

A.A. 2021-2022

Elementi di Elettronica (INF)

Introduzione

[L] Ingegneria Informatica e dell'Automazione (9 CFU)

Prof. Paolo Crippa

**Dipartimento di Ingegneria dell'Informazione
Q 165**

Orario di ricevimento:

Martedì 15:30 - 17:30

Giovedì 10:30 - 13:30

Tel.: +39 071 2204541

E-mail: p.crippa@univpm.it

Elementi di Elettronica A.A. 2021/22

Password apertura file PDF:

2i-22+&LeeL&A

Calendario Lezioni A.A. 2021-2022

Elementi di
Elettronica
(INF)
A.A. 2021-22



Università Politecnica delle Marche - Facoltà di Ingegneria

Corso di laurea: INGEGNERIA INFORMATICA E DELL'AUTOMAZIONE - Laurea

Curriculum: CORSO GENERICO A-L - 2 anno

Date di inizio/fine curriculum: lunedì 28 febbraio 2022 - venerdì 3 giugno 2022

Periodo didattico: Secondo semestre 2021/2022

Orario delle lezioni visualizzato: Orario secondo semestre



stampa orario

Orario delle lezioni visualizzato: Orario secondo semestre										Stampa orario	
[L/] [LM]		6sett		lunedì	martedì	mercoledì	giovedì	venerdì	sabato		
		08:30-09:30	INGEGNERIA DEL SOFTWARE - Recupero Domenico Ursino 145/2	ELETTROMAGNETISMO PER LA TRASMISSIONE DELL'INFORMAZIONE (Cognomi A-L) alfredo de leo 145/G2	ELETTROMAGNETISMO PER LA TRASMISSIONE DELL'INFORMAZIONE (Cognomi A-L) alfredo de leo 145/G2	ELETTROMAGNETISMO PER LA TRASMISSIONE DELL'INFORMAZIONE (Cognomi A-L) alfredo de leo 145/G2	ELEMENTI DI ELETTRONICA Paolo Crippa 145/G2	ELETTROMAGNETISMO PER LA TRASMISSIONE DELL'INFORMAZIONE (Cognomi A-L) - Recupero alfredo de leo 155/2-3		giu	
[LM/UE] anno 1		09:30-10:30	INGEGNERIA DEL SOFTWARE Domenico Ursino 145/2	ELETTROMAGNETISMO PER LA TRASMISSIONE DELL'INFORMAZIONE (Cognomi A-L) alfredo de leo 145/G2	ELETTROMAGNETISMO PER LA TRASMISSIONE DELL'INFORMAZIONE (Cognomi A-L) alfredo de leo 145/G2	ELETTROMAGNETISMO PER LA TRASMISSIONE DELL'INFORMAZIONE (Cognomi A-L) alfredo de leo 145/G2	ELEMENTI DI ELETTRONICA Paolo Crippa 145/G2	ELETTROMAGNETISMO PER LA TRASMISSIONE DELL'INFORMAZIONE (Cognomi A-L) alfredo de leo 155/2-3		giu	
		10:30-11:30	INGEGNERIA DEL SOFTWARE Domenico Ursino 145/2	CONTROLLI AUTOMATICI Giuseppe Orlando 145/G2	ELEMENTI DI ELETTRONICA Paolo Crippa 145/G2	CONTROLLI AUTOMATICI Giuseppe Orlando 145/G2	ELETTROMAGNETISMO PER LA TRASMISSIONE DELL'INFORMAZIONE (Cognomi A-L) alfredo de leo 155/2-3				
[LM/UE] anno 2 anno 3 anno 4 anno 5		11:30-12:30	CONTROLLI AUTOMATICI Giuseppe Orlando 145/2	CONTROLLI AUTOMATICI Giuseppe Orlando 145/G2	ELEMENTI DI ELETTRONICA Paolo Crippa 145/G2	CONTROLLI AUTOMATICI Giuseppe Orlando 145/G2	ANALISI NUMERICA Giulia de Santis 140/2			giu	
		12:30-13:30	CONTROLLI AUTOMATICI Giuseppe Orlando 145/2		ELEMENTI DI ELETTRONICA - Recupero Paolo Crippa 145/G2	CONTROLLI AUTOMATICI - Recupero Giuseppe Orlando 145/G2	ANALISI NUMERICA Giulia de Santis 140/2				
		13:30-14:30		ELEMENTI DI ELETTRONICA Paolo Crippa 145/G2							
		14:30-15:30	ANALISI NUMERICA Giulia de Santis 140/D3	ELEMENTI DI ELETTRONICA Paolo Crippa 145/G2	INGEGNERIA DEL SOFTWARE Domenico Ursino 145/2	INGEGNERIA DEL SOFTWARE Domenico Ursino 145/1				⇒ 27/05/22	
		15:30-16:30	ANALISI NUMERICA Giulia de Santis 140/D3		INGEGNERIA DEL SOFTWARE Domenico Ursino 145/2	INGEGNERIA DEL SOFTWARE Domenico Ursino 145/1				⇒ 27/05/22	
		16:30-17:30	ANALISI NUMERICA - Recupero Giulia de Santis 140/D3							ettura	
		17:30-18:30									



⇒ 27/05/22

⇒ 27/05/22

⇒ 27/05/22

ettura

Programma - I

Lezioni 1-12 (dal 28/02/2022 al 27/03/2022)

Elementi di
Elettronica
(INF)
A.A. 2021-22

- Sistemi di numerazione. Aritmetica binaria; notazione in virgola fissa e virgola mobile; codici.
- Funzioni binarie: AND, OR, NOT, NAND, NOR, XOR, XNOR; full-adder; relazioni logiche.
- Algebra Booleana.
- Reti combinatorie: analisi e sintesi di circuiti combinatori; mappe di Karnaugh; metodo di Quine-McCluskey. Implementazioni a NAND o NOR. Programmable Logic Array (PLA).
- I circuiti integrati, le famiglie logiche. Progettazione di circuiti combinatori: analisi e sintesi. Convertitori di codice. Codificatori e decodificatori. Multiplexer e demultiplexer. Sommatori. Moltiplicatori.
- Reti sequenziali. Latch SR, D. Flip-flop SR, D, JK. Macchine a stati. Analisi e progetto di circuiti sequenziali. Registri. Contatori.

Programma - II

Lezioni 13-24 (dal 28/03/2022 al 01/05/2022)

- Richiami di elettrotecnica. Bipoli e doppi bipoli non lineari, risoluzione di circuiti non lineari; amplificatori ideali, guadagni di tensione e corrente, impedenze di ingresso e uscita; risposta in frequenza.
- L'amplificatore operazionale. L'Op-Amp. ideale, circuiti con Op-Amp.
- Cenni di elettronica dello stato solido. Giunzione p-n.
- Il diodo: caratteristiche I-V, funzionamento e modello. Circuiti con diodi. Logica a diodi.
- Il transistor MOS (MOSFET) a canale n e p: caratteristiche I-V, funzionamento e modello.

Programma - III

Lezioni 25-36 (dal 02/05/2022 al 27/05/2022)

- Il transistor bipolare (BJT): funzionamento, modello, caratteristiche di trasferimento e d'uscita.
- Amplificatori a singolo transistor a BJT e a MOSFET: circuiti di polarizzazione, configurazioni elementari.
- Analisi di circuiti elettronici con diodi, MOSFET, BJT: linearizzazione, studio in DC e alle variazioni.
- Inverter: Inverter NMOS con carico resistivo e con carico attivo. Inverter CMOS.
- Logica random CMOS, nMOS, pseudo-nMOS. Strutture complesse. PLA.

Calendario Esami A.A. 2021/22

Ing. Paolo Crippa Esami di Profitto A.A. 2021/22	Gennaio 2022		Febbraio 2022		Marzo 2022	
	Scritto	Orale	Scritto	Orale	Scritto	Orale
Elementi di Elettronica (INF) <i>L/INF, 9CFU, Sede: Ancona, Ciclo II</i>	11/1 (ore 9.00)		15/2 (ore 9.00)			



Ing. Paolo Crippa Esami di Profitto A.A. 2021/22	Aprile 2022		Maggio 2022		Giugno 2022	
	Scritto	Orale	Scritto	Orale	Scritto	Orale
Elementi di Elettronica (INF) <i>L/INF, 9CFU, Sede: Ancona, Ciclo II</i>	5/4 (ore 9.00)				7/6 (ore 9.00)	



Ing. Paolo Crippa Esami di Profitto A.A. 2021/22	Luglio 2022		Agosto 2022		Settembre 2022	
	Scritto	Orale	Scritto	Orale	Scritto	Orale
Elementi di Elettronica (INF) <i>L/INF, 9CFU, Sede: Ancona, Ciclo II</i>	12/7 (ore 9.00)				13/9 (ore 9.00)	



Ing. Paolo Crippa Esami di Profitto A.A. 2021/22	Ottobre 2022		Novembre 2022		Dicembre 2022	
	Scritto	Orale	Scritto	Orale	Scritto	Orale
Elementi di Elettronica (INF) <i>L/INF, 9CFU, Sede: Ancona, Ciclo II</i>			4/11 (ore 9.00)			

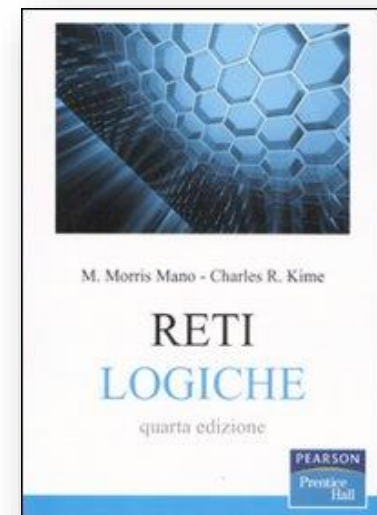


Ing. Paolo Crippa Esami di Profitto A.A. 2021/22	Gennaio 2023	
	Scritto	Orale
Elementi di Elettronica (INF) <i>L/INF, 9CFU, Sede: Ancona, Ciclo II</i>	11/1* (ore 9.00)	

* Sessione straordinaria (prevista solo per gli studenti che non hanno rinnovato l'iscrizione per l'A.A. 2022/23).

Testi di Riferimento

- C. Turchetti, M. Conti, “Elementi di Elettronica”, Pitagora Editrice, 2004.
- A. S. Sedra, K. C. Smith, “Circuiti per la Microelettronica”, EdiSES, 2006 (4° ed. 2013).
- M. M. Mano, C. R. Kime, “Reti Logiche”, 4° Ed., Pearson (Prentice Hall).
- Dispense disponibili sul **sito Moodle**



- R. C. Jaeger, T. N. Blalock, “Microelettronica: 1 elettronica analogica”, McGraw-Hill (2° Ed.).
- R. C. Jaeger, T. N. Blalock, “Microelettronica: 3 elettronica digitale”, McGraw-Hill (2° Ed.).
- J. Millman, A. Grabel, P. Terreni, “Elettronica di Millman”, McGraw-Hill, (4° Ed.).
- P. U. Calzolari, S. Graffi, “Elementi di Elettronica”, Zanichelli.
- F. Fummi, M. G. Sami, C. Silvano, “Progettazione Digitale “, McGraw-Hill.
- J. F. Wakerly, “Digital Design”, Prentice Hall.
- R. S. Muller, T. I. Kamins, “Device Electronics for Integrated Circuits”, 2nd Ed., John Wiley & Sons.

Modalità di Esame

L'esame è basato su due prove:

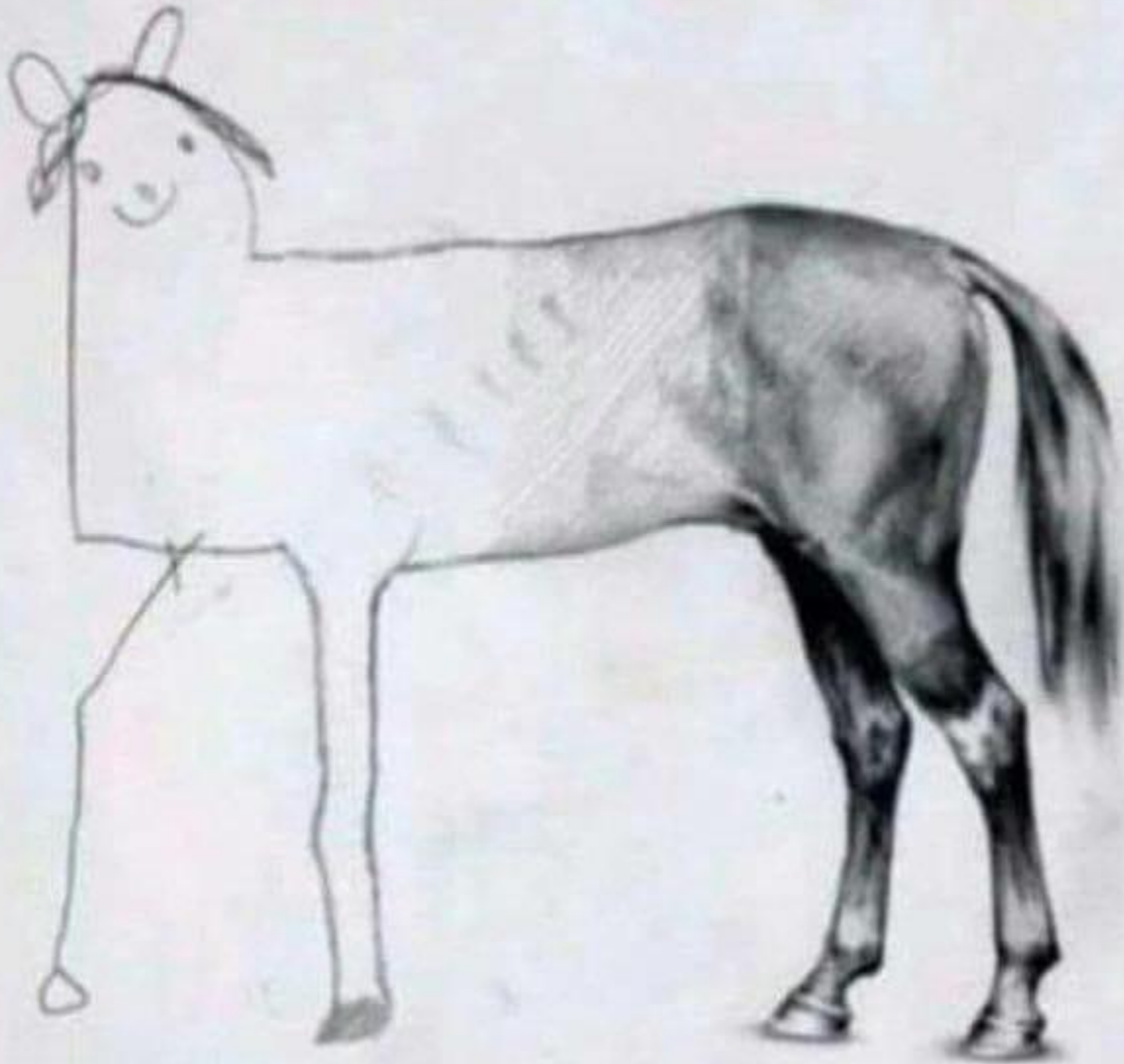
- una prova scritta, consistente nella soluzione di esercizi inerenti ad argomenti trattati nel corso, da completare in *due ore*;
- una prova orale, consistente nella discussione di uno o più argomenti trattati nel corso; se necessario, i quesiti la cui risposta richiede anche l'esecuzione di brevi calcoli o la rappresentazione di semplici circuiti saranno svolti in forma scritta durante la prova orale.

La prova scritta è propedeutica alla prova orale, per accedere alla quale lo studente deve aver ottenuto almeno sedici trentesimi nella prova scritta.

La prova orale deve essere sostenuta nello stesso appello della prova scritta. Nel caso di esito negativo per la prova orale, lo studente deve ripetere anche la prova scritta.

Modalità di Esame

Elementi di
Elettronica
(INF)
A.A. 2021-22

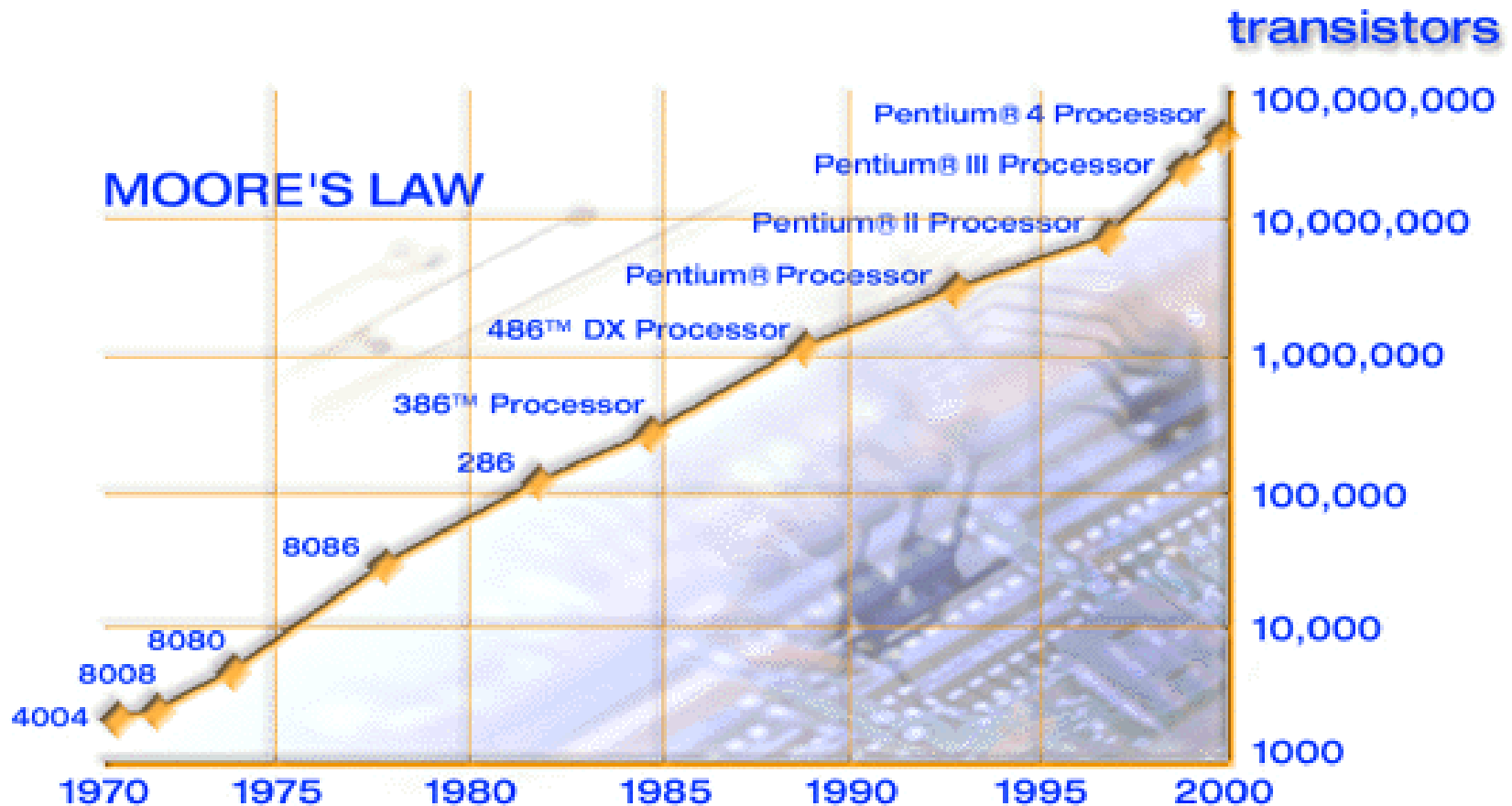


WHEN THE DEADLINE COMES TOO CLOSE

Technology Trend

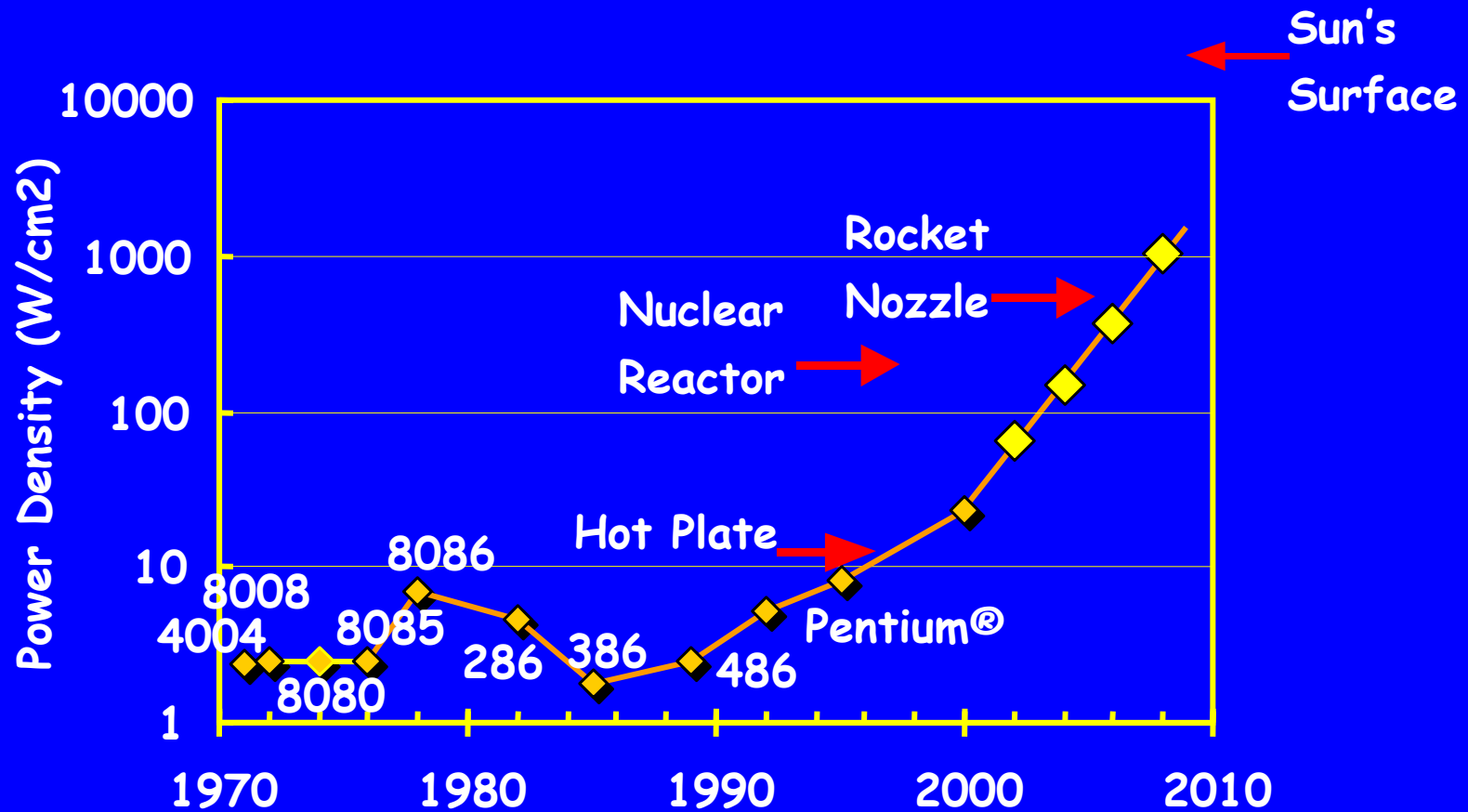
Year	1999	2001	2005	2011
CMOS process (um)	0.18	0.15	0.1	0.05
area (mm^2)	170	170	235	308
n. of transistor (M/cm^2)	7	14	41	247
memory capacity	256M	521M	2G	16G
N. of pads	2301	3042	3042	4224
Signal I/O pads	768	1024	1024	1408
Vdd/gnd pads	1536	1536	2018	2816
internal local clock (GHz)	1.2	1.7	3.5	10
internal across-chip clock (MHz)	600	727	1100	1800
off chip speed (MHz)	480	722	1035	1540
M gates /cm^2	5	10	30	200
GOPS / cm^2	70	120	370	2550
MIPS / Watt	60	80	120	240

System-on-Chip Complexity



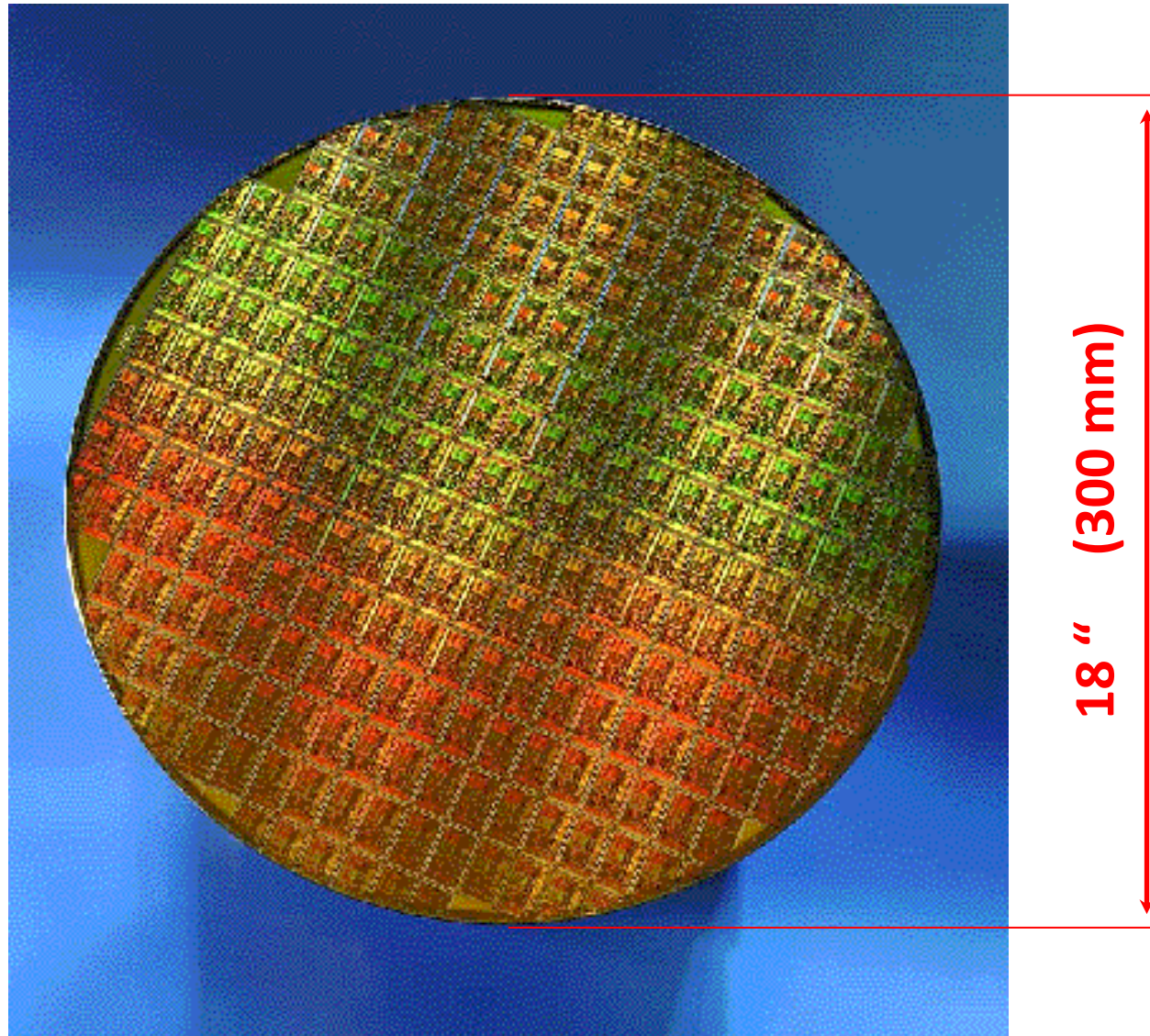
Exponentially increasing transistor counts enabled by smaller feature sizes and spurred by consumer demand for increased functionality, lower cost, and shorter time-to-market

Densità di Potenza

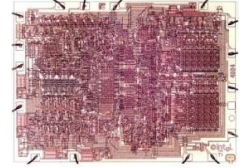


Source: Intel

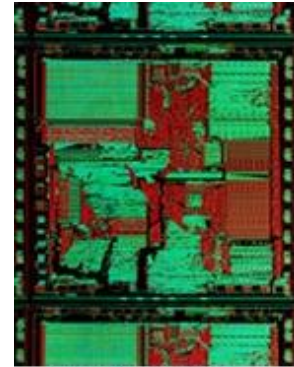
Tecnologia Planare



Processori

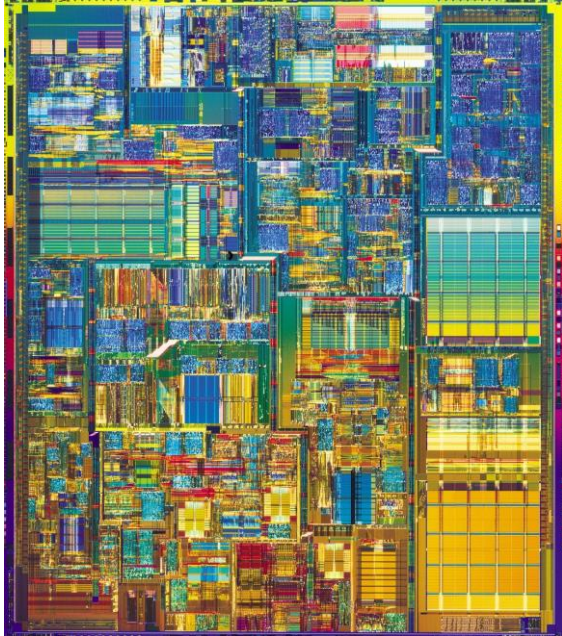


1971: **Intel 4004**
Velocità: 108 KHz

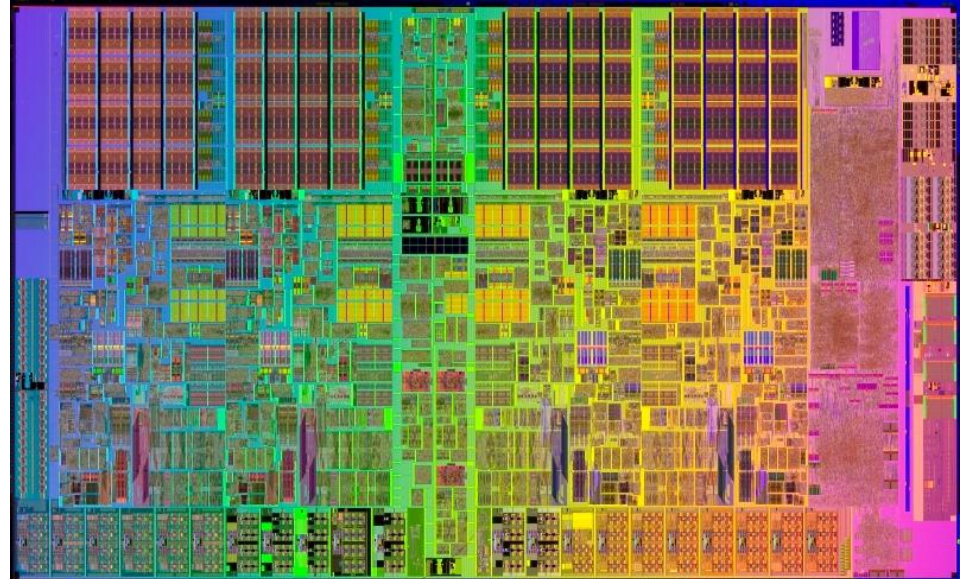


Intel® 8086 Processor

1978: **Intel 8086**
29.000 transistor
Velocità: 5 MHz

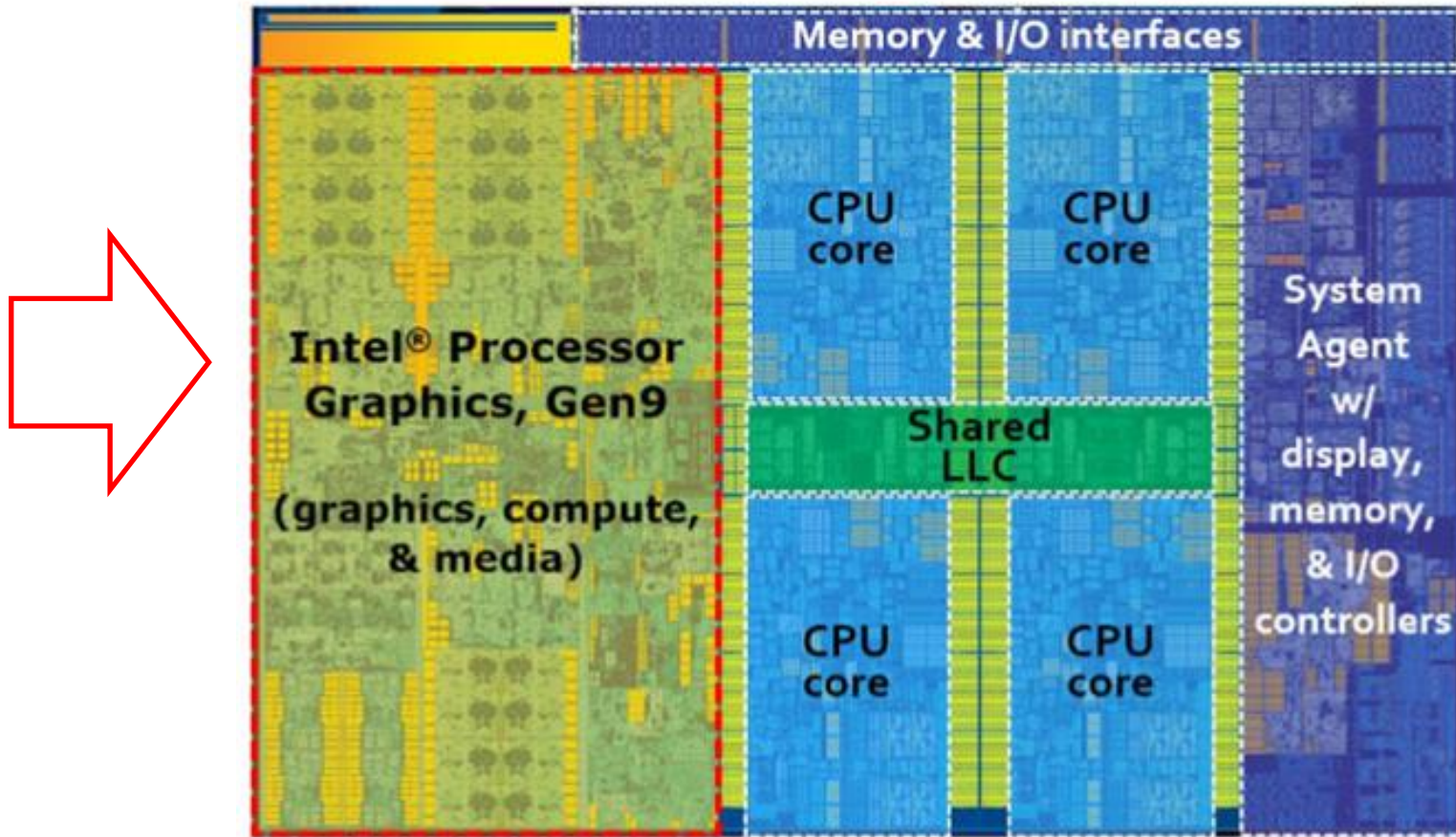


2000: **Intel Pentium 4**
42 milioni di transistor
Velocità: 1.5 GHz



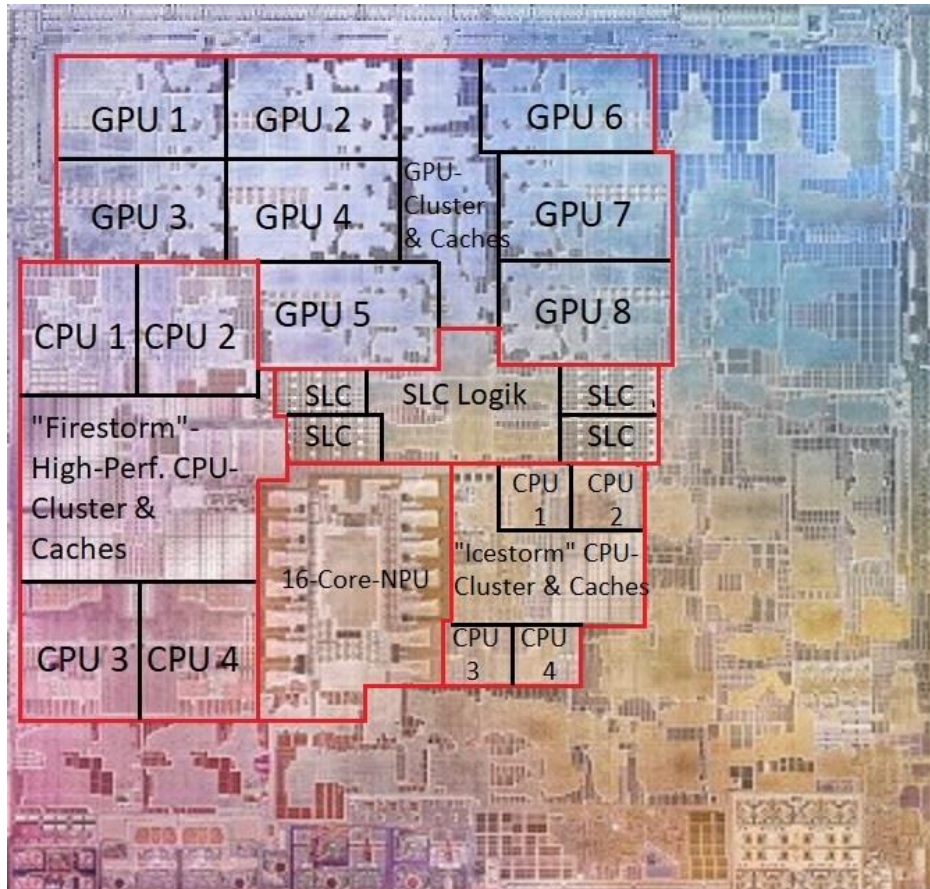
2011: **Intel® Core™ i7-2960XM** Processor Extreme Edition
c.a. 1 miliardo di transistor; velocità: 2.70/3.70 GHz

Processori



Q3 2015: **Intel® Core™ i7-6700K** Processor
14-nm fabrication process (Skylake) with tri-gate transistors;
velocità: 4/4.20 GHz

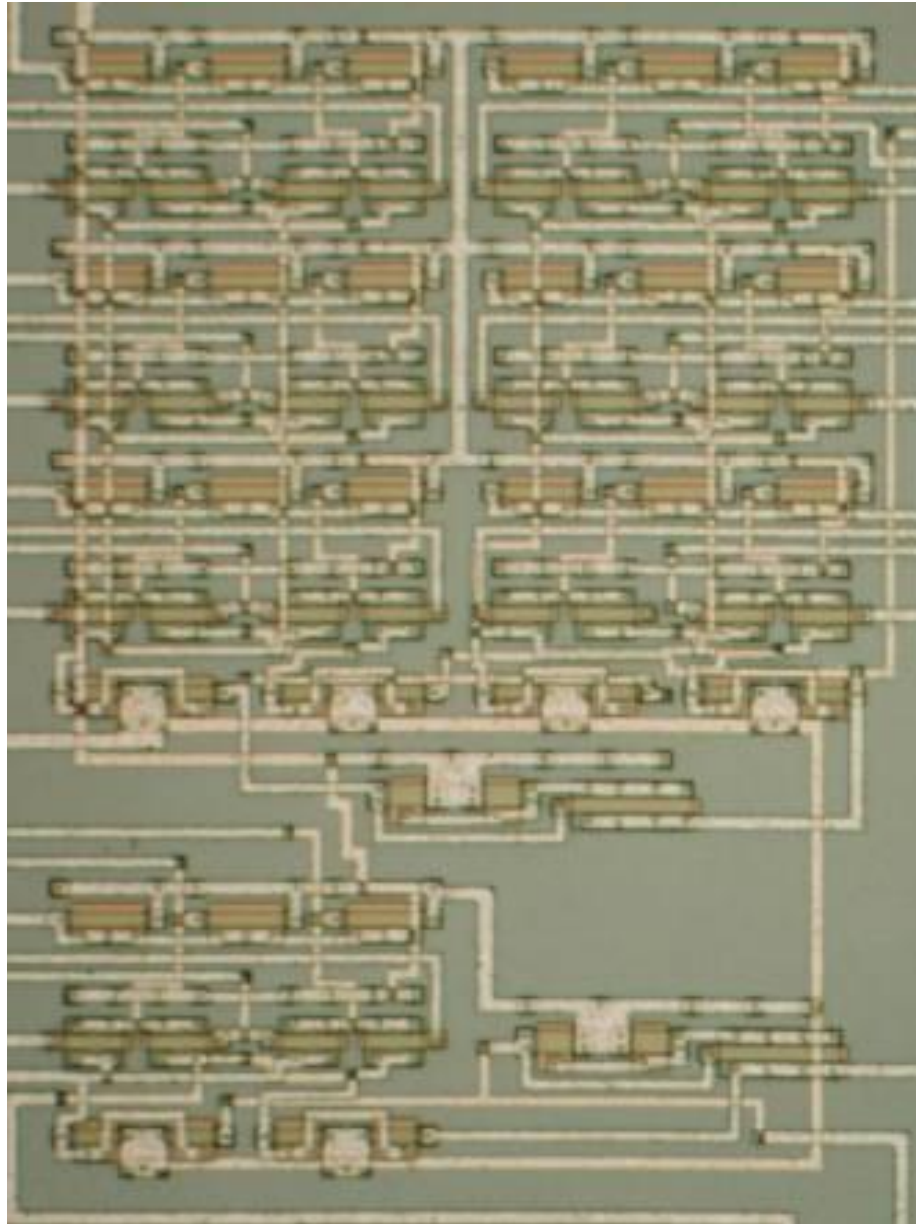
Processori



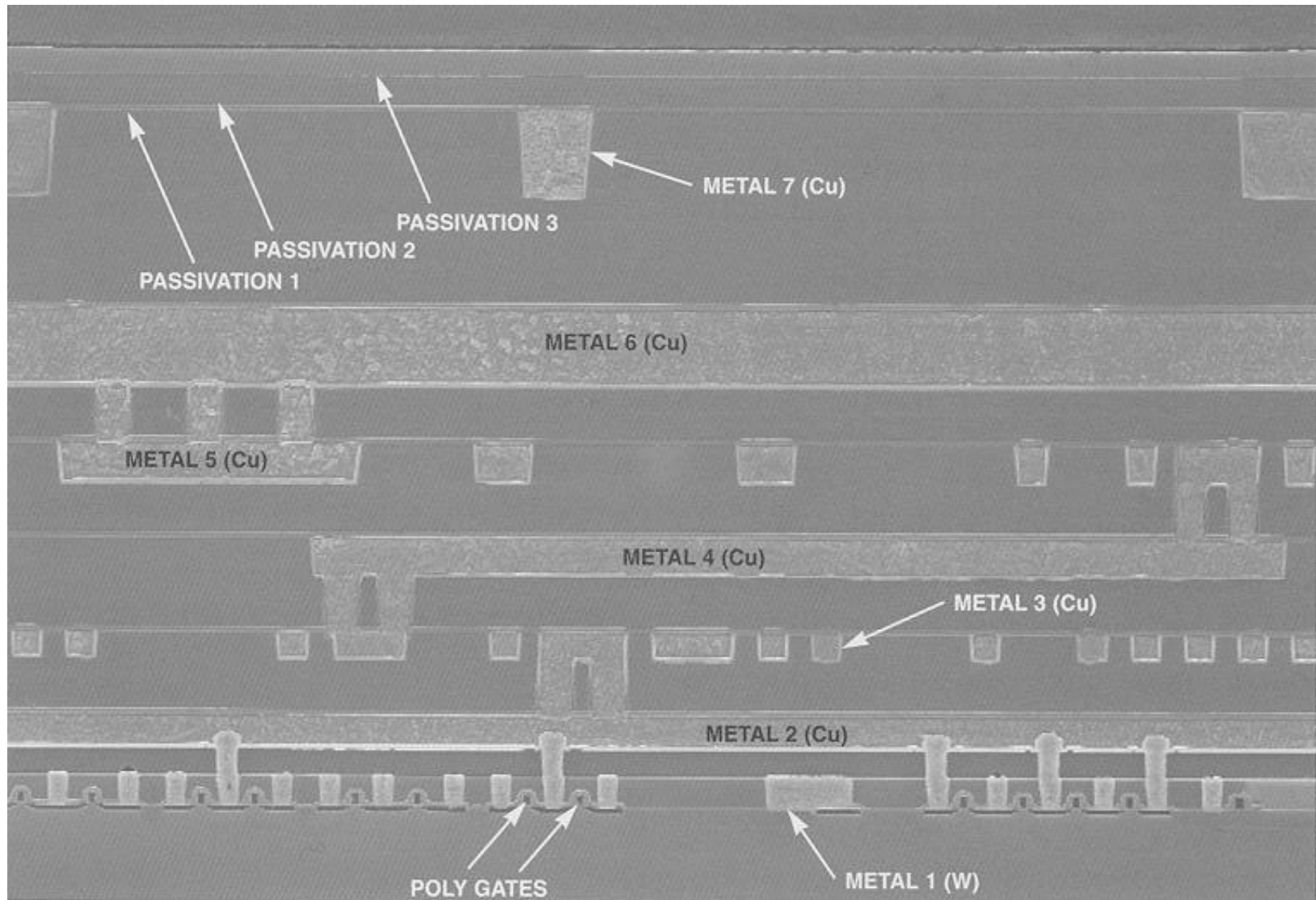
November 2020:
Apple M1 processor
5-nm fabrication process,
8-core ARM,
16 billion transistors

October 2021: Apple M1 Max processor, 5-nm fabrication process, 10-core ARM, 32-core GPU, 57 billion transistors

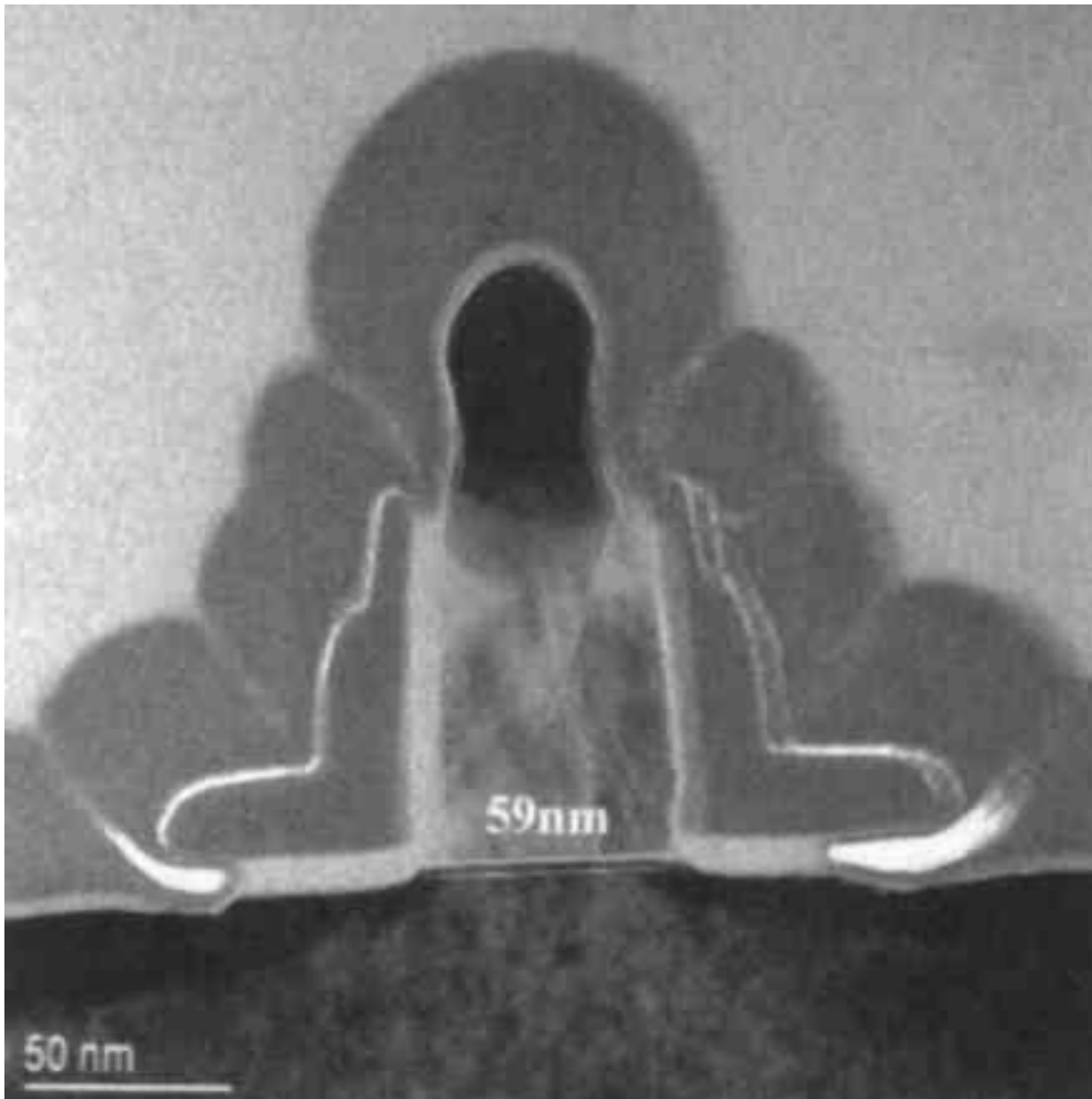
Circuito Integrato



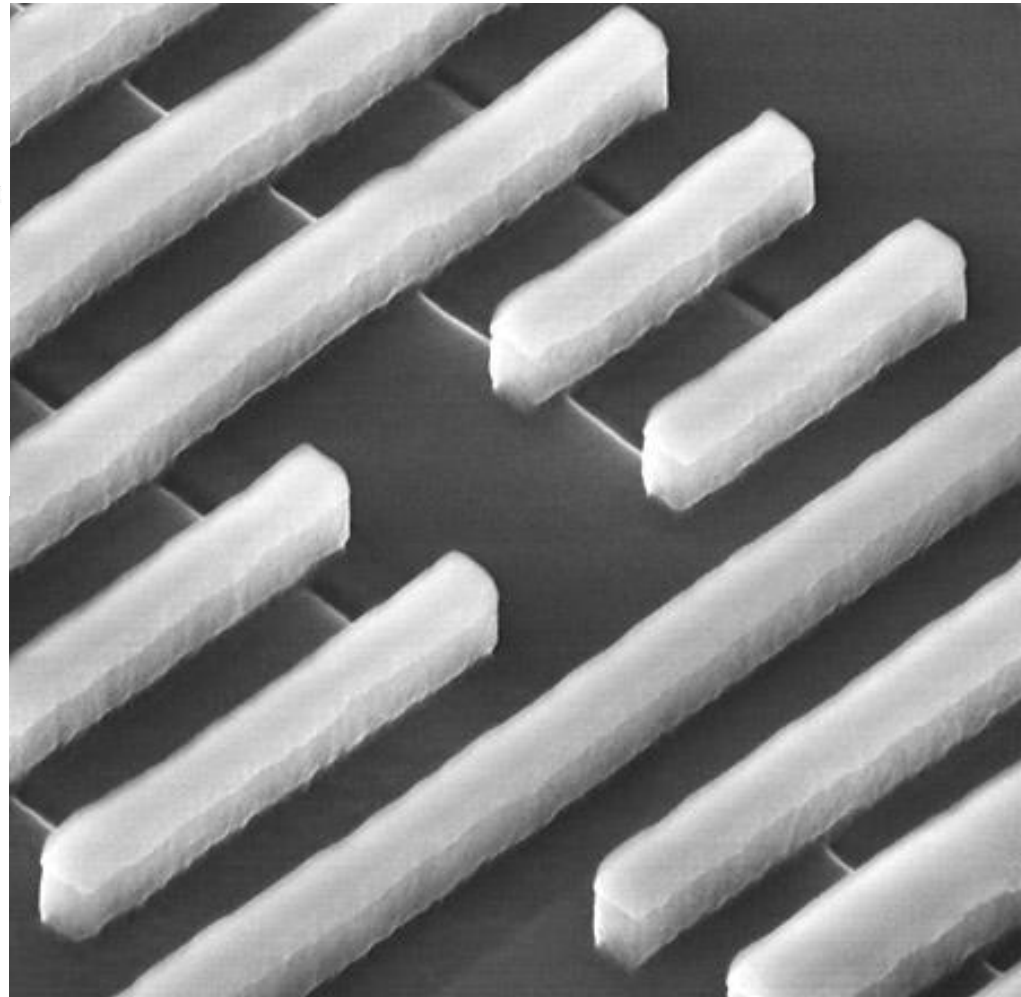
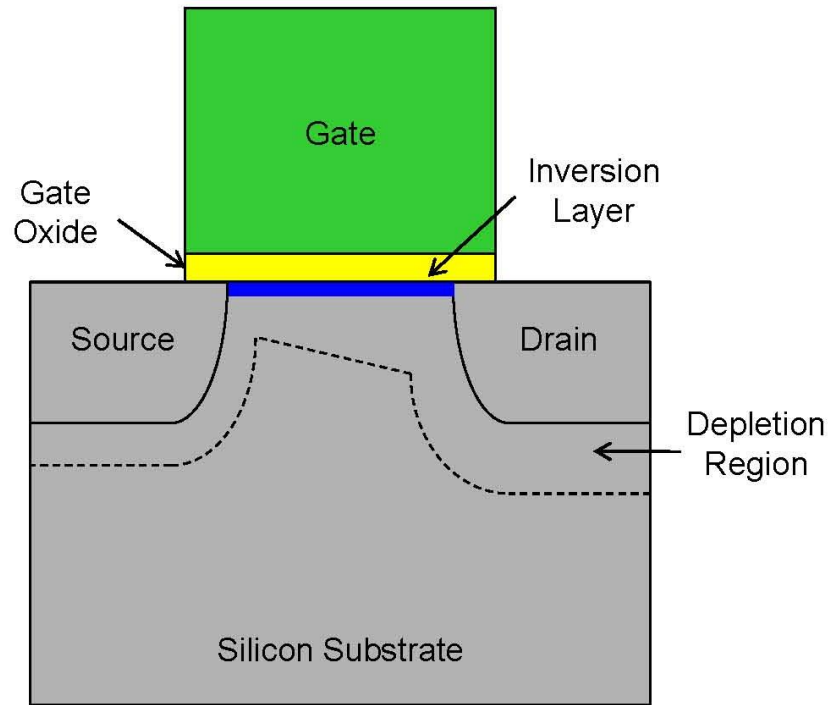
Circuito Integrato (Sezione Verticale)



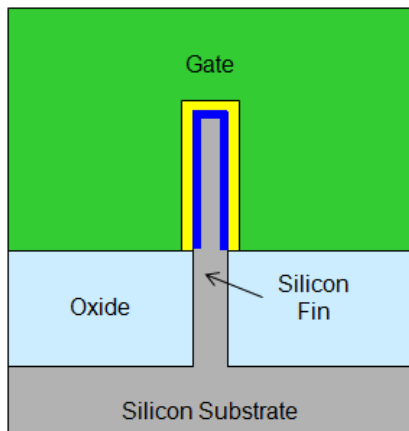
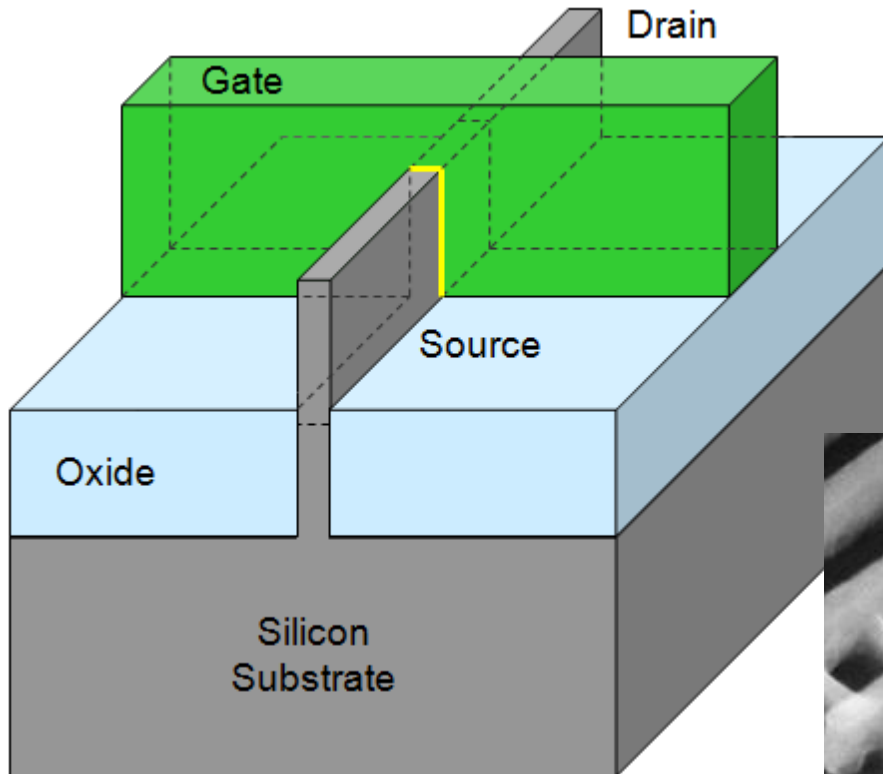
Transistore MOS (Tradizionale)



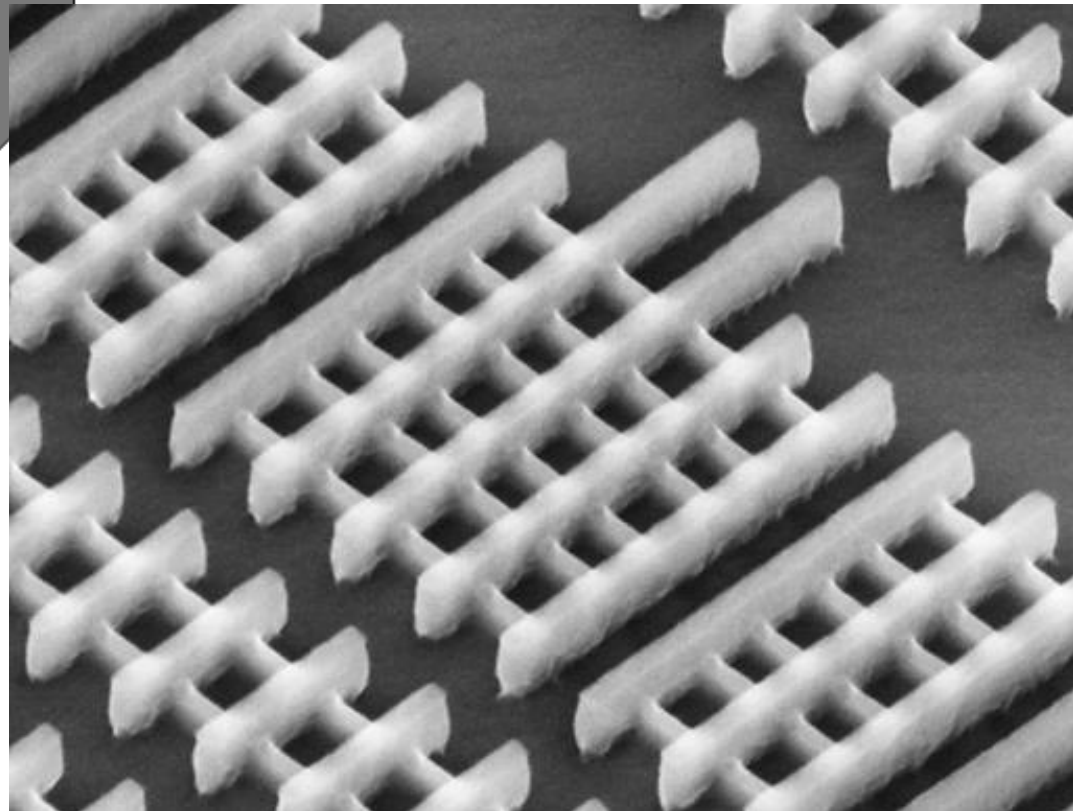
Transistore Planare (32 nm)



Transistore 3-D Tri-Gate (22 nm)



Fonte: Intel



Technology Trend – II

*Table ORTC1 Summary 2013 ORTC Technology Trend Targets
(click this link for the detailed table)*

Year of Production	2013	2015	2017	2019	2021	2023	2025	2028
Logic Industry "Node Name" Label	"16/14"	"10"	"7"	"5"	"3.5"	"2.5"	"1.8"	
Logic ½ Pitch (nm)	40	32	25	20	16	13	10	7
Flash ½ Pitch [2D] (nm)	18	15	13	11	9	8	8	8
DRAM ½ Pitch (nm)	28	24	20	17	14	12	10	7.7
FinFET Fin Half-pitch (new) (nm)	30	24	19	15	12	9.5	7.5	5.3
FinFET Fin Width (new) (nm)	7.6	7.2	6.8	6.4	6.1	5.7	5.4	5.0
6-t SRAM Cell Size(um2) [@60f2]	0.096	0.061	0.038	0.024	0.015	0.010	0.0060	0.0030
MPU/ASIC HighPerf 4t NAND Gate Size(um2)	0.248	0.157	0.099	0.062	0.039	0.025	0.018	0.009
4-input NAND Gate Density (K Gates/mm) [@155f2]	4.03E+03	6.37E+03	1.01E+04	1.61E+04	2.55E+04	4.05E+04	6.42E+04	1.28E+05
Flash Generations Label (bits per chip) (SLC/MLC)	64G /128G	128G /256G	256G / 512G	512G / 1T	512G / 1T	1T / 2T	2T / 4T	4T / 8T
Flash 3D Number of Layer targets (at relaxed Poly half pitch)	16-32	16-32	16-32	32-64	48-96	64-128	96-192	192-384
Flash 3D Layer half-pitch targets (nm)	64nm	54nm	45nm	30nm	28nm	27nm	25nm	22nm
DRAM Generations Label (bits per chip)	4G	8G	8G	16G	32G	32G	32G	32G
450mm Production High Volume Manufacturing Begins (100Kwspm)				2018				
Vdd (High Performance, high Vdd transistors)[**]	0.86	0.83	0.80	0.77	0.74	0.71	0.68	0.64
1/(CVI) (1/psec) [**]	1.13	1.53	1.75	1.97	2.10	2.29	2.52	3.17
On-chip local clock MPU HP [at 4% CAGR]	5.50	5.95	6.44	6.96	7.53	8.14	8.8	9.9
Maximum number wiring levels [unchanged]	13	13	14	14	15	15	16	17
MPU High-Performance (HP) Printed Gate Length (GLpr) (nm) [**]	28	22	18	14	11	9	7	5
MPU High-Performance Physical Gate Length (GLph) (nm) [**]	20	17	14	12	10	8	7	5
ASIC/Low Standby Power (LP) Physical Gate Length (nm) (GLph)[**]	23	19	16	13	11	9	8	6

** Note: from the PIDS working group data; however, the calibration of Vdd, GLph, and I/CV is ongoing for improved targets in 2014 ITRS work

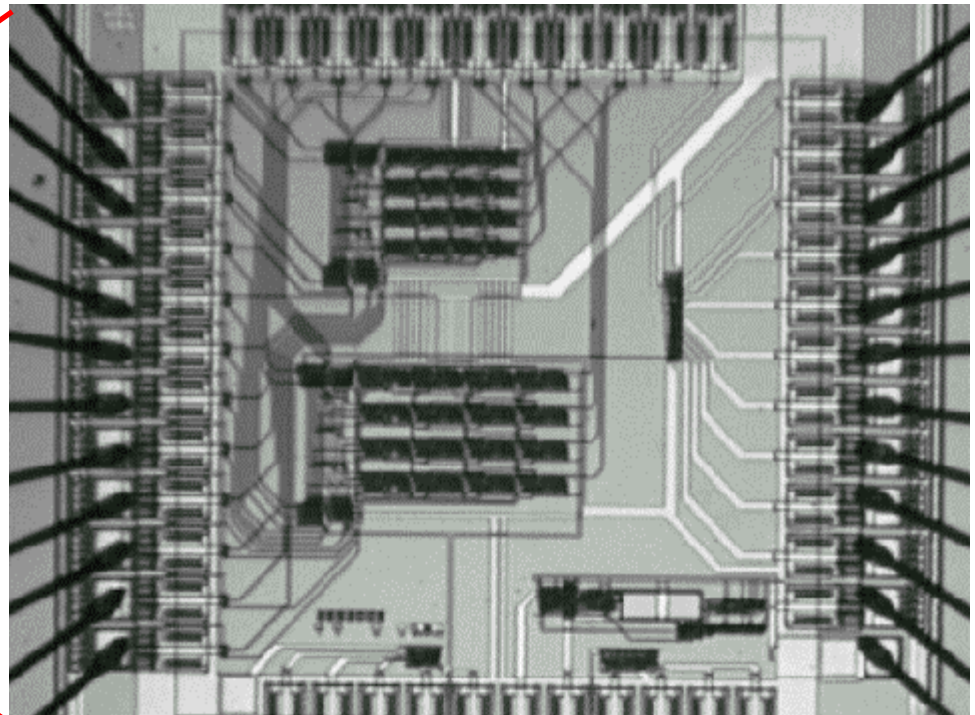
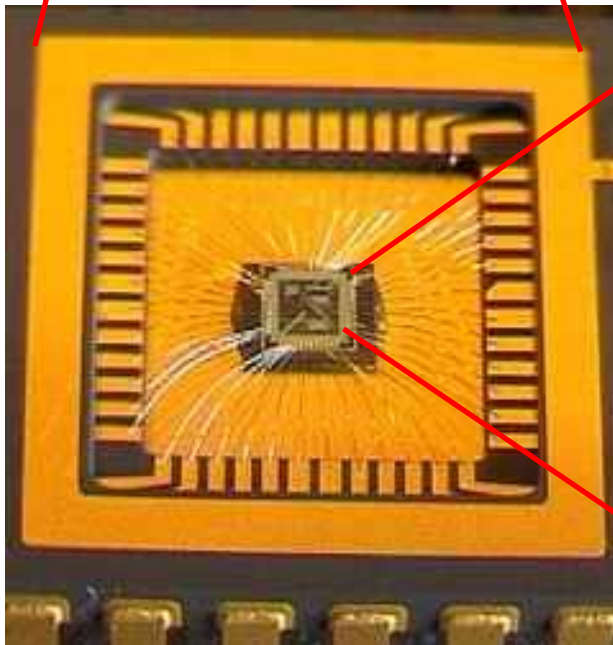
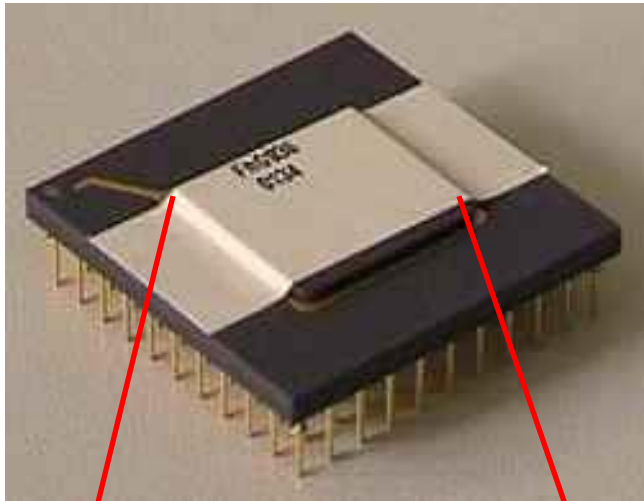
"Shrink rate" dei parametri calcolati dai dati della tabella FEP2, ITRS* 2013

		2013	2027
Nome commerciale [nm]	$\times 0.70/2$ anni	14 nm	1.3 nm
Metal half pitch [nm]	$\times 0.80/2$ anni	40 nm	8 nm
Lg [nm]	$\times 0.83/2$ anni	20.2 nm	5.6 nm
Vdd [nm]	$\times 0.96/2$ anni	0.86 V	0.65 V
EOT [nm]	$\times 0.91/2$ anni	0.80 nm	0.43 nm
TSi [nm]	$\times 0.84/2$ anni	7.4 nm	2.0 nm

**International Technology Roadmap for Semiconductors
ITRS 2.0**

<http://www.itrs2.net/>

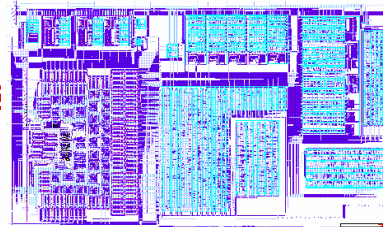
Chip



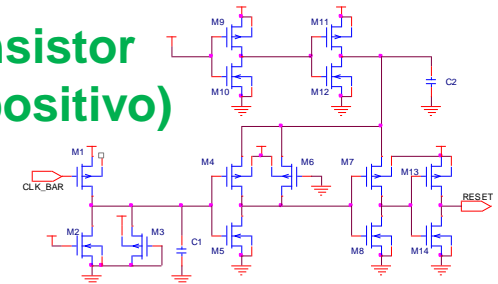
Progetto di Sistemi Elettronici

Elementi di
Elettronica
(INF)
A.A. 2021-22

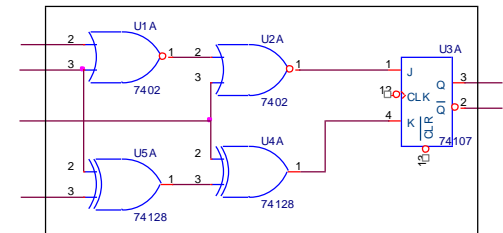
layout



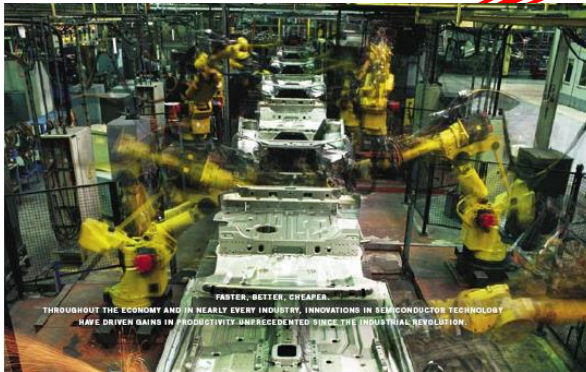
transistor
(dispositivo)



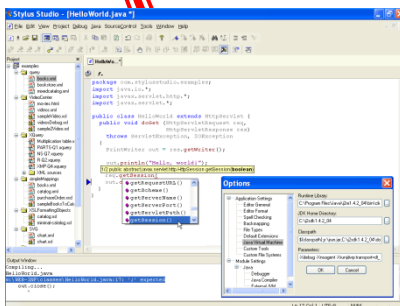
porta
logica



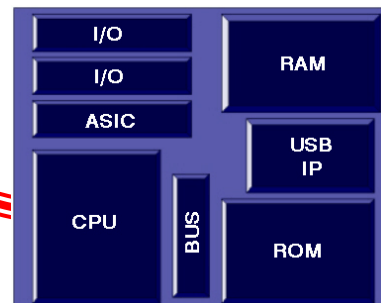
applicazione



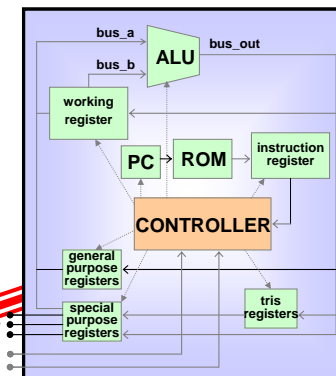
software & algoritmi

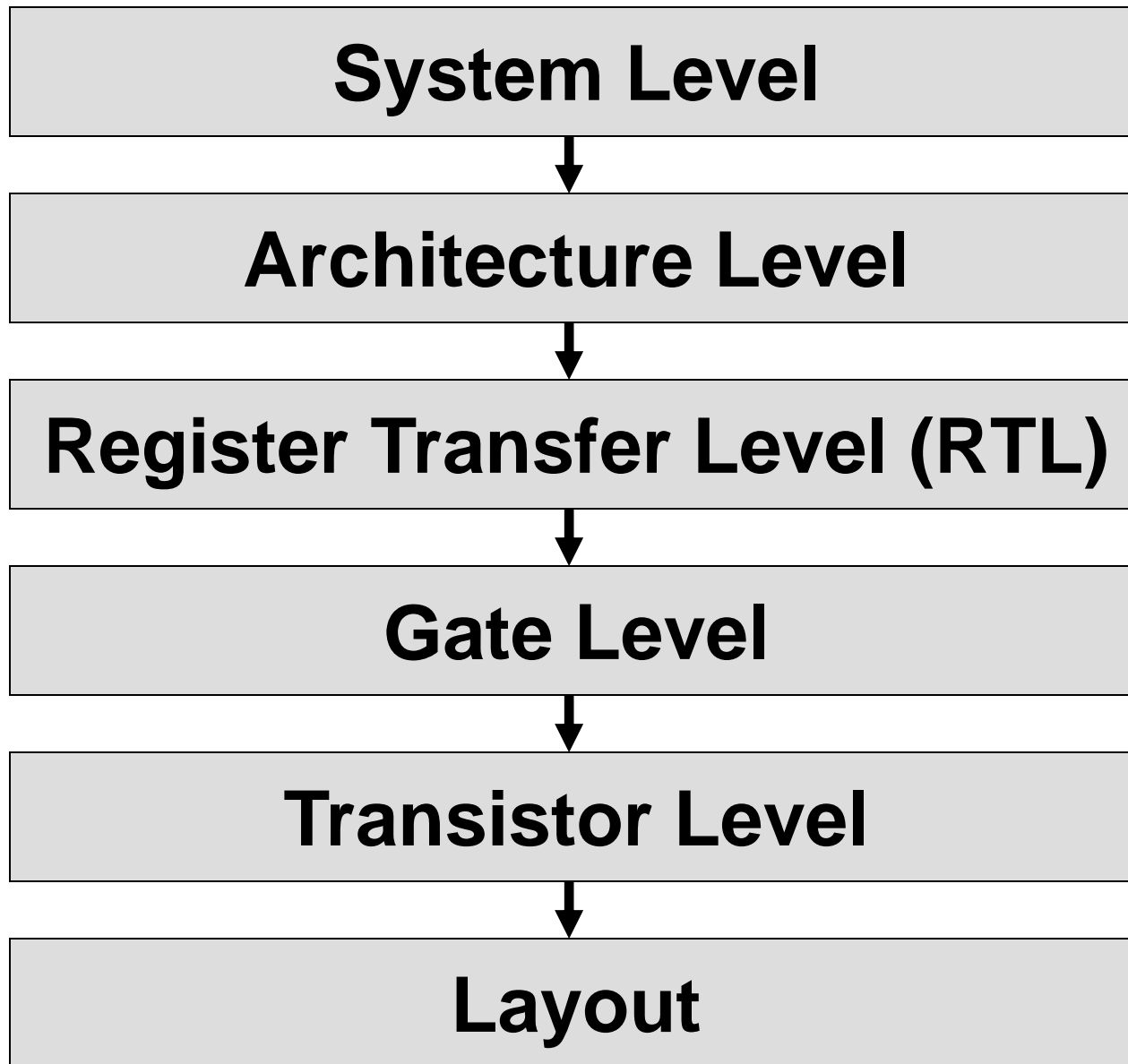


sistema

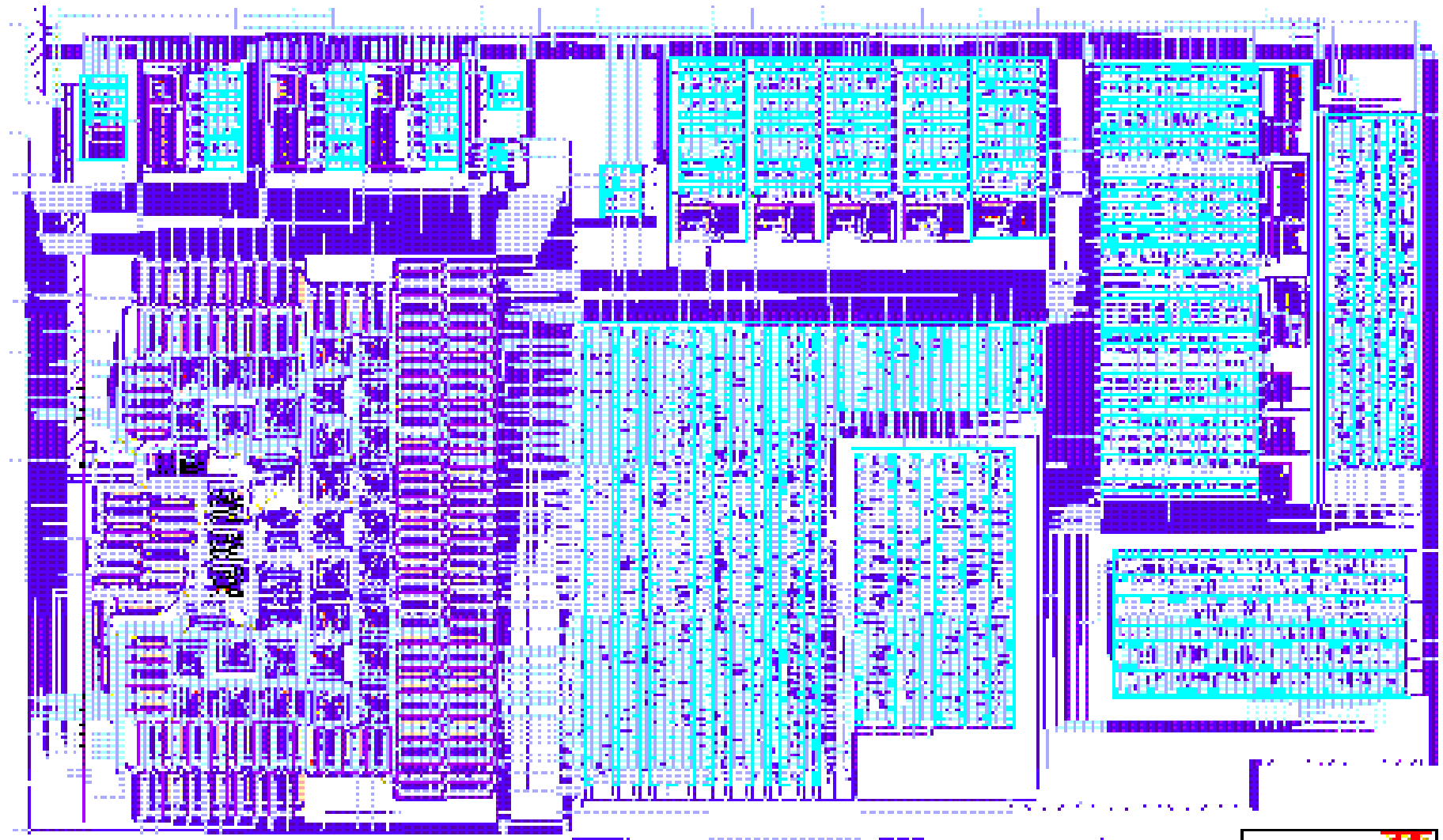


architettura

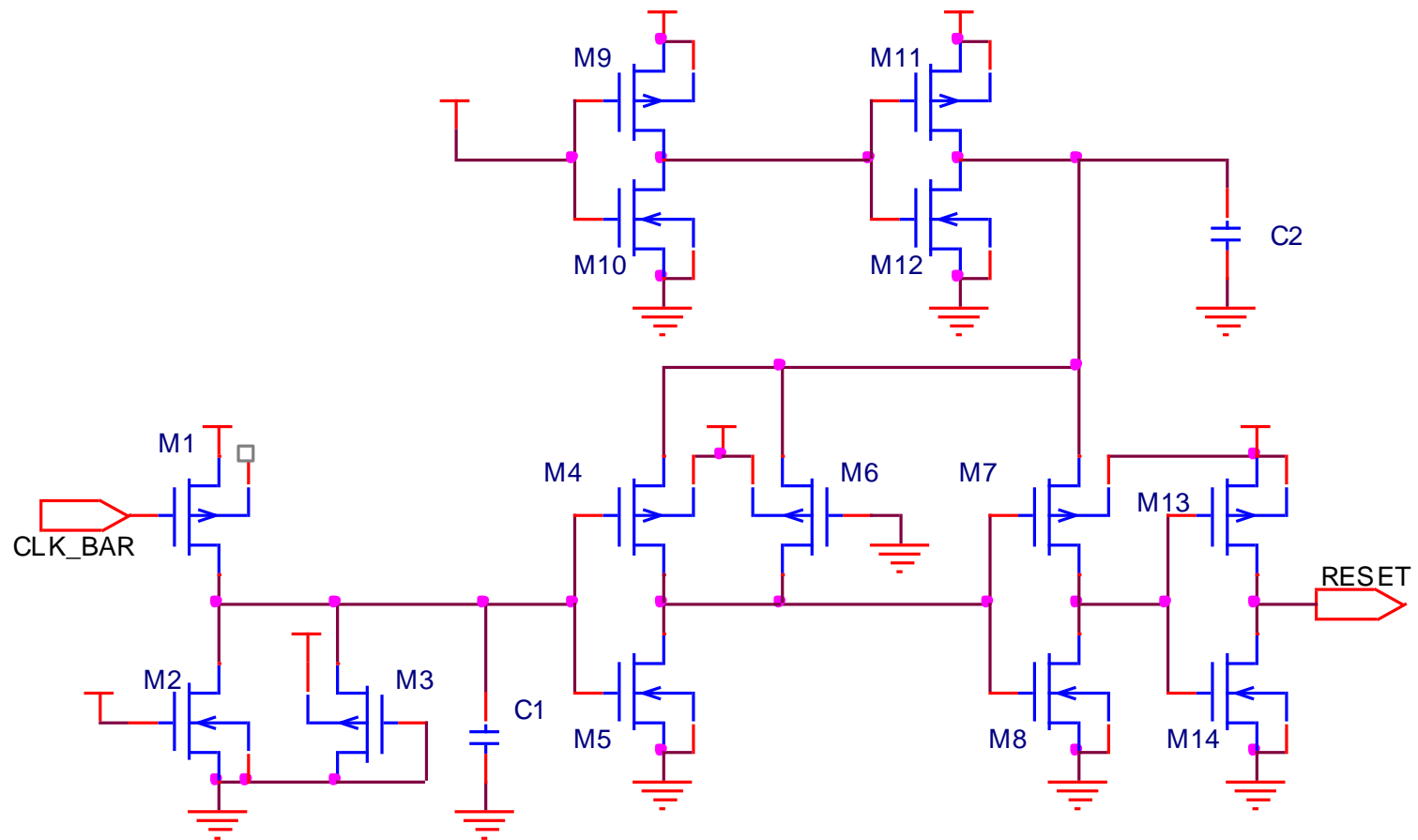




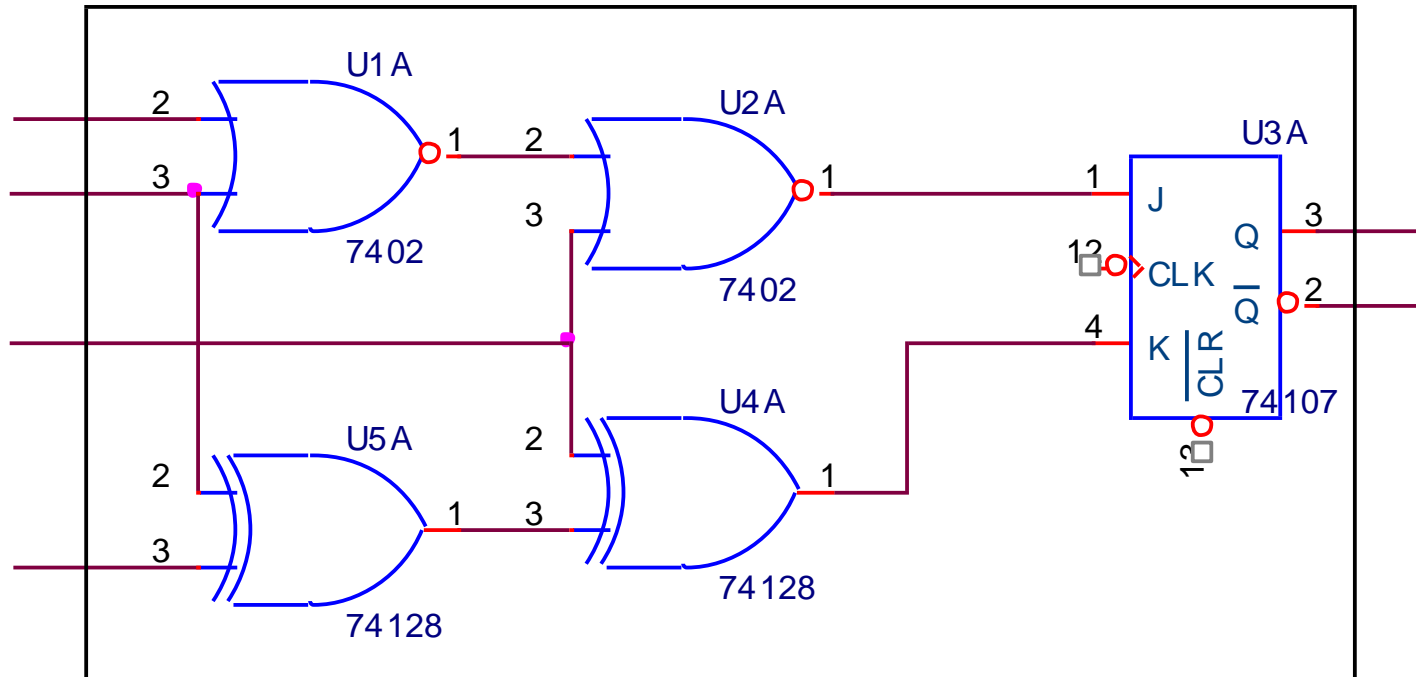
Layout



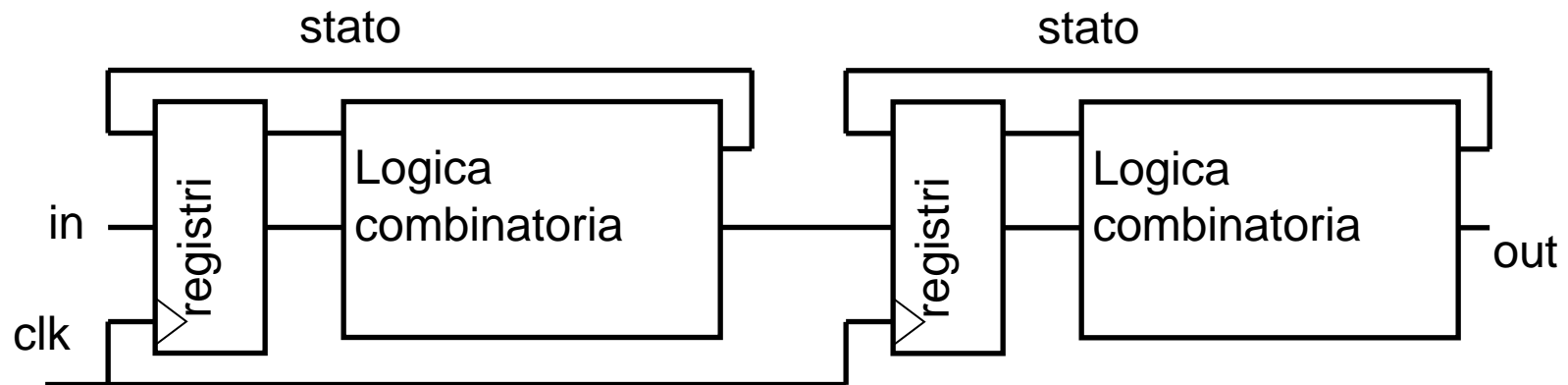
Transistor Level



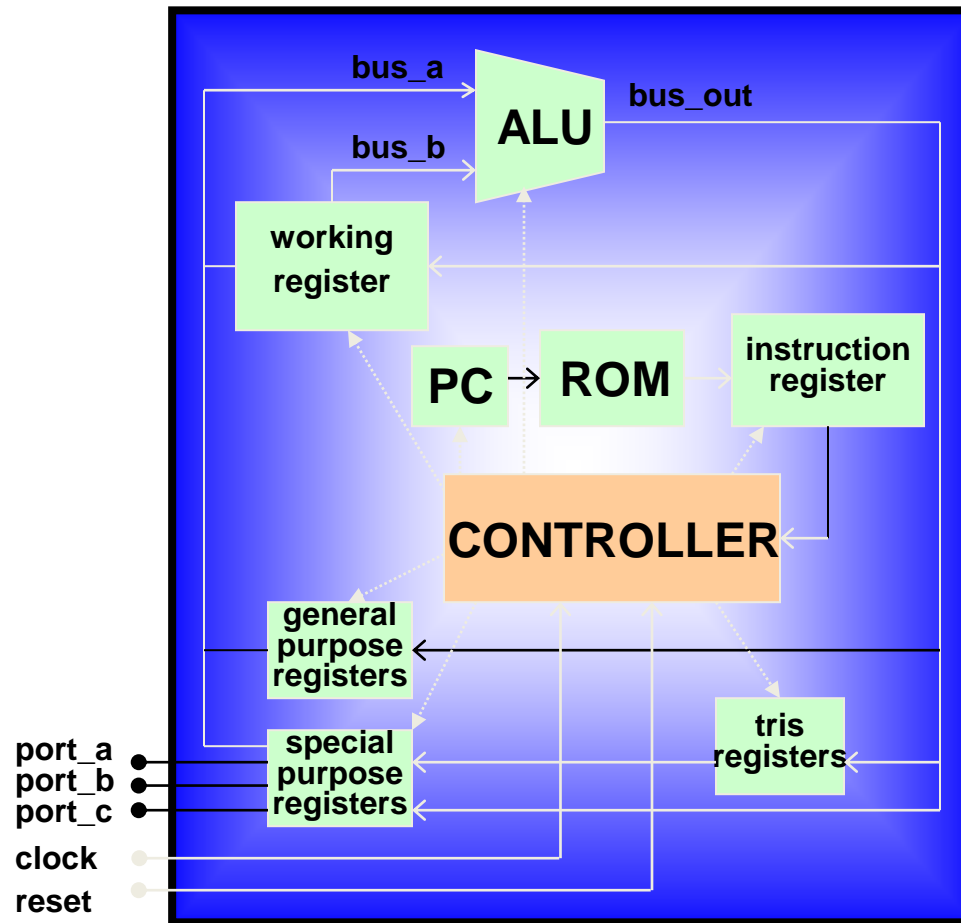
Gate Level



Register Transfer Level (RTL)

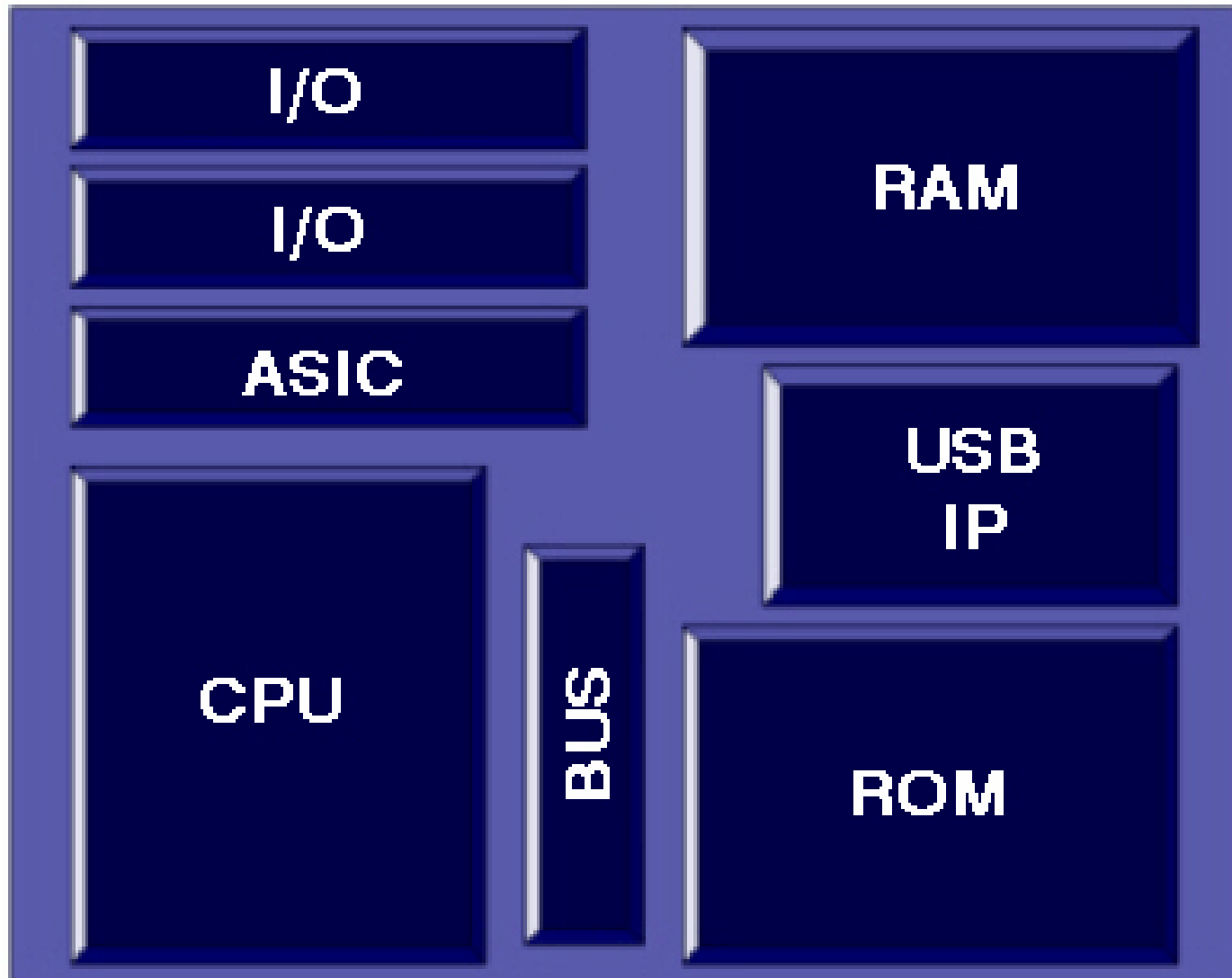


Architecture Level



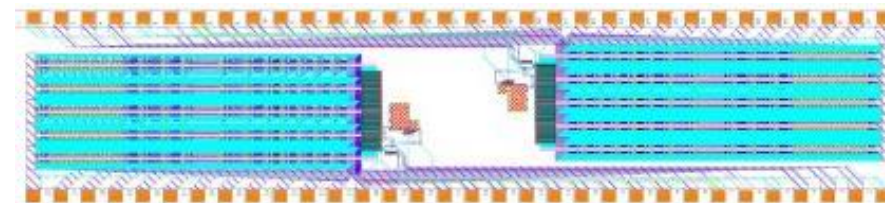
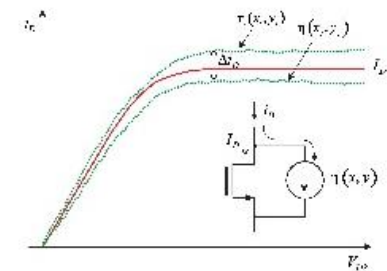
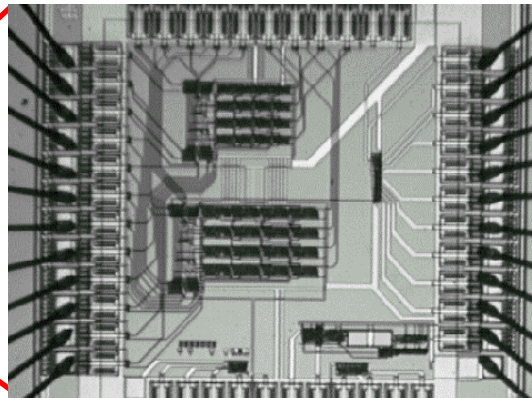
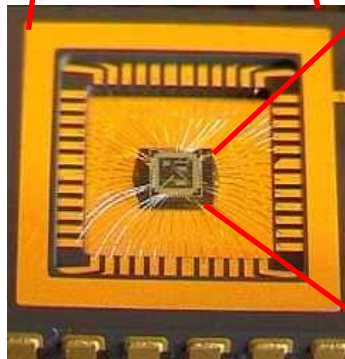
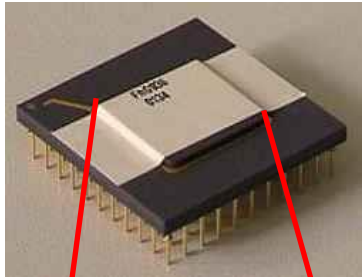
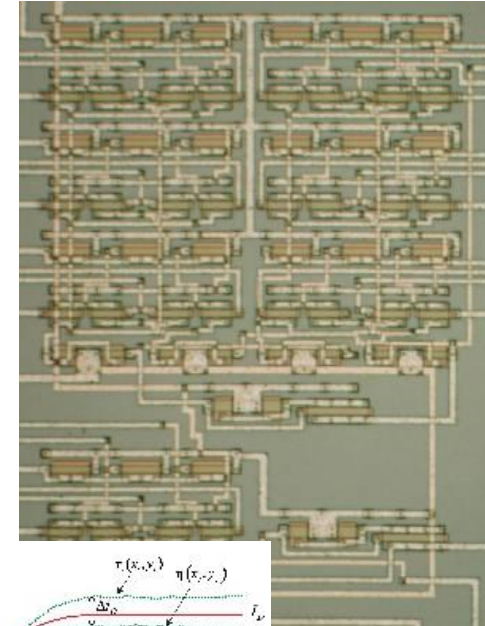
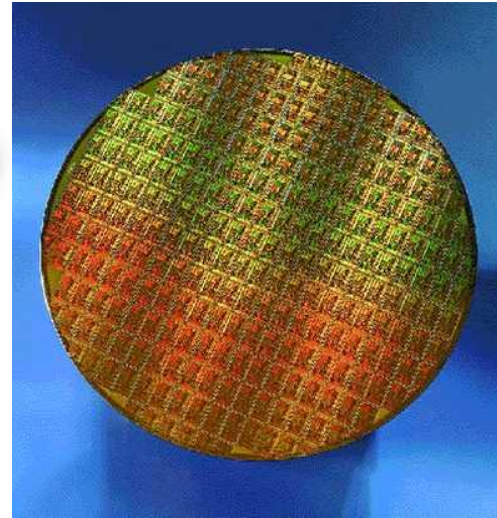
MICROPROCESSORE

System Level



Analisi e Progettazione di Dispositivi, Circuiti e Sistemi Elettronici Integrati

Elementi di
Elettronica
(INF)
A.A. 2021-22



Progettazione Hardware e Software di Sensori Intelligenti

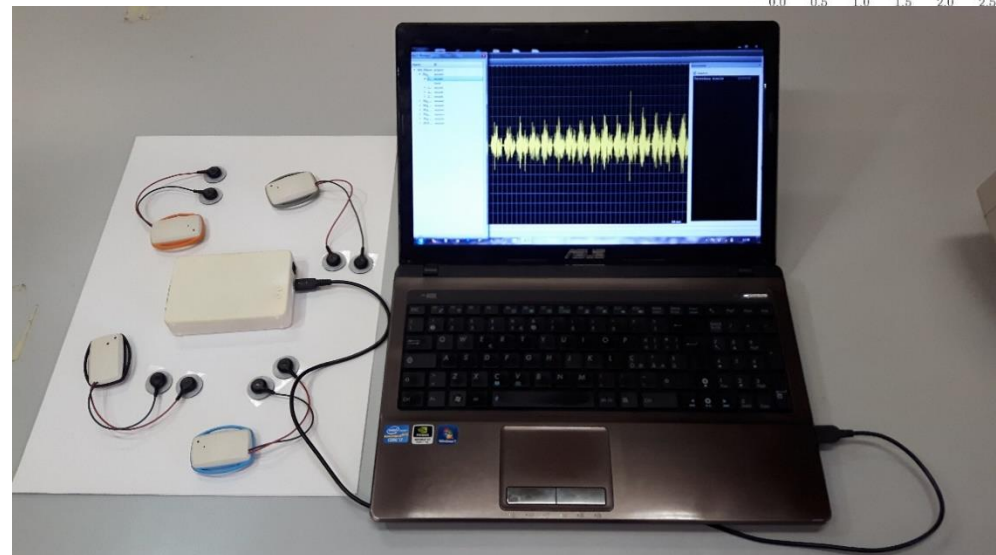
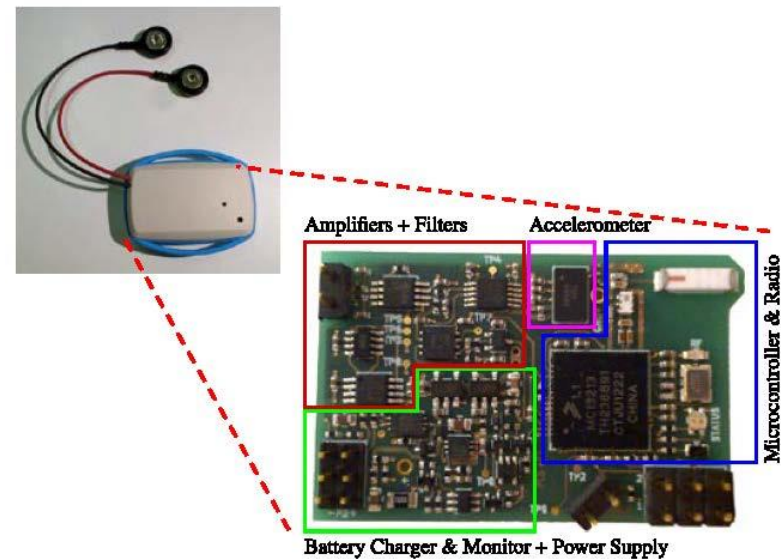
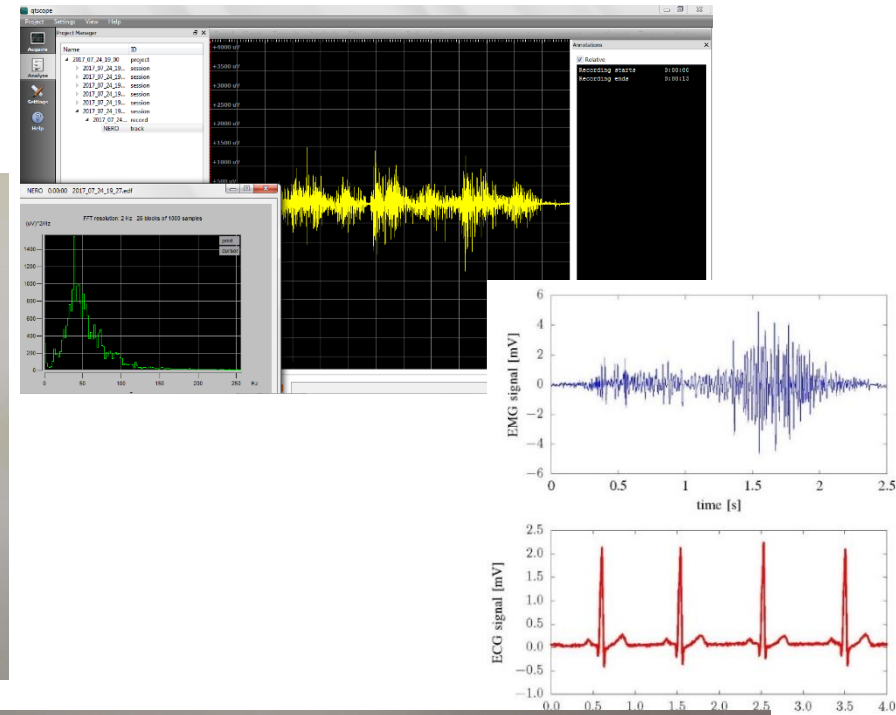
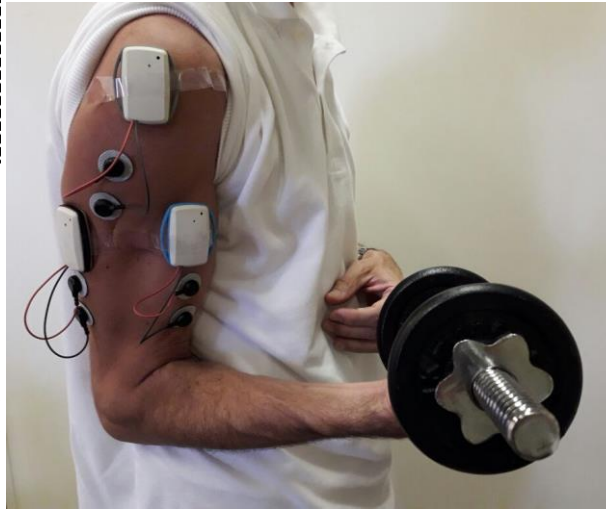
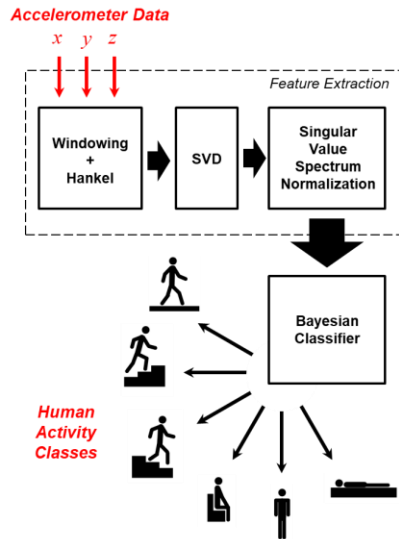
Elementi di
Elettronica
(INF)
A.A. 2021-22

- Monitoraggio dell'ambiente
- Monitoraggio di strutture
- Sorveglianza
- Monitoraggio di catene industriali
- Monitoraggio dell'attività fisica
- Sport, wellness, salute



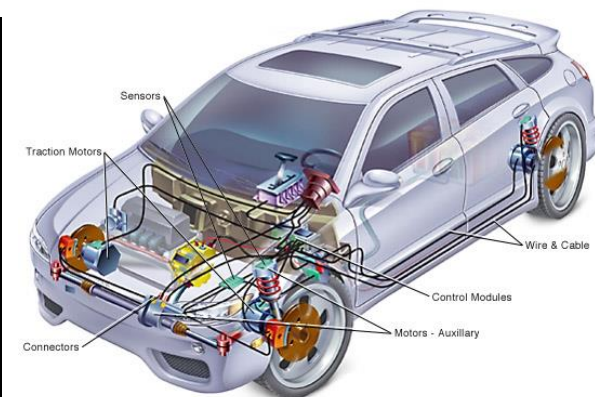
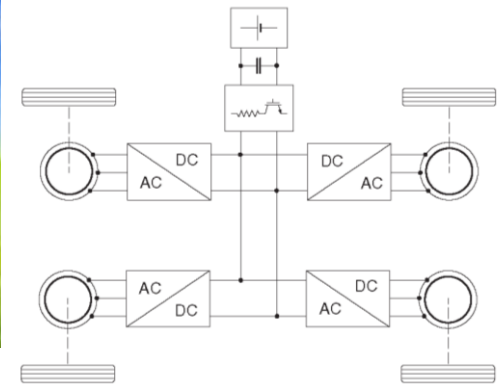
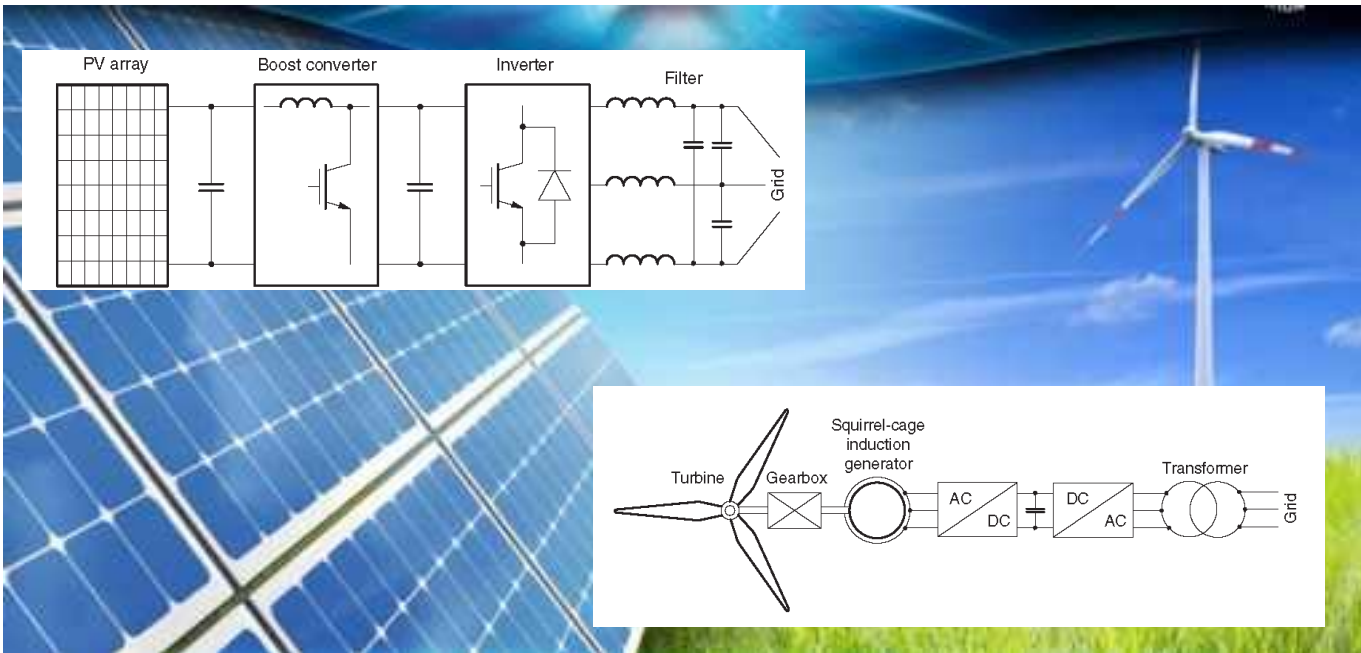
Progettazione Hardware e Software di Sistemi di Sensori (EMG, ECG, PPG, accelerometrici, temperatura, ...)

Elementi di
Elettronica
(INF)
A.A. 2021-22



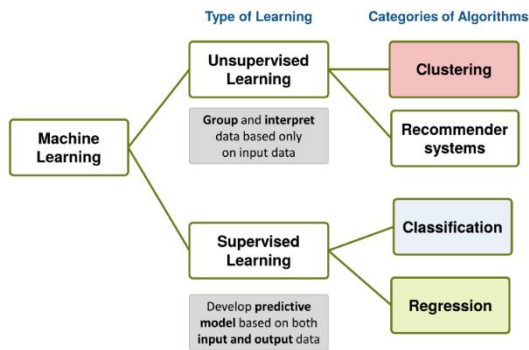
Progettazione di Impianti di Energie Alternative e di Sistemi di Mobilità Intelligente ed Ecocompatibile

Elementi di
Elettronica
(INF)
A.A. 2021-22



Studio di Software e Hardware per il Machine Learning

Elementi di
Elettronica
(INF)
A.A. 2021-22



COBRA: A Machine Learning Web Application

Training Model

Choose ML Problem - Regression

Choose ML Algorithm - Particle Bernstein (PB)

Polynomial order 40

Dimensionality problem 2

Choose Data Type - upload data

Upload X Train Data

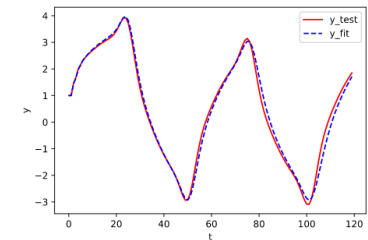
Sfoglia... X_T.mat

Upload Upload successful!

Testing

Show Results

Result plot:



Download result plot

regression_stat_data:	
Mean squared error	0.043877
Mean absolute error	0.152
Median absolute error	0.106
Variance score	0.989
R^2 score	0.989

Download regression statistic

timing_report:

Training time: 0.000000 --- Testing time: 0.022028

COBRA: A Machine Learning Web Application

Training Model

Choose ML Problem - Classification

Choose ML Algorithm - Decision Tree Classifier (CART)

Choose Data Type - upload data

Upload file:

N.B. Accepted format file: .csv, .txt, .mat, .dat, with dimension term (n = number of observations, m = number of attributes). Specify the position of the column that contains the 'Y' values (class) tag for Classification task and regression values for Regression task).

Sfoglia... Iris.data.csv

Upload Upload successful!

Specify X train position:

Num. column: default = last column

Specify validation method:

Holdout Validation: Specify testing percentage

Test %: default = 20

Cross-Validation: Specify k folds

Num. k folds: default = 5

Validation with a specific Test matrix: Upload Test matrix

Sfoglia... Nessun file selezionato.

Upload

Create Model

model_compute_status: Done!

Download model file

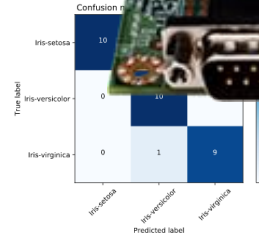
Testing

Show Results

classification_accuracy_score:

Accuracy: 0.96667

classification_confusion_matrix:



Download confusion matrix

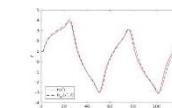
classification_report:

	Classification report		
Iris-virginica (10)	1.00	0.90	0.95
Iris-versicolour (10)	0.91	1.00	0.95
Iris-setosa (10)	1.00	1.00	1.00
	Precision	Recall	F1-score

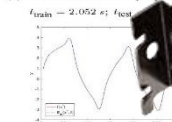
Download classification report

timing_report:

Training time: 0.000579 --- Testing time: 0.000064



(a) Particle-Bernstein polynomial



(c) Optimal Bernstein polynomials

$f_{\text{train}} = 3.240 \cdot 10^{-3}$; $f_{\text{test}} = 0.108$; $f_{\text{train}} = 5.201$

