

POLITECNICO DI TORINO

Collegio di Ingegneria Gestionale – Classe LM-31
Corso di Laurea Magistrale in Ingegneria Gestionale



Tesi di Laurea Magistrale

**Analogico vs digitale: l'evoluzione dell'architettura
di prodotto**

**Analisi di tre coppie di prodotto analogico-digitale per approfondire il legame
tra modularità e dinamiche di innovazione**

Relatore:
Prof.ssa Francesca Montagna
Co-relatore:
Dott.ssa Teresa Monti

Candidato:
Federica Gavazza
Matricola: 316018

Anno Accademico 2024-2025
Sessione di Laurea luglio 2025

Indice

<i>Introduzione</i>	1
<i>1. Architettura di prodotto e dinamiche di innovazione</i>	3
1.1 Architettura di prodotto	3
1.2 Le dinamiche di innovazione: il dominant design	5
1.3 L'incontro tra architettura di prodotto e dinamiche di innovazione	9
1.3.1 Correlazione tra modularità e innovazione	11
1.3.2 Correlazione tra modularità e dominant design	13
<i>2. La trasformazione digitale</i>	14
2.1 La digitalizzazione dei prodotti	14
2.1.1 Architettura dei prodotti digitali	16
<i>3. Metodologia</i>	19
3.1 Casi studio selezionati	19
3.1.1 I metodi quantitativi utilizzati	22
<i>4. Risultati</i>	25
4.1 Fotocamera analogica vs digitale	25
4.1.1 Architettura di prodotto	25
4.1.2 Calcolo dell'indice di comunanza e analisi FCA	30
4.1.3 Tasso di diffusione	32
4.2 Radio analogica vs digitale	34
4.2.1 Architettura di prodotto	34
4.2.2 Calcolo dell'indice di comunanza e analisi FCA	39
4.2.3 Tasso di diffusione	42
4.3 Televisione analogica vs digitale	43
4.3.1 Architettura di prodotto	43
4.3.2 Calcolo dell'indice di comunanza e analisi FCA	51
4.3.3 Tasso di diffusione	55
<i>5. Conclusioni</i>	57
5.1 Analisi dei dati e conclusioni	57
5.2 Limiti e sviluppi futuri	60
<i>Bibliografia e sitografia</i>	62

Introduzione

Negli ultimi anni si sta assistendo ad un fenomeno di grande importanza che sta cambiando il modo di vivere di tutta la popolazione mondiale: la digitalizzazione. Con questo termine si fa riferimento all'insieme dei processi volti a rendere i prodotti fisici programmabili, indirizzabili, sensibili, comunicabili, memorabili, tracciabili e associabili (Yoo et al. 2010). L'integrazione di queste caratteristiche comporta profondi cambiamenti nell'architettura degli artefatti, influenzando le attività delle imprese e l'esperienza dei consumatori. Dal lato delle imprese, i cambiamenti incidono sui processi di progettazione e di produzione, abilitando sostanzialmente quella che in letteratura è chiamata innovazione digitale. Dal lato dei consumatori, invece, la digitalizzazione ha un impatto sulle modalità di interazione tra artefatto e utente.

L'architettura di prodotto, definita da Henderson e Clark (1990) come l'insieme dei componenti del prodotto e le loro mutue relazioni, ha infatti importanti implicazioni sulle dinamiche di innovazione, inclusi i processi di diffusione e le scelte organizzative e strategiche delle imprese. Di conseguenza, un'analisi di come la trasformazione digitale ne stia modificando le caratteristiche strutturali risulta particolarmente rilevante in questo contesto. Nello specifico, il veloce cambiamento tecnologico e le nuove esigenze di mercato, in termini di bisogni dei consumatori e flessibilità organizzativa delle imprese, hanno determinato un aumento dei livelli di modularità negli artefatti digitali. La mappatura uno a uno tra componenti e funzioni e la facilità di ricombinazione dei componenti, tipico delle architetture modulari, permettono alle imprese di progettare e produrre più facilmente prodotti differenti e customizzati che soddisfano le diverse esigenze generate da una domanda di mercato eterogenea.

Questo lavoro di tesi, perciò, studia come il passaggio da analogico a digitale abbia influenzato l'architettura di prodotto e la diffusione dei nuovi artefatti digitali sul mercato. In particolare, quindi, si dimostra empiricamente la maggiore modularità degli artefatti digitali e, tramite una raccolta dati, si pongono le basi per analizzare la relazione tra questa maggiore modularità e la riduzione dei tempi di diffusione.

Per fare ciò, quindi, nel capitolo 1 si procederà a riportare alcuni cenni teorici sull'architettura di prodotto, ponendo particolare attenzione alla modularità, alle dinamiche di innovazione e al legame tra modularità e innovazione. In seguito, nel capitolo 2 sarà approfondito il tema della trasformazione digitale e i cambiamenti architettonici dei prodotti

digitali. Nel capitolo 3, invece, l'introduzione di tre casi studio presenterà la metodologia utilizzata; sarà, quindi, riportata l'analisi effettuata sulle architetture di prodotto e lo studio della modularità per verificarne l'aumento nel caso degli artefatti digitali. Si sono, inoltre, raccolti alcuni dati di diffusione e ne sarà presentata un'analisi preliminare. Nell'ultimo capitolo, infine, saranno discussi i risultati ottenuti e saranno riportate alcune considerazioni per delle ricerche future.

1. Architettura di prodotto e dinamiche di innovazione

La digitalizzazione è un fenomeno sempre più diffuso che deve essere studiato ed analizzato con attenzione, soprattutto considerando che ha un forte impatto sulle attività delle imprese. Nel presente lavoro di tesi uno dei principali ambiti in cui andremo a considerare l'effetto della digitalizzazione è proprio l'architettura di prodotto digitale. Prima di affrontare questo tema, però, è necessario introdurre e spiegare più nel dettaglio che cosa è un'architettura di prodotto, quali sono le sue dinamiche di innovazione e qual è la correlazione tra loro.

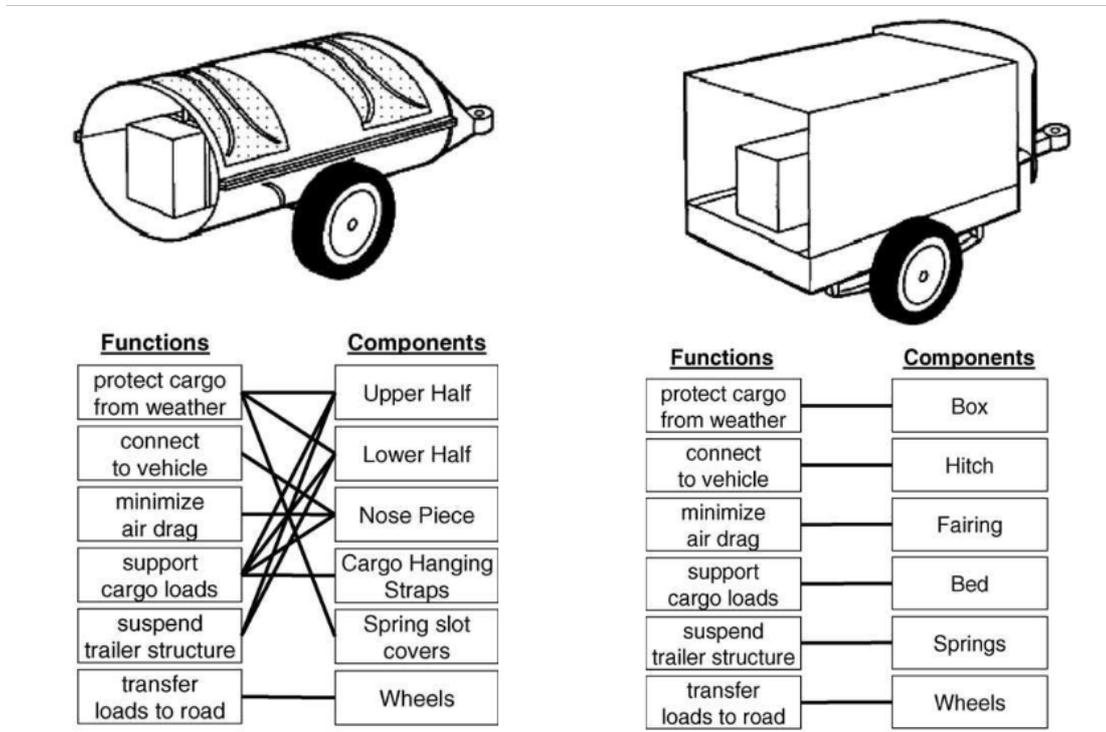
1.1 Architettura di prodotto

Nel tempo sono state date diverse definizioni di architettura di prodotto, qualcuna più completa mentre altre più generalizzate. Una delle prime definizioni di architettura di prodotto è quella riportata già nel capitolo precedente e ripresa dalla definizione di Henderson e Clark (1990), in cui quest'ultima è definita come l'insieme dei suoi componenti e le loro mutue relazioni. Questa definizione è stata ampliata nel tempo; nello specifico, in questo testo definiremo l'architettura di prodotto come “le relazioni esistenti tra i suoi elementi funzionali, la mappatura tra suoi elementi funzionali e i componenti fisici e le interfacce tra i componenti fisici” (Ulrich 1995). Questa definizione, rispetto alla precedente, pone l'attenzione non solo sui componenti fisici e le relazioni che avvengono tra loro (le interfacce) ma introduce un nuovo aspetto: gli elementi funzionali che rappresentano l'insieme di tutte le azioni e operazioni che un sistema deve svolgere per funzionare. A seguito di questa distinzione, la mappatura tra il “cosa” si deve fare, rappresentato dagli elementi funzionali, e il “come” è fatto, rappresentato dai componenti fisici, diventa importante per descrivere l'architettura di un prodotto e il suo funzionamento. Partendo da questa definizione generale di architettura di prodotto è, quindi, possibile distinguere tra due tipologie di un'architettura di prodotto: architettura integrata e architettura modulare.

L'architettura integrata è caratterizzata da un'interdipendenza funzionale tra i componenti; questo significa, sostanzialmente, che un prodotto integrato è in grado di compiere molte funzioni diverse utilizzando, però, gli stessi componenti combinati in modi differenti (Celona et al. 2007). Quindi, in un'architettura integrata, una funzione può essere svolta da molti componenti e un componente può svolgere più funzioni (*figura 1.1*), rendendo l'architettura molto più complessa e con molti più collegamenti tra i diversi componenti

(Ulrich 1995). Quest'ultimi, infatti, sono progettati per lavorare specificatamente con altri componenti particolari (Shilling et al. 2000). Questo rende più lunga, più complessa e più costosa la progettazione di questo tipo di prodotti; infatti, data l'alta correlazione delle parti tra loro, la modifica o la sostituzione di un componente rende necessario compiere una modifica compensativa nei componenti rimanenti (Worren et al. 2002).

L'architettura modulare, invece, è caratterizzata da componenti funzionalmente indipendenti; i prodotti modulari, quindi, sono composti da diversi componenti che svolgono una specifica funzione del prodotto (Celona et al. 2007). C'è, dunque, un rapporto uno a uno tra componente e funzione: un componente svolge un'unica funzione e una funzione è svolta da un unico componente (*figura 1*) (Ulrich 1995). Questo rapporto uno a uno è reso possibile proprio dalla scomposizione del prodotto in componenti indipendenti e dalla specificazione di interfacce standard che regolano l'interazione tra i componenti stessi (Worren et al. 2002). L'utilizzo di queste interfacce standard rende flessibile l'architettura di prodotto modulare; infatti, grazie a questa indipendenza dei componenti e alla standardizzazione delle interfacce, che rendono i componenti modulari e debolmente accoppiati tra loro, è possibile sostituire o modificare uno o più componenti senza modificare o applicare correzioni compensative negli altri (Sanchez e Mahoney 1996).



Fonte: Ulrich (1995) "The role of product architecture in the manufacturing firm"

Figura 1.1: Esempio di architettura integrata (a sinistra) e di architettura modulare (a destra)

Queste due tipologie di architettura hanno tanti punti di forza e la scelta di implementare una o l'altra dipende dagli obiettivi che l'azienda deve raggiungere; quest'ultima, infatti, potrebbe decidere di orientarsi verso una maggiore integrazione, quindi generare architetture di prodotto integrate, o verso una più alta modularità, utilizzando architetture di prodotto modulare. In particolare, l'azienda si sposta più verso un'architettura integrata nei casi in cui è presente una forte interazione tra i componenti e non è possibile separarli senza modificare l'intero prodotto o la sua funzione; inoltre, questa potrebbe essere maggiormente implementata se si vuole mantenere il controllo sul prodotto e gestire interamente il suo ciclo di vita all'interno dell'azienda. Per quanto riguarda, invece, l'architettura modulare, questa è particolarmente indicata per tutte quelle aziende che scelgono di disintegrarsi verticalmente, affidando a fornitori esterni la progettazione e la produzione dei componenti. Inoltre, l'architettura di prodotto modulare risulta essere un'importante fonte di flessibilità strategica, permettendo alle imprese di rispondere più prontamente ai cambiamenti del mercato e delle tecnologie, creando nuove combinazioni di moduli e nuove varianti di prodotto (Sanchez e Mahoney 1996).

In conclusione, quindi, la scelta dell'architettura di prodotto è molto importante sia per le aziende che per tutto il settore industriale; infatti, questa decisione impatta sia sulla struttura organizzativa dell'impresa che su quella dell'intero settore industriale di cui l'azienda fa parte. Potrebbe, in effetti, stabilirsi un'architettura comune all'intero settore che domina rispetto alle altre architetture, si parla in questo caso di *dominant design*. Nel seguente paragrafo, dopo una breve introduzione su che cosa sia l'innovazione e sulle sue dinamiche, si approfondirà il tema del *dominant design*.

1.2 Le dinamiche di innovazione: il *dominant design*

L'innovazione è definita come "l'atto o il processo di introdurre nuove idee, dispositivi o metodi". Il focus dell'innovazione, quindi, è proprio sull'impatto che questa nuova idea, dispositivo o metodo ha sul business e sulla società (Cantamessa e Montagna 2016). In questo senso, quindi, l'innovazione può essere descritta come lo "sfruttamento economico dell'invenzione", dove quest'ultima è definita come l'atto di trovare una soluzione a un problema. Quindi, quando un'invenzione è messa sul mercato e venduta, cioè quando i clienti ne capiscono il valore e sono disposti ad acquistare, l'artefatto inventato diventa innovazione. L'innovazione, che può essere di prodotto, di processo, di servizio o

organizzativa, è, dunque, sempre seguita dalla diffusione del nuovo artefatto o tecnologia nel mercato (Cantamessa e Montagna 2016). Il processo di innovazione è descritto da un modello lineare (*figura 1.2*) che parte dalla ricerca di base e termina con la diffusione nel mercato; questo processo di innovazione è, infatti, caratterizzato da un *funnel* in cui si parte da tante idee iniziali e, tramite un processo di selezione, si arriva a scegliere un'unica idea finale.

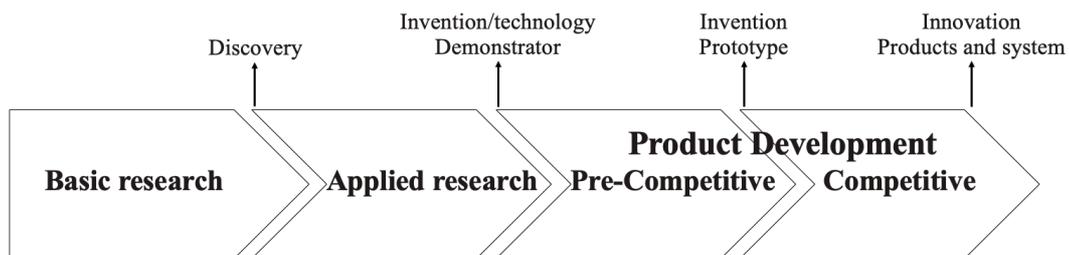


Figura 1.2: Modello lineare dell'innovazione

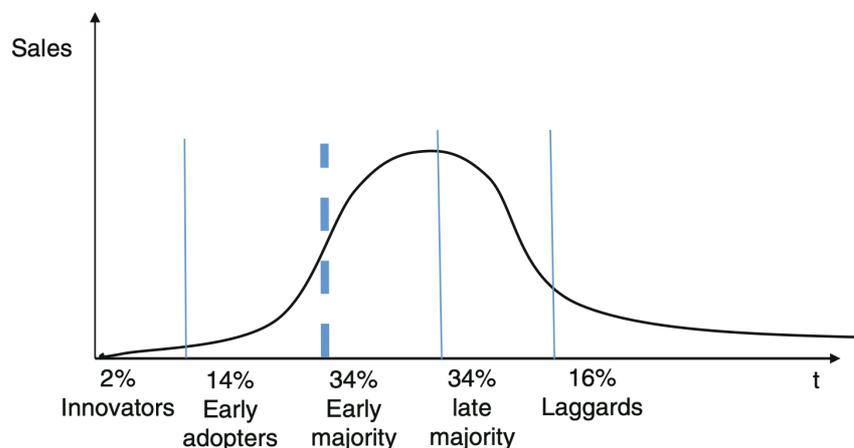
L'innovazione, inoltre, ha due forze abilitanti: la forza *technology push*, in cui l'innovazione è spinta dalla tecnologia, e la *forza demand pull*, in cui l'innovazione è tirata dalla domanda; la maggior parte delle innovazioni nasce dall'immissione sul mercato di una nuova tecnologia che spinge la domanda (*technology push*) e, successivamente, quando questa si diffonde, genera nel mercato un bisogno da soddisfare (*demand pull*). Questo andamento è rappresentato da delle curve a S, chiamate traiettorie tecnologiche, che descrivono l'evoluzione di una tecnologia nel tempo e sono ricorsive, cioè si ripetono uguali per ogni nuova tecnologia. Infatti, il processo innovativo è ciclico: si ripete nel tempo e contribuisce a generare e immettere sul mercato nuove tecnologie.

Il fattore tempo, dunque, è molto importante e ha un ruolo fondamentale per le innovazioni tecnologiche che si evolveranno, modificando sia il settore industriale in cui si trovano sia la domanda e i bisogni del mercato. L'osservazione e l'analisi di queste evoluzioni in un contesto dinamico prende il nome di dinamiche dell'innovazione.

Nell'analizzare queste dinamiche dell'innovazione, come prima cosa, si introduce un'ulteriore curva rispetto alla traiettoria tecnologica: la curva di diffusione. Per rappresentare la diffusione di un'innovazione si utilizzano le vendite cumulate della tecnologia nel tempo; anche queste generano una curva a S in cui è possibile indentificare tre fasi di sviluppo della tecnologia: incubazione, fase in cui tecnologia è all'inizi e non è

ancora affermata; diffusione, fase in cui la tecnologia si diffonde nel mercato e genera economie di scala, e maturità, fase in cui sia la tecnologia che le vendite sono stabili. In quest'ultima fase ci si prepara per il futuro ingresso di una nuova tecnologia sul mercato che seguirà lo stesso percorso evolutivo di quella precedente. Inoltre, le curve di diffusione descrivono anche il ciclo di vita delle tecnologie, diventando un importante strumento per identificare in quale punto del proprio ciclo di vita una tecnologia si trova.

Le curve di diffusione sono anche utili per spiegare i diversi momenti in cui i clienti acquistano una tecnologia. Infatti, non tutti i clienti adottano nello stesso momento: in base alle proprie conoscenze e/o disponibilità, l'adozione sarà scaglionata: quindi, una parte adotterà subito mentre un'altra parte adotterà in un secondo momento. La più popolare tra tutte le segmentazioni dei clienti è quella proposta da Rogers nel 1962 (figura 1.3), in cui la curva di diffusione delle vendite, approssimata ad una normale, è suddivisa in cinque categorie, definite da una percentuale di vendite di adozione nel tempo: *Innovators*, *Early Adopters*, *Early Majority*, *Late Majority* e *Laggards*.



Fonte: Cantamessa e Montagna (2016), "Management of innovation and product development"

Figura 1.3: Categorie di clienti del modello di Rogers

Uno studio più approfondito di questa segmentazione, condotto da Moore nel 1991, ha identificato un gap significativo, chiamato "chasm", tra il segmento degli early adopters e quello dell'early majority. I clienti prima dell'early majority sono più proiettati verso il futuro e tendono ad adottare quando la tecnologia è nuova e non ancora del tutto affermata; superato questo punto, i clienti dei segmenti successivi, invece, tendono ad adottare solamente quando l'artefatto ha già raggiunto una certa maturità nel suo ciclo di vita.

Infine, un ulteriore modello che descrive le dinamiche dell'innovazione è il modello di Abernathy e Utterback (1975) in cui sono aggiunte altre due curve alle due precedentemente viste: la curva sul numero di imprese nel tempo e la curva sul numero di brevetti nel tempo. In questo modello, Abernathy e Utterback identificano le tre fasi dello sviluppo della tecnologia in tre modi diversi rispetto alla curva di diffusione: fase fluida, fase di transizione e fase specifica. Questa divisione è particolarmente utile perché permette di introdurre il concetto di dominant design. Infatti, secondo il modello di Abernathy e Utterback (1975), la fase fluida è caratterizzata da più tecnologie simili che competono tra loro e non è chiaro quale tra queste emergerà; ad un certo punto, nella fase di transizione, il mercato sceglierà una sola tra tutte le tecnologie presenti e questa identificherà l'architettura dominante, quella che diventerà il dominant design. Infine, nella fase specifica, il prodotto con il dominant design sarà progressivamente migliorato e si efficienterà il processo produttivo. Il processo con cui emerge il dominant design è stato approfondito anche da Anderson e Tushman (1990) che nella loro analisi hanno ipotizzato un modello ciclico del cambiamento tecnologico. In particolare, questo modello sostiene che la tecnologia segua un ciclo che si ripete nel tempo e che porta alla definizione di un dominant design. Infatti, secondo questa teoria, ad un certo punto, durante il ciclo di vita di una tecnologia, si verifica una discontinuità tecnologica che dà avvio a un'era del fermento. Quest'ultima è caratterizzata da due processi di selezione: competizione tra i regimi tecnici e competizione all'interno nel nuovo regime tecnico, e termina con il raggiungimento di un design dominante; una volta emerso quest'ultimo, inizia un periodo di cambiamenti incrementali che modificano anche il panorama competitivo. Infine, questo periodo di innovazioni incrementali procederà e avanzerà fino alla successiva discontinuità tecnologica che ricomincerà da capo il ciclo di cambiamento tecnologico, portando alla definizione di un nuovo design dominante.

Il dominant design che emerge dalla competizione iniziale di diverse alternative, proposte da imprese differenti, è un'architettura di prodotto che si mantiene stabile nel tempo e rappresenta quella che ha raggiunto il consenso della maggioranza delle imprese nel settore. Infatti, il design dominante è il design a cui aderisce la maggioranza delle offerte di prodotto (Singh et al. 2021), stabilendo, quindi, la dominanza in una classe di prodotti (Anderson e Tushman 1990).

L'emergere del dominant design è auspicabile e, quando questo avviene, l'architettura dominante è unica e genera enormi benefici sia alle singole imprese, che fanno parte di uno

stesso settore, sia agli utilizzatori dell'artefatto (Anderson e Tushman 1990). Per quanto riguarda le imprese, il design dominante permette loro di progettare componenti o parti standardizzate, ottimizzando così i processi organizzativi per volume ed efficienza; infatti, individuare l'architettura dominante per primi, dal punto di vista strategico, significa aggiudicarsi per molti anni la propria presenza sul mercato. Il fatto di avere un dominant design, inoltre, permette di creare delle relazioni più stabili e affidabili con fornitori, venditori e clienti (Anderson e Tushman 1990). Gli utilizzatori, invece, ottengono un beneficio in termini di costo: in effetti, il design dominante riduce la confusione della classe e il costo del prodotto (Anderson e Tushman 1990). Infine, se il prodotto fa parte di un sistema più ampio, potrebbe diventare uno standard di settore, permettendo la compatibilità e l'integrazione a livello di sistema (Anderson e Tushman 1990).

Nel seguente lavoro di tesi si considererà il dominant design che emerge nell'architettura degli artefatti, quindi, nell'industria dei prodotti assemblati; si specifica, però, che il dominant design potrebbe comparire anche nelle industrie di processo o di servizi, manifestandosi all'interno dei processi: emergerà, quindi, nei macchinari o nella sequenza dei macchinari per le industrie di processo ed emergerà nella modalità di svolgimento delle operazioni nelle industrie di servizio.

Definite le architetture di prodotto e le dinamiche dell'innovazione, con particolare attenzione al dominant design e al suo emergere, si procederà con un affondo sul collegamento tra questi due aspetti, concentrandosi nello specifico sull'architettura dei prodotti modulari.

1.3 L'incontro tra architettura di prodotto e dinamiche di innovazione

Le architetture di prodotto e l'innovazione sono due aspetti strettamente collegati tra loro ed è importante studiarne l'incontro e che cosa ne deriva. In particolare, nella seguente analisi, l'attenzione sarà posta principalmente sull'interazione tra la modularità, abilitata dalle architetture di prodotto modulare, e l'innovazione con le sue dinamiche.

Nel tempo sono state proposte molte definizioni di modularità: queste, però, sono tutte diverse le une dalle altre e non c'è concordanza. L'unico punto comune a tutte è che la definizione di modularità è costruita sulla definizione di "modulo"; La modularità, infatti, è descritta come "l'uso di moduli strutturalmente indipendenti" (Celona et al. 2007). Il modulo è un "raggruppamento di componenti che sono simili rispetto ai processi dei cicli di vita

subiti e indipendenti da tutti i componenti al di fuori del modulo mentre attraversano il ciclo di vita” (Gershenson et al. 2003). La modularità, quindi, sostiene che la progettazione delle strutture si basi sulla minimizzazione dell’interdipendenza tra i moduli e sulla massimizzazione dell’interdipendenza all’interno di questi, in modo da poterli mescolare e abbinare in configurazioni differenti senza perdere le funzionalità e le prestazioni del sistema (Campagnolo e Camuffo 2009); inoltre, nei sistemi modulari, ogni modulo comunica e interagisce con gli altri tramite delle interfacce standardizzate che facilitano il disaccoppiamento dei moduli (Campagnolo e Camuffo 2009). Riassumendo quanto detto, quindi, tutte le definizioni di modularità disponibili in letteratura sono d’accordo nell’affermare che quest’ultima ammette tre elementi fondamentali: indipendenza dei componenti di un modulo dai componenti esterni; somiglianza dei componenti di un modulo rispetto ai loro processi del ciclo di vita e assenza di somiglianza con i componenti esterni al modulo (Gershenson et al. 2003).

Infine, la modularità è una proprietà relativa; i prodotti, infatti, possono possedere un livello di modularità superiore o inferiore: un prodotto con un più alto grado di modularità conterrà una percentuale più alta di componenti modulari o che, in media, sono più modulari (Gershenson et al. 2003). In definitiva, quindi, più i componenti si adattano ai moduli, più il prodotto risulta essere modulare (Gershenson et al. 2003).

La modularità ha anche molti benefici. Infatti, come riportato da Celona et al. (2007), l’utilizzo di moduli per comporre i prodotti genera ampia flessibilità nella composizione dell’artefatto e anche nell’uso dei componenti; lo stesso modulo, dunque, potrebbe essere utilizzato per più prodotti, favorendo la nascita di una grande varietà di modelli. Inoltre, la condivisione di questi moduli comuni in più prodotti abilita economie di scala e di scopo che creano enormi vantaggi per le imprese. Il fatto di avere moduli indipendenti e con interfacce standard, dunque, favorisce le imprese sia dal punto di vista della riprogettazione degli artefatti, dato che questa separazione dei moduli permette di modificare, migliorare o aggiornare un singolo modulo senza modificare gli altri intorno, sia dal punto di vista della gestione della riprogettazione. Grazie all’autonomia dei moduli, le attività da compiere per la progettazione e lo sviluppo dell’architettura possono essere svolte in maniera concorrente, riducendo i tempi di lavoro e di penetrazione nel mercato, soddisfacendo il bisogno e le richieste degli utenti.

Definita la modularità e l'architettura modulare, è importante ora capire il ruolo e l'interazione che questa ha con l'innovazione in generale e con le sue dinamiche di innovazione. In particolare, si proseguirà analizzando se esiste una correlazione tra la modularità e l'innovazione e tra la modularità e il dominant design.

1.3.1 Correlazione tra modularità e innovazione

La modularità, come si è potuto vedere, è strettamente legata all'architettura di prodotto. In effetti, la modularità è stata anche descritta come una forma speciale di design che crea intenzionalmente un alto grado di indipendenza tra i componenti mediante la standardizzazione delle interfacce di quest'ultimi (Sanchez e Mahoney 1996). Queste due caratteristiche hanno reso l'architettura modulare flessibile e facilmente modificabile, permettendo così alle imprese di controllare meglio la complessità del mercato, rendendo anche la tecnologia più stabile (Bargigli 2005).

Esiste, quindi, un legame tra modularità e innovazione e sembra proprio che questo sia positivo, o meglio, che la modularità impatti positivamente sull'innovazione, provocando un aumento del tasso di innovazione (Baldwin e Clark 1997). Quest'ultimo aumenta perché, grazie alla modularità, è stato possibile esternalizzare a fornitori competenti la produzione e il miglioramento dei diversi moduli, provocandone una più veloce innovazione. Per far sì che questo funzioni, quindi, l'azienda deve fornire delle regole di design su come costruire le interfacce dei componenti in modo che siano compatibili (Baldwin e Clark 1997). Ovviamente, aumentando il tasso di innovazione, accelera anche il ritmo di cambiamento dei moduli; questo, a sua volta, aumenta la pressione competitiva e trasforma le relazioni tra le imprese, rendendo molto più difficoltoso il rimanere all'interno del settore (Baldwin e Clark 1997). Inoltre, l'aumento del tasso di innovazione potrebbe anche avere degli aspetti negativi. Questo, infatti, provoca un aumento del grado di incertezza nel processo di design, legato intrinsecamente all'innovazione di prodotto: i manager non possono, in effetti, sapere con certezza quale nuova innovazione prevarrà sul mercato (Baldwin e Clark 1997).

Nello studio di Martin et al. (2024) si è ulteriormente approfondito il legame tra modularità e innovazione; in particolare, si sostiene che sia la modularità che l'innovazione siano variabili bidimensionali. Per quanto riguarda la modularità, questa è composta da standardizzazione e riconfigurabilità, mentre l'innovazione è descritta da novità ed efficienza. Studiando gli effetti di queste due dimensioni della modularità sulle dimensioni

dell'innovazione, si è giunti ai seguenti risultati: la standardizzazione ha una relazione negativa sia con la novità che con l'efficienza, mentre la riconfigurabilità ha una correlazione positiva sia con la novità che con l'efficienza. Il fatto che la standardizzazione abbia un effetto negativo sull'efficienza, in realtà, è un risultato che ha un po' sorpreso: infatti, mentre per tutte le altre correlazioni è comprensibile e auspicabile che siano così, questo risultato non si è riusciti del tutto a spiegarlo. Si sono fatte diverse ipotesi del perché di questo esito, una tra le più probabili è che la standardizzazione crei un effetto positivo indiretto sull'efficienza attraverso la riconfigurabilità; quest'ultima è, in effetti, abilitata dalla standardizzazione dei moduli e, quindi, nonostante gli alti costi di standardizzazione provochino un'iniziale riduzione dell'efficienza, questi abilitano la riconfigurabilità che genererà successivamente un impatto positivo su quest'ultima. Inoltre, si deve fare particolare attenzione anche alla relazione tra riconfigurabilità e novità: sembra, infatti, un controsenso dire che la riconfigurabilità, basata sull'uso degli stessi moduli riconfigurabili in modi diversi, abbia un effetto positivo sulla novità dell'innovazione. Dall'analisi, infatti, emerge una relazione curvilinea che ha portato a ipotizzare che, in realtà, la relazione tra riconfigurabilità e novità sia descritta da una relazione a U invertita: esiste, dunque, un livello soglia di riconfigurabilità, oltre il quale, un troppo utilizzo di questa genera un effetto negativo sulla novità di prodotto. Dunque, è importante trovare il giusto bilanciamento nelle dimensioni della modularità, in modo da ottenere solo ed esclusivamente degli effetti positivi sull'innovazione. In conclusione, quindi, tramite le analisi svolte, è possibile validare e confermare l'esistenza di una relazione parzialmente positiva tra la modularità e l'innovazione.

Approfondendo la relazione tra modularità e innovazione, si è anche cercato di capire se la modularità avesse un legame con le performance di nuovo prodotto. La modularità, in effetti, ha largamente influenzato il processo di sviluppo di un nuovo prodotto (Campagnolo e Camuffo 2009), tuttavia, dall'analisi della letteratura, non sembra esserci un legame diretto tra le due grandezze. Sembra, invece, che le performance di nuovo prodotto siano promosse dall'innovatività, che a sua volta è migliorata dalla modularità (Lau et al. 2011). Infatti, come detto precedentemente, la modularità e l'innovatività sono legati da una relazione a U invertita, per cui la modularità, fino ad una certa soglia, genera effetti positivi sull'innovatività, che a sua volta influenza positivamente le performance di nuovo prodotto (Lau et al. 2011).

Infine, si è indagato anche il legame tra modularità e tasso di diffusione dei prodotti nel mercato. Dalle analisi condotte è, di fatto, emerso che la modularità facilita il raggiungimento del successo commerciale del prodotto (Fiorineschi et al. 2014); in alcuni casi, è possibile prevedere il tipo di innovazione architettonica che emergerà e la potenzialità di diffusione che questa avrà nel mercato (Galvin 1999).

1.3.2 Correlazione tra modularità e dominant design

L'ultima correlazione da analizzare è quella tra la modularità e l'emergere del dominant design. La modularità intrinseca di un prodotto, come già visto, permette l'entrata, la dominanza e l'uscita dei componenti in modo scollegato gli uni dagli altri (Singh et al. 2021). Proprio questa caratteristica dei prodotti modulari, la ricombinazione dei moduli, diventa importante quando si parla di dominant design: infatti, i benefici ricombinanti dell'architettura modulare possono servire da trigger per l'emergere del dominant design (Ethiraj e Levinthal 2002). La ricombinazione di sistemi architettonicamente simili, dunque, potrebbe essere il motore per far emergere il dominant design; in effetti, rimescolando tra loro moduli di sistemi identici, si potrebbe giungere alla creazione di un sistema simile a quelli di partenza che diventa il dominant design di quel settore (Ethiraj e Levinthal 2002).

In conclusione, quindi, dalla ricerca svolta, è possibile affermare anche l'esistenza di una correlazione tra la modularità e l'emergere del dominant design, abilitata proprio dalle caratteristiche intrinseche della modularità di prodotto.

2. La trasformazione digitale

Nel capitolo precedente si sono introdotti i concetti fondamentali di architettura di prodotto, di innovazione e di dinamiche di innovazione, con particolare approfondimento sul dominant design; infine, si sono analizzate le correlazioni tra questi tre concetti. Si procede ora ad analizzare l'effetto della digitalizzazione sui prodotti modulari. Nella seguente analisi, dunque, sarà riportata una panoramica sulla digitalizzazione dei prodotti modulari, concentrandosi sul concetto d'innovazione digitale, e, in seguito, sarà descritta l'architettura di prodotto digitale.

2.1 La digitalizzazione dei prodotti

La digitalizzazione, come già detto, è un fenomeno sviluppatosi negli ultimi anni e consiste nella “codifica di informazioni analogiche in formato digitale” (Yoo et al. 2010): questo vale anche per i prodotti, presentando così nuove opportunità di innovazione, anche in settori consolidati (Henfridsson et al. 2014). La digitalizzazione di quest'ultimi, però, non impatta solo sulla loro struttura ma modifica sia il modo di progettare questi prodotti sia tutto il contesto al contorno in cui questi sono inseriti. In effetti, la digitalizzazione di questi provoca profondi cambiamenti nella gestione dell'impresa, nel settore industriale e nel panorama competitivo: nascono, infatti, nuovi ecosistemi in cui aziende precedentemente non correlate si uniscono e collaborano, rimodellando completamente la struttura del settore industriale (Yoo et al. 2010). Inoltre, la digitalizzazione dei prodotti modifica anche la finestra possibile per la riprogettazione di questi; prima di questo cambiamento, infatti, la finestra di progettazione e riprogettazione dei prodotti modulari era limitata: questo avveniva perché le imprese congelavano le specifiche di progettazione prima della produzione, ottenendo così i benefici di scala generati dalla modularità (Henfridsson et al. 2014). A seguito dell'introduzione della digitalizzazione, i prodotti sono diventati programmabili: questo li ha resi più flessibili dal punto di vista dell'eventuale riprogettazione, permettendo alle imprese di progettare nuove funzionalità e integrarle nel prodotto in qualsiasi momento del suo ciclo di vita, anche dopo la sua produzione (Henfridsson et al. 2014). In aggiunta, il modificarsi di questa finestra ha impattato anche sui benefici ottenuti dalla scalabilità dei prodotti modulari. Infatti, con i prodotti digitali l'economia di scala perde un po' di rilevanza; questo è dovuto alla codifica digitale degli artefatti che può essere riprodotta

istantaneamente e in qualunque momento senza alcun costo marginale (Henfridsson et al. 2014). In effetti, la sempre più crescente digitalizzazione degli artefatti ha portato le imprese a servirsi di nuovi approcci basati sul software, migliorando le funzionalità dei prodotti in modo parallelo con la sostituzione delle parti fabbricate (Henfridsson et al. 2014). Le aziende, però, devono porre particolare attenzione quando si basano su questi nuovi approcci; infatti, le traiettorie tecnologiche dei componenti fisici e di quelli digitali sono distinte e separate, perciò, non possono essere considerate come una singola entità che si sviluppa nello stesso periodo di tempo; per le aziende, quindi, diventa estremamente importante gestire e sfruttare al meglio la più alta velocità di implementazione dei componenti digitali (Henfridsson et al. 2014). Questo è in linea con quanto affermato dalla letteratura sui prodotti digitali: questi hanno, di fatto, un ciclo di vita diverso rispetto ai corrispettivi analogici, un ciclo di vita più breve, in cui la progettazione, l'implementazione e la sostituzione dei componenti digitali avviene più velocemente.

La digitalizzazione, come sopra accennato, impatta direttamente sulla struttura dei prodotti, provocando importanti cambiamenti sia nel modo in cui le aziende gestiscono l'innovazione sia nell'architettura stessa di prodotto (Yoo et al. 2010).

Per quanto riguarda l'innovazione si parla, in questo caso, di innovazione digitale. Quest'ultima è definita come "l'esecuzione di nuove combinazioni di componenti digitali e fisici per produrre nuovi prodotti" (Yoo et al. 2010); in questo caso, la digitalizzazione rappresenta una condizione necessaria ma non sufficiente affinché si verifichino nuove combinazioni innovative. Questa innovazione digitale, inoltre, richiede che le imprese rivedano le loro logiche organizzative e il loro uso delle infrastrutture IT (Yoo et al. 2010). Per poter comprendere ancora più nel dettaglio questo tipo di innovazione, è importante capire bene le differenze tra gli artefatti digitali e quelli non digitali; nello specifico, gli artefatti digitali hanno tre caratteristiche chiave che li distinguono dai prodotti analogici: la riprogrammabilità, l'omogeneizzazione dei dati e la sua natura autoreferenziale (Yoo et al. 2010). La riprogrammabilità del dispositivo è abilitata dal fatto che questo è sempre formato da un'unità di processo e da un'unità di storage, contenuti in un hardware esterno, che permettono grande flessibilità nelle modalità di manipolazione dei dati; questo, quindi, consente ad un artefatto digitale di eseguire molte funzioni diverse, generando una separazione tra la logica funzionale del dispositivo e la parte fisica esterna (Yoo et al. 2010). L'omogeneizzazione dei dati, invece, è abilitata dal fatto che ogni dato analogico è stato

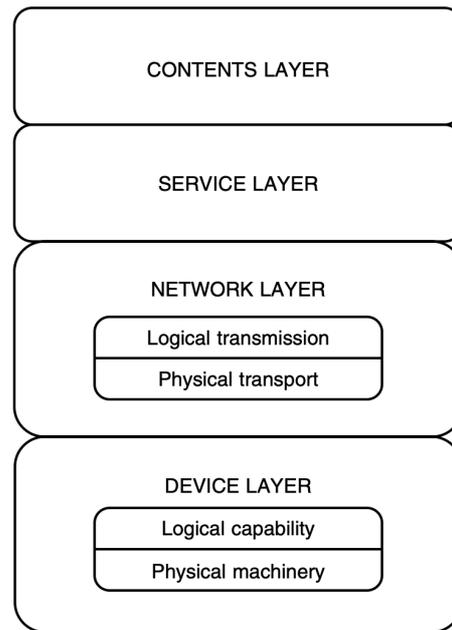
trasformato in digitale, quindi, questa caratteristica rende i dati accessibili a tutti i dispositivi digitali, permettendo agli utenti di manipolarli e visionarli oltre che combinarli con altri dati digitali (Yoo et al. 2010). Infine, gli artefatti digitali hanno una natura autoreferenziale: l'uso della tecnologia digitale, per funzionare correttamente, richiede che ad utilizzarla siano in molti, quindi, si crea un'esternalità di rete positiva che genera un ambiente favorevole allo sviluppo e all'adozione delle nuove innovazioni digitali (Yoo et al. 2010). Proprio queste tre caratteristiche degli artefatti digitali hanno favorito la nascita di una nuova tipologia di architettura per i prodotti digitali: la *layered modular architecture*. Questo nuovo tipo di architettura di prodotto, che nasce dall'introduzione della digitalizzazione nei prodotti ed è abilitata dalle caratteristiche digitali di questi, sarà approfondita nel paragrafo successivo.

2.1.1 Architettura dei prodotti digitali

La *layered modular architecture* o l'architettura modulare a strati degli artefatti digitali descrive l'architettura dei prodotti digitali e le loro caratteristiche distintive. Questa è una via di mezzo tra l'architettura di prodotto modulare e l'architettura stratificata: non ha, dunque, un confine fisso a livello di prodotto e i componenti sono indipendenti, pertanto, non esiste un singolo design specifico. Inoltre, questa architettura è caratterizzata dalla presenza della generatività. Quest'ultima è definita come la "capacità generale di produrre cambiamenti non sollecitati guidati da un pubblico più ampio, vario e non coordinato" (Yoo et al. 2010), ciò significa che le differenze nella natura dei prodotti digitali sono generate grazie agli accoppiamenti deboli tra gli strati che, pur rimanendo il più possibile flessibili a questi nuovi cambiamenti, risultano essere limitati dalle caratteristiche dei componenti fisici del prodotto (Yoo et al. 2010).

Gli strati di questa architettura sono importanti e mostrano, nello specifico, due separazioni critiche: quella tra dispositivo e servizio, abilitata dalla riprogrammabilità, e quella tra reti e contenuti, provocata dall'omogeneizzazione dei dati (Yoo et al. 2010). Questa architettura a strati, descritta da Yoo et al. nel 2010, è formata da 4 livelli: dispositivi, reti, servizi e contenuti (*Figura 2.1*). Ognuno di questi rappresenta una gerarchia differente di design e sono debolmente accoppiati tra loro; infatti, le decisioni di progettazione prese su uno dei livelli non impattano o impattano minimamente sugli altri, dando così la possibilità di creare molti prodotti digitali alternativi grazie all'uso di protocolli e standard tra i componenti. Il layer dei dispositivi, come è possibile osservare dallo schema riportato in figura 2.1, è

scomponibile in due parti: i macchinari fisici e il livello di capacità logica che svolge il ruolo di controllo e mantenimento delle macchine e le collega con gli altri livelli; il layer delle reti è anch'esso diviso in due sottolivelli: trasporto fisico e trasmissione logica; il layer dei servizi, invece, è unico e si occupa delle funzionalità dell'artefatto utilizzate direttamente dagli utenti che lavorano con i dati e, infine, il layer dei contenuti che racchiude tutti i dati di tipo testo, audio, video e altre informazioni che possono essere salvate e/o condivise (Yoo et al. 2010).



Fonte: Yoo et al. (2010), *“Research commentary – The new organizing logic of digital innovation: an agenda for information system research”*

Figura 2.1: L'architettura modulare a strati degli artefatti digitali

Una delle principali caratteristiche di questa architettura modulare a strati è la sua logica organizzativa. Infatti, i prodotti digitali con questa architettura possono fungere sia da prodotto che da piattaforma. Quest'ultima può anche funzionare come un nuovo prodotto, dando così la possibilità ad altri di innovare utilizzandola come base (Yoo et al 2010). Questa ambivalenza dell'architettura modulare a strati dei prodotti digitali permette, dunque, una competizione tra le imprese su più livelli. Questo, quindi, modifica l'interazione tra le aziende: infatti, la generatività deriva proprio dalle capacità della piattaforma, generata da un'azienda, di attirare componenti esterni ed eterogenei appartenenti a diverse gerarchie di progettazione (Yoo et al. 2010). In conclusione, dall'analisi svolta, si può affermare che la logica organizzativa dietro questo tipo di architettura sia una rete doppiamente distribuita,

dove il controllo sui componenti avviene su più aziende e la conoscenza stessa del prodotto è anch'essa ripartita su comunità eterogenee (Yoo et al. 2010). Ovviamente, tutta questa gestione e organizzazione dei prodotti e della piattaforma, come già detto, genera nuove dinamiche competitive e nuovi quadri strategici che hanno lo scopo di ottenere un vantaggio competitivo, sfruttando le caratteristiche uniche del prodotto digitale; inoltre, questa gestione impatta anche sulle infrastrutture IT delle aziende, modificandone il ruolo e l'importanza in modo da permettere a quest'ultime di gestire le informazioni (Yoo et al. 2010).

3. Metodologia

Nei capitoli precedenti sono state riportate alcune nozioni teoriche e alcune definizioni provenienti dalla letteratura riguardanti i principali temi trattati in quest'analisi. Nel presente capitolo, invece, si procederà con la presentazione della metodologia utilizzata; in particolare, saranno introdotti tre casi studio. La descrizione, lo scopo e le misure utilizzate per l'analisi di questi casi studio saranno spiegate puntualmente nei paragrafi successivi.

3.1 Casi studio selezionati

Dalla descrizione dell'architettura dei prodotti digitali, riportata nel capitolo precedente, emerge chiaramente come la struttura di quest'ultimi risulti essere più modulare rispetto a quella dei corrispettivi prodotti analogici. L'obiettivo del presente lavoro, dunque, è quello di validare quanto emerso sulla maggiore modularità degli artefatti digitali oltre a quello di osservare la relazione tra il livello di modularità dell'architettura di prodotto e le sue dinamiche d'innovazione. Per fare ciò sono stati selezionati tre casi studio. Quest'ultimi consistono in tre coppie di prodotto che includono sia la versione analogica che la versione digitale di uno stesso artefatto. Attraverso l'analisi e il confronto dell'architettura di queste coppie si è condotto uno studio sulla loro modularità, per validare l'effettivo aumento di questa nella versione digitale degli artefatti rispetto alla versione analogica. Queste tre coppie di prodotto sono state scelte rispettando quattro criteri:

1. Devono necessariamente includere sia la versione analogica che la versione digitale ed entrambe devono svolgere la stessa funzione core, una tramite processi analogici e l'altra tramite l'uso di dati digitali.
2. Deve essere emerso il *dominant design* in ambedue le versioni, solamente in questo caso può essere identificata e studiata l'architettura definitiva.
3. Non devono essere degli artefatti digitali puri; quest'ultimi essendo intangibili e immateriali, non hanno componenti fisici che li compongono, di conseguenza, non hanno nemmeno un'architettura materiale da analizzare e confrontare.
4. Non devono abilitare dei servizi; molti prodotti digitali abilitano dei servizi per gli utilizzatori, aggiungendo, però, ulteriori livelli di complessità all'architettura di prodotto (Yoo et al. 2010); per evitare questo aumento di complessità si è deciso, quindi, di escludere tutti quegli artefatti digitali che abilitano a dei servizi,

considerando solo prodotti digitali che eseguono la funzione core tramite l'uso di dati.

Sono, dunque, stati selezionati tre artefatti per svolgere le analisi: la fotocamera, la radio e la televisione (di quest'ultima si sono analizzate due varianti della versione analogica, quella in bianco e nero e quella a colori).

Per condurre lo studio sulla modularità si sono utilizzate due misure qualitative, *block diagram* e albero funzionale dei componenti (Cantamessa e Montagna 2016), e due misure quantitative, indice TCCI (Thevenot e Simpson 2007) e analisi FCA (Fixon 2004). Per quanto riguarda le due misure qualitative, queste consistono in due schemi utili per analizzare quali sono i componenti che costituiscono il prodotto e per studiare quali sono le loro principali funzioni. Per determinare quali componenti costituiscono l'artefatto e per costruire questi diagrammi a blocchi si sono letti e analizzati alcuni brevetti, estratti principalmente da *Espacenet - patent search* e *Google Patent*, relativi ad entrambe le versioni dei singoli prodotti (tabella 3.1). L'albero funzionale dei componenti, invece, è uno schema in cui sono collegati tra loro l'albero funzionale, che riporta le funzioni che il prodotto compie sviluppandole dalla funzione generale fino ad arrivare a quelle più specifiche svolte dai componenti, e la BOM, *Bill Of Material*, che rappresenta una scomposizione su più livelli progressivi del prodotto in cui, sull'ultimo livello, sono riportati i componenti. Analizzando e confrontando questi due grafici ottenuti per ciascun prodotto, sia per la versione analogica che per quella digitale, è stato possibile trovare dei risultati qualitativi sul tipo di architettura e su come questa si sia modificata durante l'evoluzione dell'artefatto. Infine, per studiare ancora più nel dettaglio la modularità e la sua crescita nel tempo, sono state utilizzate anche le due misure quantitative sopra riportate.

Nel sottoparagrafo successivo si procederà con un'analisi più dettagliata di quest'ultime.

Tabella 3.1: Brevetti utilizzati per determinare i componenti e per costruire i *block diagram*

Analog camera	Goldhammer L., 8 gennaio 1935, <i>Roll Film Camera</i> , USA, 1987254, United State Patent Office Mayer B., 28 maggio 1935, <i>Roll Film Camera</i> , USA, 2002824, United State Patent Office Green N. B., 5 maggio 1936, <i>Roll Film Camera</i> , Canada, CA 357612, Canadian Intellectual Property Office Nagel A., 8 dicembre 1936, <i>Photographic Roll Film Camera</i> , USA, 2063331, United State Patent Office Kuppenbender H., 14 febbraio 1939, <i>Roll - Film Camera</i> , USA, 2147259, United State Patent Office
---------------	--

	Mihalyi J., 27 febbraio 1940, <i>Roll Film Camera</i> , Canada, CA 387112, Canadian Intellectual Property Office Baumgartner W., 22 luglio 1941, <i>Roll Film Camera</i> , USA, 2249929, United State Patent Office
Digital Camera	Nozaki et al., 28 aprile 2005, <i>Digital Camera</i> , USA, US 2005/0088538 A1, Patent Application Publication Takahashi S., 18 dicembre 2008, <i>Digital Camera</i> , USA, US 2008/0309772 A1, Patent Application Publication Nozaki et al., 3 maggio 2012, <i>Digital Camera</i> , USA, US 2012/0105684 A1, Patent Application Publication
Analog Radio	Shapiro L., 20 settembre 1927, <i>Radio Receiving Apparatus</i> , Canada, CA 274058, Canadian Intellectual Property Office Dyck A. F. Van, 8 luglio 1930, <i>Radio System</i> , Canada, CA 301928, Canadian Intellectual Property Office Gommesen A., 18 agosto 1930, <i>Radio Table</i> , Canada, CA 303024, Canadian Intellectual Property Office
Digital Radio	Suda et al., 2 dicembre 1998, <i>Method of receiving programs, and use of this method in a DAB receiver</i> , Europa, EP 0881792 A2, European Patent Application Kimoto et al., 1 dicembre 1999, <i>Receiver for receiving Digital Audio Broadcast (DAB) programmes, comprising automatic selection of broadcast programmes from a plurality of multiplexed programmes</i> , Europa, EP 0961430 A2, European Patent Application Kimoto et al., 2 agosto 2000, <i>Receiver for receiving Digital Audio Broadcast DAB</i> , Europa, EP 1024614 A2, European Patent Application Oyagi et al., 27 marzo 2002, <i>Apparatus for and method of receiving Digital Audio Broadcast (DAB) signals</i> , Europa, EP 1191722 A2, European Patent Application Sasaki et al., 6 luglio 2005, <i>DAB Broadcast Receiver Apparatus</i> , Europa, EP 1551105 A1, European Patent Application
Analog TV, B&W (Transmitter Analog TV, B&W)	Vance A. W., 20 novembre 1934, <i>Television System</i> , Canada, CA 346227 A, Canadian Intellectual Property Office Farnsworth P. T., 25 giugno 1935, <i>Television Apparatus</i> , Canada, CA 351226 A, Canadian Intellectual Property Office Bedford A. V., 23 febbraio 1937, <i>Television System</i> , Canada, CA 364319 A, Canadian Intellectual Property Office Miller L. H., 6 giugno 1945, <i>Television Receiver Synchronizing System</i> , Canada, CA 425442 A, Canadian Intellectual Property Office Kallmann Heinz E., 29 luglio 1947, <i>Television System</i> , Canada, CA 443276 A, Canadian Intellectual Property Office
Analog TV, Colour	Sylvania Electric Products, Inc., 14 dicembre 1955, <i>Colour Television Receiver</i> , Gran Bretagna, 798957, The patent office London Radio Corporation of America, 31 luglio 1957, <i>Colour Television Receiver</i> , Gran Bretagna, 780389, The patent office London Standard Telephone and cables Limited, 24 giugno 1957, <i>Colour Television Receiver</i> , Gran Bretagna, 779467, The patent office London Hirokazu Yoshino et al., 8 ottobre 1975, <i>Colour Television Receiver</i> , Gran Bretagna, 1408790, The patent office London https://www.eeguide.com/color-television-receiver-block-diagram/
Digital TV	https://patents.google.com/patent/KR100298413B1/en?q=+KR100298413B1 https://patents.google.com/patent/KR100576235B1/en?q=+KR100576235B1 https://patents.google.com/patent/KR100251966B1/en?q=+KR100251966B1 Takehiro Onomatsu et al., 4 marzo 2004, <i>Digital TV Receiver</i> , USA, US 2004/0041952 A1, Patent Application Publication Hyun-chul Choe, 12 luglio 2007, <i>Digital Tv, Digital Broadcasting System And Control Method Thereof</i> , USA, US 2007/0160205 A1, Patent Application Publication

All'analisi architettuale condotta, inoltre, è stato affiancato uno studio sulla diffusione degli artefatti considerati. In particolare, grazie ad una raccolta preliminare dei dati di diffusione di quest'ultimi e dell'anno in cui questi hanno raggiunto le diverse categorie di Rogers, si sono potute gettare le basi per poter studiare la correlazione tra i livelli crescenti di modularità degli artefatti digitali e la riduzione dei loro tempi di diffusione nel mercato. I dati sono stati raccolti tramite delle attività di *desk research* analizzando studi sulla diffusione e sull'andamento del mercato di elettrodomestici o simili artefatti, che riportavano le loro date di invenzione, di introduzione e relativo *penetration rate* nel tempo. La presentazione di questi dati di diffusione sarà riportata più compiutamente nei paragrafi successivi, a seguito dell'analisi dettagliata delle coppie di prodotto.

3.1.1 I metodi quantitativi utilizzati

Per poter analizzare in modo rigoroso la modularità delle tre coppie di prodotto si sono utilizzate due misure quantitative, l'indice TCCI e l'analisi FCA.

L'indice TCCI, *Total Constant Commonality Index*, rappresenta l'indice di comunanza. Quest'ultimo risulta essere la versione modificata dell'indice DCI, *Degree of Commonality Index*, e assume solo valori compresi tra 0 e 1 (Thevenot e Simpson 2007). Più il valore di TCCI è vicino a 1, più c'è comunanza tra i componenti, perciò, il prodotto risulta essere più integrato, se invece, il valore di TCCI è vicino a 0, allora, c'è una minore comunanza tra i componenti, dunque, l'artefatto risulta essere più modulare. La formula del TCCI (Thevenot e Simpson 2007) è la seguente:

$$TCCI = 1 - \frac{d-1}{\sum_{j=1}^d \Phi(j)-1} \quad (1)$$

in cui d rappresenta il numero di componenti del prodotto, quelli che compaiono sull'ultima riga della BOM, mentre $\Phi(j)$ rappresenta il numero di padri, a livello funzionale, dei componenti, cioè il numero di funzioni che fungono da padre per un certo componente; questo valore, perciò, rappresenta il numero di collegamenti che uniscono un dato componente con le funzioni. Il calcolo di questo indice, dunque, consente anche di svolgere facilmente un confronto tra i prodotti di ciascuna coppia, in modo da analizzare, in maniera oggettiva, un eventuale aumento di modularità nel passaggio dall'analogico al digitale.

Per consolidare ulteriormente il risultato ottenuto dal calcolo dell'indice TCCI, si è affiancato a questo un secondo studio basato sullo schema FCA, *Function-Component Allocation Scheme* (Fixson 2004). L'analisi FCA consiste in uno schema di allocazione delle funzioni e dei componenti che permette di capire se un artefatto è più spostato verso la modularità o verso l'integrazione. Per realizzare questo schema si devono seguire tre step successivi; per prima cosa si deve costruire una matrice in cui le righe rappresentano le funzioni mentre sulle colonne si trovano i componenti: all'interno di questa matrice si riportano i collegamenti tra le funzioni e i componenti, si mette un 1 ogni volta che la funzione è svolta da quel componente; terminata questa prima fase, si procede con il calcolo di due indici: l'indice 1, rappresentato dalla somma del numero di componenti che contribuiscono ad una data funzione e l'indice 2, che rappresenta, invece, il numero di funzioni in cui il componente è coinvolto (Fixson 2003); infine, nell'ultima fase si procede con la mappatura su un piano cartesiano dei due indici, in cui l'indice 1 rappresenta la variabile dell'asse x mentre l'indice 2 rappresenta quella dell'asse y. Questo piano è suddiviso in quattro zone e ogni funzione sarà mappata in una di queste (*figura 3.1*) (Fixson 2003). Queste quattro regioni sono dette stili FCA e sono la *modular-like*, corrispondente ad una relazione uno-a-uno tra componenti e funzioni; l'*integral-fragmented*, che descrive il caso in cui la funzione è fornita da tanti componenti non coinvolti in altre funzioni; l'*integral-consolidated*, che raffigura il caso in cui un componente offre contemporaneamente più funzioni e, infine, l'*integral-complex*, che rappresenta il caso in cui più funzioni sono collegate con più componenti e viceversa (Fixson 2003).

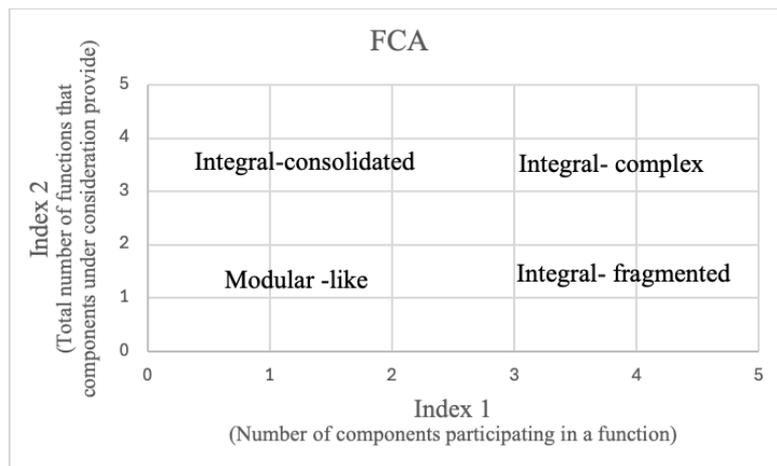


Figura 3.1: Quattro regioni in cui è suddiviso il piano cartesiano dell'analisi FCA

Queste regioni, quindi, mostrano gradi crescenti di integrazione, passando dalla modularità ideale fino ad arrivare alla completa integrazione. In conclusione, quindi, la costruzione e l'analisi di questo grafico è utile per capire che tipo di funzioni sono presenti nell'artefatto e capire se la maggior parte di queste descrivono un'architettura più modulare o una più integrata. In particolare, anche il confronto tra i due schemi, ottenuti dall'analisi svolta sia per l'artefatto analogico che per quello digitale, costituisce un valido strumento per analizzare e validare il crescente livello di modularità nei prodotti digitali. Nel capitolo successivo sarà presentata nel dettaglio l'analisi condotta sulle tre coppie di prodotto; sarà prima mostrata l'analisi svolta per la fotocamera, successivamente quella per la radio e, infine, lo studio condotto sulla televisione.

4. Risultati

Nel capitolo precedente sono stati presentati sia la metodologia utilizzata che i tre casi studio scelti per condurre le analisi. Nel presente capitolo, invece, si procederà con il riportare i risultati ottenuti dall'applicazione dei metodi sui tre casi studi selezionati.

4.1 Fotocamera analogica vs digitale

4.1.1 Architettura di prodotto

Il primo prodotto considerato è la macchina fotografica. Di questa ne esistono diverse versioni, sia analogiche che digitali; nello specifico, si procederà considerando la macchina fotografica analogica a pellicola e la macchina fotografica che utilizza un metodo digitale per scattare e immagazzinare le foto ma che non abilita all'uso di alcun tipo di servizio aggiuntivo. Si procederà, dunque, analizzando prima l'architettura della macchina fotografica analogica e poi si analizzerà quella digitale.

La macchina fotografica analogica a pellicola è stata inventata nel 1923, anno in cui risale uno dei primissimi brevetti di questa tecnologia; l'introduzione nel mercato, invece, è avvenuta nel 1924. Questa ha subito, poi, molti cambiamenti e modifiche nel corso del tempo fino al 1981 (Miranda e Lima 2012), anno dell'invenzione della macchina fotografica digitale. Quest'ultima è stata commercializzata a partire dal 1995 (Miranda e Lima 2012). Ovviamente, con l'avvento della macchina digitale, quella analogica non è sparita immediatamente ma, ad oggi, si può affermare che le vendite di quest'ultima siano molto basse rispetto a un tempo.

Concentrandosi ora sull'architettura di prodotto, in figura 4.1 è riportato il *block diagram* della macchina fotografica analogica. I componenti principali di questa sono: il sistema di lenti, lo *shutter*, o otturatore, e il meccanismo a specchio, che permettono di riflettere e regolare la luce per poter inquadrare al meglio l'immagine da fotografare; una finestra di esposizione, utile per esporre alla luce la pellicola in modo da imprimerci l'immagine sopra; il meccanismo di arrotolamento della pellicola con i due rocchetti di questa, uno per fornire la pellicola per scattare la foto e uno per ritrarla una volta che l'immagine è stata presa. Questo meccanismo di movimentazione della pellicola può essere sia manuale che automatico. Sono, inoltre, presenti un'unità di operazione, che comprende tutti i tasti e i bottoni utili per scattare le foto, dal tasto di rilascio dello *shutter* fino all'eventuale manopola

o tasto per avviare il meccanismo di arrotolamento della pellicola, un sistema che fornisce energia all'intera macchina e un flash, utile per illuminare le scene più buie.

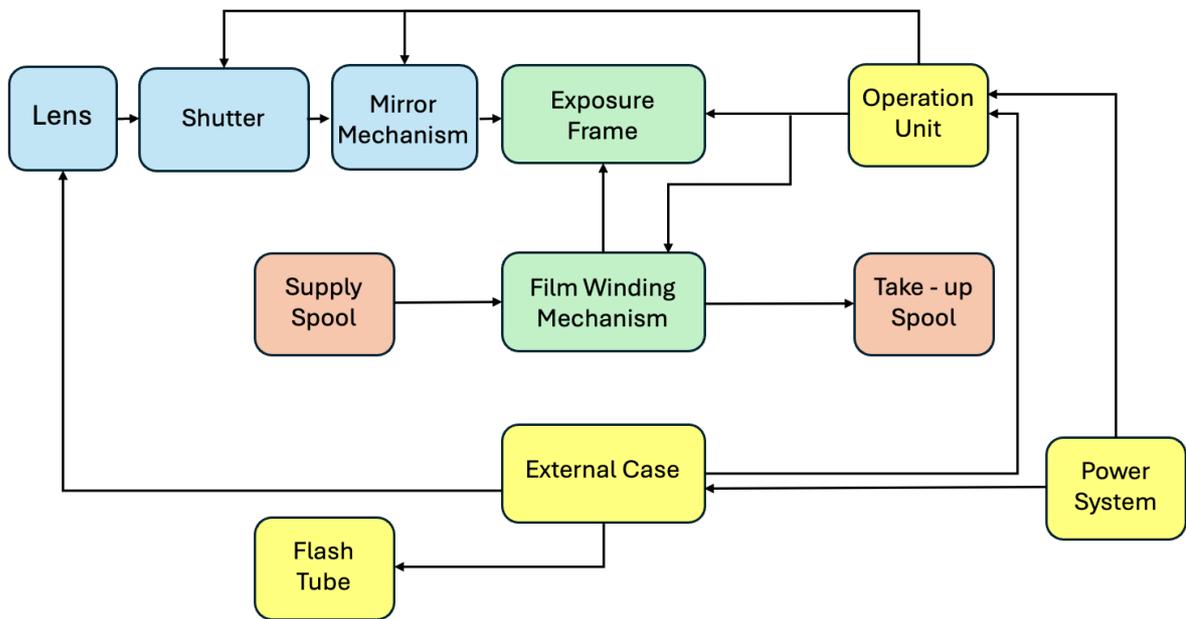


Figura 4.1: *Block diagram* della macchina fotografica analogica

Il funzionamento della macchina fotografica analogica è molto semplice: attraverso il sistema di lenti e il meccanismo di specchi si inquadra la figura o l'immagine che si vuole imprimere sulla pellicola; determinata questa si schiaccia il bottone che apre l'otturatore che fa passare la luce attraverso le lenti indirizzandola sulla pellicola, posizionata e bloccata nella finestra di esposizione. La pellicola è trattata in un modo particolare che le consente di reagire alla luce e imprimere su sé stessa l'immagine. A questo punto, o manualmente o automaticamente, la pellicola è movimentata dalla finestra di esposizione e arrotolata intorno alla bobina di raccolta della pellicola utilizzata. Nel mentre che questa operazione è svolta, una nuova pellicola è srotolata dalla bobina di fornitura e posizionata e bloccata nella finestra di esposizione, in modo da essere pronta per uno nuovo scatto. Il flash interviene solamente nel caso in cui la scena sia troppo buia per inquadrare correttamente il soggetto.

Dopo aver costruito il *block diagram* e capito il funzionamento dei componenti, si è costruito l'albero funzionale dei componenti (*figura 4.2*). In questo schema, si possono vedere le principali funzioni attribuite allo "scattare una fotografia". Esaminando bene questo albero funzionale è possibile osservare che alcune funzioni sono svolte da più componenti e alcuni componenti svolgono più funzioni; questo potrebbe indicare un minor

grado di modularità della struttura. Per poterlo, però, affermare con certezza quest'ultimo aspetto sarà analizzato in seguito con le misure quantitative di modularità.

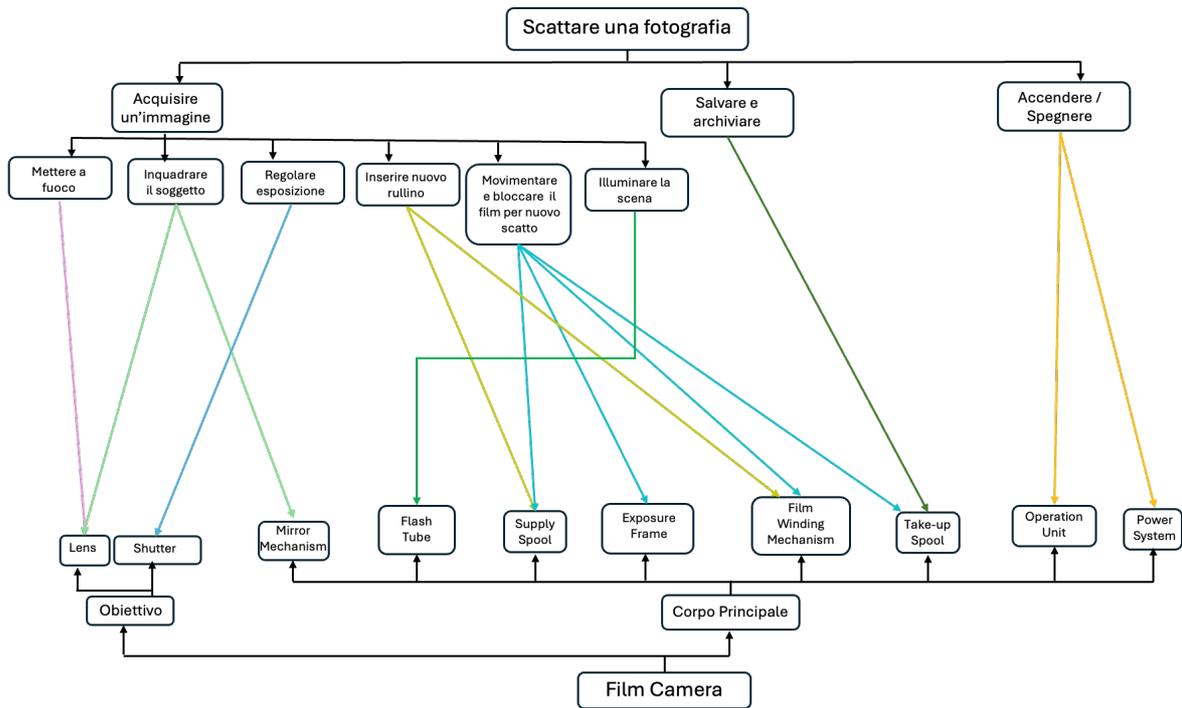


Figura 4.2: Albero funzionale dei componenti della macchina fotografica analogica

Passando ora all'analisi dell'architettura della fotocamera digitale, per prima cosa si è costruito il suo *block diagram*, ripotato in figura 4.3.

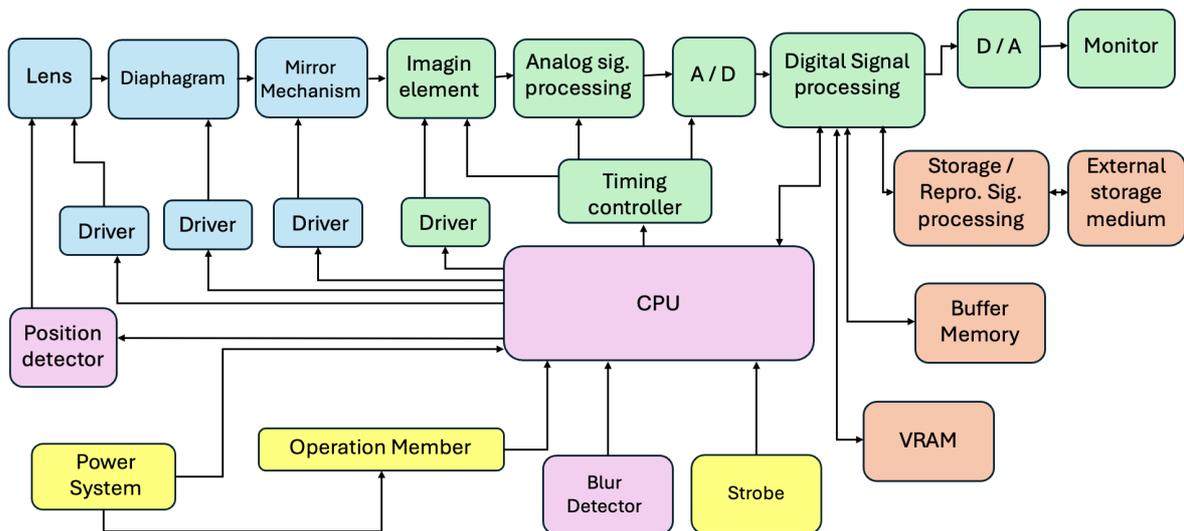


Figura 4.3: Block diagram della macchina fotografica digitale

Il numero di componenti è aumentato rispetto al caso precedente. Infatti, la macchina fotografica digitale possiede alcuni elementi in comune con la macchina fotografica analogica e altri che, invece, sono completamente nuovi. I componenti principali sono un sistema di lenti, un diaframma, un meccanismo di specchi e un meccanismo di rilevazione della sfocatura utili a inquadrare correttamente l'immagine, metterla a fuoco e regolarne l'esposizione; un elemento di immagine, collegato con tutto un sistema di processamento dell'immagine e tutta una parte di componenti dedicati al salvataggio delle foto in formato digitale. Infine, esattamente come per la controparte analogica, ci sono un flash, una parte di gestione delle operazioni e un sistema per la fornitura di energia. L'elemento che spicca di più, però, in questo *block diagram*, corrisponde esattamente al componente che differenzia il prodotto analogico da quello digitale, la CPU. Quest'ultima gestisce tutte le operazioni, occupandosi di controllare e organizzare tutti i componenti; in alcuni casi, fa uso di driver o di rilevatori della posizione per controllare le parti più esterne del dispositivo e guidarle.

Il principio con cui funziona la macchina digitale è simile a quello analogico: si inquadra l'immagine attraverso le lenti e il meccanismo di specchi e si regola la luce che entra nella macchina. Quando è tutto pronto e sistemato, si scatta la fotografia; la luce colpisce dei sensori che trasformano questo segnale analogico in digitale. Quest'ultimo è, quindi, salvato all'interno della memoria e, se serve, si possono anche trovare e regolare le eventuali sfocature delle immagini. Quando si vogliono rivedere le fotografie scattate, il segnale digitale della fotografia è ritrasformato in analogico e mostrato su un display. In caso di scarsità della luce, il flash interviene ad illuminare la scena da scattare.

A questo punto, capito come funziona la macchina foto digitale e quali sono i suoi componenti principali, si è proceduto a creare il suo albero funzionale dei componenti. Di questo ne sono state riportate due versioni. La prima di queste (*figura 4.4*), non assegna alla CPU una funzione specifica, perciò a questo componente saranno collegate tutte le funzioni che gli afferiscono e che questo svolge. Questa versione è particolarmente utile perché permette di mostrare tutti i collegamenti e di mostrare quanto tutto il sistema si basi sulla CPU per svolgere le funzioni principali. La seconda versione (*figura 4.5*), invece, presenta una funzione creata apposta per la CPU chiamata "coordinare le operazioni"; questa descrive appieno la sua funzione di gestione di tutti i processi all'interno dell'artefatto. Inoltre, in quest'ultima versione, è possibile notare che ci sono solamente tre componenti che svolgono più di una funzione mentre tutti gli altri mostrano un rapporto uno-a-uno con quest'ultime.

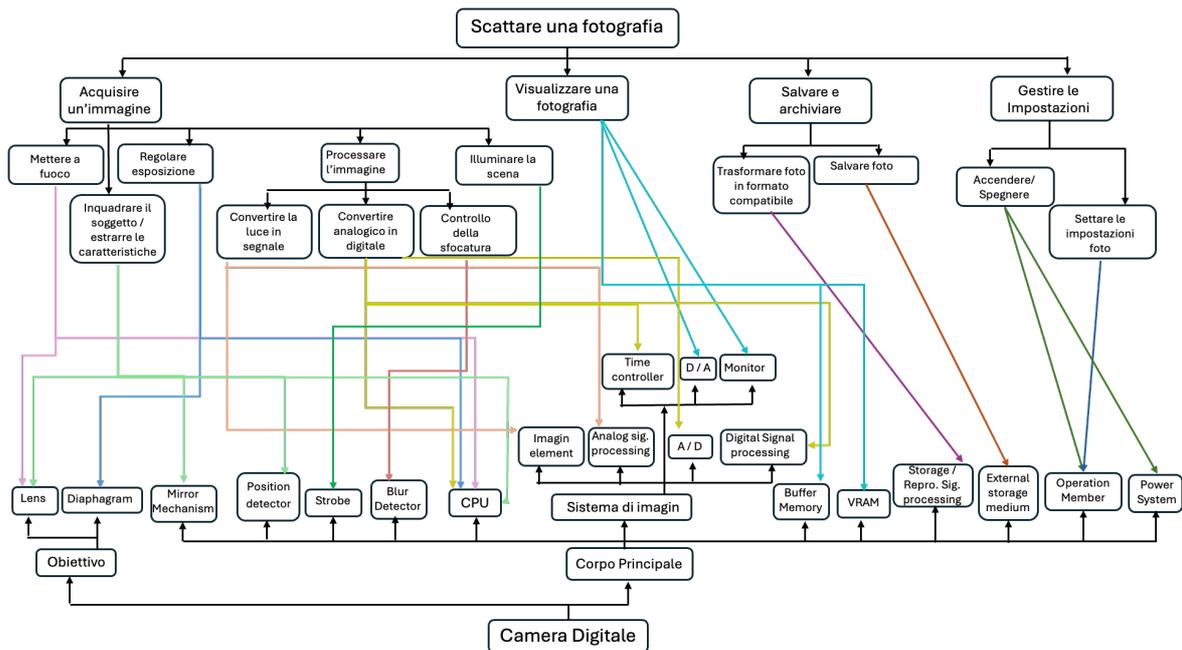


Figura 4.4: Albero funzionale della macchina fotografica digitale, prima versione

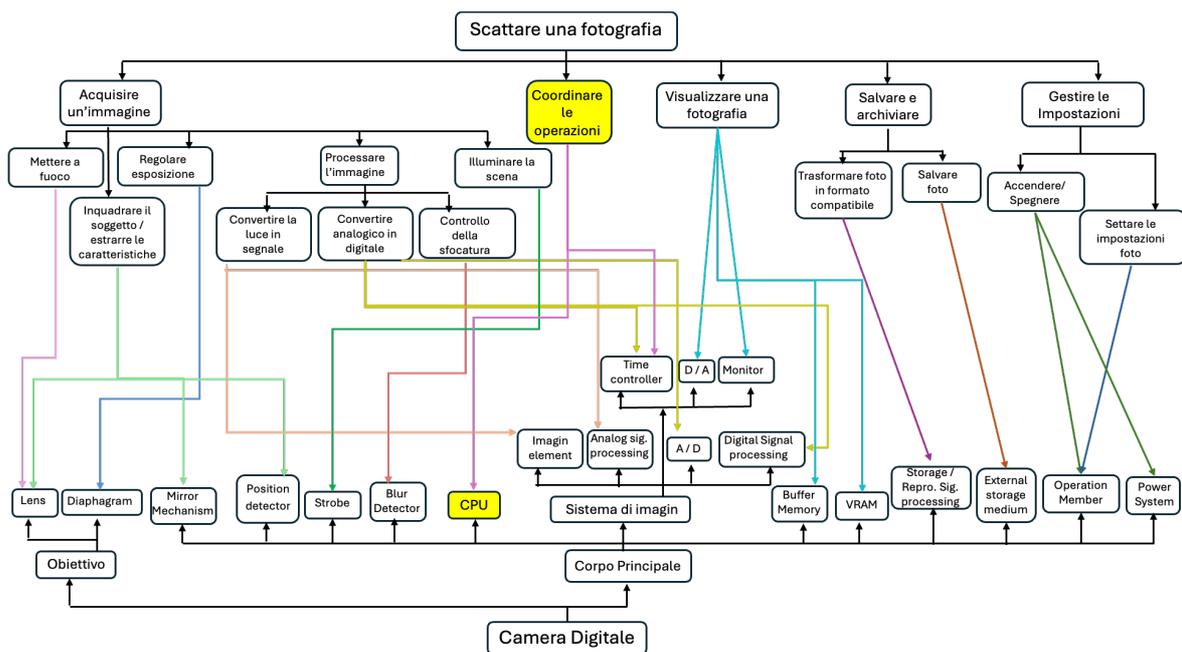


Figura 4.5: Albero funzionale della macchina fotografica digitale, seconda versione

L'analisi svolta in questo primo paragrafo ha permesso di studiare più nel dettaglio i componenti che fanno parte dei due sistemi e di ottenere una versione preliminare dei legami funzionali degli artefatti; questi si riveleranno particolarmente utili per l'analisi di

modularità descritta nel prossimo sottoparagrafo, in cui, per semplicità, sarà utilizzata la seconda versione dell'albero funzionale dei componenti.

4.1.2 Calcolo dell'indice di comunanza e analisi FCA

Dopo aver condotto l'analisi qualitativa e aver determinato quali sono i componenti principali della macchina fotografica e le loro funzioni, è possibile calcolare le due misure quantitative.

Per il calcolo del TCCI si è applicata la formula (1). Nel caso della macchina fotografica analogica il numero di componenti è 10, quindi $d=10$, mentre $\Phi(j)=14$. Quest'ultimo valore è stato ottenuto contando il numero di funzioni nell'albero funzionale che fanno da padre ai componenti. In particolare, si è considerato solamente l'ultimo livello sia dell'albero funzionale che per la BOM. In figura 4.6 è riportato il calcolo del TCCI per la fotocamera analogica; in questa immagine è possibile vedere nel dettaglio quante funzioni padre hanno i singoli componenti: il totale di queste, corrispondete a $\Phi(j)$, è uguale alla somma dei collegamenti dell'albero funzionale dei componenti. Il valore ottenuto di TCCI è 0,308.

Componente	Fi(j)	d	
Film Camera	0		10
Obiettivo	0		
Lens	2		
Shutter	1		
Corpo Principale	0	TCCI	0,30769231
Mirror Mechanisme	1		
Flash Tube	1		
Supply Spool	2		
Exposure Frame	1		
Film Winding Mechanism	2		
Take-up Spool	2		
Operation Unit	1		
Power System	1		
	14		

Figura 4.6: Dettaglio del calcolo di TCCI per macchina fotografica analogica

Una volta calcolato l'indice di comunanza, si è condotta l'analisi FCA. Di nuovo, per condurre questa analisi si è utilizzata la seconda versione dell'albero funzionale dei componenti. Applicando, quindi, la metodologia sopra descritta si è potuto costruire il grafico sul piano cartesiano, riportato in figura 4.7. Il risultato di questo grafico è in linea con quanto emerso dal valore del TCCI; infatti, era prevedibile che ci fosse almeno una funzione integrata, visto che l'indice di comunanza è circa del 30%. In questo caso, la

funzione “movimentare e bloccare la pellicola per un nuovo scatto” ricade nella regione dell’*integral-complex*, presentando, dunque, un elevato grado di integrazione. Questo comporta, dunque, che buona parte di questo sistema sia integrato, anche se le restanti funzioni risultano essere abbastanza modulari.

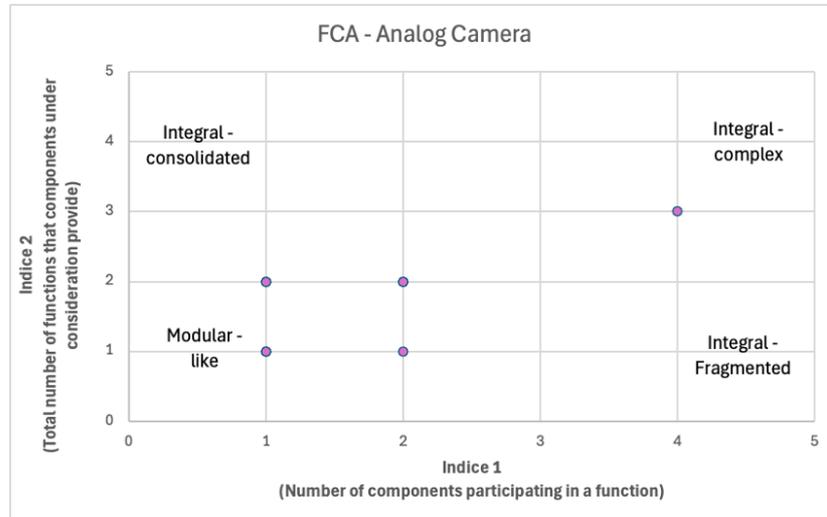


Figura 4.7: Analisi FCA della macchina fotografica analogica

Passando ora all’analisi della fotocamera digitale, il TCCI ottenuto in questo caso è di 0,136; i passaggi fatti sono identici a quanto visto per la versione analogica. Nel dettaglio, il numero di componenti d è pari a 20 mentre il numero di padri funzionali $\Phi(j)$ è pari a 23 (figura 4.8). Anche in questo caso è stata svolta l’analisi FCA, che ha prodotto il grafico riportato in figura 4.9. Questa analisi, in prima battuta, potrebbe trarre un pochino in inganno: sembra, infatti, che la macchina digitale abbia dei livelli più alti di integrazione rispetto alla versione analogica; infatti, ben tre funzioni di questa si trovano nella regione dell’*integral-fragmented*. L’indice TCCI riporta un basso indice di comunanza, circa del 14%, perciò si può affermare che la fotocamera digitale sia un prodotto con alti livelli di modularità; questo è possibile dirlo perché la presenza di queste funzioni in quell’area non costituisce un problema; infatti, i componenti, in questo caso, svolgono tutti una stessa identica funzione, redendo, quindi, il prodotto comunque abbastanza modulare. In effetti, la sostituzione di uno di questi componenti impatterebbe solamente sugli altri componenti che afferiscono alla stessa funzione, poiché risultano essere connessi tra loro, ma non su tutto il resto del sistema.

Componente	Fi(j)	d	
Camera Digitale	0		20
Obiettivo	0		
Lens	2		
Diaphragm	1		
Corpo Principale	0		
Mirror Mechanism	1	TCCI	0,13636364
Position Detector	1		
Strobe	1		
Blur Detector	1		
CPU	1		
Sistema di Imaging	0		
Imagin Element	1		
Analog signal Processing	1		
Time Controller	2		
A/D	1		
D/A	1		
Monitor	1		
Digital signal Processing	1		
Buffer Memory	1		
VRAM	1		
Storage	1		
External storage Medium	1		
Operation Member	2		
Power System	1		
	23		

Figura 4.8: Dettaglio del calcolo del TCCI per macchina fotografica digitale

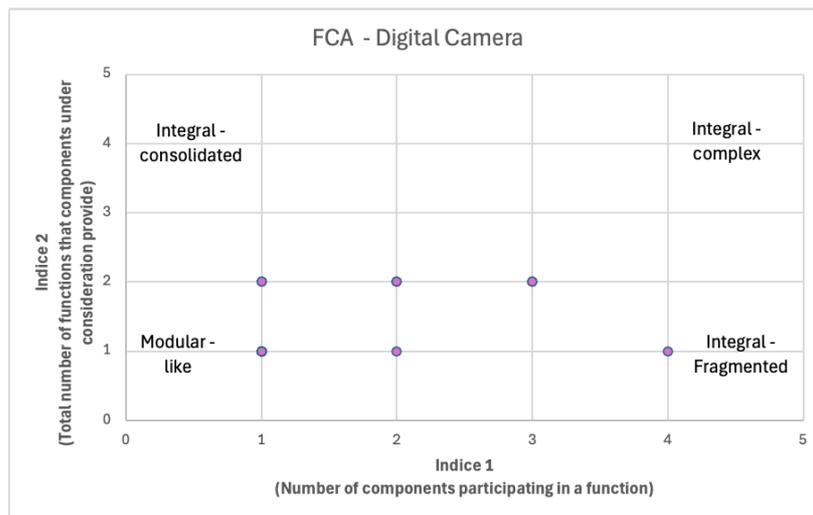


Figura 4.9: Analisi FCA della macchina fotografica digitale

4.1.3 Tasso di diffusione

La macchina fotografica è un artefatto che si è sviluppato già da diverso tempo, perciò la ricerca dei suoi dati di diffusione è stata particolarmente fruttuosa, consentendo di trovare tutti i dati completi sia per la sua versione analogica che per quella digitale. Nel presente lavoro di tesi si è studiato, nel dettaglio, il *penetration rate* del prodotto nel mercato, identificando le diverse categorie di Rogers e quando queste sono state raggiunte.

In questo caso specifico, per il calcolo del *penetration rate* sono stati utilizzati i dati di vendita della fotocamera dal 1951 fino al 2005 per la versione analogica e dal 1999 fino al 2023 per quella digitale (fonte di dati di vendita: CIPA). Per calcolare questo tasso di penetrazione nel mercato a partire dalle vendite, si deve utilizzare la cumulata di queste diviso il numero di *household* nello stesso periodo; con il termine *household* si indicano i potenziali adottatori di una tecnologia, basandosi sull'ipotesi che un utilizzatore sia colui che possiede una casa e che in ogni casa ci sia l'artefatto considerato. Nel caso della macchina foto, per avere concordanza con i dati trovati, si è considerato il numero di *household* che possiedono un PC. Svolto questo calcolo si è, dunque, trovato il *penetration rate* per ogni anno nell'arco di tempo sopra individuato e questo ha permesso anche di individuare l'anno in cui le cinque categorie di Rogers sono state raggiunte. In figura 4.10 è riportato un grafico riassuntivo degli anni in cui si è raggiunta la soglia per le categorie di Rogers; per la macchina fotografica analogica nel 1955 si sono raggiunti gli *innovators* con l'1,2% di *penetration rate*; nel 1958 si è arrivati agli *early adopters* con il 2,5%; nel 1972, con il 16,8%, è stata individuata l'*early majority*; la *late majority* è stata raggiunta nel 1985 con il 51,8% di *penetration rate*, e, infine, l'ultima categoria dei *laggards* è stata conseguita con l'86,9% di tasso nel 1992. Per quanto riguarda, invece, la macchina foto digitale gli *innovators* sono stati raggiunti nel 1999 con l'1%; gli *early adopters*, con 2,7%, sono arrivati nel 2000; nel 2003 si giunse all'*early majority* con il 16,8%; la *late majority* è stata raggiunta nel 2007 con il 58,3% di *penetration rate* mentre i *laggards*, con l'86,4%, sono stati conquistati nel 2010.

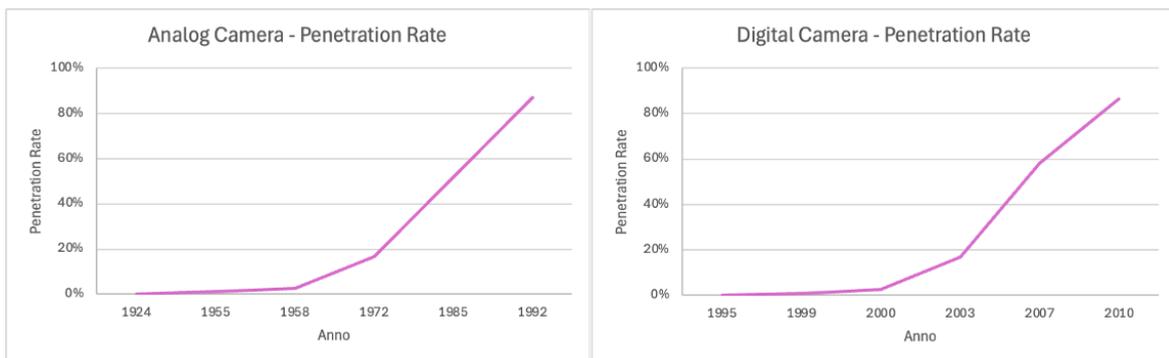


Figura 4.10: Grafico dell'andamento del *penetration rate*: macchina fotografica analogica a sinistra e digitale a destra

Oltre a studiare questo andamento, è stato possibile fare un confronto sulla velocità di raggiungimento di queste categorie rispetto all'anno di introduzione. Analizzando prima la

versione digitale del prodotto è facilmente osservabile che ci sono voluti 32 anni dall'invenzione dell'artefatto prima di raggiungere la categoria degli *innovators*, 35 per arrivare agli *early adopters*, 49 per l'*early majority*, 62 per la *late majority* e 69 per giungere ai *laggards*. Osservando, invece, le tempistiche dell'artefatto digitale, i valori, in termini di anni, sono nettamente inferiori, infatti ci sono voluti solamente 4 anni per raggiungere gli *innovators*, 6 per gli *early adopters*, 7 per l'*early majority*, 12 per la *late majority* e, infine 15 per i *laggards*.

In conclusione, dall'analisi qui affrontata, sembra che il prodotto digitale si sia diffuso più velocemente nel mercato rispetto al suo corrispettivo analogico. Questo fenomeno sarà analizzato in modo più approfondito solamente dopo aver osservato e studiato le caratteristiche e l'andamento anche degli altri artefatti considerati.

4.2 Radio analogica vs digitale

4.2.1 Architettura di prodotto

Il secondo artefatto considerato nell'analisi è la radio. Questa è stata inventata nel 1910 (Kohli et al. 1999) e introdotta sul mercato per la prima volta nel 1922. Questa ha avuto un ruolo fondamentale nella storia dell'uomo dato il suo ampio utilizzo come metodo di comunicazione. I suoi usi sono stati molti nel tempo, ora è utilizzata principalmente come mezzo di informazione o intrattenimento ma ha anche usi militari. Con lo scorrere del tempo, questo sistema si è evoluto passando dalla versione analogica a diverse versioni digitali. Infatti, la radio digitale è tuttora in sviluppo ed esistono, al momento, diverse tecnologie concorrenti che si contendono il titolo di radio digitale. Infatti, ci sono diversi sistemi adottati in diverse parti del mondo: in Europa si è diffuso per lo più il sistema DAB, *Digital Audio Broadcasting*, o il sistema DRM, *Digital Radio Mondiale* (Redmond 2012); in USA si è sviluppato il sistema *HD Radio*, anche se questo non è stato molto accettato e, al suo posto, la maggior parte della popolazione ritiene che la radio satellitare sia una radio digitale e risulta essere la più ascoltata in USA (Halbert 2015; Waddel 2007). In Giappone, invece, hanno inventato un sistema loro chiamato ISDB-T. Purtroppo, tutte queste tecnologie sono ancora concorrenti tra loro, alcuni paesi le hanno adottate e cercato di implementarle mentre in altri paesi sono state adottate e, successivamente, ritenute fallimentari e dismesse o sostituite con un'altra tecnologia concorrente. Infatti, nessuna di queste tecnologie sembra

essere stata largamente accettata sul mercato, generando dei problemi di diffusione (Halbert 2015; Lax et al. 2008; Waddel 2007). Nella presente analisi sarà considerata come tecnologia digitale la DAB, *Digital Audio Broadcasting*; non è stata trovata una data precisa di invenzione di questa ma il consorzio che si è occupato di costruire il sistema Eureka 147 DAB System, nome completo del sistema DAB, è nato nel 1987, anche se i lavori iniziarono già nel 1985 (Kozamernik 1995). La prima introduzione sul mercato di questa tecnologia è avvenuta nel 1995 in UK, dove la BBC si è occupata di gestire il progetto pilota di questa, e in Svezia (Kozamernik 1995). Questa nuova tecnologia nasce per fornire un servizio migliorato, con un suono più bello e senza interruzioni, offrendo anche la possibilità di inviare dati visibili attraverso uno schermo e di funzionare anche per i ricevitori delle auto, non solo per quelli fissi (Kozamernik 1995). Questa tecnologia, inoltre, nel tempo è stata ulteriormente migliorata, tanto che nel 2018 hanno introdotto la sua nuova versione chiamata DAB+ (Evens 2015). Da questa breve introduzione, si intuisce facilmente che la radio analogica e quella digitale hanno la stessa funzione ma una utilizza una tecnologia analogica, le onde radio che generano un suono sporco con molto interferenze e, a volte, difficilmente ascoltabile, mentre l'altra trasforma le onde radio in informazioni digitali, permettendo di avere un suono molto più pulito e nitido; per capire meglio le differenze tra queste due strutture sono state studiate le loro architetture.

L'architettura della radio analogica, mostrata in figura 4.11, è molto semplice. Per condurre questa analisi si è utilizzata una versione un po' più moderna di questo tipo di radio, infatti, questa contiene già un microcomputer che aiuta nelle funzioni di correzione del suono, in modo da fornire un suono più nitido e facilmente ascoltabile.

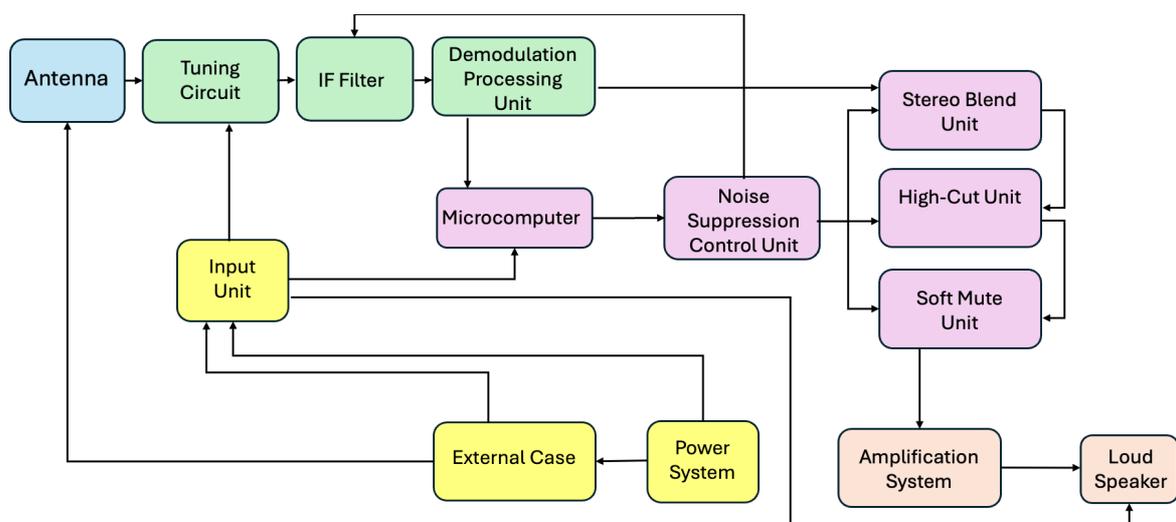


Figura 4.11: *Block diagram* della radio analogica

Questa architettura è formata da un'antenna, che riceve il segnale, seguita da un sistema che si occupa di selezionare il giusto canale e di filtrare e demodulare il segnale selezionato. Una volta demodolato il segnale, questo è inviato al microcomputer che si occupa di sottoporlo all'unità di controllo del suono; una volta eseguiti tutti gli aggiustamenti e aver ripulito quest'ultimo, il segnale è inviato al sistema di amplificazione del suono che lo invia alle casse per emetterlo all'esterno. Anche in questo caso, come quello visto nel precedente paragrafo, c'è un sistema che fornisce l'energia utile alla radio per funzionare e un sistema di input manuale, utile per gestire il sistema di *tuning* e selezionare la frequenza corretta, e anche per accendere e spegnere l'apparecchio. Quanto qui descritto, inoltre, corrisponde anche al funzionamento di questo dispositivo.

Individuati e selezionati tutti i componenti di questo artefatto analogico, si è proceduto a costruire il suo albero funzionale dei componenti (figura 4.12).

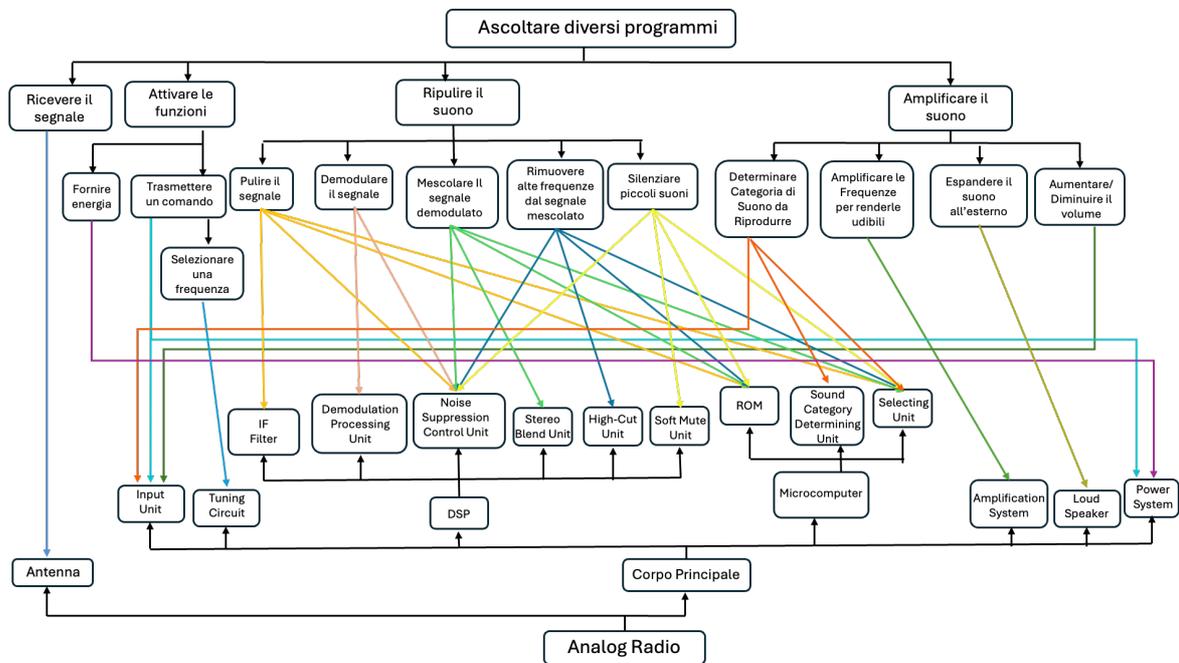


Figura 4.12: Albero funzionale dei componenti della radio analogica

Osservando questo albero funzionale è immediatamente visibile la forte interazione tra funzioni e componenti: infatti, si vede subito che più funzioni sono svolte da più componenti e che più componenti svolgono più funzioni; questo porta immediatamente a pensare ad una struttura più spostata verso l'integrazione che verso la modularità. Questo aspetto sarà approfondito nel paragrafo successivo con l'analisi delle misure quantitative di modularità.

Analizzando ora l'architettura di prodotto della versione digitale della radio, riportata in figura 4.13, si nota subito la netta differenza tra la struttura della versione analogica da quella digitale, anche se alcuni elementi permangono inalterati. Il funzionamento di questo dispositivo rispecchia perfettamente la sua architettura; questa è formata da un'antenna che riceve il segnale e lo manda presso un sistema di tuning, che seleziona la frequenza richiesta dall'utente; a questo punto avviene una conversione da analogico a digitale del segnale che successivamente è processato attraverso una demodulazione e una serie di trasformazioni che lo modificano e migliorano. Quando il suono deve essere emesso, prima sarà selezionato il servizio richiesto, dato che una stessa frequenza contiene più servizi, poi sarà decodificato e ritrasformato da digitale in analogico per poterlo amplificare ed emettere all'esterno. Anche in questo caso, è presente un microcomputer che si occupa di gestire e coordinare tutte le funzioni oltre che temporizzarle; inoltre, questo è collegato con il display, utile proprio per visualizzare le ulteriori informazioni che, digitalmente, è possibile visualizzare, come il titolo del programma, la durata o altro. Questo microcomputer si occupa di gestire anche altri aspetti, come la ricerca di un canale salvato in memoria o di un nuovo canale mai trovato prima. La radio digitale, per di più, dato che può essere montata anche all'interno delle auto, contiene un sistema utile per connettersi al segnale, anche in movimento, trovando e salvando alcune informazioni come la posizione o la trasmittente radio più vicina. Queste funzioni sono sempre gestite dal microcomputer.

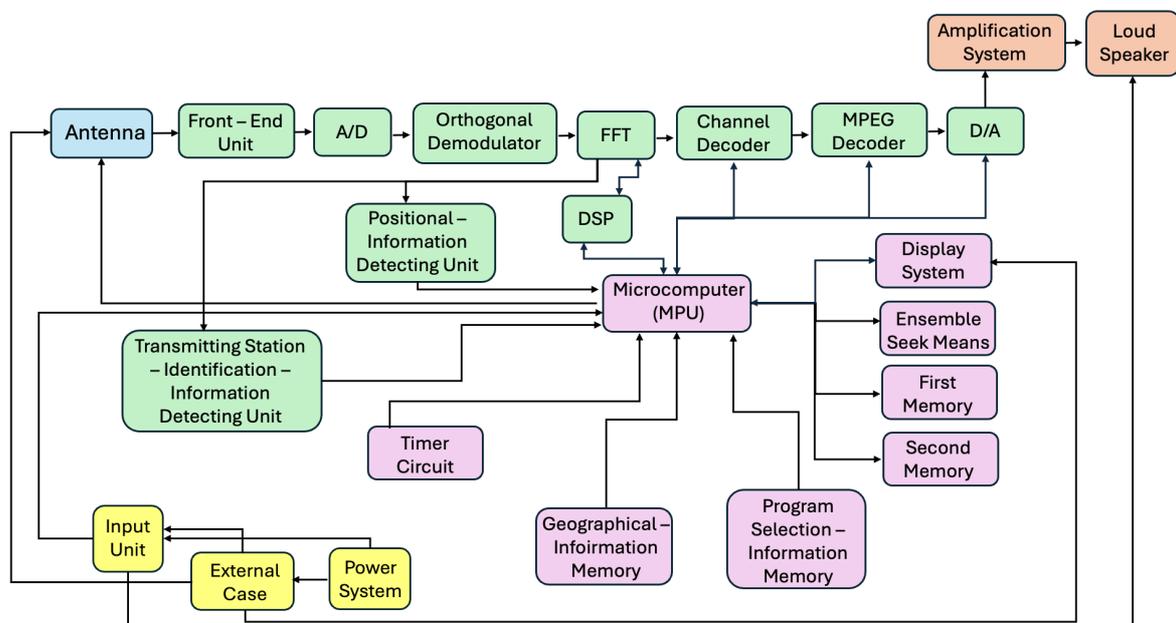


Figura 4.13: Block diagram della radio digitale

Una volta trovato il *block diagram* di questo sistema, si è proceduto con la costruzione del suo albero funzionale dei componenti. Anche in questo caso, come avvenuto per la macchina fotografica, data la presenza di un componente che gestisce il tutto, si sono costruiti due alberi funzionali dei componenti: una prima versione riportante tutti i legami funzionali (figura 4.14) e una seconda in cui il microcomputer afferisce ad un'unica funzione di organizzazione (figura 4.15).

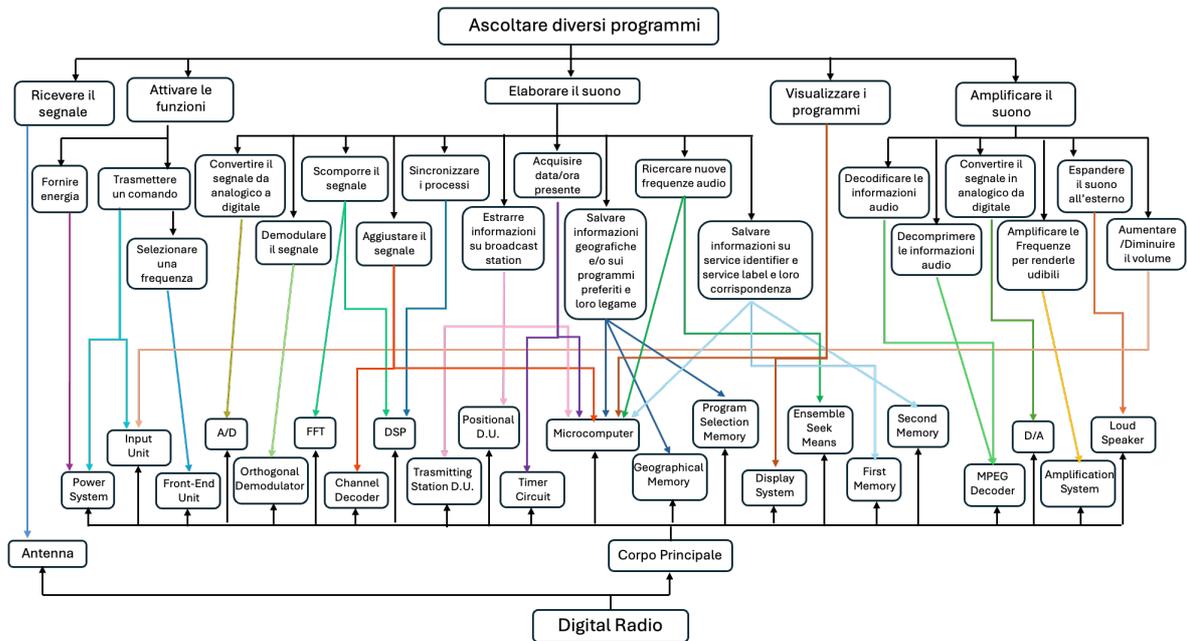


Figura 4.14: Albero funzionale dei componenti della radio digitale, prima versione

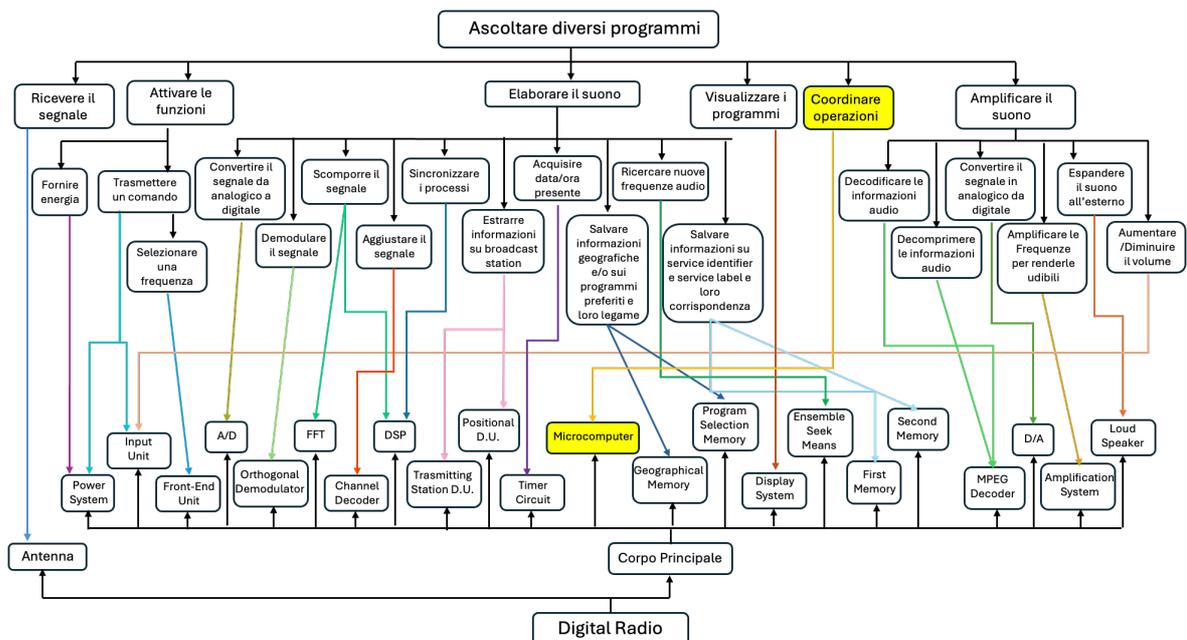


Figura 4.15: Albero funzionale dei componenti della radio digitale, seconda versione

Per il resto del lavoro, come già fatto per il precedente caso, sarà considerata solamente la seconda versione dell'albero funzionale, in modo da semplificare le analisi. Osservando più attentamente questo schema è possibile notare come la maggioranza dei componenti sia legato ad un'unica funzione anche se, in realtà, queste si interlacciano tra loro: in alcuni casi, infatti, i componenti rispondono a più funzioni e alcune funzioni sono svolte da più componenti diversi contemporaneamente. Dalla sola osservazione, però, è difficile stabilire il tipo di architettura. Nel sottoparagrafo successivo questo aspetto sarà indagato tramite misure più complete e certe.

4.2.2 Calcolo dell'indice di comunanza e analisi FCA

Si procede ora a calcolare il TCCI e l'analisi FCA. Partendo, quindi, dall'albero funzionale si è proceduto ad applicare i passaggi, gli stessi applicati nel caso precedente, per determinare le due misure.

Analizzando prima il caso analogico, si è ottenuto un TCCI pari a 0,5: questo indica, dunque, che il 50% dei componenti condivide gli stessi padri funzionali; questo rende la struttura più spostata verso l'integrazione che verso la modularità, anche se l'indice si trova esattamente a metà tra 0 e 1. Nello specifico, il numero di componenti d è pari a 15 mentre $\Phi(j)$ è uguale a 29, come mostrato nel dettaglio del calcolo in figura 4.16.

Componente	$F_i(j)$	d	15
Analog Radio	0		
Antenna	1		
Corpo Principale	0		
Input Unit	3		
Tuning Circuit	1		
DSP	0	TCCI	0,5
IF Filter	1		
Demodulation Processing	1		
Noise Suppression Contro	5		
Stereo Blend Unit	1		
High-Cut Unit	1		
Soft Mute Unit	1		
Microcomputer	0		
ROM	4		
Sound category determini	1		
Selecting Unit	5		
Amplification System	1		
Loud Speaker	1		
Power System	2		
	29		

Figura 4.16: Dettaglio del calcolo del TCCI per la radio analogica

Per quanto riguarda, invece, l'analisi FCA, in figura 4.17 è riportato il grafico ottenuto. Esaminando attentamente questo grafico, si nota immediatamente lo spostamento delle funzioni verso le regioni del piano cartesiano più integrate; infatti, la maggior parte di queste si trova nella parte alta del grafico, tra la regione dell'*integral-consolidated* e l'*integral-complex*. Questo, infatti, indica che questa architettura è molto integrata e i componenti che ne fanno parte offrono più di una funzione contemporaneamente e, in alcuni casi, la stessa funzione è svolta da più componenti che, inevitabilmente devono lavorare insieme ed essere progettati insieme per garantire le migliori prestazioni possibili dell'artefatto.

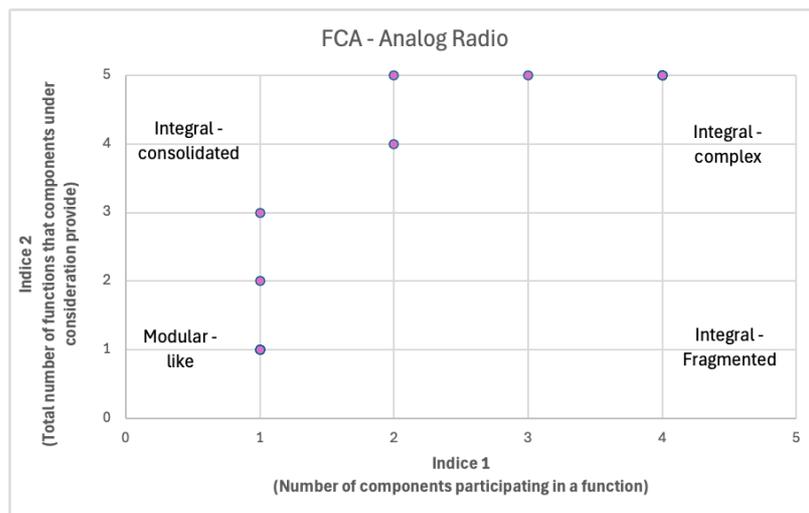


Figura 4.17: Analisi FCA della radio analogica

Le ipotesi che si erano fatte dall'osservazione dell'albero funzionale risultano essere state verificate tramite queste due analisi quantitative che hanno, praticamente, confermato l'integralità dell'artefatto analogico.

Passando, invece, all'analisi della versione digitale della radio, si sono condotti gli stessi identici studi. Il TCCI è circa pari a 0,154, quindi molto basso e piuttosto vicino allo 0; in figura 4.18 è possibile vedere il dettaglio del calcolo condotto, in cui il numero dei componenti è 23 mentre $\Phi(j)$ vale 27.

Componente	Fi(j)	d	
Digital Radio	0		23
Antenna	1		
Corpo Principale	0		
Power System	2		
Input Unit	2		
Front-End Unit	1		
A/D	1	TCCI	0,15384615
Orthogonal Demodulator	1		
FFT	1		
Channel Decoder	1		
DSP	2		
Transmitting Statio D.U	1		
Positional D.U	1		
Timer Circuit	1		
Microcomputer	1		
Geographical Memory	1		
Program Selection Memor	1		
Display System	1		
Ensemble Seek Means	1		
First Memory	1		
Second Memory	1		
MPEG Decoder	2		
D/A	1		
Amplification System	1		
Loud Speacker	1		
	27		

Figura 4.18: Dettaglio del calcolo del TCCI per la radio digitale

Questo valore dell'indice TCCI, come già riportato, è molto basso e vicino allo zero; questo, quindi, indica un grado molto basso di comunanza, associato, perciò, ad un più alto grado di modularità dell'architettura. Studiando l'analisi FCA condotta e il grafico ottenuto (*figura 4.19*) si può notare che, per la maggioranza delle funzioni riportate, questo spostamento verso una maggiore modularità è verificato; queste ricadono per lo più nella zona del modular-like, identificando, dunque, un andamento modulare. C'è una sola funzione che rientra di poco nella regione dell'*integral-consolidated*. Come già spiegato, in questa regione, ricadono le funzioni che sono svolte da un componente che, a sua volta, esegue più funzioni contemporaneamente. La funzione che ricade qui è "Trasmettere un comando" e probabilmente questa situazione si è verificata perché il componente che svolge questa funzione è l'unità di input; quest'ultima consiste in tutti i bottoni e manopole che regolano non solo la trasmissione di un comando generale ma anche il volume, considerato come una funzione a parte. Questa sovrapposizione di funzioni dovuta alla struttura dell'albero, perciò, ha generato quella posizione della funzione nel grafico. In conclusione, dunque, si può affermare che l'architettura della radio digitale sia più spostata verso una struttura modulare.

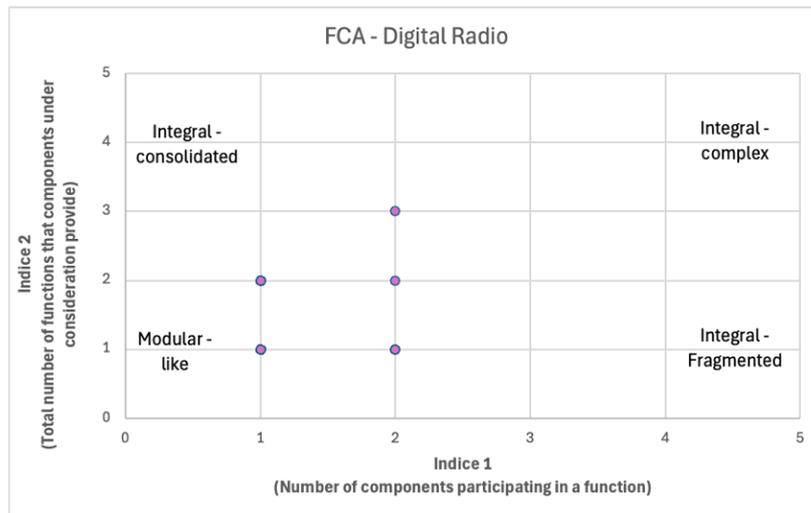


Figura 4.19: Analisi FCA della radio digitale

In ultima analisi, rimangono da ultimare le considerazioni a livello di diffusione.

4.2.3 Tasso di diffusione

La radio è uno strumento che ha avuto un enorme successo fin dalla sua introduzione nel mercato. La diffusione della radio analogica tra gli *household* statunitensi è avvenuta in modo praticamente naturale; questo, probabilmente, era anche merito dell'enorme innovazione che è stata la radio per le persone e per la politica del tempo, che ne ha sicuramente influenzato l'acquisto. In un certo senso, è possibile affermare che l'adozione della radio analogica sia avvenuta in maniera molto veloce; questa, infatti, è stata introdotta nel mercato nel 1922 e già nel 1923 aveva ottenuto un tasso di penetrazione dell'1%, raggiungendo così gli *innovators*; l'anno dopo, nel 1924, raggiunse la soglia degli *early adopters*, con il 7,8% di tasso. Nel 1926, superò il "chasm" con un *penetration rate* del 21% entrando nella categoria della *early majority* e nel 1929, con il 54,2%, arrivò alla *late majority*. Infine, raggiunse i *laggards*, l'ultima categoria di Rogers formata dagli ultimi adottatori possibili, nel 1933, con un tasso di penetrazione del 90,7% (Bowden e Offer 1994). In pratica, nel giro di 11 anni, la radio analogica è riuscita a raggiungere il 90% del mercato dei nuovi adottatori della tecnologia, dimostrando un'enorme velocità di diffusione (figura 4.20).

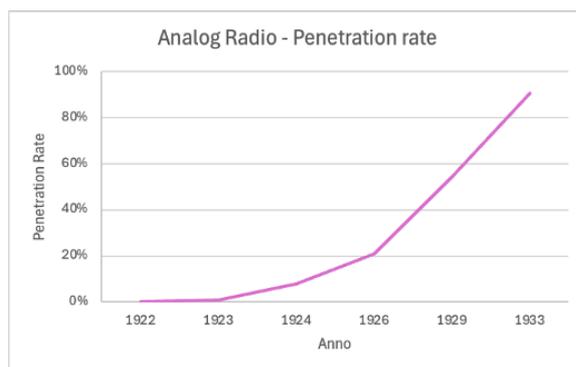


Figura 4.20: Grafico dell'andamento del *penetration rate* della radio analogica

Considerano, invece, la radio digitale: questa è una tecnologia ancora relativamente nuova e non sono stati trovati dati di diffusione; purtroppo da alcuni tesi analizzati questa sembra essere descritta come una tecnologia fallimentare; in 10 anni dalla sua introduzione, infatti, questa sembra avere una lentissima ascesa nel mercato e sembra non convincere abbastanza i consumatori (Lax et al. 2008). In alcuni paesi, come il Canada, in cui si è provato ad implementare la tecnologia DAB, quest'ultima non ha generato gli effetti sperati e, alla fine, è stata considerata un vero e proprio fallimento (O'Neill 2007) mentre in altri stati, come lo UK, l'implementazione della radio digitale sembra essere più florida e meglio accettata (Ala-Fossi 2008). Purtroppo, non avendo dei dati di diffusione puntuali è difficile fare un confronto o controllare la veridicità di queste affermazioni. Nonostante, questa iniziale titubanza e non accettazione dell'artefatto, recenti studi sembrano riportare una realtà ben diversa: sembra, infatti, che nell'ultimissimo periodo la DAB/DAB+ stia diventando sempre più accettata e adottata in Europa.

4.3 Televisione analogica vs digitale

4.3.1 Architettura di prodotto

L'ultimo prodotto da analizzare è la televisione. Come già anticipato, si sono considerate due tipologie di televisione analogica: quella in bianco e nero e quella a colori. Pur essendo entrambe una versione analogica dell'oggetto, la televisione a colori nacque come evoluzione di quella in bianco e nero e, quando fu introdotta, fu considerata come una vera e propria svolta. La televisione analogica in bianco e nero fu inventata nel 1927 (Kohli et al. 1999) ma solo nel 1939 fu introdotta nel mercato (Bayus 1992). Questa tecnologia si diffuse nel mercato e gli utilizzatori iniziarono a conoscerla: la televisione, così come la radio, è

considerata un elettrodomestico *time-using*, cioè elettrodomestici che usano il tempo dei consumatori, generando in loro soddisfazione (Bowden e Offer 1994). Nel 1949 è stata inventata la televisione a colori (Kohli et al. 1999), giunta sul mercato nel 1954 (Bayus 1992). In Italia, ad esempio, la televisione a colori non arrivò prima del 1977. L'avanzare delle tecnologie e dell'innovazione, però, non si è fermato: con l'avvento della digitalizzazione, anche la televisione è stata trasformata in un prodotto digitale. Nel 1987 fu inventata la tecnologia per la televisione digitale e quest'ultima fu introdotta nel mercato statunitense nel 1996 con una legge chiamata Telecommunication Act, promulgata per favorire l'acquisto e il passaggio dall'analogico al digitale. Di ognuna di queste tre tipologie di prodotto sarà condotta l'analisi dell'architettura.

La televisione analogica in bianco e nero, nei brevetti analizzati, è sempre descritta insieme al sistema di trasmissione delle immagini. Vale, quindi, la pena fare un piccolo affondo su questo aspetto. In particolare, questo sistema è formato da un sistema di videocamere per riprendere le immagini da proiettare e un sistema di microfoni per catturare i suoni. Le immagini catturate dalla videocamera sono amplificate e poi sottoposte a delle temporizzazioni con l'audio; infine, si genera il segnale corretto, si amplifica e si invia attraverso un'antenna verso un ricevitore in modo sincronizzato e temporizzato. In figura 4.21 è riportato il *block diagram* di questo sistema. Una volta inviato il segnale dall'antenna trasmittente, dall'altra parte ci sarà un ricevitore di questo segnale: la televisione in bianco e nero. Questa, come mostrato in figura 4.22, è costituita da un'antenna che capta il segnale e lo riceve; una volta ottenuto un segnale, tramite un *tuner* manuale si seleziona una determinata frequenza specifica. Selezionato il segnale preciso che si vuole visualizzare, questo è inviato ad un mixer e un oscillatore che lo modulano e poi ad un filtro di frequenza che lo ripulisce; inoltre, è presente un sistema che si occupa di mantenere stabili le immagini. A questo punto, il segnale è separato e da un lato si lavora sul segnale video mentre dall'altro avviene la separazione dei segnali di sincronismo; quest'ultimo passaggio serve per deflettere i raggi generati nei tubi catodici in modo da visualizzare le immagini e temporizzarle con il segnale audio. Questi due elementi, infine, convogliano nel CRT, *Cathod Ray Tube*, il sistema di schermo a tubi catodici, consentendo di visualizzare le immagini con il suono in modo corretto e in perfetto sincrono

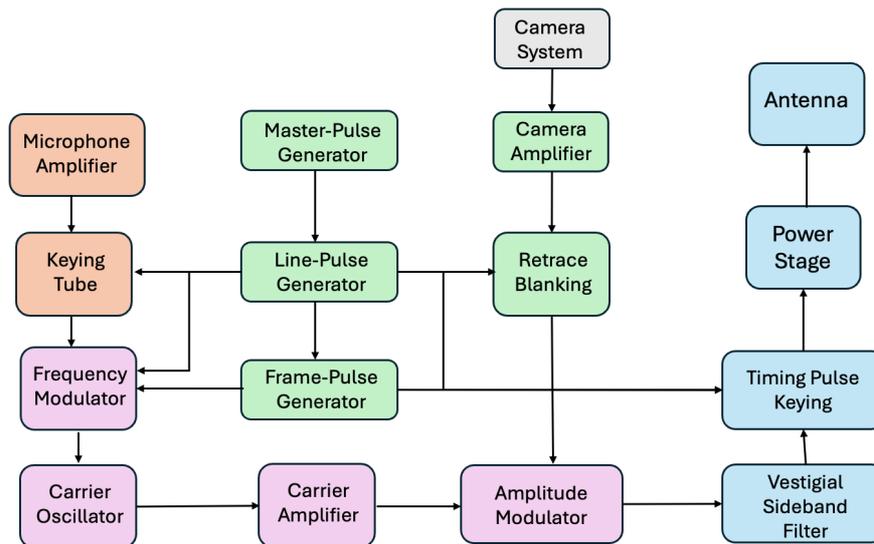


Figura 4.21: *Block Diagram* della trasmittente della TV bianco e nero

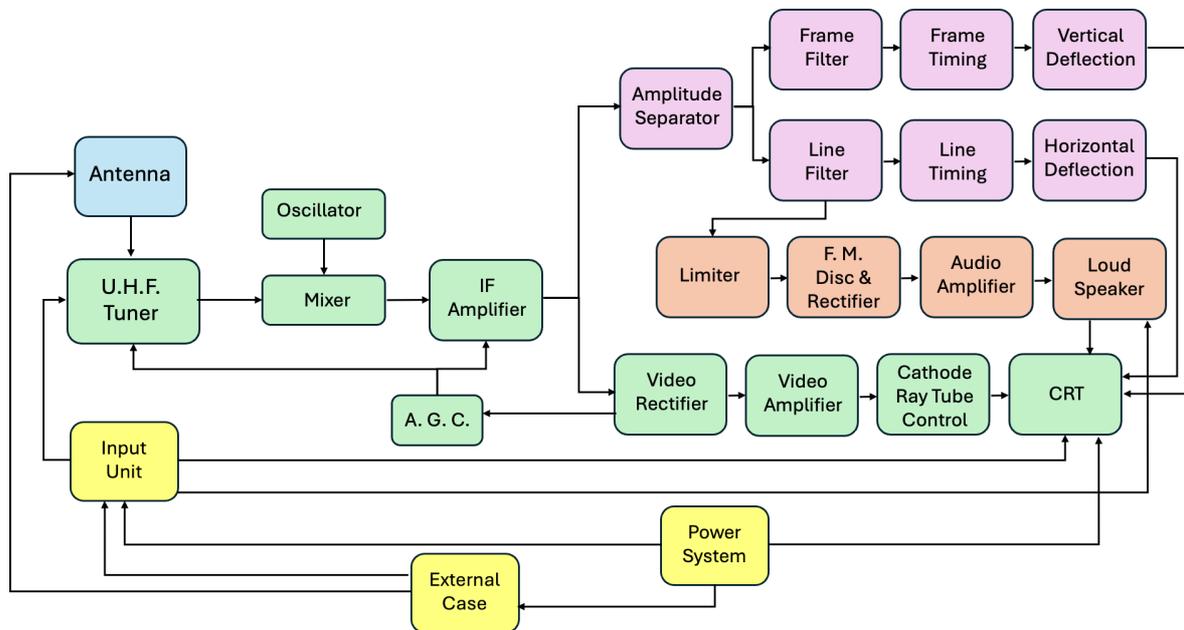


Figura 4.22: *Block diagram* della televisione analogica in bianco e nero

Descritto il funzionamento e presentati i componenti principali sia del sistema di trasmissione che del sistema di ricezione del segnale audio/video, si sono realizzati gli alberi funzionali dei componenti (*figura 4.23* e *figura 4.24* rispettivamente). In questi grafici è, dunque, possibile visualizzare nel dettaglio le funzioni svolte dai diversi componenti.

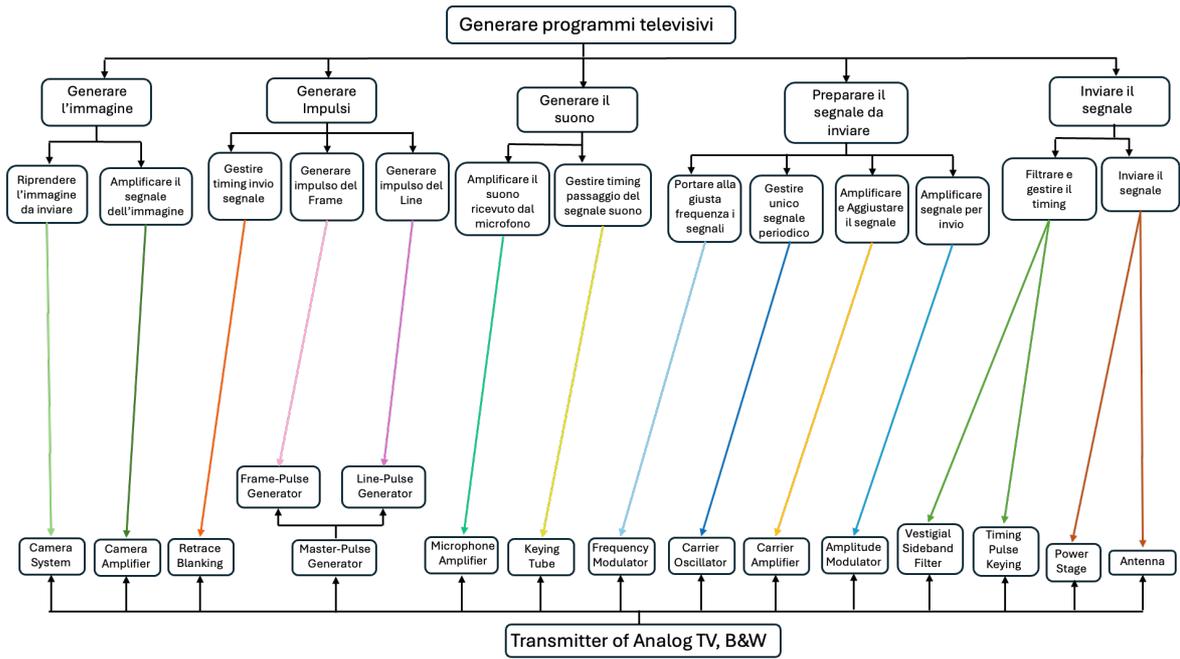


Figura 4.23: Albero funzionale dei componenti del sistema di trasmissione televisivo

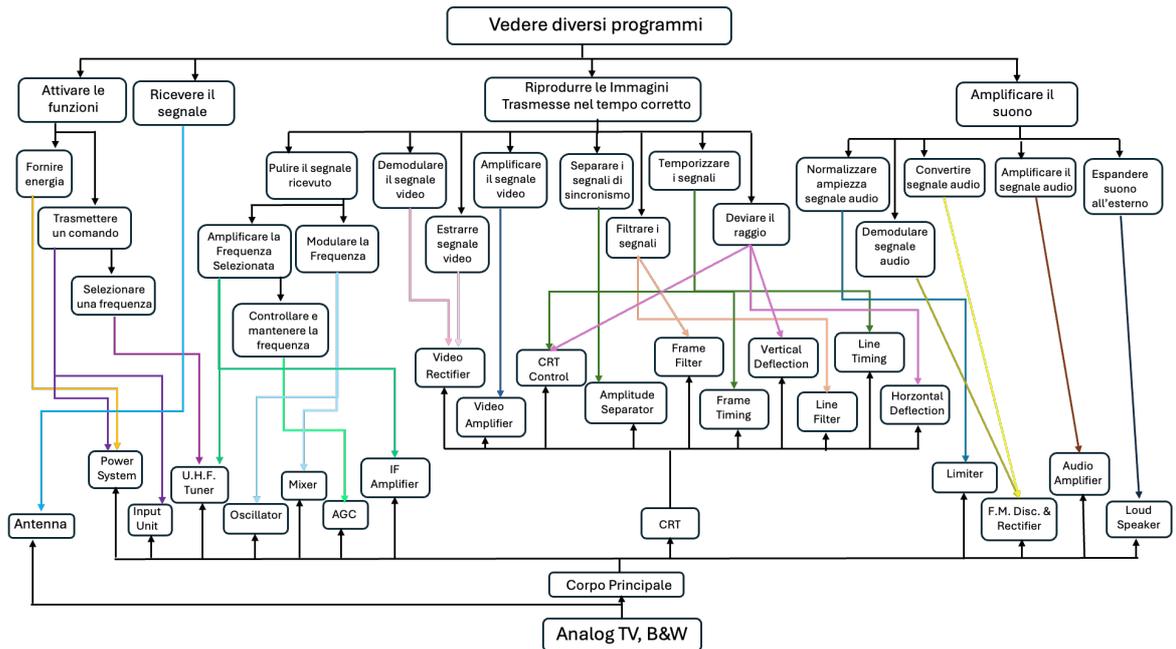


Figura 4.24: Albero funzionale dei componenti della televisione analogica in bianco e nero

Come è possibile osservare da questi schemi, si può affermare con abbastanza confidenza che il sistema di trasmissione sia modulare: in effetti, tranne per due funzioni che sono svolte entrambe da due componenti, tutti gli altri legami funzionali sono uno-a-uno. Con il calcolo delle analisi di modularità questo sarà definitivamente provato. Per quanto riguarda, il

ricevitore, invece, la situazione è un po' più complessa; infatti, le funzioni sono quasi sempre svolte da più componenti e alcuni componenti eseguono più funzioni contemporaneamente. Attenzionando l'albero qui ottenuto, quindi, è difficile essere sicuri della modularità di questa architettura; in effetti, questa potrebbe presentare delle funzioni un po' più integrate. Con l'analisi della modularità questo aspetto sarà analizzato più approfonditamente.

Rimanendo sempre su una tecnologia analogica, si passa all'analisi della televisione a colori. La struttura di questo artefatto è più complessa di quella precedente; il funzionamento è simile e per tutta la parte iniziale e per la parte di sincronizzazione i componenti sono analoghi (figura 4.25). La grande novità introdotta in questa innovazione riguarda principalmente la gestione dei colori.

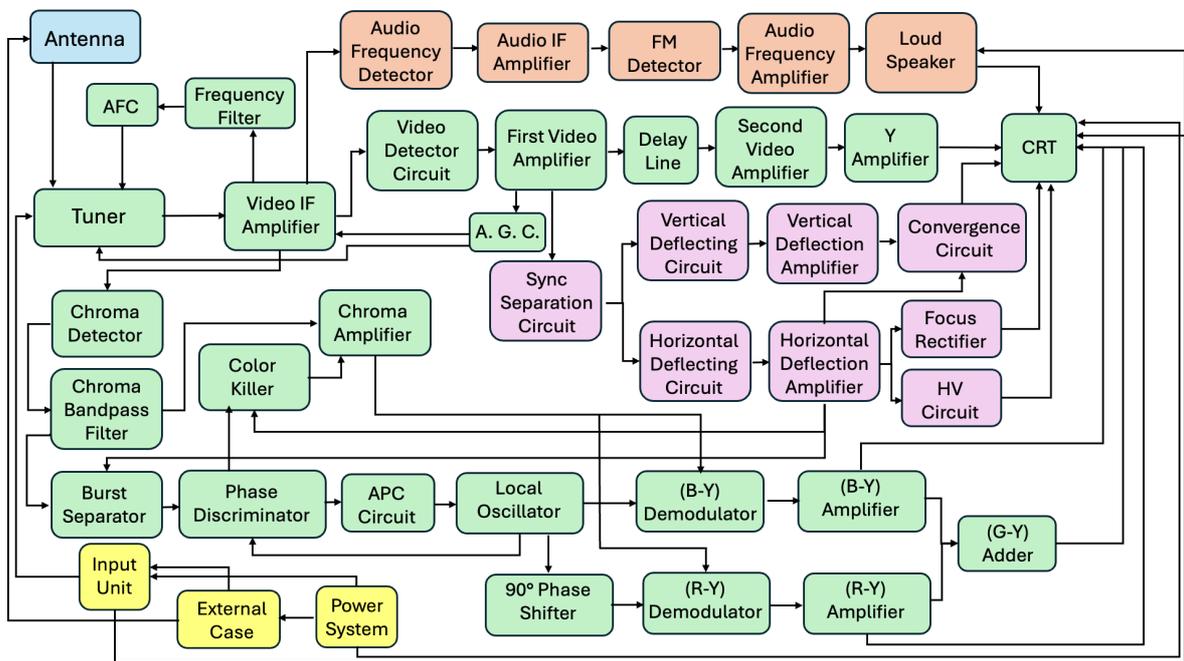


Figura 4.25: Block diagram della televisione analogica a colori

Come si può vedere dal *block diagram*, questa architettura è sempre formata da un'antenna che riceve il segnale, un tuner per selezionare la frequenza, in questo caso può anche essere automatico oltre che manuale, e un amplificatore della frequenza del video. Una volta amplificato il segnale, quest'ultimo è diviso tra segnale audio, processato a parte, e segnale video, in cui si verificano tutte le fasi di deflessione dei raggi catodici. In questa manipolazione del segnale video, avvenuti tutti i passaggi, si amplifica la luminanza. Quest'ultima rappresenta la quantità di luce emessa o riflessa da una superficie, identificando le zone di ombra e le zone di luce dell'immagine processata. A questa

luminanza sono successivamente aggiunti i colori in modo da ottenere le immagini fedeli a quelle riprese; i colori che si aggiungono sono i tre colori primari, blu, rosso e verde, che combinati tra loro e con la luminanza generano tutti gli altri. Il processo per definire i colori avviene in un circuito separato in cui inizialmente questi sono identificati, filtrati e separati. Infine, si demodulano e amplificano i colori, a cui era stata tolta la luminanza, e si aggiunge il verde; tutto questo avviene all'interno del CRT, dove le immagini sono visualizzate sullo schermo. Tutti questi passaggi e le funzioni svolte dai componenti individuati sono state descritte più compiutamente nell'albero funzionale dei componenti, riportato in figura 4.26. Per una questione di semplificazione delle analisi e dei calcoli degli indici della modularità, in figura 4.27 è, invece, riportato un albero funzionale dei componenti semplificato; in quest'ultima versione si è proceduto a semplificare il processo di demodulazione dei colori, identificando un'unica funzione, e un unico componente per trattare il processo dei colori blu e rosso.

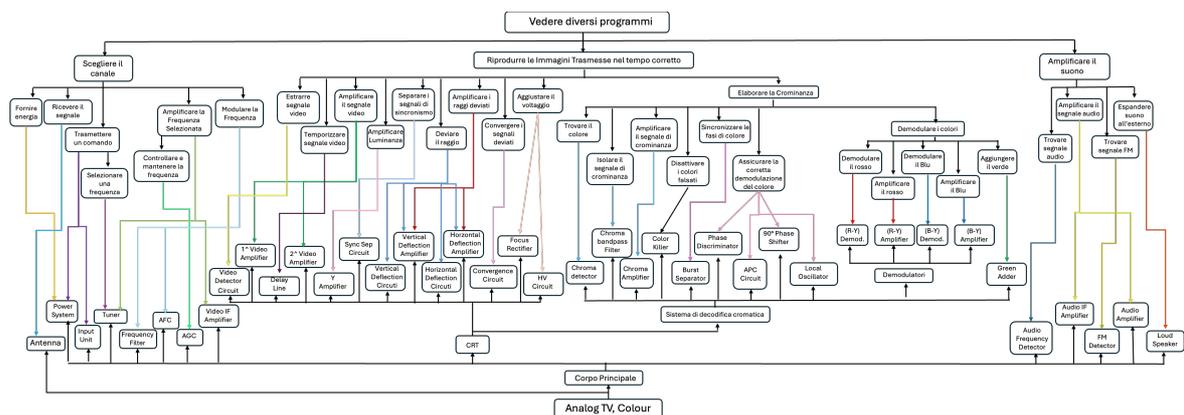


Figura 4.26: Albero funzionale dei componenti della televisione analogica a colori, prima versione

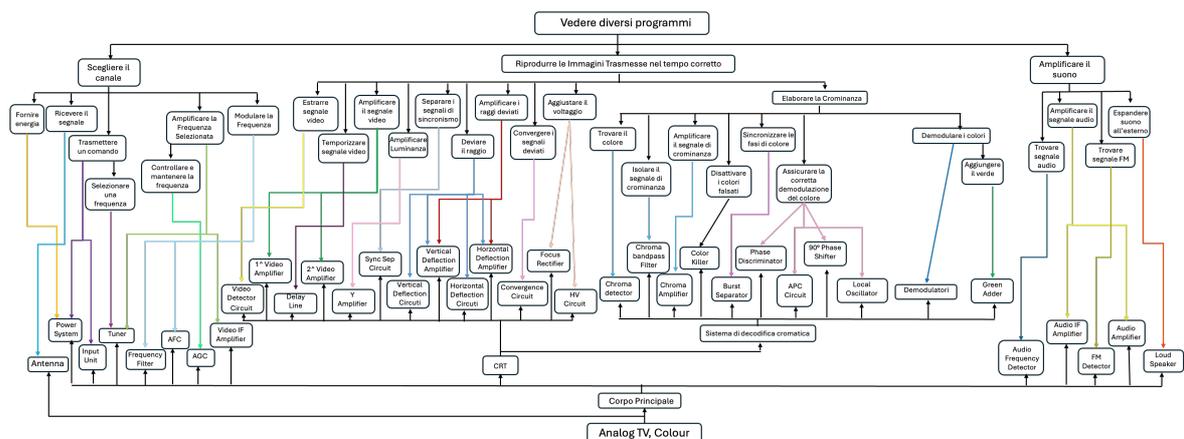


Figura 4.27: Albero funzionale dei componenti della televisione analogica a colori, seconda versione

Questo albero funzionale sembra avere più connessioni uno-a-uno rispetto al caso precedente della televisione analogica in bianco e nero; questo porterebbe ad affermare che durante l'evoluzione della tecnologia televisiva sia già avvenuto un primo passaggio verso una maggiore modularità. Questo potrà essere affermato con maggiore certezza solamente in seguito ad una analisi quantitativa della modularità, anche se, solamente osservando questo grafico appare già sufficientemente chiaro.

Infine, si è analizzata la versione digitale della televisione. Il *block diagram* di questo artefatto, mostrato in figura 4.28, è molto più semplice rispetto ai due precedenti. Infatti, rispetto soprattutto alla versione analogica a colori sembra esserci stata una semplificazione nella struttura. Il funzionamento è molto simile, infatti, c'è sempre un'antenna che riceve il segnale; quest'ultimo è selezionato sulla giusta frequenza dal tuner e, dopo essere stato decodificato e decifrato, è diviso in due: il segnale audio, processato e amplificato per essere udibile, e il segnale video, che viene decodificato e trasformato in un segnale compatibile per essere proiettato sullo schermo.

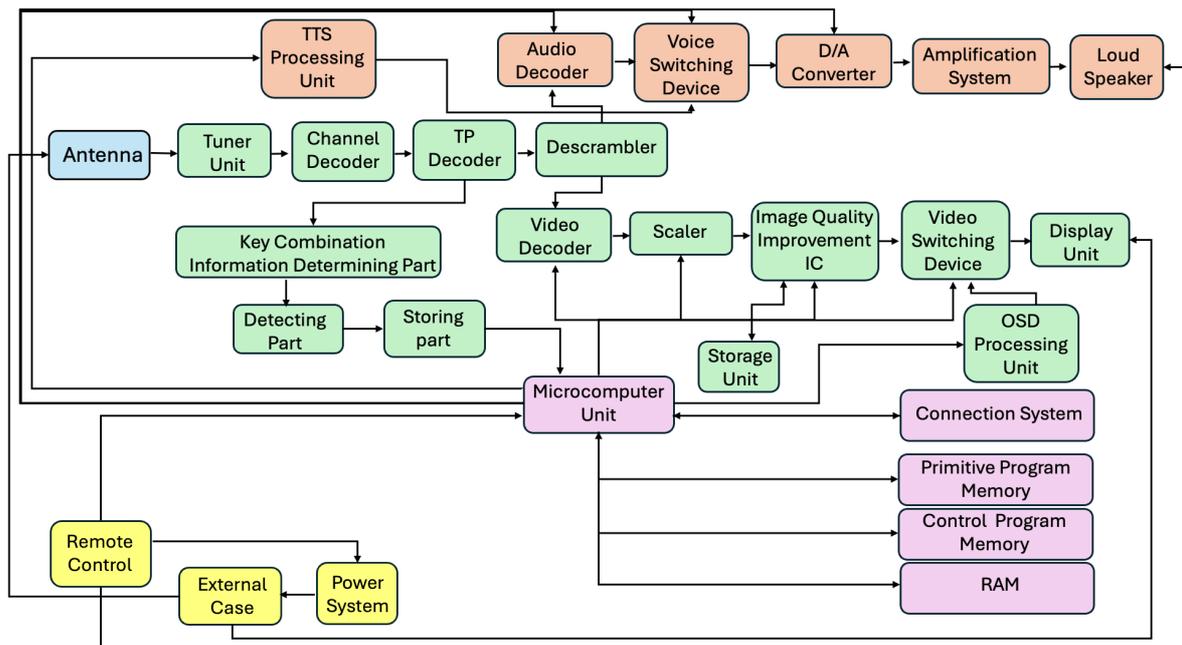


Figura 4.28: *Block diagram* della televisione digitale

Come è possibile notare da questo diagramma, rispetto ai casi precedenti, ci sono alcune importanti differenze: la prima è il tipo di segnale ricevuto; questo è infatti un segnale digitale, inviato e ricevuto in digitale. Un'altra importante differenza è lo schermo: qui, infatti c'è un display e non più una tecnologia a tubi catodici. Inoltre, si nota subito la

presenza di un microcomputer che gestisce e regola tutte le funzioni, occupandosi anche di gestire il programma software che permette alla televisione di funzionare, di salvarlo attraverso le memorie di programma e la RAM, e di aggiornarlo, o attraverso aggiornamenti manuali, tramite il sistema di connessione, o tramite software inviati via etere e recepiti dall'antenna. Altra novità introdotta in questa versione digitale è il telecomando da remoto; nelle due precedenti strutture c'era un'unità di input composta da bottoni e manopole incassate direttamente sul corpo del dispositivo, mentre qui si utilizza un telecomando e una memoria per salvare le combinazioni dei tasti di quest'ultimo e attivare più in fretta le funzioni. Le funzioni specifiche di questo dispositivo sono riportate nel suo albero funzionale dei componenti (figura 4.29).

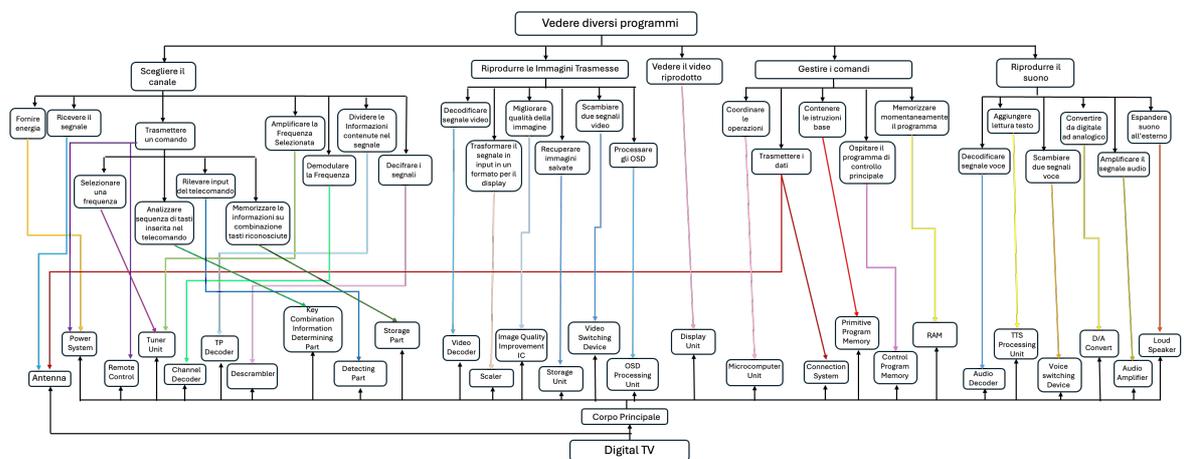


Figura 4.29: Albero funzionale dei componenti della televisione digitale

Questo albero funzionale è molto lineare e pulito, si vede subito che c'è una forte presenza di legami uno-a-uno tra le funzioni e i componenti; nella maggioranza dei casi, infatti, i componenti svolgono una e una sola funzione e le funzioni sono svolte da un solo componente. Ci sono solamente tre componenti che svolgono più di una funzione e sono gli stessi osservati anche negli altri due casi: infatti, il sistema di alimentazione dell'energia svolge sempre due funzioni: "fornire energia" e "trasmettere un comando", così come il tuner svolge sempre le funzioni di selezione di una frequenza e di amplificazione del segnale. Qui, si aggiunge una funzione svolta dall'antenna: gli aggiornamenti del sistema software di funzionamento della televisione. In conclusione, dunque, con un buon grado di sicurezza, si può affermare che la televisione digitale abbia una struttura altamente modulare; ovviamente, questo verrà testato tramite i calcoli degli indici di modularità.

4.3.2 Calcolo dell'indice di comunanza e analisi FCA

Analizzate le architetture di prodotto e trovati gli alberi funzionali di questi si passa ora all'analisi delle misure quantitative.

La televisione analogica in bianco e nero è il primo artefatto analizzato. Per quanto riguarda il sistema di trasmissione della televisione analogica in bianco e nero, questo è completamente modulare; infatti, il suo indice TCCI è pari a 0 ($d=15$ e $\Phi(j)=15$) e tutte le sue funzioni ricadono nell'area *modular-like* dell'analisi FCA (figura 4.30)

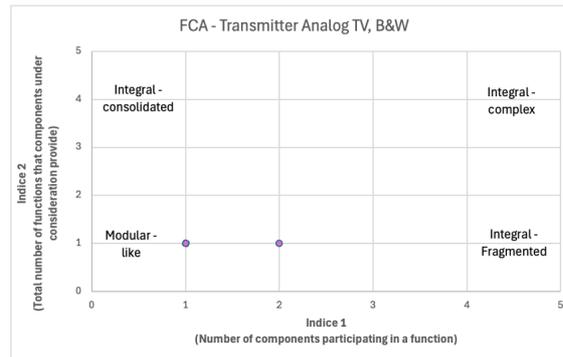


Figura 4.30: Analisi FCA della trasmittente televisiva

Passando al ricevitore del segnale si parte, come fatto finora, dal suo albero funzionale in cui si contano 22 componenti. Per quanto riguarda $\Phi(j)$ questo vale 27. Applicando la formula (1) si trova un TCCI del valore di 0,192 (figura 4.31).

Componente	Fi(j)	d	
Analog TV, B&W	0		22
Antenna	1		
Corpo Principale	0		
Power System	2		
Input Unit	1		
U.H.F. Tuner	2	TCCI	0,19230769
Oscillator	1		
Mixer	1		
AGC	1		
IF Amplifier	1		
CRT	0		
Video Rectifier	2		
Video amplifier	1		
CRT Control	2		
Amplitude Separator	1		
Frame Filter	1		
Frame Timing	1		
Vertical Deflection	1		
Line Filter	1		
Line Timing	1		
Horizontal Deflector	1		
Limiter	1		
F.M Disc & Rectifier	2		
Audio Amplifier	1		
Loud Speaker	1		
	27		

Figura 4.31: Dettaglio del calcolo del TCCI per la televisione analogica in bianco e nero

Il risultato è abbastanza in linea con quanto emerso dalla sola analisi dell'albero funzionale: questo valore di comunanza, in effetti, non è altissimo, poco meno del 20%, e indica, dunque,

che il prodotto è più spostato verso la modularità che non l'integrazione ma sicuramente ci sarà qualche funzione più integrata all'interno dell'architettura. In effetti, esaminando l'analisi FCA di questo artefatto (figura 4.32) due funzioni, "temporizzare i segnali" e "deviare i raggi", ricadono all'interno della regione *integral-fragmented*: queste due funzioni, infatti, sono svolte entrambe da tre componenti che non svolgono nessun'altra funzione, come prevede la definizione di questa zona. In conclusione, dunque, è possibile affermare che, nonostante si tratti di una tecnologia analogica, questa presenta già un buon grado di modularità, anche se ha ancora qualche elemento di integrazione.

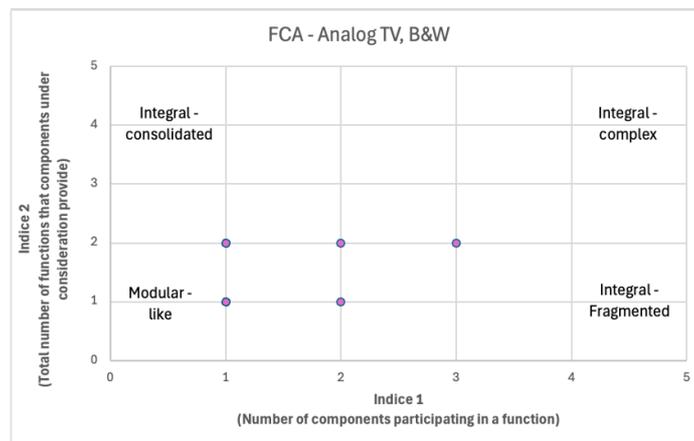


Figura 4.32: Analisi FCA della televisione analogica in bianco e nero

Terminata l'analisi della televisione analogica in bianco e nero, si prosegue svolgendo gli stessi passaggi con l'analisi quantitativa di quella a colori. Sempre applicando la formula del TCCI con d pari a 37 e $\Phi(j)$ pari a 41, si ottiene un indice dal valore di 0,1. Questo valore molto basso, indica che la televisione a colori presenta una basso indice di comunanza, quindi un elevato grado di modularità. Questo risultato, mostrato in dettaglio in figura 4.33, è in linea con l'analisi svolta riguardo all'albero funzionale dei componenti. Conducendo l'analisi FCA si giunge sostanzialmente allo stesso risultato; si nota, però, che quel valore di TCCI non è zero, quindi una piccola componente di integrazione è comunque presente: osservando bene il grafico ottenuto (figura 4.34) si vede subito che ci sono due funzioni che ricadono nella zona dell'*integral-fragmented*. Le due funzioni più integrate sono quella legata alla deviazione dei raggi e quella sulla demodulazione dei colori, perciò questo risultato potrebbe essere dovuto solamente alle scelte di costruzione dell'albero. Ad ogni modo, in definitiva, questa innovazione risulta comunque avere un grado di modularità più alto rispetto all'innovazione precedente, dato il suo più basso indice di comunanza.

Componente	Fi(j)	d	
AnalogTV, Colour	0		37
Antenna	1		
Corpo Principale	0		
Power System	2		
Input Unit	1		
Tuner	2	TCCI	0,1
Frequency Filter	1		
AFC	1		
AGC	1		
Video IF Amplifier	1		
CRT	0		
Video Detector Circuit	1		
1° Video Amplifier	1		
Delay Line	1		
2° Video Amplifier	1		
Y Amplifier	1		
Sync Sep Circuit	1		
Vertical Deflection Circuit	1		
Vertical Deflection Amplifier	2		
Horizontal Deflection Circuit	1		
Horizontal Deflection Amplifier	2		
Convergence Circuit	1		
Focus Rectifier	1		
HV Circuit	1		
Sistema di decodifica Cromatica	0		
Chroma Detector	1		
Chroma bandpass Filter	1		
Chroma Amplifier	1		
Color Killer	1		
Burst Separator	1		
Phase Discriminator	1		
APC Circuit	1		
90° Phase Shifter	1		
Local Oscillator	1		
Demodulator	1		
Green adder	1		
Audio Frequency Detector	1		
Audio IF Amplifier	1		
FM Detector	1		
Audio Amplifier	1		
Loud Speaker	1		
	41		

Figura 4.33: Dettaglio del calcolo del TCCI per la televisione analogica a colori

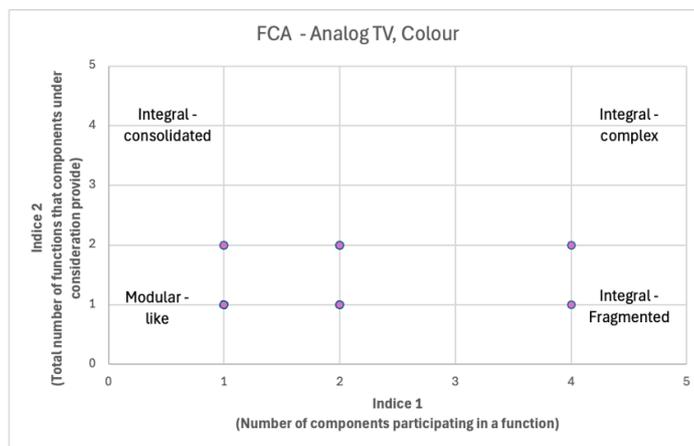


Figura 4.34: Analisi FCA della televisione analogica a colori

Infine, si termina questa analisi calcolando l'indice TCCI e conducendo l'analisi FCA per la televisione digitale. L'indice TCCI di questa è pari a 0,1. In effetti, questo dispositivo è composto da 28 componenti che hanno 31 nodi padri ($\Phi(j)=31$); il dettaglio di questo calcolo è visibile in figura 4.35. Il risultato non è del tutto sorprendente, anzi, è in linea con l'analisi osservativa condotta sull'albero funzionale; in effetti, il basso indice di comunanza è un chiaro indice del più alto grado di modularità all'interno dell'artefatto. Ovviamente,

quest'ultimo non è perfettamente modulare, dato che il TCCI è diverso da zero, ma è molto poco integrato. La conferma definitiva di questo risultato arriva con l'analisi FCA condotta (figura 4.36) in cui tutte le funzioni ricadono all'interno della regione *modular-like*, indicando dunque che la televisione digitale è un prodotto che presenta un'architettura estremamente modulare.

Vista una panoramica sulle architetture di queste tre tipologie di televisione e capito come questa si è evoluta nel tempo, si analizzano ora i dati di diffusione trovati, in modo da capire un po' più attentamente come è avvenuta la diffusione.

Componente	Fi(j)	d	
Digital TV	0		28
Antenna	2		
Corpo Principale	0		
Power System	2		
Remote Control	1		
Tuner Unit	2	TCCI	0,1
Channel Decoder	1		
TP Decoder	1		
Descrambler	1		
Key Combination Infrom	1		
Detecting Part	1		
Storage Part	1		
Video Decoder	1		
Scaler	1		
Image Quality Improveme	1		
Storage Unit	1		
Video Switching Device	1		
OSD Processing Unit	1		
Display Unit	1		
Microcomputer Unit	1		
Connection System	1		
Primitive Program Memory	1		
Control Program Memory	1		
RAM	1		
Audio Decoder	1		
TTS Processing Unit	1		
Voice Switching Device	1		
D/A Convert	1		
Audio Amplifier	1		
Loud Speaker	1		
	31		

Figura 4.35: Dettaglio del calcolo del TCCI per la televisione digitale

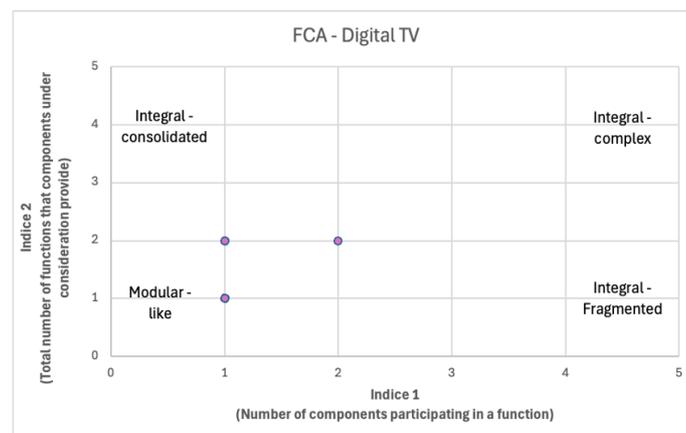


Figura 4.36: Analisi FCA della televisione digitale

4.3.3 Tasso di diffusione

La televisione, fin dalla sua prima apparizione sul mercato, ha avuto molto successo tra gli utilizzatori e questo è dimostrato soprattutto dalla velocità con cui sono state raggiunte le categorie di Rogers, specchio di come i consumatori hanno percepito la tecnologia. Infatti, la televisione in bianco e nero, in soli 10 anni dalla sua re-introduzione nel mercato, subito dopo la fine seconda guerra mondiale (1948), raggiunse circa l'80% degli *household* americani (Bowden e Offer 1994). Si parla di re-introduzione perché, in realtà, la televisione fu introdotta per la prima volta nel 1939 e, per ovvi motivi, legati al periodo storico di quegli anni, la sua diffusione non fu immediata. Nell'anno della sua re-introduzione nel mercato, però, questa tecnologia ebbe un riscatto: convinse sia gli *innovators* che gli *early adopters*, raggiungendo il 2,9% delle vendite di nuova adozione. Nel 1950 ottenne il 26,4% delle vendite di prima adozione, superando il *chasm* con la categoria dell'*early majority*. Nel 1953, anche la *late majority* fu toccata con il 63,1% delle vendite. Infine, nel 1957, conquistò anche i *laggards*, ottenendo l'87% del mercato (Bowden e Offer 1994).

Anche la televisione a colori si diffuse velocemente nel mercato; ovviamente questa ottenne un lieve beneficio dal fatto che si trattasse di una tecnologia già conosciuta che, però, introduceva un'importante novità: quella del realismo delle immagini. Ci vollero ben otto anni dalla sua introduzione nel mercato per ottenere le prime adozioni; nel 1961 le vendite raggiunsero gli *innovators* con l'1% del mercato. Successivamente le vendite arrivarono al 5,1% nel 1963 rientrando nella categoria degli *early adopters* e poi, giunsero nel 1966 alla *early majority* con il 26,2% delle vendite di prima adozione. Nel 1970, con il 51,1%, conquistarono la *late majority* e nel 1977 toccarono l'ultima categoria dei *laggards*, con l'85,2% del mercato conquistato (Bowden e Offer 1994). In figura 4.37, sono riportati in dettaglio gli andamenti del *penetration rate* per entrambi questi due prodotti.

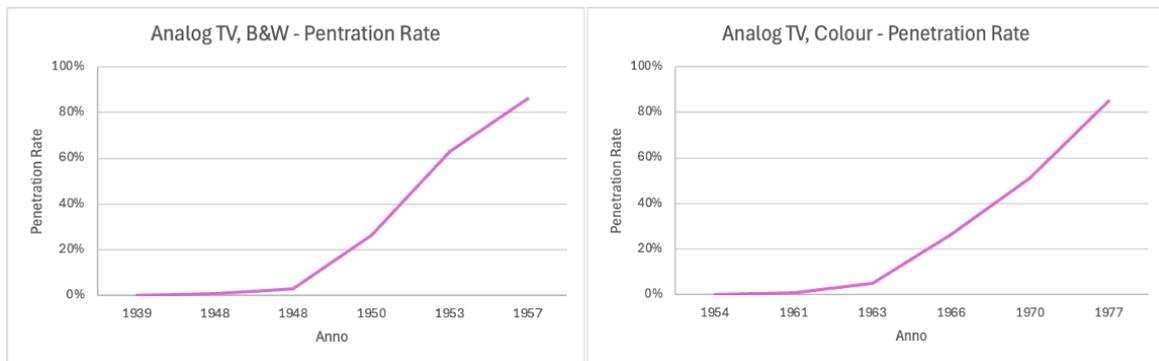


Figura 4.37: Grafico dell'andamento del *penetration rate*: televisione analogica in bianco e nero a sinistra e a colori a destra

Infine, per quanto riguarda l'analisi della diffusione della televisione digitale non sono stati trovati molti dati di diffusione. La sua introduzione sul mercato è avvenuta meno di 30 anni fa, nel 1996, perciò non è stato possibile trovare dei dati sufficientemente esplicativi. L'unico dato trovato è quello relativo agli *innovators*, in cui si è raggiunto l'1% del mercato nel 2002 (Rhodes 2004). Vista la scarsità di dati a disposizione non è stato possibile fare ulteriori analisi o affermazioni per quanto riguarda la televisione digitale.

Con questo studio, dunque, sono terminate le analisi sulle architetture dei tre casi studio affrontati, facendo un approfondimento sulle loro caratteristiche e sul loro grado di modularità. In questo modo, dunque, si è potuto capire ancora più a fondo come si sono evolute le strutture con l'avvento della digitalizzazione e come e in quanto tempo queste si sono diffuse nel mercato.

5. Conclusioni

Nel capitolo precedente sono stati mostrati i risultati ottenuti dalla analisi e dagli studi condotti sull'architettura di prodotto dei tre casi studio selezionati, mentre, nel presente capitolo, saranno presentate le conclusioni tratte dall'analisi svolta. Infine, per concludere il lavoro, saranno indicati alcuni spunti per degli eventuali sviluppi futuri.

5.1 Analisi dei dati e conclusioni

I risultati riportati nel capitolo precedente sono relativi ai singoli prodotti delle coppie e spiegano, in dettaglio, la struttura e il livello di modularità del singolo prodotto. Per validare l'ipotesi sui livelli crescenti di modularità negli artefatti digitali, si devono andare a svolgere dei confronti tra i dati ottenuti per le architetture delle versioni analogiche e quelli ottenuti per le architetture delle versioni digitali. In particolare, questa analisi di confronto è facilmente realizzabile attraverso le misure quantitative adottate. Queste, infatti, offrono delle misure di modularità matematiche che sono confrontabili tra loro in modo oggettivo, permettendo, dunque, di giungere ad un risultato certo e veritiero.

La prima tra le due misure quantitative ad essere stata messa a confronto è stato l'indice TCCI e, osservandone i risultati ottenuti, si può affermare che gli artefatti digitali siano più modulari dei corrispettivi artefatti analogici. Infatti, il TCCI dei prodotti digitali risulta essere sempre minore rispetto a quello dei prodotti analogici (*tabella 5.1*), dimostrando che i prodotti digitali hanno una minore comunanza di funzioni e, quindi, una maggiore modularità.

Tabella 5.1: Confronto tra TCCI dei prodotti analogici e TCCI dei prodotti digitali

PRODOTTO	TCCI della versione ANALOGICA	TCCI della versione DIGITALE
Macchina fotografica	0,30769231	0,13636364
Radio	0,5	0,15384615
Televisione in bianco e nero	0,19230769	0,1
Televisione a colori	0,1	

Esaminando bene questa tabella riassuntiva, è immediatamente visibile che, in tutti i casi studiati, l'indice TCCI dei prodotti digitali è sempre più piccolo dell'indice TCCI dei prodotti analogici. Solamente la televisione rappresenta un'eccezione. Come riportato in

tabella, sebbene l'indice relativo alla televisione analogica in bianco e nero sia superiore a quello degli altri due artefatti con cui si è effettuato il confronto, la televisione analogica a colori e la televisione digitale risultano avere lo stesso valore di TCCI. Questo risultato non contraddice quanto emerso precedentemente ma non permette nemmeno di affermare con certezza la maggiore modularità della versione digitale dell'artefatto.

L'analisi FCA, condotta insieme a quella sull'indice TCCI, permette di aggiungere delle considerazioni più specifiche a complemento del risultato ottenuto dal confronto tra gli indici. I grafici ottenuti, infatti, validano ulteriormente la maggiore modularità delle versioni digitali degli artefatti, permettendo anche di fare ulteriori considerazioni sul sistema televisione. In generale, le coppie di prodotto della macchina fotografica e della radio presentano un numero superiore di funzioni che ricadono all'interno della regione *modular-like* rispetto a quelle che rientrano nelle aree con gradi più intensi di integrazione, come l'*integral-complex*. Questo aspetto è ben rappresentato dal caso studio sulla radio (figura 5.1).

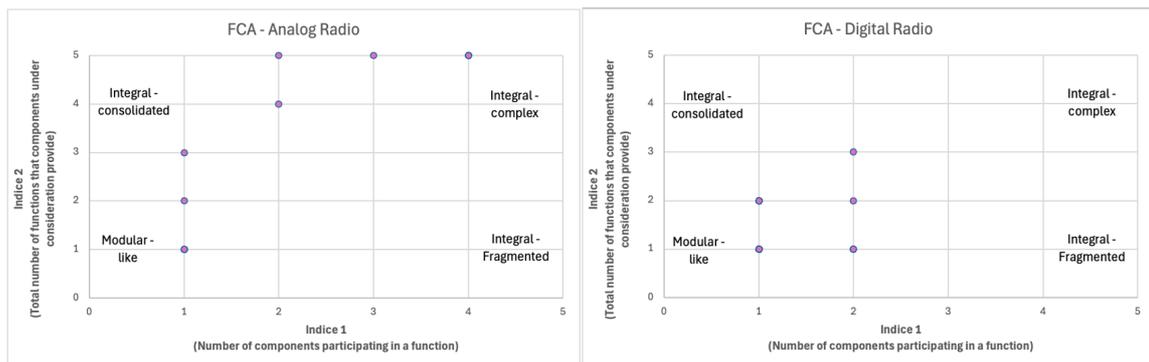


Figura 5.1: Confronto tra le due analisi FCA della radio

Nel caso della macchina fotografica, oltre alle funzioni ricadute nella regione della *modular-like*, la versione digitale presenta tre funzioni che ricadono nell'area dell'*integral-fragmented* (figura 5.2); questo indica, perciò, l'esistenza di funzioni che sono abilitate da uno o più componenti che lavorano insieme ma che non sono coinvolti in altre funzioni. Questi componenti, dunque, potrebbero essere considerati come dei moduli. La versione analogica, invece, riporta una sola funzione nell'area dell'*integral-complex* (figura 5.2), dove più componenti svolgono più funzioni generando, così, una forte integrazione all'interno dell'architettura di prodotto. Combinando, quindi, queste considerazioni con il risultato ottenuto dall'indice di comunanza, è possibile affermare che anche in questo caso

la versione analogica di questo artefatto presenta un'architettura più integrata rispetto alla versione digitale.

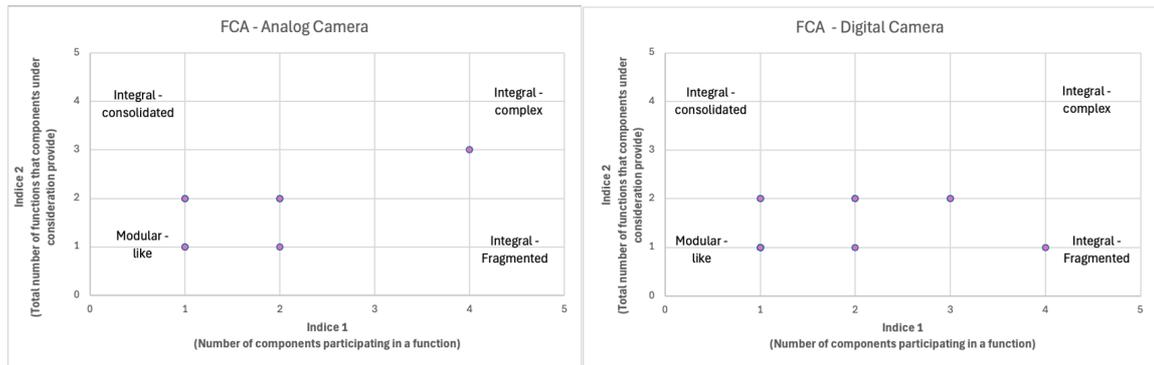


Figura 5.2: Confronto tra le due analisi FCA della macchina fotografica

Come anticipato, l'analisi FCA dei sistemi televisivi consente di superare il limite generato dall'uguaglianza dell'indice TCCI della televisione analogica a colori con quello della televisione digitale, permettendo di fare considerazioni più dettagliate. Grazie a questa analisi della struttura del prodotto è, infatti, possibile affermare la maggiore modularità della televisione digitale rispetto a quella analogica. Mettendo a confronto i tre grafici FCA qui ottenuti (figura 5.3) è immediatamente visibile che tutte le funzioni della televisione digitale, a differenza delle versioni analogiche, ricadono all'interno della regione del *modular-like*, dimostrando, dunque, un maggiore livello di modularità dell'architettura.

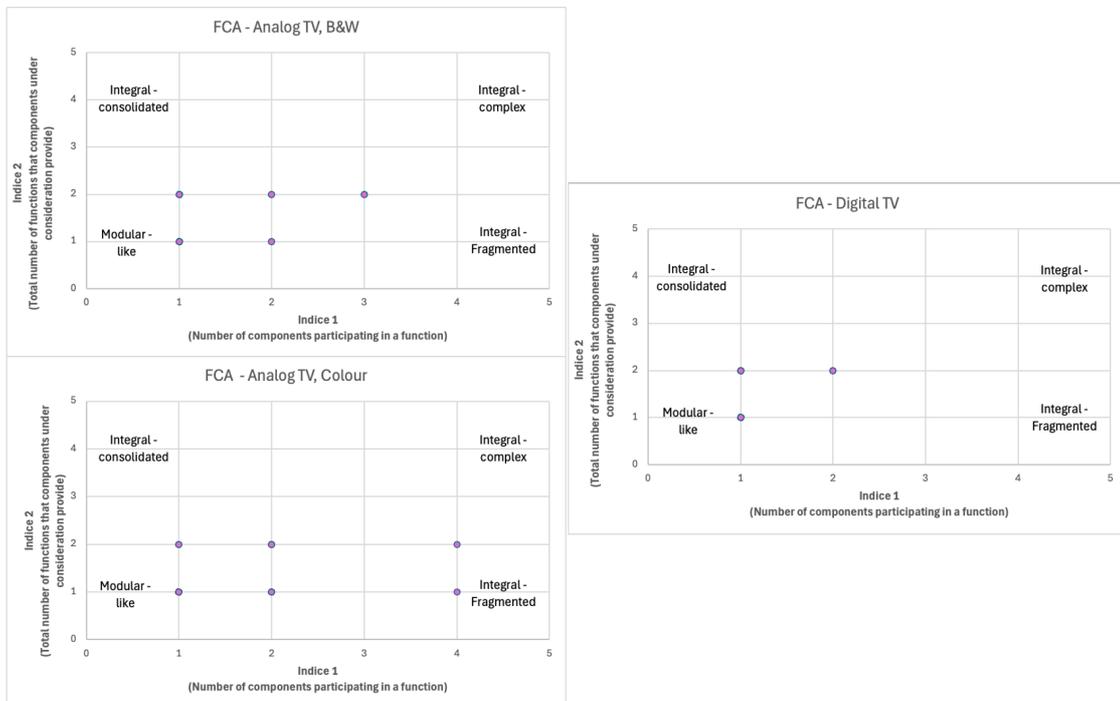


Figura 5.3: Confronto tra le tre analisi FCA della televisione

In conclusione, tramite queste due analisi quantitative si è riusciti a dimostrare che gli artefatti digitali presentano dei livelli crescenti di modularità rispetto agli artefatti analogici, dimostrando definitivamente che tutti i prodotti digitali analizzati sono più modulari dei prodotti analogici.

Passando, invece, all'analisi sul legame tra i livelli crescenti di modularità e le dinamiche di innovazione, le uniche considerazioni complete che possono essere svolte su questo argomento riguardano esclusivamente la macchina fotografica; infatti, quest'ultimo è stato l'unico sistema in cui sono stati trovati i dati di diffusione completi per ambedue le versioni di prodotto.

Osservando i dati trovati, sembrerebbe essere verificata la più rapida diffusione della versione digitale rispetto all'analogica. Infatti, mentre la macchina fotografica analogica ha impiegato 32 anni prima di raggiungere l'1% del mercato di prima adozione, la macchina fotografica digitale ne ha impiegati solo 4. In totale, per giungere all'ultima categoria di Rogers, la versione analogica di questo artefatto ha impiegato 69 anni, conquistando l'86,9% delle vendite, mentre quella digitale, in soli 15 ha conquistato l'86,4% del mercato.

In definitiva, quindi, tramite l'analisi condotta sulle architetture dei casi studio analizzati, si è riusciti a validare quanto emerso dalla letteratura riguardo l'aumento della modularità nelle architetture degli artefatti digitali.

5.2 Limiti e sviluppi futuri

Le analisi qui svolte, pur avendo raggiunto l'obiettivo di dimostrare che gli artefatti digitali hanno un'architettura più modulare rispetto a quelli analogici, non sono ancora del tutto complete. In effetti, ci sono almeno un paio di limiti negli studi qui condotti. Il primo nasce dal numero ridotto di prodotti considerati; questo, infatti, offre solamente un'iniziale panoramica che porta nella direzione auspicata ma che risulta comunque essere circoscritta ai casi analizzati. Un secondo limite, invece, è rappresentato dalla mancanza dei dati di diffusione per le altre coppie di prodotti che, quindi, non permette di giungere ad una dimostrazione compiuta dell'esistenza della correlazione tra modularità, digitalizzazione e diffusione nel mercato.

Per sopperire a questi limiti, dunque, la ricerca futura dovrebbe occuparsi di trovare i dati di diffusione mancanti, in modo da capire se esista effettivamente una correlazione tra modularità e diffusione dei prodotti nel mercato. In seguito, inoltre, queste tipologie di

analisi potrebbero essere condotte anche su altre coppie di prodotto non digitale-digitale che consentano di validare definitivamente il risultato qui ottenuto. Alcune coppie di prodotto sono già state selezionate, come l'aspirapolvere analogico vs il robotino digitale o il *music cassette player* vs *CD players*, dove alcuni dati sulla loro diffusione sono già stati trovati.

In conclusione, dunque, partendo da questi prodotti si potrebbe condurre uno studio simile a quello qui riportato, in modo da confermare ulteriormente quanto emerso da queste analisi e renderlo ancora più esaustivo. Inoltre, si potrebbero condurre delle analisi più approfondite sulla diffusione, eventualmente analizzandola anche attraverso degli studi più approfonditi e focalizzati su questa, in modo da validare quanto emerso nella letteratura sulla più veloce diffusione degli artefatti digitali.

Bibliografia e sitografia

Bibliografia

Abernathy W., Utterback J.M. (1975) A dynamic model of process and product innovation. *International journal of management science*.

Ala-Fossi M., Lax S., O'Neill B., Jauert P. & Shaw H. (2008) The Future of Radio is Still Digital—But Which One? Expert Perspectives and Future Scenarios for Radio Media in 2015. *Journal of Radio & Audio Media*, 15:1, 4-25.

Anderson F., Tushman M.L. (1990), Technological Discontinuities and Dominant Designs: A Cyclical Model of Technological Change. *Administrative Science Quarterly*, Vol. 35, No. 4, pp. 604-633.

Baldwin C.Y., Clark K.B. (1997), Managing in an age of modularity. *Harvard business review*, pp. 84-93.

Bargigli L. (2005), The limits of modularity in innovation and production. Università Commerciale “Luigi Bocconi” – CESPRI.

Bayus, B. L. (1992). Have diffusion rates been accelerating over time?. *Marketing Letters*. 3(3), 215–226.

Bowden S., Offer A. (1994), Household Appliances and the Use of Time: The United States and Britain Since the 1920s. *The economic history review*, Vol. 47, No. 4, pp. 725-748.

Campagnolo D., Camuffo A. (2009), The concept of modularity in management studies: a literature review. *International journal of management reviews*, pp. 259-283.

Cantamessa M., Montagna F. (2016), *Management of innovation and production development*. Springer, pp. 2-4, 7, 336.

Celona T., Embry-Pelrine C. & Holtta-Otto K. (2007), Are modular products larger than integral products?. *International conference on engineering design*.

Ethiraj S.K., Levinthal D. (2002), Search for architecture in complex worlds: an evolutionary perspective on modularity and the emergence of dominant design.

Evens T. (2020), DAB+ as a systematic innovation: stakeholder interest and the introduction of digital radio. *European Journal of Communication*, 0(0):1-16.

Fiorineschi L., Rissone P. & Rotini F. (2014), Modularization vs. innovation. *International Journal of Innovation Science*, 6(1): 29-42.

- Fixson S.K.** (2004), Product architecture assessment: a tool to link product, process, and supply chain design decisions. *Journal of operations management*, 23: 345-369.
- Galvin P.** (1999), Product modularity, information structures and the diffusion of innovation. *Int. J. Technology management*, Vol. 17, No. 5, pp. 467-479.
- Gershenson J.K., Prasad G.J. & Zhang Y.** (2003), Product modularity: definitions and benefits. *J. Eng. Design*, Vol. 14, No. 3, pp. 295-313.
- Halbert J.C.C.** (2015), A case study of HD radio diffusion in the United States. A dissertation submitted to the faculty of the University of Miami.
- Henderson R., Clark K.** (1990). Architectural Innovation: The Reconfiguration of Existing Product Technologies and the Failure of Established Firms. *Administrative Science Quarterly*, pp. 9-30.
- Henfridsson O., Mathiassen L. & Svahn F.** (2014), Managing technological change in the digital age: the role of architectural frames. *Journal of information technology*, 29, 27-43.
- Kohli, R., Lehmann, D. R., & Pae, J.** (1999). Extent and impact of incubation time in new product diffusion. *Journal of Product Innovation Management: an international publication of the product development & management association*, 16(2), 134-144.
- Kozamernik F.** (1995), Digital Audio Broadcasting – radio now and for the future. *EBU technical review*.
- Lau A.K.W., Yam R.C.M. & Tang E.** (2011), The impact of product modularity on new product performance: mediation by product innovativeness. *J. Prod. Innov. Manag.*, 28: 270-284
- Lax S., Ala-Fossi M., Jauert P. & Shaw H.** (2008), DAB: the future of radio? The development of digital radio in four European countries. *Media, culture & society*, Vol. 30(2): 151-166.
- Martinez Martin D., de Leeuw T. & Haefliger S.** (2024), Two dimensions of product modularity and innovation: the case of R&D teams. *Industrial and corporate change*, 00, 1-41.
- Miranda, L. C., & Lima, C. A.** (2013). Technology substitution and innovation adoption: The cases of imaging and mobile communication markets. *Technological Forecasting and Social Change*, 80(6), 1179-1193.
- Moore G.A.** (1991), *Crossing the chasm*. Harper business essential, New York.

- O'Neill B.** (2007), Digital audio broadcasting in Canada: technology and policy in the transition to digital radio. *Canadian journal of communication*, Vol. 32, pp. 71-90.
- Redmond R.** (2012), Digital radio – a global perspective. *Gatesair*.
- Rhodes, R. M.** (2004). Analyzing digital television: using the diffusion of innovation theory to better inform policy (Doctoral dissertation, University of Florida).
- Rogers E.M.** (1962), *Diffusion of innovations*. Simon and Schuster Inc., New York.
- Sanchez R., Mahoney J.T.** (1996), Modularity, flexibility, and knowledge management in product and organization design. *Strategic management journal*, Vol. 17, special issue: *Knowledge and the firm*, pp. 63-75.
- Shilling M.** (2000), Toward a general modular system theory and its application to interfirm product modularity. *The academy of management review*, Vol. 25, No. 2, pp. 312-334.
- Singh S.P., Kemerer C.F. & Ramasubbu N.** (2021), Innovation in complex assembled electronic products: an analysis of the evolution of television components. *J Oper Mang*, 67: 680-703.
- Thevenot H.J., Simpson T.W.** (2007), Commonality indices for product family design: a detailed comparison. *Journal of engineering design*, 17:2, 99-119.
- Ulrich K.** (1995), The role of product architecture in the manufacturing firm. *Research Policy* 24: 419-440.
- Waddel M.C.** (2007), The diffusion, uses, and gratifications of satellite and HD radio. Thesis submitted in the college of Arts and Humanities California State University.
- Worren N., Moore K. & Cardona P.** (2002), Modularity, strategic flexibility, and firm performance: a study of the home appliance industry. *Strategic management journal*, 23: 1123-1140.
- Yoo Y., Henfridsson O. & Lyytinen K.** (2010), Research commentary – The new organizing logic of digital innovation: an agenda for information systems research. *Information systems research*, 21(4): 724-735.

Sitografia

<https://www.cipa.jp/stats/documents/common/cr200.pdf>

<https://www.aeranticorallo.it/radio-dab-in-europa-una-panoramica-della-situazione-attuale/>

<https://www.astorri.it/il-dab-prevale-sulla-fm-nel-regno-unito/>

<https://www.newslinet.com/dab-diamo-i-numeri-in-europa/>

<https://www.digital-news.it/news/satellite-estero/46798/dab-in-europa-panoramica-ad-oggi-della-radio-digitale-ricerca-confindustria-radio-tv>