master COPY COPISTERIA

LEZIONE 1

INTRODUZIONE E OBIETTIVI DEL CORSO

Le operazioni digitali di competenza Telecom (come possono essere quelle tra un ADC a un DAC) consistono di fatto in conti da fare realizzare a delle macchine, sono tutte cose che devono girare su dei processori (DSP), cioè su dell'hardware specifico.

Esistono i **General purpose computer**, calcolatori elettronici dove la parte di conti sarà una *ALU (Aritmethic Logic Unit)*, ovvero la parte che fa operazioni aritmetiche e logiche fra gli operandi; poi ci saranno delle *memorie per i dati*, delle *memorie per le istruzioni*, la parte del *program counter* che tiene conto delle varie istruzioni, ci sarà la parte degli *input e output*. **Questi si chiamano general-purpose computer perché sono architetture che si prestano ad applicazioni più disparate**.

Chi è che dato il tuo algoritmo lo va a realizzare su questa macchina? Ci vuole il *compilatore*, che dalla tua descrizione ad alto livello (matlab, C) trasforma quei conti in un codice macchina, in istruzioni. Un General purpose computer è un'architettura che, siccome va bene a tutti, non è ottimizzata per fare determinate operazioni specifiche.

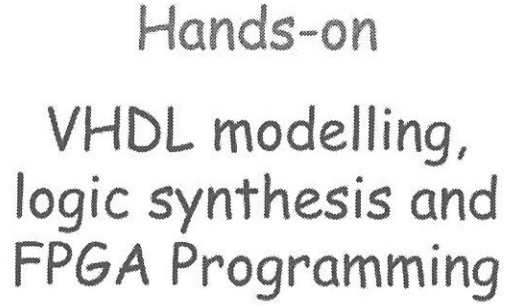
Ci sono altre soluzioni:

Es: ci sono in hardware dei chip (Circuito integrato), i **DSP** (diversi da un processore come può essere quello dell'intel nei general purpose computer), che sono sempre macchine a controllo di programma, ma che invece di avere una semplice ALU, hanno anche un'unità di calcolo base che si chiama *MAC (multiplier and accumulator)*. Questo si presta a fare tutte quelle somme di prodotti richieste nei conti che tipicamente sono importanti per un Telecom.

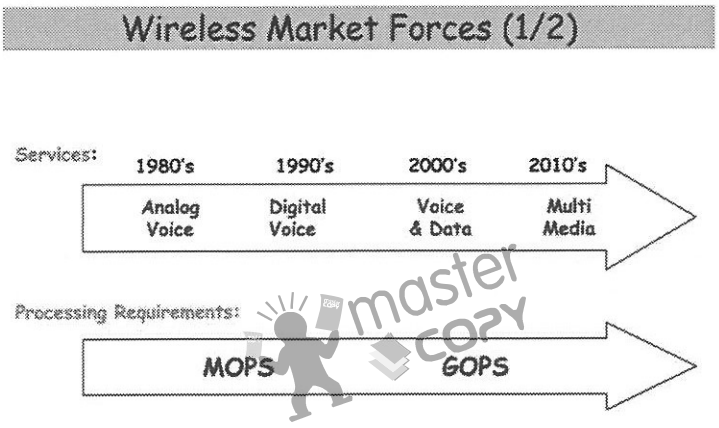
È chiaro che tutto viene codificato in logica booleana, 0 e 1, associati a tensioni basse e alte. Questi segnali vengono elaborati nell'ambito dei circuiti integrati attraverso degli interruttori comandati, i **transistor**; per noi sono dei *dispositivi a 3 terminali, dove c'è il terminale di controllo, il gate, più il terminale di ingresso e quello di uscita; se il terminale di controllo è alto, Allora l'ingresso e l'uscita sono in conduzione*.

Il corso Vuole insegnare **Come portare gli algoritmi di competenza Telecom direttamente sul silicio**, non utilizzando i compilatori ma andando a utilizzare una descrizione dell'hardware ad alto livello **VHDL**, per programmare i transistor direttamente sul chip. La prima cosa da fare è capire quali sono le **metriche di progetto**, cioè Dobbiamo stabilire quali sono le metriche, ovvero i parametri che per noi hanno senso, in modo da capire **come muoversi nella scelta dello spazio di progetto**. Questo è un corso Dove si impara a fare il progettista, il progettista affronta delle sfide per cercare di trovare quella che secondo lui è la soluzione ottima. Ma come si fa a dire ingegneristicamente una soluzione buona? Dobbiamo definire le metriche di progetto. (es: BER in un sistema di comunicazione digitale). Le metriche di progetto sono variabili che mi vanno a caratterizzare lo spazio di progetto multidimensionale, dobbiamo progettare quello che c'è stato chiesto per una certa applicazione in modo da ottimizzare tutte le variabili.

Curriculum: progettazione di un DDFS (Direct digital frequency synthesizer) attraverso la modellizzazione e la simulazione in VHDL con lo strumento modelsim di mentor-siemens, Con programmazione di una FPGA xilinx zynq, attraverso lo strumento vivado della Xilinx.



LEZIONE 2



Prendiamo come esempio di dispositivo Telecom quello di un cellulare. Andiamo a vedere un po' di nuovo quella che è

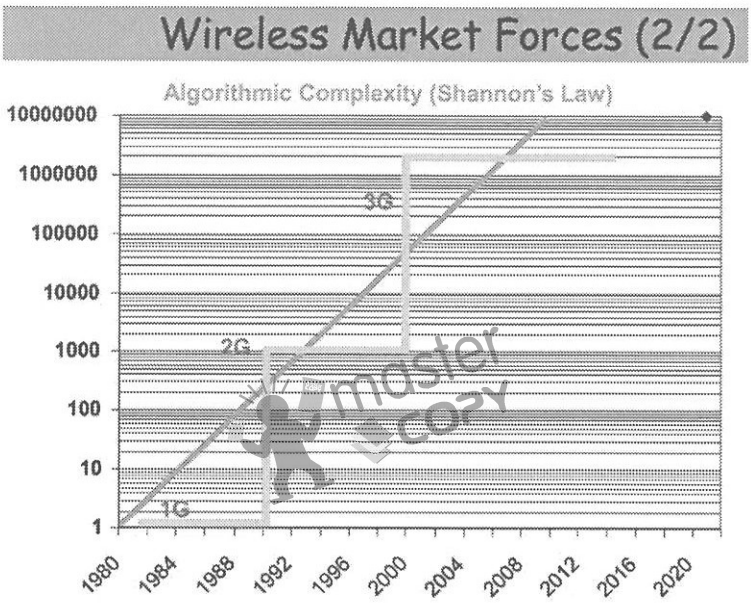
1) l'evoluzione che è derivata dal mondo della telefonia mobile

2) come questa è stata supportata da una tecnologia abilitante che è rappresentata dalla evoluzione della tecnologia microelettronica e andiamo a

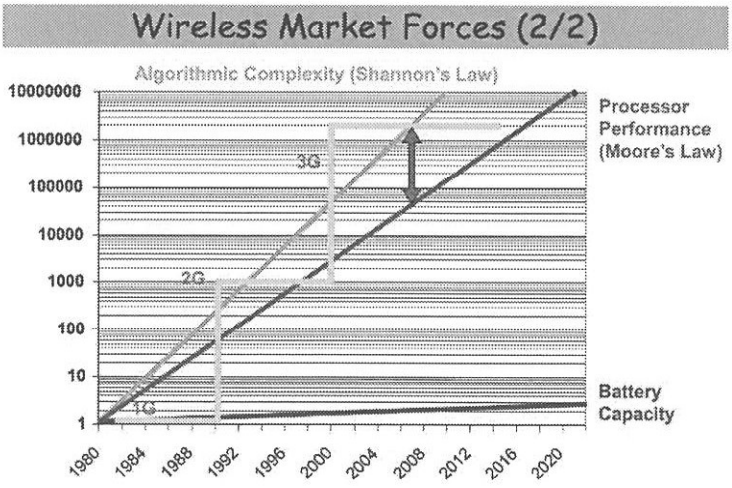
3) contestualizzare un po' quello che è l'importanza, come ingegneri delle telecomunicazioni, di Essere esposti anche a quelli che sono i vincoli che potete incontrare nella realizzazione dei sistemi di telecomunicazione.

Abbiamo visto la **necessità di collaborare in un'ottica multidisciplinare** sia con gli ingegneri elettronici che gli ingegneri informatici, ma in generale un po' con tutte quelle sono le competenze che sono necessarie a seconda della complessità del sistema che andate ad analizzare. Facendo il tear down di un cellulare sono necessarie competenze che vengono anche dall'ingegneria meccanica, ingegneria termica, Senza considerare tutti gli aspetti legati alla Human machine interface, ovvero aspetti legati all'ambito della conoscenza della persona.

1) Se noi ci concentriamo un po' su quello che è l'evoluzione del mercato storico della telefonia cellulare, abbiamo negli **anni 80** i primi telefoni diciamo analogici che venivano usati principalmente per la voce, e poi siamo passati negli **anni 90** a quello che è stato poi il GSM, comunicazione digitale che era ancora voce. Poi negli **anni 2000** siamo passati a utilizzare il telefono cellulare anche per i dati, fino agli **anni 2010** e poi a seguire, dove il cellulare è utilizzato anche per il multimedia.
2) Se noi pensiamo che ad una determinata applicazione corrispondono determinati algoritmi dal punto di vista proprio delle telecomunicazioni, abbiamo avuto quella che si può definire un **aumento della capacità di calcolo** necessaria da parte della nostra piattaforma cellulare. Siamo passati da requisiti dell'ordine dei milioni di operazioni al secondo (MOPS) a operazioni dell'ordine delle giga operazioni al secondo (GOPS). In questo senso è chiaro che, se io non ho delle piattaforme che mi permettono di assecondare questa richiesta di calcolo all'interno del singolo cellulare, questa evoluzione non sarebbe mai stata possibile. In pratica da una funzione banale come la funzione di inversione di un bit, dove abbiamo visto che sono coinvolti almeno due transistor (inverter CMOS), si passa ad operazioni sempre più complesse, alla necessità di realizzare dei veri e propri calcolatori, dei veri e propri processori per grafica... Quindi tutto ciò è stato permesso dal fatto che **riuscivo a mettere dentro questi cellulari sempre più transistor**. Tutto ciò lo vediamo quindi come elemento in cui la microelettronica e la capacità di realizzare transistor sempre più piccoli, e quindi aumentare il numero di componenti per unità di superficie, ci ha permesso di aumentare le capacità di calcolo su questi circuiti integrati, che poi sono componenti essenziali dei cellulari. Vedremo che questa **maggiore densità di integrazione, questa capacità di scaling, non è arrivata gratis**, Si è portata dietro un sacco di difficoltà, di Sfide, che il progettista ha saputo gestire nel tempo, visto che questi cellulari sono arrivati sul mercato e li utilizziamo tutt'oggi.



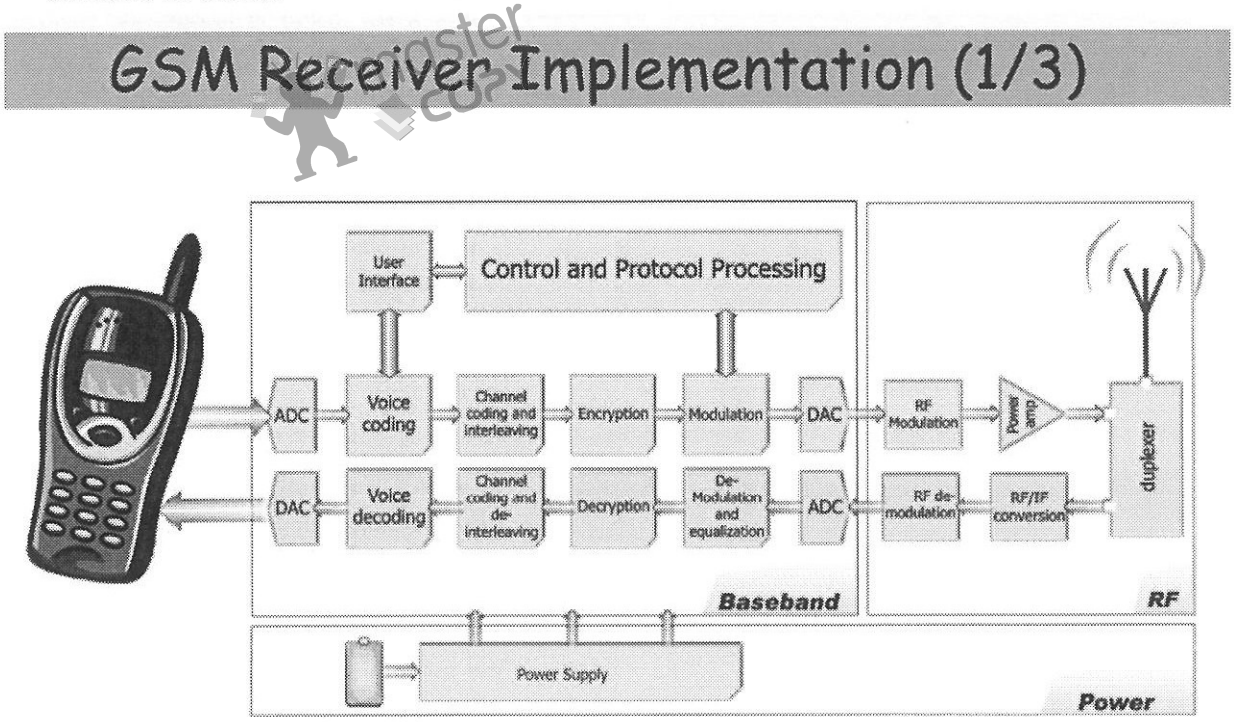
Se ci limitiamo alla finestra temporale dal 1980 al 2020 vediamo che, se in ordinata mettiamo la complessità degli algoritmi misurata come numero di operazioni che devo fare nell'unità di tempo, vedo che effettivamente ho questa gradinata Gialla in cui ho una nuova generazione che mi porta un **amento di complessità algoritmica di due o tre ordini di grandezza**. Se noi andiamo a interpretare questa gradinata con una linea abbiamo questa linea verde che possiamo definire come la **legge di Shannon**. Questi sono algoritmi, non sono ancora Hardware che implementa questi algoritmi. Se andiamo a vedere quelli che sono stati lì avanzamenti nel mondo delle telecomunicazioni questi sono stati l'introduzione di algoritmi e standard sempre più sofisticati. Una cosa fondamentale è stata la **possibilità di andare ad integrare tutte queste funzioni su singolo circuito integrato** e soprattutto in una modalità che fosse sostenibile dal punto di vista dei costi.



Se vado a vedere su questo grafico la linea blu che rappresenta l'evoluzione della tecnologia microelettronica intesa come numero di transistor che ho la possibilità di integrare sul singolo chip, ci sono stati dei passi da gigante negli anni anche dal punto di vista della tecnologia microelettronica. In ordinata leggiamo il numero di transistor per singolo circuito integrato, vediamo che anche qui la **crescita del numero di transistor è di tipo esponenziale**. La pendenza della curva blu è un pochino meno ripida della pendenza della curva verde. Questo significa che di fatto **non ho avuto una piattaforma tecnologica e una tecnologia che, dato l'algoritmo, trasferiva l'algoritmo direttamente in una soluzione hardware.** Perché vedete che c'è quel gap, data dalla freccia rossa, che mi dice che così com'è, sfruttando solo l'aumento della densità di integrazione data della legge di Moore, io non sarei riuscito a realizzare questi componenti perché non era un percorso così diretto.

3) Di fatto un ruolo fondamentale nel colmare il GAP è stato giocato dall'ingegnere, si è riusciti a lavorare a livello architetturale, a livello algoritmico, riuscendo ad ottimizzare l'algoritmo per portarlo nel mondo dell'implementazione su circuito integrato. Notare che tutte le volte che ho una commutazione (Come avete visto nel caso dell'inverter, vado a caricare la capacità di uscita, c'è una corrente che va dall'alimentazione a caricare la capacità. Poi per la scarica, la corrente dalla capacità Scarica il condensatore verso massa) ho una certa quantità di energia che viene dissipata dal dispositivo. L'energia nell'unità di tempo corrisponde a una potenza, quindi se pensassimo di alimentare l'inverter con un'onda quadra con un certo periodo, avremo sostanzialmente che *(l'energia dissipata in un periodo) / periodo* sarebbe la *potenza dissipata* da questa porta. Via via che aumenta la complessità computazionale sto

mettendo sul chip tanti transistor che commutano, sto aumentando la potenza dissipata sul chip. Un problema fondamentale è la potenza dissipata: aumentando la complessità computazionale, ovvero la switching activity dei nostri transistor, ho una richiesta di energia molto elevata. Come si fa a fronte a questa richiesta energia? La strada migliore sarebbe quella di utilizzare delle batterie sempre più efficaci. La batteria si misura in energia per unità di peso, più energia riesco ad immagazzinare per unità di peso e di forma più riesco a far fronte alla maggiore richiesta di potenza dei cellulari. Negli anni l'evoluzione della capacità della batteria è deludente nei confronti della crescita esponenziale sulle altre due fronti. Il problema principale si è trasferito sul fatto di aumentare la complessità computazionale minimizzando il consumo di Potenza.



In un sistema di trasmissione c'è una sorgente, canale, ricevitore punto bisogna prendere l'informazione alla sorgente fare in modo di trasmetterla sul mezzo trasmissivo. A seconda di qual è il mezzo trasmissivo dovrò prendere delle accortezze. Nella telefonia mobile il mezzo trasmissivo è l'aria, per trasmettere il segnale ho bisogno di prendere informazione e trasmetterla attraverso dei segnali a radiofrequenza, che siano anche amplificati in modo da avere quel valore di Potenza che mi permetta di raggiungere una opportuna bit error rate alla ricezione, che sappiamo dipendere dal rapporto segnale rumore.

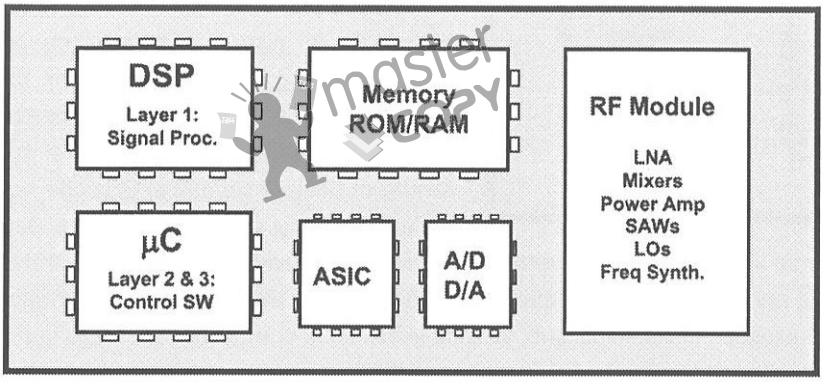
Le operazioni da fare sono sempre le stesse:

- Il microfono fa un'operazione di **trasduzione sulla voce** che di per sé è molto ridondante.
- La banda È preziosa quindi cerco di utilizzarla in modo intelligente, non voglio mandarti un segnale ridondante. Quello che viene fatto nel ricevitore è che la voce viene codificata, faccio la codifica di sorgente. il **Voice coding** ha il compito di ripulire il segnale dalla ridondanza.
- Prima di mandare il segnale sul canale ci aggiungo della ridondanza, **Codifica di canale**, a protezione dagli errori che potrebbe introdurre il canale. è ridondanza che mi occupa il canale ma è molto utile, ce la aggiungo apposta per correggere gli errori.
- A questo punto c'è tutta la parte di **amplificazione del segnale**, **trasformazione a radiofrequenza**, e poi **trasmetto sul canale**.
- All'uscita dal canale devo fare le **operazioni inverse a quelle che ho fatto in trasmissione**.

In questo schema di massima abbiamo la parte di banda base, la parte RF, e la parte Power. Anche al tempo del GSM L'obiettivo era quello di far durare il più possibile la batteria.

GSM Receiver Implementation (2/3)

DSP - centric Solution



Negli anni 90 avevamo delle tecnologie microelettroniche che ci permettevano di integrare tecnologie complesse su circuito integrato; a quel tempo ho dovuto suddividere i blocchi da integrare su differenti circuiti integrati, non riuscivo a mettere tutto su un unico circuito integrato. Sulla destra vediamo il **modulo RF**, c'era poi un **microcontrollore**, che era quello che mi serviva per fare la parte di software di controllo. un microcontrollore è una macchina a controllo di programma, ovvero te programmi ad alto livello e un compilatore traduce il linguaggio ad alto livello in linguaggio macchina, è un oggetto con prestazioni basse (numero di operazione al secondo), lavora in aritmetica fixed Point quanto è adatto per quelle funzioni di bassa velocità che possono essere utilizzate in un cellulare, ad esempio, per controllare la tastiera, scrivo lentamente. Poi abbiamo un **DSP**, Digital Signal processor, è una macchina a controllo di programma in cui vado a realizzare delle funzioni che hanno necessità di un throughput, massima cadenza di dati che riesco a gestire in ingresso, più alto di quello che riuscirei a gestire in un microcontrollore, che è una macchina General purpose. Mentre il microcontrollore si basa su una parte aritmetica che fa solamente operazioni aritmetiche e logiche sugli operandi, nel DSP c'è anche un multiplier and accumulator, un blocco che mi permette di fare bene le somme di prodotti, su cui si basano gli algoritmi Telecom. Poi abbiamo **l'ASIC** (application specific integrated circuit), è un circuito integrato per applicazioni specifiche, è un modo con cui vado a portare algoritmi su silicio che non è più una macchina a controllo di programma Ma è una macchina in cui vada a mettere tutti i transistor che mi servono per fare tutte quelle operazioni di Somma di prodotti che mi servono per quell'algoritmo. Gli altri componenti che troviamo sono poi **memorie** e **DAC/ADC**.

GSM Receiver Implementation (3/3)

Ognuno di questi ragnetti neri è un circuito integrato.

