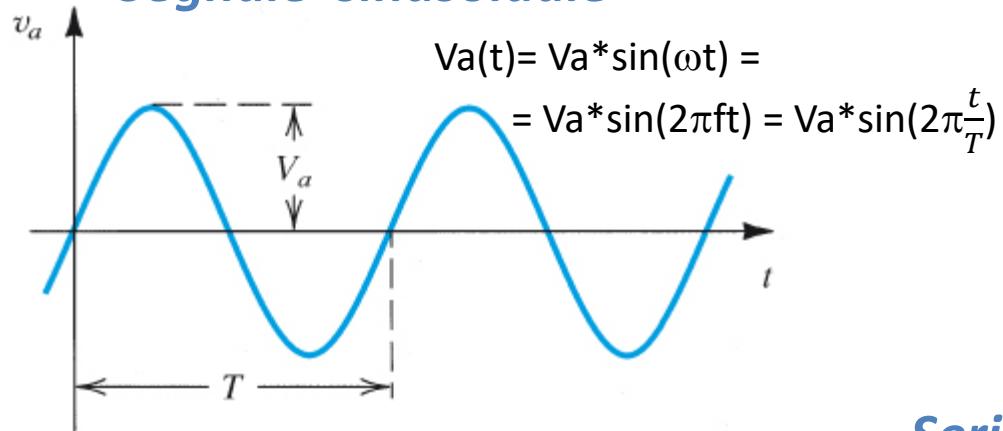


SEGNALI ANALOGICI E DIGITALI

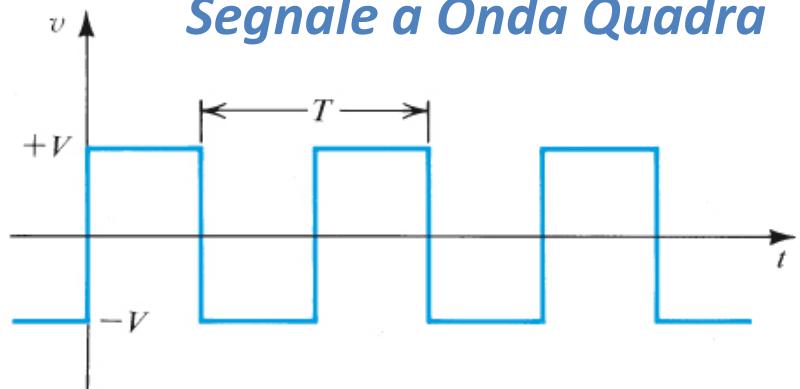


SEGNALI NEL DOMINIO DEL TEMPO E DELLA FREQUENZA

Segnale sinusoidale



Segnale a Onda Quadra



Serie di Fourier e Spettro in frequenza

- ✓ Ampiezza
- ✓ Periodo
- ✓ Frequenza
- ✓ Pulsazione angolare
- ✓ Fase

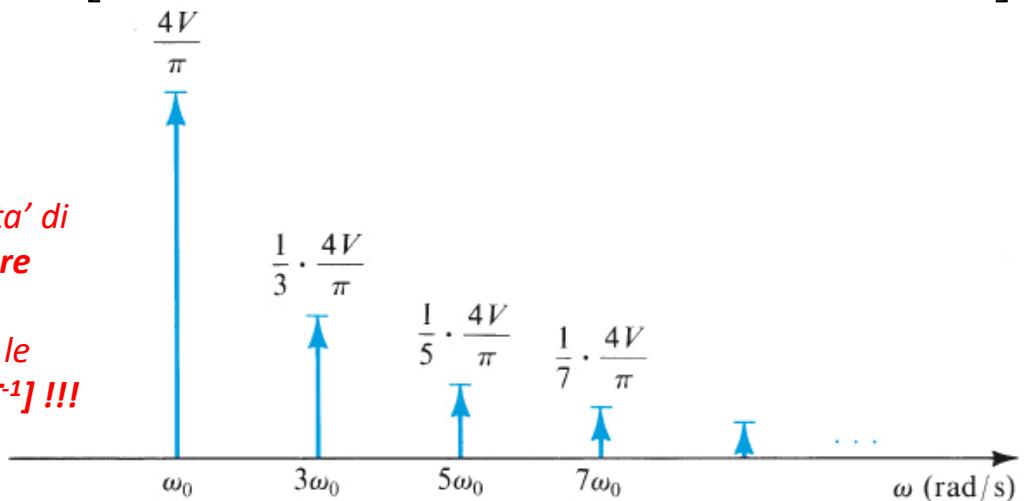
$$f = \frac{1}{T} [\text{Hz}]$$

$$\omega = 2\pi f = \frac{2\pi}{T} [\text{rad/s}]$$

NOTA:

Frequenza (no. cicli per unita' di tempo) e **frequenza angolare** (radianti al secondo) hanno diverse unita' di misura ma le stesse dimensioni fisiche [T^{-1}] !!!

$$v(t) = \frac{4V}{\pi} \left[\sin(\omega_0 t) + \frac{1}{3} \sin(3\omega_0 t) + \frac{1}{5} \sin(5\omega_0 t) + \dots \right]$$

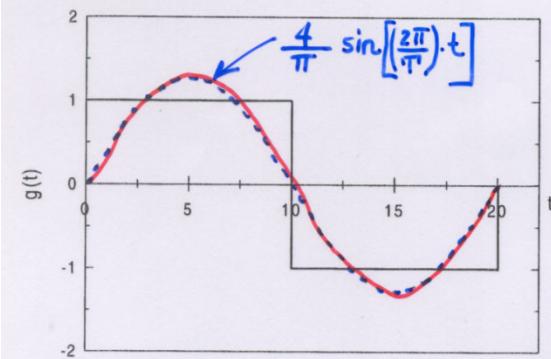


SEGNALI NEL DOMINIO DEL TEMPO E DELLA FREQUENZA

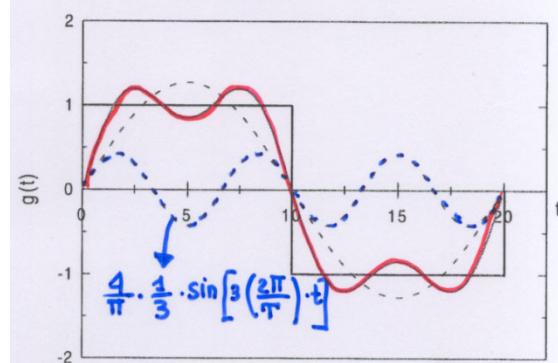
Ricostruzione di un'onda quadra dai termini della Serie di Fourier

$$v(t) = \frac{4}{\pi} \left[\sin(\omega_0 t) + \frac{1}{3} \sin(3\omega_0 t) + \frac{1}{5} \sin(5\omega_0 t) + \frac{1}{7} \sin(7\omega_0 t) + \frac{1}{9} \sin(9\omega_0 t) + \dots \right]$$

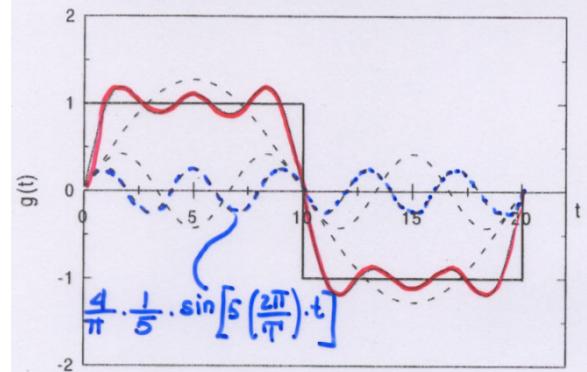
- prima armonica



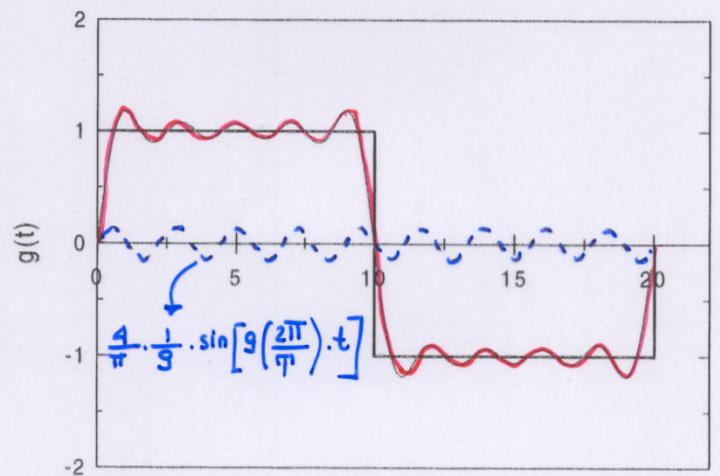
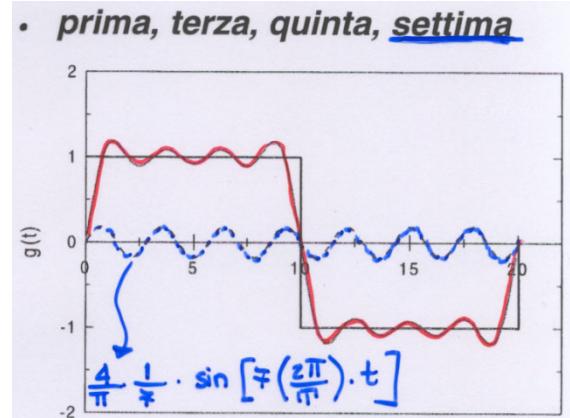
- prima e terza armonica



- prima, terza, quinta

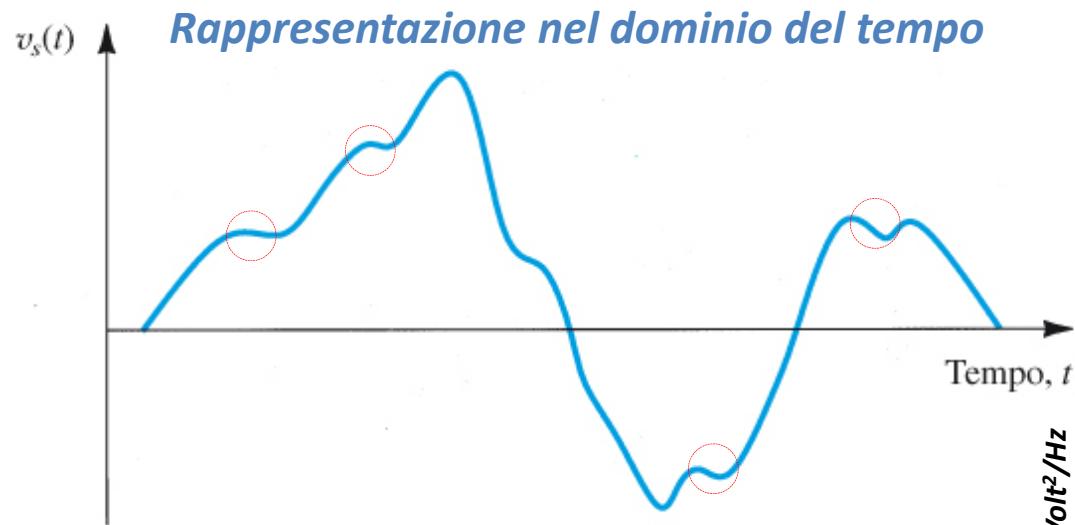


- prima, terza, quinta, settima, nona armonica



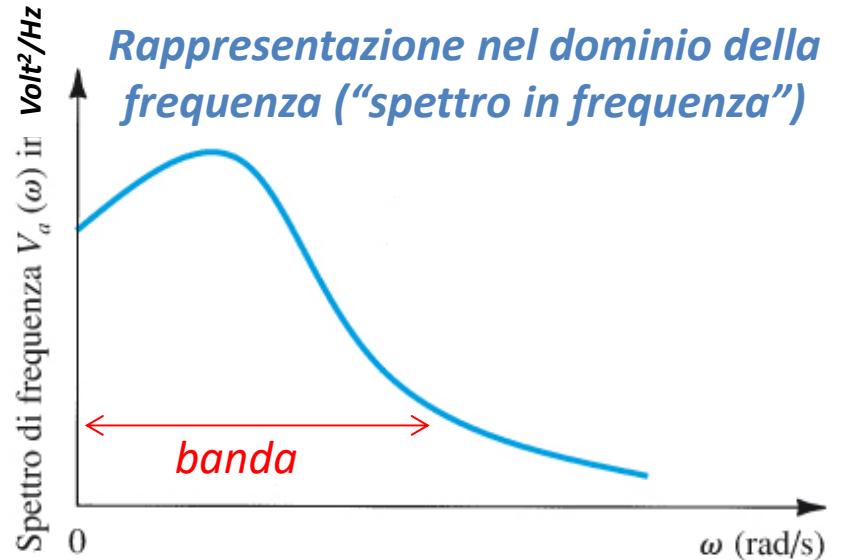
SEGNALI NEL DOMINIO DEL TEMPO E DELLA FREQUENZA

Segnali non periodici



Banda di un segnale: intervallo di frequenze alle quali le ampiezze del suo spettro sono di valore significativo

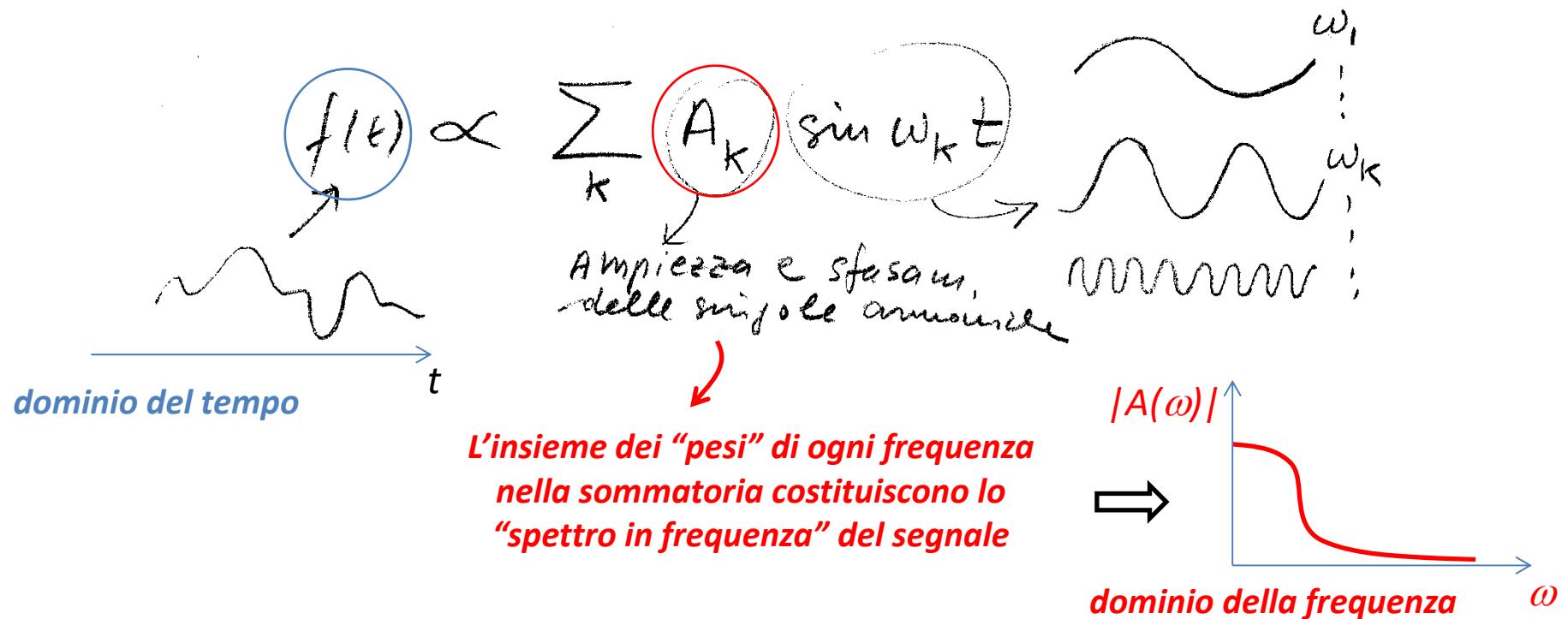
Necessita' di rappresentare efficacemente le proprieta'/informazioni contenute in un generico segnale analogico



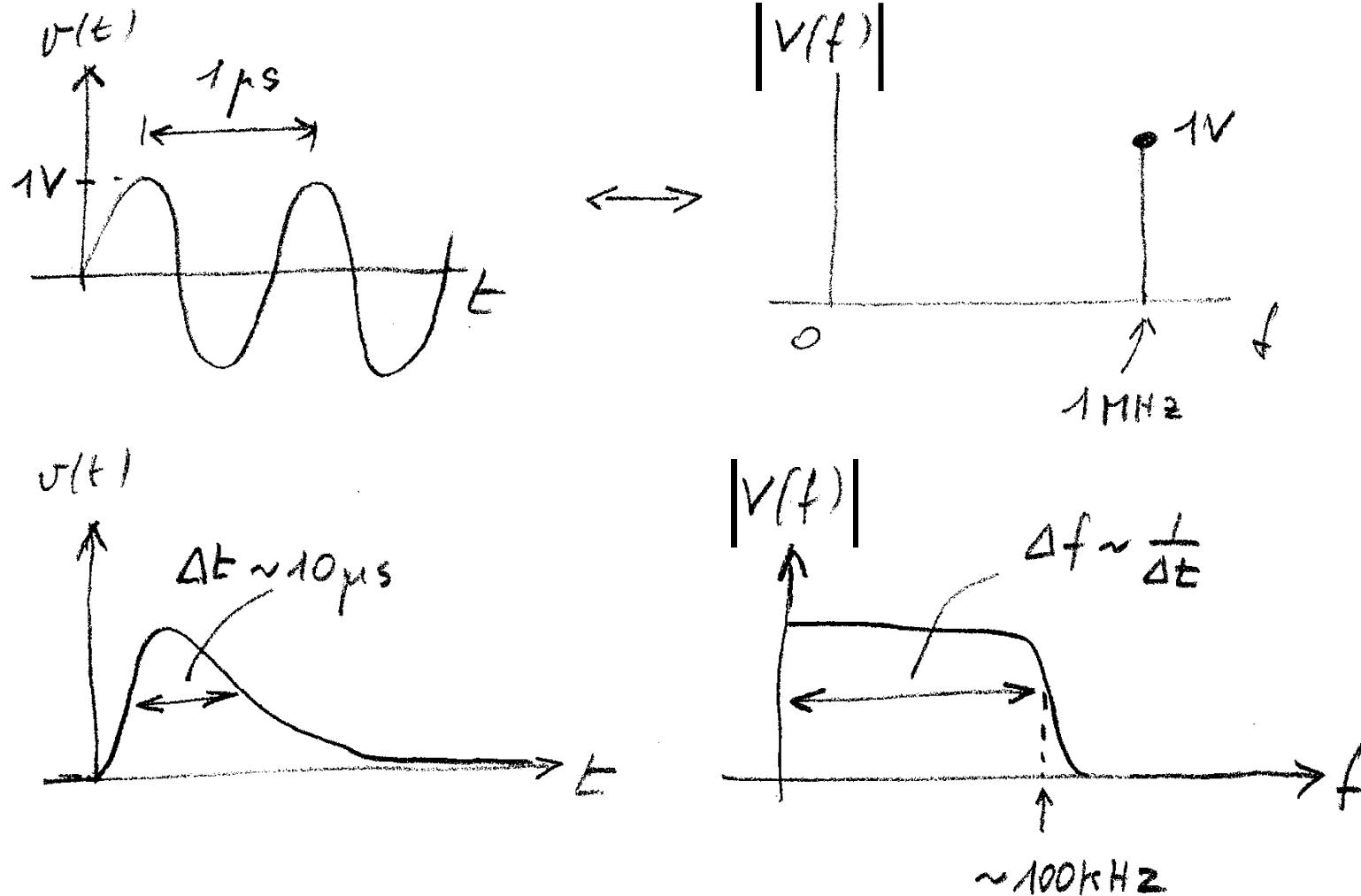
Spettro in frequenza di un segnale

Un segnale viene descritto mediante il suo «**contenuto di armoniche**», cioe' come somma (pesata) di sinusoidi che consideriamo le sue componenti elementari:

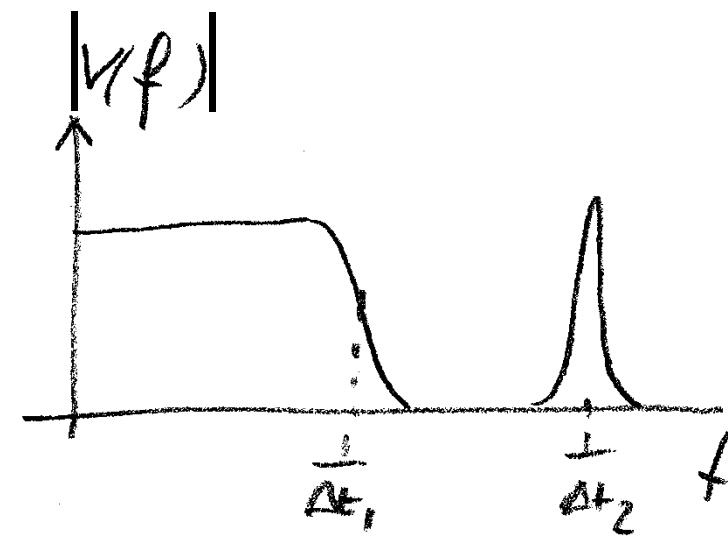
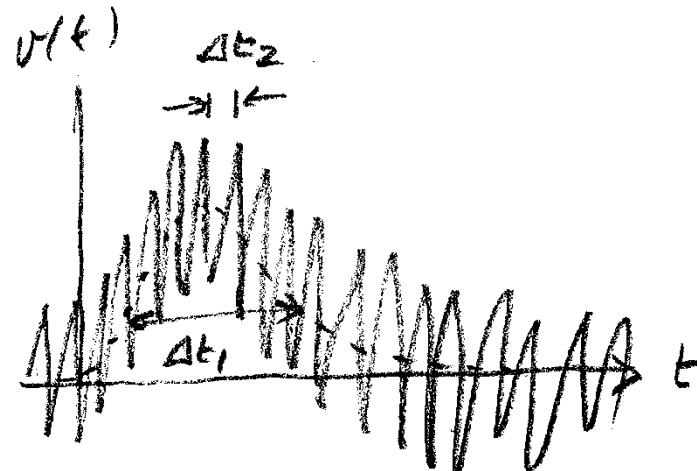
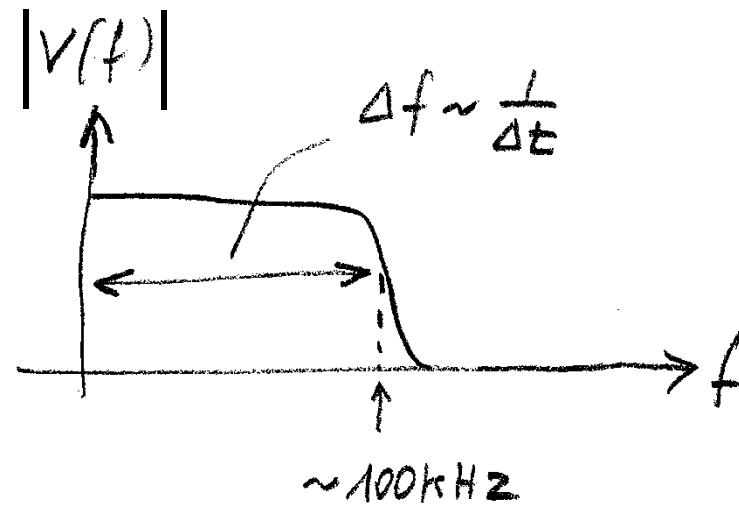
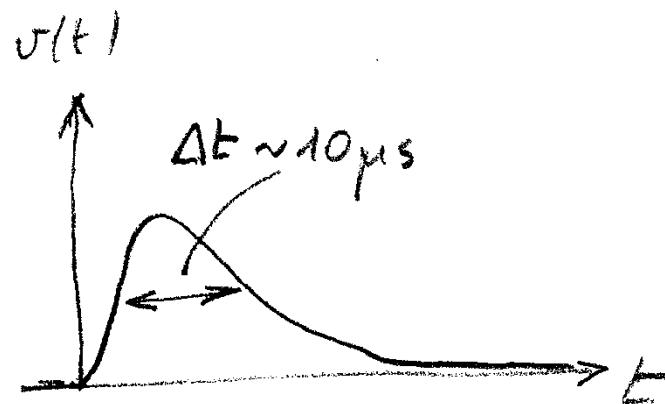
Se $f(t)$ non armonico:



Esempi



Esempi

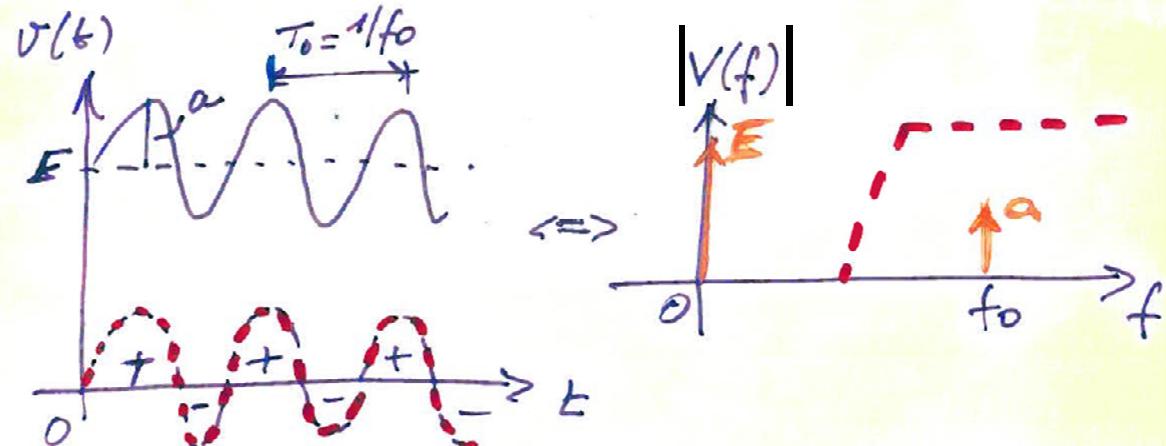


Esempi (2)

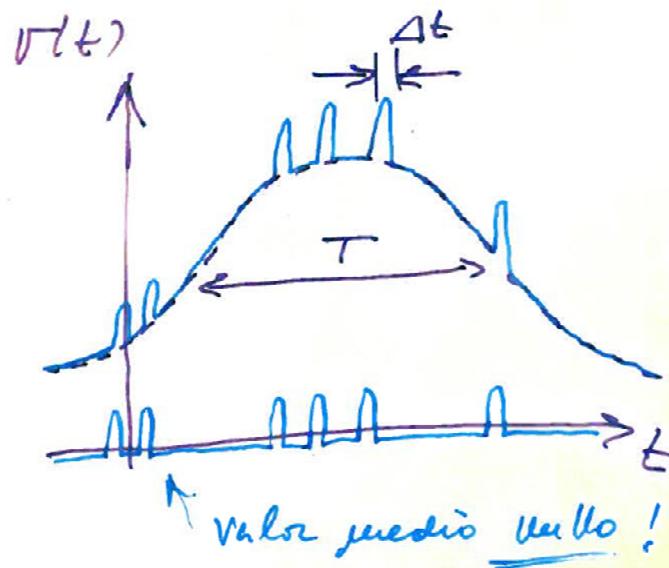
$$v(t) = E + a \cdot \sin(2\pi f_0 t)$$



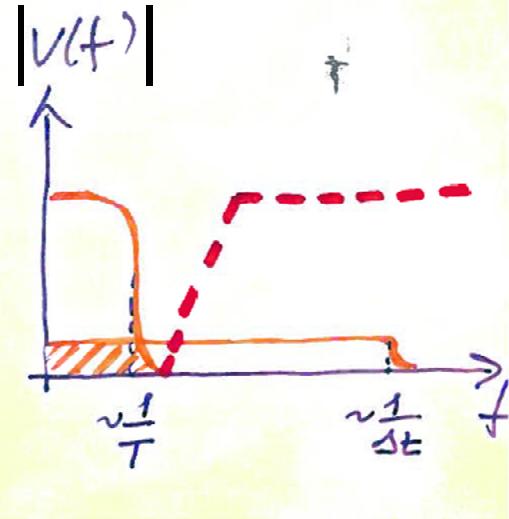
$$v(t) = \cancel{E} + a \cdot \sin(2\pi f_0 t)$$



↑ valor medio nullo !

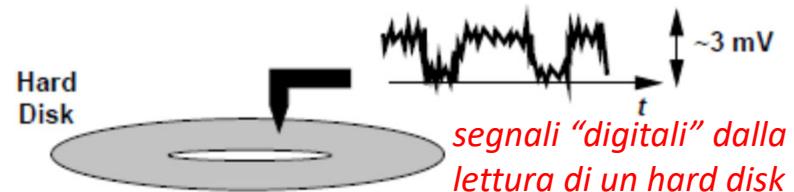


↑ valor medio nullo !

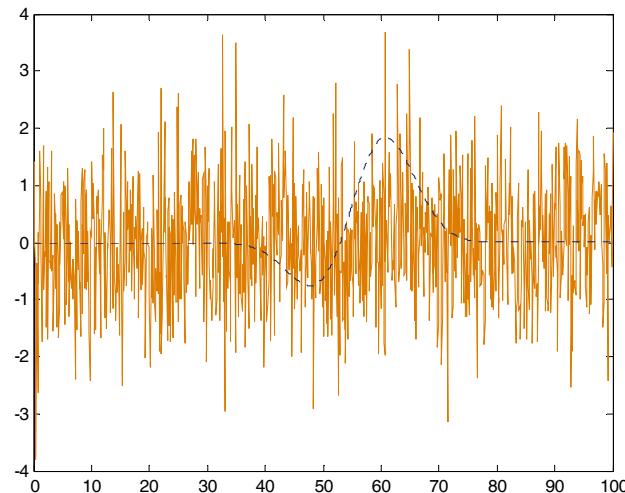


Perche' elettronica analogica?

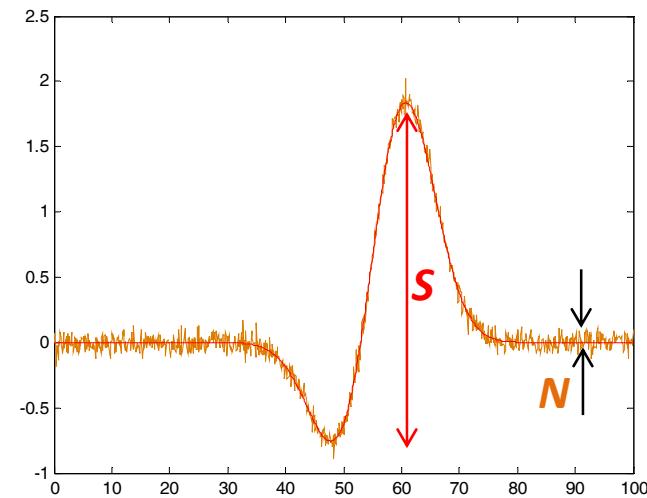
- Tutti i segnali sono in realta' analogici (ad es. i segnali dei sensori che trasducono le grandezze fisiche in segnali elettrici, anche gli stessi segnali digitali sono analogici !!, etc.)
- Per comandare un attuatore e' necessario fornire un segnale elettrico di ingresso analogico con opportuna impedenza, ampiezza e potenza
- Necessita' di elaborare il segnale proveniente dal sensore prima di poterlo digitalizzare:
 - Livello troppo basso (μV !)
 - Presenza di disturbi da eliminare
 - Rapporto S/N troppo basso
 -



Il livello di precisione complessivo del sistema e' spesso determinato esclusivamente dalla parte analogica (piu' challenging)

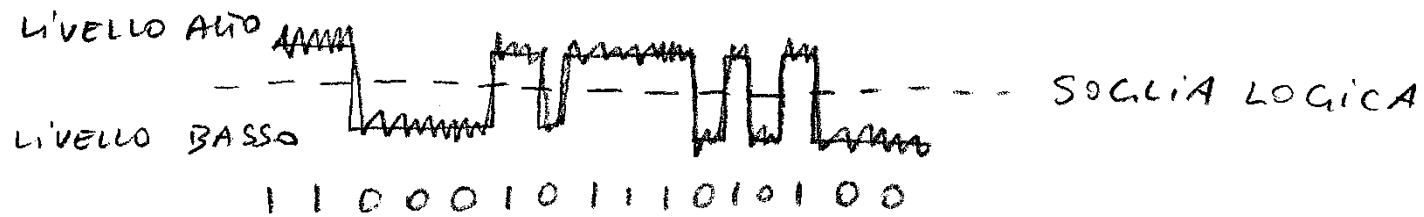


Analog processing



Perche' elettronica digitale?

- Insensibile ai disturbi (entro certi limiti !!!)*



- Logica binaria facilmente riproducibile con circuiti elettronici (on/off)*
- Facilita' nell'eseguire elaborazioni complesse*
- Possibilita' di memorizzare dati per un tempo arbitrario*

[PERO'.....

E' necessario (anzi essenziale!) che il segnale analogico sia opportunamente trattato prima della conversione A/D]

*Buon corso di
Fondamenti di Elettronica !*