

# CAPITOLO 1

## *Progettazione concettuale ed analisi funzionale*

### 1.1 La progettazione concettuale

La progettazione è intrinsecamente un processo alquanto complicato. Realizzare un buon progetto vuol dire ideare e strutturare un prodotto che soddisfi le richieste progettuali, ovvero che presenti tutte le funzionalità necessarie al suo corretto utilizzo e funzionamento, sottoponendo l'opera di progettazione a tutti i vincoli dettati dalle “*condizioni al contorno*” nell'ambito delle quali si sviluppa. Vincoli di carattere economico, temporale, ambientale e sociale.

A causa dell'estrema difficoltà che si presenta di fronte al progettista nel momento in cui intraprende una nuova opera, molti si sono impegnati al fine di definire metodologie di sviluppo atte a semplificare, schematizzare e chiarire i compiti di chi progetta e le fasi della progettazione. Suddividere un problema in fasi è, infatti, un ottimo metodo per rendere più semplice sia la stesura del problema che delle soluzioni ad esso connesse.

Una delle metodologie più affermate in ambito industriale è la metodologia di “*Progettazione Concettuale*”. Questa si inserisce nel più vasto ambito della metodologia di “*Processo di sviluppo di prodotto*”, un sistema schematico mediante il quale è possibile individuare una sequenza di passi e di attività che una azienda deve compiere al fine di ideare, progettare e commercializzare un prodotto [1].

Nonostante non sia definita una schematizzazione formale ed univoca dell'articolazione di un processo di sviluppo di prodotto, la quale è legata essenzialmente alle specificità dell'azienda, molto spesso, in letteratura [1], si fa riferimento ad una suddivisione del processo stesso in sei fasi:

- “*fase 0*” → *Pianificazione*: sono definite le specifiche iniziali, i vincoli del progetto, i traguardi da raggiungere e viene

definito il mercato obiettivo del prodotto (*dichiarazione di intenti* dell'azienda).

- “fase 1” → *Progettazione concettuale*: si identificano i bisogni del mercato, si generano, valutano e sviluppano i concetti che meglio possono aderire a tali bisogni, selezionandone il migliore.
- “fase 2” → *Progettazione a livello di sistema*: è definita in modo formale l'architettura reale di prodotto in base alle scelte e alle metodologie adoperate nella “fase 1”; il prodotto viene, inoltre suddiviso in sottosistemi e componenti.
- “fase 3” → *Progettazione di dettagli*: comprende la definizione dettagliata della geometria, dei materiali da utilizzare e del processo produttivo da mettere in atto al fine di realizzare la componentistica necessaria.
- “fase 4” → *Sperimentazione e miglioramento*: sono valutati e verificati, dal punto di vista meccanico e funzionale, i prototipi iniziali.
- “fase 5” → *Avviamento della produzione*: prodotto è avviato alla produzione, dunque effettivamente realizzato.

Dell'intero processo di sviluppo prodotto la “fase 1” della progettazione concettuale, senza dubbio è la fase più delicata e critica. Durante questa fase il progettista si confronta direttamente con i bisogni del cliente, rappresentativi di una traduzione in linguaggio ad alto livello di quelle che saranno le future specifiche di prodotto, e cerca di sintetizzarli in funzioni e “forme”, amalgamando tutto nella maniera più uniforme possibile. Evidentemente il compito appena descritto non è semplice. Passare da concetti astratti dal punto di vista tecnologico, quali possono essere i bisogni del cliente, a concetti concreti e tecnicamente validi è sicuramente un processo complesso. La più grande difficoltà risulta essere, probabilmente, quella di riuscire a definire un ordine sequenziale per le varie operazioni da compiere al fine di generare il concetto più adeguato.

La metodologia della progettazione concettuale cerca, appunto, di ridurre la complessità del compito del progettista, fornendo uno schema logico, architettato in

una serie di passi, mediante il quale sintetizzare il compito progettuale in una sequenza di operazioni. Anche in questo caso, così come per la schematizzazione proposta a riguardo della definizione del processo di sviluppo di prodotto, non è possibile definire uno standard, ovvero uno schema che sintetizzi univocamente la più corretta sequenza di passi logici in relazione alle necessità progettuali. Di seguito viene proposta quella che risulta essere una delle sequenze maggiormente utilizzate e accettate a livello industriale. Senza entrare eccessivamente nei dettagli di ciascuna attività, il processo di sviluppo concettuale si articola nei seguenti step logici:

- Identificazione dei bisogni del cliente: tale attività ha lo scopo di comprendere i bisogni del cliente, raggruppandoli, se possibile, in gruppi e classificandoli in funzione del grado di importanza percepito dal cliente stesso in relazione a ciascun bisogno.
  
- Definizione delle specifiche obiettivo: è, in un certo senso, la meno “visibile” del processo di sviluppo concettuale; può essere vista come una forma speciale di “dizionario” mediante il quale tradurre le richieste del cliente in, specifiche di progetto. Il termine “obiettivo” sta ad indicare che tali specifiche, a questo livello di analisi, risultano ancora generiche; danno una prima idea di quelle che saranno le linee guida di progetto, ma possono ancora essere modificate nelle successive fasi della progettazione, fermo restando il concetto di soddisfare, in ogni caso, le specifiche richieste del cliente. Esistono varie metodologie di “traduzione”, perlopiù basate sullo sviluppo di metriche di classificazione [1] [3].
  
- Generazione di Concetti: lo scopo della fase di generazione dei concetti è di tradurre in forma e disegni l’insieme dei concetti che, per il prodotto, traducono e soddisfano i bisogni del cliente. Rappresenta, in pratica, la fase di ricerca creativa delle soluzioni, e l’estrpolazione dei vari concetti generati in tutte le idee volte alla soluzione del problema, proposte dal progettista. Si tratta, in pratica, di generare un certo numero di soluzioni/concetti, i quali, a questo stadio della progettazione (concettuale) risultano essere, ancora, proposti sotto forma di

schizzi con brevi descrizioni delle fasi di generazione, associate alle quali vi sono solitamente proposte concise sintesi dei “perché” di alcune scelte.

- Selezione e Valutazione dei Concetti: rappresenta la fase in cui tutti i concetti generati e sviluppati nella fase di *generazione* vengono analizzati e, appunto, selezionati. La selezione viene svolta mediante l'utilizzo di specifiche metodologie che consentono di operare confronti oggettivi tra i vari concetti generati [1],[2]. La fase di selezione risulta essere perlopiù iterativa. Il suo scopo è quello di individuare il modello che meglio approssima e soddisfa i requisiti del cliente. Solitamente, sempre in questa fase, è possibile che si verifichi un ulteriore passo di generazione, magari a fronte di scelte o soluzioni parziali comunque positive ma presenti in modelli o concetti non selezionati; l'idea è, sostanzialmente, quella di salvare le parti buone dei progetti “scartati”, cercando di inserirle nel progetto selezionato.
  
- Definizione delle specifiche finali: Mediante tale analisi, così come svolto per l'idea progettuale iniziale, si generano delle nuove e si modificano le esistenti. Vengono dunque individuati i parametri caratteristici dell'idea selezionata (*parametri di progetto*) i quali devono soddisfare i vincoli insiti nel concetto (*requisiti funzionali*). Così come per la definizione delle specifiche obiettivo, così anche per poter valutare le relazioni tra i parametri di progetto e i requisiti funzionali possono essere utilizzate diverse metodologie. Molto utilizzata è la metodologia di progettazione assiomatica [4].
  
- Pianificazione del progetto: la sezione di *pianificazione* ha il compito di proporre un calendario dettagliato del processo di sviluppo, mediante il quale il progettista possa controllare e nello stesso tempo, confrontarsi con i tempi di progettazione che, come detto, risultano essere uno dei vincoli più stringenti da tenere in conto all'atto della progettazione.

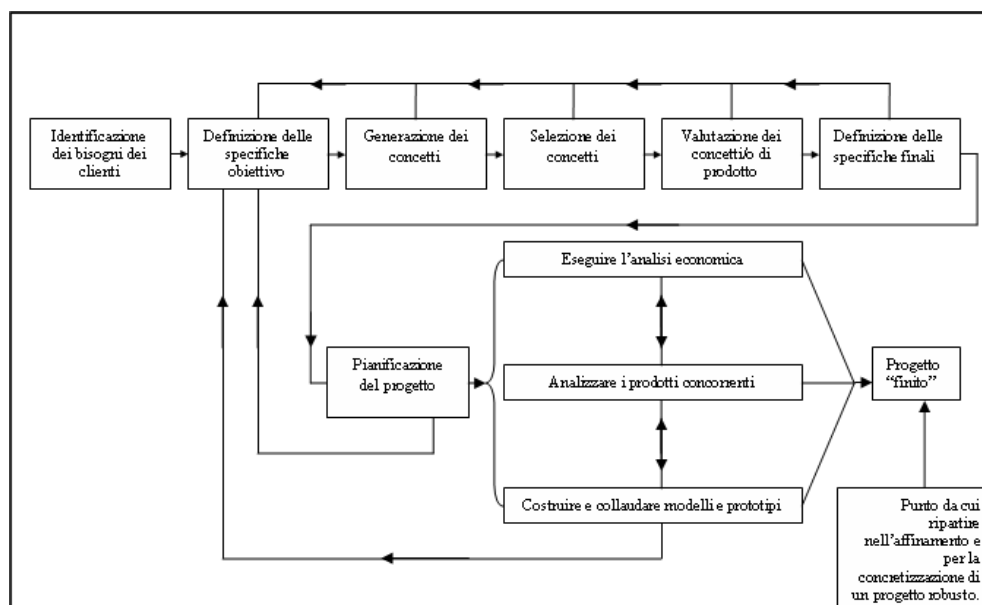
- Analisi economica: essa rappresenta la fase in cui è costruito il modello economico di tutti i fattori che rientrano nella progettazione e nella produzione del prodotto che si vuole realizzare. Il modello viene usato per giustificare il proseguimento dell'intero programma di sviluppo, nonché per identificare dei compromessi tra costi di sviluppo e costi di processo. In realtà, piuttosto che pensare questo step di analisi concentrato a questo livello del processo di progettazione, sarebbe più giusto considerare il suo sviluppo parallelamente allo sviluppo del progetto stesso, in modo tale da evitare di seguire strade o idee funzionalmente buone ma economicamente poco valide.
  
- Analisi dei prodotti concorrenti: rappresenta la fase “conclusiva” del processo di progettazione concettuale; quella in cui, in poche parole, il prodotto, se soddisfacente, viene approvato, dunque ha la possibilità di “passare” alla successiva fase di prototipazione e realizzazione, altrimenti viene respinto. In particolare, lo scopo di questa fase di analisi è quella di mettere in concorrenza il prodotto realizzato/da realizzare, progettato secondo i criteri definiti in tutti i passi progettuali descritti in precedenza, con ciò che di simile è già presente sul mercato. Ovviamente, se il prodotto vince sulla concorrenza, almeno in via teorica, questo può essere ragionevolmente messo in produzione, altrimenti esistono sostanzialmente due vie da seguire:
  - eseguire una riprogettazione, ripartendo eventualmente dal prodotto selezionato, cercando di affinare tutti quegli elementi che ne hanno causato la “sconfitta”;
  - abbandonare l'idea progettuale

In realtà, per evitare problemi di questo tipo, l'analisi concorrenziale è svolta parallelamente alle fasi progettuali; in questo modo il progettista è in grado di accorgersi in itinere di eventuali sbagli o mancanze che potrebbero causare la non concorrenzialità del suo prodotto.

Anche per lo step di “Analisi della concorrenza” esistono diverse metodologie di analisi. La più utilizzata è sicuramente quella che fa riferimento all’uso della “Casa della Qualità” [1][2], metodologia alquanto articolata, che propone, tra le altre cose, anche un’analisi di benchmarking tra diversi prodotti.

- Modellazione e Prototipazione: la posizione finale del “blocco” di modellazione, all’interno della struttura dell’analisi di Progettazione concettuale, è puramente motivata da fattori formali. Infatti la prototipazione segue (o dovrebbe seguire) ogni fase del processo di progettazione, al fine di verificare, la bontà del progetto, la sua fattibilità, avere indicazioni tangibili riguardanti la realizzabilità tecnica, l’ergonomia, lo stile, e la “bellezza”.

L’intero iter della progettazione concettuale assume solitamente un carattere iterativo. La sequenza appena descritta, infatti, può essere vista come la prima iterazione di una serie di fasi ripetute di applicazione della metodologia. Fatta eccezione per la fase di acquisizione ed elaborazione dei dati di richiesta del cliente, tutte le successive fasi possono essere riproposte ad un qualsiasi stadio della progettazione allorquando il progettista si accorga di eventuali errori o modifiche da compiere al fine di rientrare in determinati vincoli progettuali. Così, ad esempio, risposte “negative” derivanti dalla fase di analisi dei prodotti concorrenziali possono riportare il flusso del progetto alla fase di generazione dei concetti, nella quale modificare o riprogettare determinati componenti, ovvero ridisegnare determinate forme poco funzionali. Il concetto appena esposto è sintetizzato molto chiaramente nel diagramma di figura 1.1, nella quale è rappresentato il flusso della progettazione concettuale ed è evidenziato il carattere ricorsivo della metodologia.



**Figura 1-1** Rappresentazione del carattere ricorsivo della progettazione concettuale tramite rappresentazione a blocchi

Come appena detto, dunque, la metodologia della progettazione concettuale è sostanzialmente a carattere ricorsivo. Gli “errori” dovuti alla mancanza di accuratezza durante una qualsiasi delle fasi di progettazione possono essere corretti in fasi successive dello sviluppo tramite il precitato meccanismo di feedback.

A questo riguardo assume particolare valore ed importanza il passaggio concettuale esistente tra il blocco di definizione delle specifiche di progetto ed il blocco di generazione dei concetti. Tale connessione rappresenta lo snodo cruciale di tutto il processo di progettazione in quanto è in questa fase che si passa dal concetto “astratto” di “specifiche obiettivo” ed il concetto concreto di “idea progettuale”. Il progettista è chiamato ad utilizzare tutto l’ingegno di cui è dotato al fine di tradurre in caratteristiche tecniche e funzionali i requisiti di mercato e le richieste del cliente, esposte in forma verbale e, molto spesso, estremamente generiche.

È proprio questo processo di rielaborazione che, spesso, determina l’insorgenza dei maggiori errori progettuali. Non è sempre facile, infatti, vedere i requisiti in termini di forme e superfici ed analizzare e rielaborare i modelli creati in relazione ai bisogni del cliente. Per questi motivi risulta evidente la necessità di utilizzare un sistema di sviluppo e controllo che consenta di creare un raccordo più morbido tra le due fasi di progettazione concettuale appena citate. Tale sistema, o metodologia, è definita “*Analisi funzionale di prodotto*” (fig. 1.2).

## 1.2 L'analisi funzionale di prodotto

L'analisi funzionale di prodotto è una metodologia di analisi e sviluppo che consiste nel riformulare le specifiche di progetto, derivanti dall'analisi dei requisiti

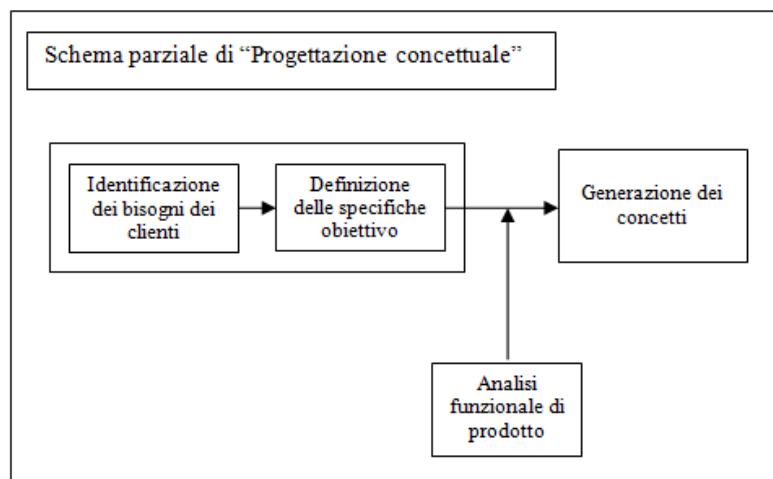


Figura 1-2 Schema della Progettazione Concettuale nella Metodologia di Analisi funzionale

del cliente o, più in generale, derivanti dalle specifiche tecniche richieste per il prodotto in fase di progettazione, in termini di funzioni. In maniera più discorsiva, l'analisi funzionale è uno strumento metodologico mediante il quale formalizzare e rendere concreto l'evolvere delle riflessioni sul come risolvere il problema progettuale. In generale essa può essere pensata come articolata in due momenti. In una prima fase il metodo propone di operare una rielaborazione ed un'integrazione di tutte le informazioni disponibili riguardo le richieste tecnico-funzionali associate al prodotto, ovvero tutte le informazioni relative ai compiti ed ai modi in cui il prodotto dovrà compiere determinate funzioni, sintetizzando tutto mediante una "macrofunzione"; tale macrofunzione dovrà descrivere la funzionalità principale del prodotto. Questa prima fase, se svolta correttamente, fornisce il primo supporto al progettista che, grazie alla sintesi operata tramite la macrofunzione, non rischia più di fraintendere quale sia lo scopo finale del suo lavoro, concentrando, dunque, tutta la sua attenzione sulla realizzazione di un prodotto che aderisca quanto più possibile alla funzione principale.

Una volta individuata la funzione "centrale" che il prodotto dovrà assolvere, la metodologia di analisi funzionale propone, quale seconda fase di studio, l'esplosione della macrofunzione iniziale in "sottofunzioni". Ciascuna sottofunzione



rappresenterà una “partizione” della funzione iniziale, ed avrà, ovviamente, una definizione diversa rispetto la macrofunzione originale. L’insieme delle sottofunzioni, opportunamente connesse tra loro, rappresenterà nuovamente il problema iniziale, il quale, però, sarà, a questo stadio dell’analisi, posto sotto gli occhi del progettista come un insieme di sottoproblemi funzionali di minore dimensione. Il processo di decomposizione funzionale può essere iterativamente applicato alle sottofunzioni fino al raggiungimento di funzioni elementari non più decomponibili.

L’idea è pertanto quella di suddividere in sottoproblemi semplici un problema di grandi dimensioni, analizzando il sistema, però, non dal punto di vista della componentistica ma dal punto di vista delle funzioni che deve assolvere.

L’intero “processo”, dunque, è incentrato sull’elemento “*funzione*”. La funzione, come anticipato nel precedente paragrafo, può essere considerata come il migliore elemento di raccordo tra il “*requisito*” di prodotto ed il “*concetto geometrico*” che lo esplica. Ha intrinsecamente dei connotati tali da renderla “interponibile” tra i due momenti progettuali in quanto consente di ridurre il grado di astrazione correlato al concetto di requisito ma, allo stesso tempo, mantiene un certo grado di incorporeità che consente al progettista di soffermarsi a ragionare sulla sua esatta definizione, senza essere “distratto” dalla forma. Tale concetto di “avvicinamento” al prodotto è stato sintetizzato in maniera estremamente semplice ed intuitiva da Pahl e Beitz [3], i quali sostengono che, al fine di raggiungere un elevato grado di coerenza tra progetto e requisito di progetto è necessario seguire un iter di analisi basato sulla funzione; inizialmente operare una descrizione ed una specificazione dei requisiti funzionali, dopodichè decomporre in sottofunzioni i macrorequisiti funzionali, generare, dunque la struttura funzionale di prodotto e solo dopo attenta analisi di questa struttura iniziare a ragionare in termini di componenti, layout di prodotto, disegni e strutturazione topologica dei componenti. (fig. 1.3)

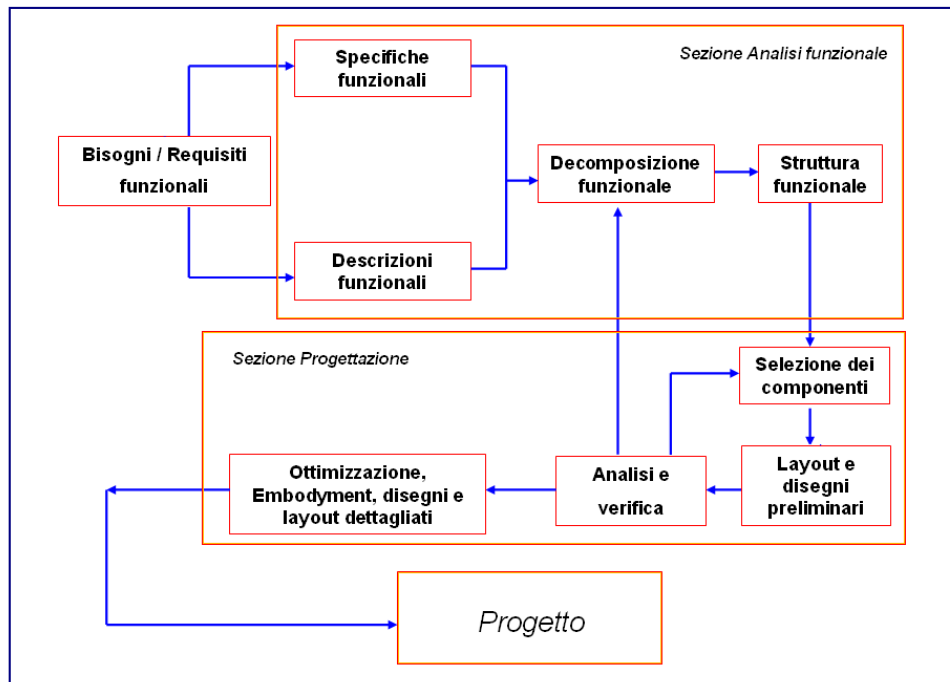


Figura 1-3 Tipico flusso di processo dei metodi di sintesi basati sulla metodologia di analisi funzionale ([3])

Essendo una metodologia, ovviamente, essa sarà strutturata. Infatti, al fine di giungere ad una corretta descrizione funzionale di prodotto, ed in modo tale da rendere “universalmente” leggibile la struttura di analisi creata, in letteratura sono proposte alcune metodologie per lo sviluppo di reti funzionali, la cui definizione sarà data a breve. Nella presente trattazione si farà riferimento, essenzialmente, alle definizioni proposte da Ulrich ed Eppinger [1], e Pahl e Beitz [3]; alcune di esse saranno lette ed interpretate in maniera critica e, all’occorrenza, modificate, senza ovviamente snaturarne la filosofia, in modo da rendere ancora più semplice e chiara l’applicazione della metodologia.

### 1.3 Gli strumenti base dell'analisi funzionale

Sono essenzialmente due le strutture di cui fa uso la metodologia dell'analisi funzionale al fine di descrivere la rete funzionale di un generico prodotto: il "blocco funzionale" ed il "link". Il blocco funzionale rappresenta, per definizione, l'elemento all'interno del quale definire la funzione del prodotto o del sottocomponente, che si vuole rappresentare. Esso raffigura la struttura "portante" attorno alla quale si articola l'intero studio funzionale di prodotto. Non esiste una definizione rigorosa di quale debba essere la forma del blocco funzionale ma, nella maggior parte della letteratura a riguardo, esso viene descritto come un rettangolo all'interno del quale è espressa la funzione, in linguaggio naturale, che esso assolve all'interno del sistema. Proprio perché la descrizione delle funzioni è fatta tramite linguaggio naturale, al fine di ovviare al problema dell'ambiguità intrinsecamente legato a questa forma di linguaggio, viene solitamente utilizzato un paradigma di definizione, il cosiddetto paradigma "verbo + nome". Il progettista che segue tale sistema di definizione è chiamato a sintetizzare le funzioni del prodotto utilizzando, al limite, un verbo, mediante il quale descrivere la funzione, ed un nome, o predicato nominale, ovvero l'ente su cui la funzione ha influenza. L'applicazione del paradigma non è obbligatoria, ma consigliabile, in quanto consente una immediata traduzione dell'intenzione funzionale espressa all'interno del blocco.

I vari blocchi funzionali sono connessi tramite i "link". I link sono, appunto, definibili come dei connettori in grado di esplicitare le relazioni intercorrenti tra vari blocchi funzionali e tra i blocchi funzionali e l'ambiente esterno. Solitamente si fa riferimento a quattro tipologie di link: link di forza, di segnale, di materiale e di energia. Ognuno di essi è specializzato in un determinato compito di interrelazione; in particolare:

- *Link di forza*: rappresenta le interconnessioni fisiche esistenti tra vari blocchi funzionali, dunque è sintesi delle azioni di contatto o di legame tra due blocchi, nonché di connessione del sistema in analisi con l'ambiente esterno. Ha la caratteristica di essere anche bidirezionale.
- *Link di segnale*: per poter definire il concetto di segnale, dunque esplicitare la funzione del link corrispondente, non si può fare a meno di dare,

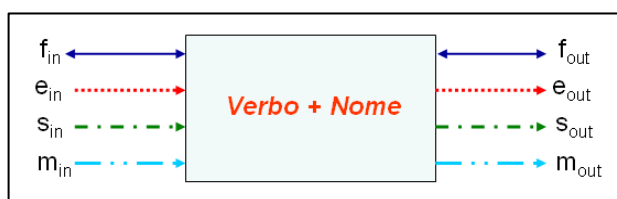
preventivamente, la definizione del concetto di informazione. Il termine informazione, associato alla definizione di prodotto industriale, può essere associato alla capacità del prodotto stesso di “ragionare”, dunque definito come la capacità che il prodotto ha di “prendere decisioni” [1]. L’insieme dei ragionamenti (elettro-meccanici) generati rappresenta il flusso informativo interno necessario al corretto funzionamento del sistema. I segnali non sono altro che i mezzi fisici reali mediante i quali i prodotti possono effettivamente comunicare e diffondere il flusso informativo.

- *Link di materiale*: mediante tale tipologia di link sono rappresentati i flussi di tutti i materiali che, per motivi diversi, devono necessariamente prendere parte al processo. A seconda della tipologia di prodotto in fase di studio e realizzazione, il materiale potrà essere un ente necessario al funzionamento del sistema, ma anche oggetto di trasformazione da parte dello stesso.
- *Link di energia*: non ci può essere trasferimento o conversione di materiale o segnale senza la presenza di energia. Da questo punto di vista l’energia può essere intesa come la capacità di rendere possibile un determinato evento. I link di energia, all’interno degli schemi di analisi funzionale, sono utilizzati, appunto, per rappresentare il flusso e l’entità degli eventi. Risulta evidente, infatti, che un blocco funzionale, raggiunto da un link energetico, sarà necessariamente chiamato a svolgere un compito per il quale è necessario l’utilizzo di energia. Vale la definizione complementare secondo la quale allorché un link di energia lascia un blocco funzionale, all’interno di quest’ultimo sarà presente una funzione in grado di definire un processo mediante il quale è possibile sviluppare dell’energia.

Un insieme ordinato di link e blocchi funzionali rappresenta la precitata rete, o struttura, funzionale. La definizione di insieme ordinato è estremamente importante per comprendere appieno le caratteristiche dell’analisi funzionale; fatta eccezione per i link di forza, bidirezionali per proprietà intrinseche (è evidente che l’interazione di contatto o legame tra due blocchi funzionali, ovvero tra due componenti, sia una mutua interazione) gli altri link che caratterizzano la rete funzionale sono orientati. Ciò definisce il fatto che alcune trasformazioni energetiche, di segnale o su materiale

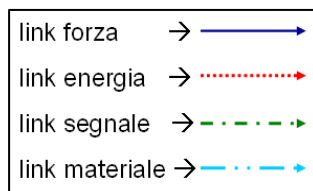
hanno origine in un determinato blocco e terminano in un altro, senza possibilità che avvenga il contrario.

Dunque, ricapitolando, uno studio funzionale parte dalla definizione della macro funzione rappresentativa della sintesi delle specifiche funzionali di progetto; viene descritta mediante il paradigma “verbo + nome”, e ad essa sono associati gli input provenienti dall’ambiente esterno (condizioni al contorno e di processo) descritti mediante link funzionali (fig. 1.4);



**Figura 1-4** Definizione della Macrofunzione e Contestualizzazione in base agli Input esterni; f, e s m stanno, rispettivamente, per Forza, Energia, Segnale e Materiale. I pedici indicano Ingresso ed Uscita.

Ovviamente l’immagine di fig. 1.4 rappresenta una situazione del tutto generica e generale; non è detto che in tutti i casi progettuali siano presenti tutte le forme di input o di output. Inoltre, al fine di evitare equivoci di rappresentazione, è indispensabile definire una legenda” per quanto riguarda le tipologie di link. Riuscire a distinguere i link immediatamente è, per il progettista, una delle “armi” di “progettazione visuale” più potenti messe a disposizione dalla metodologia di studio funzionale. Tale concetto risulterà essere più chiaro a breve, quando sarà applicata la metodologia ad un caso concreto. Di seguito si riporta la suddetta legenda (fig. 1.5); tali definizioni saranno sempre utilizzate nel prosieguo del lavoro.



**Figura 1-5** Legenda Link Costitutivi

Definita la macrofunzione si applica la metodologia di analisi funzionale vera e propria che, come detto in precedenza, si esplica nella suddivisione del problema iniziale in sottoproblemi, definiti sempre mediante funzioni. Tale processo di

suddivisione si sviluppa mediante una formulazione iterativa a livelli. Il primo “step” si traduce nella generazione del primo livello funzionale, nel quale la macrofunzione viene rappresentata da un insieme di blocchi funzionali e link di interconnessione; così, a partire dalla situazione visualizzata in fig. 1.4 si giunge ad una struttura che assume la forma, ancora una volta del tutto generale, rappresentata in fig. 1.6.

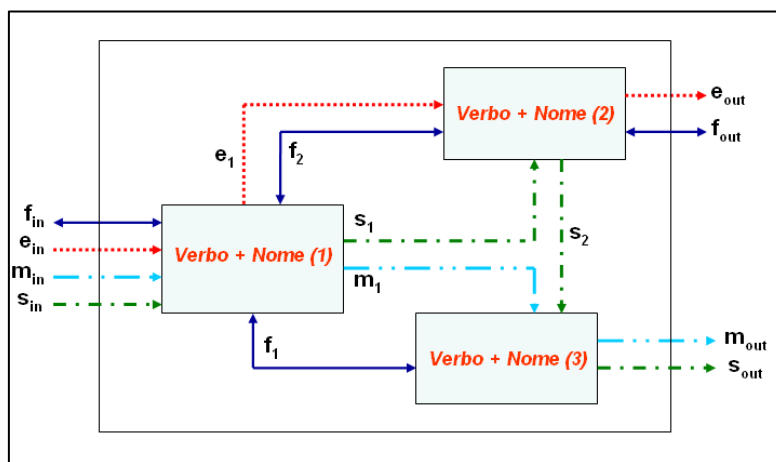


Figura 1-6 Rappresentazione di un generico primo livello di espansione mediante analisi funzionale

A questo stadio dell’analisi non è necessario prestare particolare attenzione al posizionamento dei blocchi funzionali né, tanto meno, alla distribuzione sul piano dei vari link. Non è necessario, inoltre, definire o rispettare precisi punti (o zone) di “partenza” ed “arrivo” per i vari link, i quali possono essere posizionati e distribuiti in maniera casuale. Risulta, invece, di estrema importanza riuscire a stabilire le giuste interdipendenze tra i vari blocchi funzionali ed i percorsi di segnale materiale ed energia necessari affinché il sistema svolga la funzione per cui è stato pensato.

Ciascuna delle sottofunzioni è utilizzata per descrivere un determinato compito; a partire da ciascuna di esse, a seconda delle occorrenze relative ad un determinato progetto, è possibile definire ulteriori step di sviluppo funzionale, dunque nuovi livelli, mediante i quali affinare la conoscenza funzionale delle sottostrutture e, allo stesso tempo, raggiungere un elevato grado di specializzazione per la singola sottofunzione. Una volta giunti ad un grado di dettaglio sufficientemente spinto, il metodo si arresta e si può iniziare ad osservare il concetto descritto in termini di funzione elementare secondo un “*ottica orientata al componente*”. Dunque non ancora il componente (da realizzare o utilizzare al fine di “imitare” l’idea funzionale), ma una visione del problema che *tende* al componente secondo una nuova filosofia di pensiero che, dalla funzione, consenta di ottenere un

concetto concreto, passando attraverso le definizioni di “*superficie funzionale*” e “*archetipo di prodotto*”.

#### 1.4 Superfici funzionali ed archetipo di prodotto

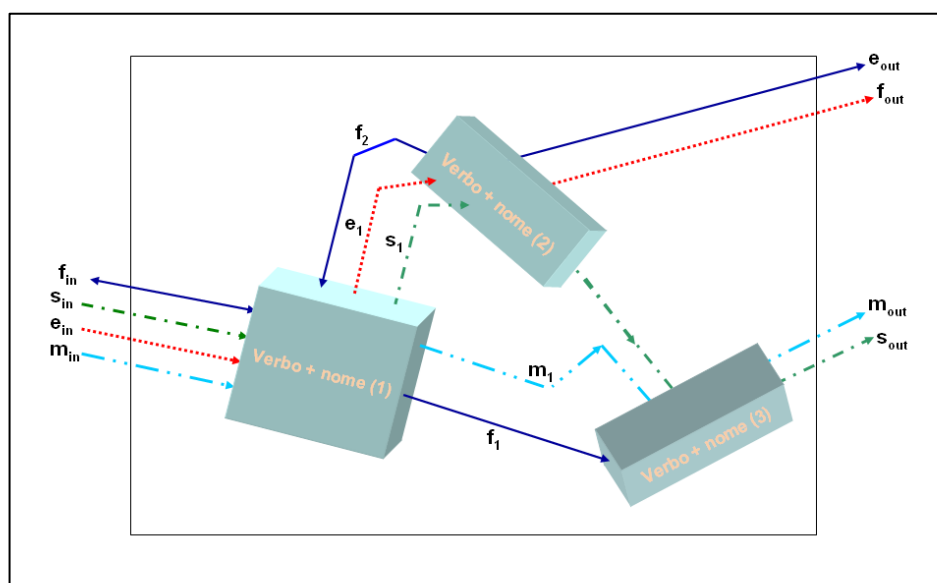
Identificata una definizione puntuale della struttura funzionale di un determinato prodotto si può iniziare, come sopraccitato, a concretizzare lo studio di analisi funzionale, ponendo le prime basi per la determinazione dei componenti da realizzare o utilizzare al fine di tradurre in forma materiale le varie idee funzionali. La concretizzazione si realizza predisponendo il cosiddetto archetipo di prodotto [1][2][5][6]. Esso consiste nella ridefinizione spaziale e geometrica delle strutture dell'analisi funzionale. In pratica definire un archetipo di prodotto vuol dire riuscire a rappresentare lo schema di analisi funzionale del prodotto secondo una rappresentazione che:

- ridistribuisca i blocchi funzionali secondo le posizioni in cui essi dovrebbero realmente trovarsi, definendo, dunque, delle relazioni spaziali tra di loro
- collochi le basi per una “traduzione” dell'aspetto geometrico tridimensionale dei vari blocchi funzionali, ovvero associ un primo abbozzo di “*forma*” alle relazioni funzionali descritte all'interno di ciascun blocco in base, ovviamente, a quelle che sono le specifiche descritte
- sia in grado di individuare quelle che sono le “superfici funzionali” dei singoli blocchi, ovvero le superfici demandate all'acquisizione e trasduzione delle “relazioni” definite mediante i link funzionali. Esse non si limitano a separare i blocchi dell'archetipo dall'ambiente esterno ma hanno in più la particolarità di essere ideate e conformate nell'ottica della specifica funzione che l'archetipo è destinato a svolgere

L'individuazione delle superfici funzionali [1][2][6], in associazione ad una corretta definizione di archetipo (fig. 1.7), è una procedura che, dunque, consente di

definire la corretta orientazione dei blocchi funzionali nello spazio, mettendo inoltre in luce la reale (probabile) posizione dei punti di ingresso dei vari link. Ciò consente di discriminare la correttezza o meno delle ipotesi di definizione funzionale fatte durante le fasi precedenti, evidenziando eventuali incongruenze o conflitti tra i vari link che giungono ad un blocco funzionale; ciò si potrebbe ripercuotere in una ridefinizione della struttura funzionale stessa, portando il progettista a ragionare nuovamente sulla definizione delle funzioni. Ragionare in termini di forme consente, infatti, di evidenziare problemi legati ad indisponibilità di spazio o pericolosità di vicinanza, ad esempio tra due link che siano vettori, rispettivamente, di energia e materiale infiammabile e convergano entrambi sulla stessa superficie funzionale, magari di ridotta dimensione. In questi casi, evidentemente, qualche errore è stato fatto durante l'esplosione funzionale del prodotto. Tali errori possono essere legati ad una non corretta definizione della funzione del singolo sottoblocco, ovvero ad un mancato raggiungimento della funzione elementare durante l'espansione in livelli.

Perciò, analizzando l'archetipo è possibile, laddove necessario, operare una prima fase di reiterazione di processo, modificando o riadattando il contenuto dei singoli blocchi funzionali (interessati sul problema) in relazione a quelli che sono stati evidenziati quali primi vincoli di carattere geometrico e spaziale, senza incorrere nel rischio di realizzare, in futuro, prototipi costosi, probabilmente non funzionanti ed, in alcuni casi, "pericolosi".



**Figura 1-7** Archetipo associato ad analisi funzionale di prodotto.



L'evoluzione degli elementi nello spazio di progettazione è sia semantica che geometrica. Il concetto di evoluzione semantica si concretizza, come anticipato, nella trasformazione di un concetto o di una funzione in una possibile soluzione (archetipo). A livello geometrico, invece, l'evoluzione è associata ad una continua metamorfosi dei blocchi i quali, inizialmente di forma cubica, assumono, via via che il processo si specializza in dettaglio, geometrie sempre più complesse e più vicine alle future forme reali.

## 1.5 Linee guida per la stesura dell'analisi funzionale di prodotto

Fin ora si è parlato della tecnica di applicazione della metodologia di analisi funzionale. Seppur concettualmente essa non presenti particolari difficoltà di applicazione, fattore, quest'ultimo, fondamentale nell'ottica di semplificazione del lavoro del progettista, essa nasconde una serie di percorsi tortuosi, dei quali è necessario discutere.

La rete funzionale è costituita da una serie di blocchi funzionali connessi mediante quattro tipologie di link diversi. Ogni tipologia di link assolve, all'interno della rete, compiti ben precisi e definisce relazioni fisiche (reali) esistenti tra blocchi funzionali diversi. Proprio perché ci si sta confrontando con collegamenti fisici reali, una volta raggiunto un buon livello di esplosione funzionale, è necessario porsi la domanda riguardo alla correttezza delle relazioni definite. Così, ad esempio, è necessario domandarsi se tutti i flussi, energetici o di materiale, soddisfino rispettivamente le relazioni di conservazione dell'energia e di continuità. In realtà questa è solo una delle tante domande che il progettista deve porsi al fine di validare la decomposizione funzionale di prodotto che ha realizzato. Di seguito si riporterà un elenco delle principali ed indispensabili questioni da risolvere in fase di analisi associate allo studio funzionale, proponendo, in parallelo, delle possibili configurazioni di verifica e soluzione di eventuali problemi. Alcune di queste saranno relative ai link, in particolare saranno destinate alla messa in evidenza di problematiche legate alla presenza o meno di determinati link, ovvero all'incongruenza relativa alla presenza di taluni altri. Altre saranno relative alle

sottofunzioni, con particolare riferimento al livello di dettaglio raggiunto dalle sottofunzioni in riferimento alle specifiche iniziali imposte dal problema.

- Verifica soddisfacimento delle leggi fisiche: è, senza dubbio, la prima indispensabile verifica da svolgere. L'idea progettuale che si porta avanti deve soddisfare le elementari leggi fisiche di conservazione dell'energia e continuità della massa. Prendendo in esame l'equazione generale della "conservazione di energia", e mettendo in evidenza i termini di variazione spaziale, generazione interna e variazione temporale del flusso di energia (i concetti risulteranno più chiari nel momento in cui saranno definite formalmente le equazioni di conservazione), per ogni blocco funzionale si deve verificare che: (a) il flusso energetico in ingresso ad un blocco funzionale, addizionato al termine di generazione interna di energia (che può assumere valore positivo o negativo a seconda che si faccia riferimento ad una "sorgente" o ad un "pozzo" di energia), sia pari al flusso energetico in uscita dal blocco funzionale stesso; (b) ipotizzando nulle le perdite energetiche, dunque facendo riferimento a trasformazioni ideali all'interno dei blocchi funzionali, ed in assenza di termine sorgente, una eventuale incongruenza dei flussi energetici derivante dall'analisi dei soli link di energia deve necessariamente essere associata alla presenza, in ingresso ed in uscita al blocco funzionale stesso, di una coppia di link di materia, alla quale, evidentemente, parte dell'energia è stata ceduta. In questi casi la verifica della conservazione dell'energia è più complessa e richiede una contemporanea analisi, al blocco, dell'energia trasportata da tutti i flussi in ingresso e uscita, sia di tipo energetico che di tipo materiale; (c) la quantità di materiale in ingresso in un nodo deve essere sempre pari alla quantità di materiale in uscita; è necessario, dunque, che sia soddisfatta l'equazione di continuità, tenendo conto del fatto che il materiale in trasformazione, nella maggior parte delle apparecchiature elettromeccaniche può subire anche grandi modifiche di fase o struttura. La soluzione delle problematiche appena descritte si esplicita mediante l'applicazione, in corrispondenza di

ciascun nodo, dell'equazione di conservazione della massa (o della portata, a seconda dei casi).

- Verifica dei cambiamenti di stato dei flussi: ogni blocco funzionale può indurre sui flussi di materiale ed energia in esso concorrenti anche grandi modifiche; ad esempio un materiale come l'acqua può cambiare di stato (trasformazione di ebollizione) o una determinata forma di energia può variare la sua forma/qualità, passando, ad esempio, da energia termica a meccanica. L'analisi di tali fenomeni prevede di eseguire un confronto di coerenza attraverso la tripletta "input-funzione-output" verificando se il soggetto descritto dalla funzione sia rappresentativo della modifica di tipologia di flusso occorsa.
- Verifica sulle connessioni di forza: tale verifica è abbastanza semplice e richiede la presa visione del fatto che ciascun blocco funzionale riceva in input almeno un link di tipo contatto/connessione. In caso contrario si ammetterebbe la presenza di un elemento della rete funzionale fisicamente scollegato sia dal resto del sistema che dall'ambiente esterno; ciò è fisicamente inaccettabile.
- Verifica sull'indipendenza delle funzioni: è una verifica che si allontana dai concetti più concreti legati ai tre controlli precedenti, ma altrettanto importante. Si richiede di analizzare il contenuto funzionale di ciascun blocco, mettendo in evidenza una sorta di lineare indipendenza tra tutte le funzioni utilizzate. Se ciò non avvenisse, infatti, si ammetterebbe implicitamente un errore, ovvero l'esistenza di due o più sottofunzioni i cui compiti si "intersecano", definendo, dunque, un sistema che ammette la presenza di due o più sottofunzioni il cui scopo all'interno dello schema funzionale, seppur parzialmente, è lo stesso. Nei casi in cui si verificano problemi del genere è necessaria una ridefinizione delle funzioni individuate quali linearmente dipendenti.
- Verifica sulla "atomicità" delle funzioni: seppur non sempre richiesta, in quanto non sempre è necessario raggiungere livelli di dettaglio di analisi funzionale estremamente spinti, allorquando si sia giunti ad una definizione di rete funzionale estremamente puntuale è necessario domandarsi se, effettivamente, le sottofunzioni considerate "atomiche",

ovvero, secondo l'accezione classica del termine, non più decomponibili, siano realmente tali. Nel caso in cui ci fosse una "non atomicità" sarebbe necessario ridefinire la sottofunzione presa in esame in un set di sottofunzioni atomiche, ovviamente senza aggiungere dettagli non necessari.

- Verificare che tutte le sottofunzioni siano effettivamente funzioni di prodotto: sembrerà strano ma, probabilmente, questo è uno degli errori più tipici che si commette durante la realizzazione di un'analisi funzionale di prodotto. Il metodo prevede che i blocchi funzionali contengano solo ed esclusivamente funzioni realizzate dal prodotto, non dall'uso del prodotto. Molto spesso, infatti, si ricade nell'errore di definire sottofunzioni rappresentative dell'usabilità del prodotto da parte dell'utente. Per rendere più concreto il concetto si consideri, ad esempio, il prodotto "lavabiancheria", in particolare i componenti oblò e vasca del detersivo; fraintendere la metodologia di sviluppo dell'analisi funzionale potrebbe portare a definire l'oblò mediante la funzione "inserire i panni sporchi" al posto della più corretta "consentire l'inserimento dei panni sporchi" ed, in maniera analoga, definire la vaschetta del detersivo mediante la funzione "inserire detersivo" al posto di "consentire l'inserimento del detersivo". Seppur molto simili alle definizioni funzionali di prodotto, entrambe le relazioni non corrette rappresentano casi di uso, non specifiche di funzionamento. In questi casi bisogna, dunque, convertire le funzioni d'uso in funzioni di prodotto che supportino le funzioni d'uso stesse.
- Verificare la semplicità delle funzioni: è un'altra verifica a carattere prettamente teorico, che si esplicita mediante considerazioni riguardo la complessità ed il numero di link che incorrono in un determinato blocco funzionale. Quando i link che arrivano ad un determinato blocco sono eccessivamente numerosi è, probabilmente, il caso di analizzare nuovamente la funzione contenuta all'interno del blocco, in quanto, verosimilmente non atomica. È importante sottolineare la non univocità della questione in quanto non esistono regole che definiscano numeri minimi di link concorrenti ad uno stesso blocco funzionale.

- Verifica della sequenza delle funzioni: è, in un certo senso, una verifica “dipendente” dalle altre, in quanto, sostanzialmente le include tutte. A differenza delle precedenti, però, tale verifica non richiede valutazioni matematiche o puntuali ma vuole solo mettere in luce la presenza di chiari percorsi logici, con particolare attenzione alla messa in evidenza di eventuali percorsi disconnessi dall’intero sistema (dunque non corretti)
- Esistenza di funzioni ridondanti: la presenza di funzioni simili è assolutamente da evitare.
- Verifica del soddisfacimento dei requisiti: si tratta di svolgere un’analisi di concetto prendendo in esame ciascuna funzione definita ed i link incorrenti in tale funzione, analizzandoli in funzione dei singoli requisiti di progetto. Se l’insieme delle funzioni e dei link, ovvero la rete funzionale, soddisfa puntualmente tutti i requisiti, questa può essere una delle possibili soluzioni funzionali del problema; altrimenti è necessario: (a) definire le funzioni mancanti relativamente ai requisiti non soddisfatti; (b) ridefinire l’intero schema funzionale, allorquando ci si accorga che eventuali mancanze sono riferite ai requisiti fondamentali del problema.
- Verifica di esistenza di alternative: così come è importante verificare l’esistenza di soluzioni alternative durante tutta la fase di progettazione di prodotto, altrettanto bisogna fare durante la fase di analisi funzionale. Il primo schema funzionale creato non è detto che sia il migliore, ovvero quello che meglio approssima la definizione funzionale di tutti i requisiti di progetto e, nello stesso tempo, sia il più semplice. È utile chiedersi, dunque, dell’esistenza di alternative alla soluzione generata, magari provando a riformulare il problema funzionale in un altro momento, confrontando in seguito le due soluzioni.

## 1.6 Esempio applicativo della metodologia di analisi funzionale

Avendo posto le basi teoriche relative all'applicazione della metodologia di analisi funzionale all'interno del complesso sistema di progettazione concettuale di prodotto industriale non rimane altro che concretizzare, tramite un esempio applicativo, i concetti finora esposti. A tal fine si è scelto di applicare la metodologia ad un prodotto industriale le cui funzionalità e caratteristiche sono pienamente consolidate e conosciute; una caldaia a gas. La scelta di svolgere l'analisi funzionale di un prodotto dalle caratteristiche funzionali stabili è stata dettata dalla necessità di chiarire non tanto le funzioni e le relazioni proprie del prodotto che, come detto, risultano essere ben note, bensì l'insieme delle operazioni logico-sintattiche mediante le quali giungere ad una rete funzionale coerente, valida ed utilizzabile dal punto di vista progettuale. In questa accezione particolare, dunque, l'analisi funzionale viene svolta seguendo un approccio *bottom-up*, ovvero partendo dal prodotto finito e risalendo alle funzioni "elementari" in grado di descrivere le funzionalità del sistema. D'altronde, seppur nella sua formulazione *top-down* (ovvero partendo dai requisiti funzionali, raggiungendo, dunque, lo schema funzionale che meglio approssima l'insieme di tali requisiti) l'analisi funzionale mette a disposizione del progettista le maggiori potenzialità, consentendo la descrizione strutturata di prodotti innovativi, definiti in base ai soli requisiti di progetto, può essere costruttivamente applicata a casi di "revers engineering" di prodotto. Ciò accade, ad esempio, nel momento in cui sia necessario introdurre nuove funzionalità all'interno di prodotti già esistenti o quando si vogliano correggere "comportamenti funzionali" del prodotto non soddisfacenti [7]. D'altro canto, fin dai primi momenti si era discusso della ciclicità della metodologia, ed intervenire sulla struttura di analisi funzionale in momenti successivi alla definizione preliminare, magari a seguito di verifiche non soddisfacenti, non è altro che una procedura di reingegnerizzazione interna al ciclo.

### 1.6.1 Definizione della macrofunzione e contestualizzazione

Come ampiamente descritto nei paragrafi precedenti, la fase iniziale di studio di analisi funzionale si concretizza nella definizione della macrofunzione che il prodotto dovrà garantire durante il suo funzionamento. Evidentemente, trattandosi di

una caldaia a gas, la macrofunzione rappresentativa dell'intero sistema sarà descritta, utilizzando il paradigma “verbo + nome”, dalla “coppia” “*Riscaldare acqua*”. Molto utile, a questo stadio dell'analisi risulta essere la contestualizzazione della funzione centrale del prodotto. Per contestualizzazione si intende una procedura mediante la quale la macrofunzione viene messa in “corrispondenza” con l'ambiente con il quale deve interagire. Per il caso in questione risulta chiaro che la caldaia dovrà essere dotata di “accessori” mediante i quali l'utente possa agire generando i comandi necessari al funzionamento del sistema, dovrà poter interagire con l'impianto idrico e quello del gas, sarà in qualche modo collegata alla parete e dovrà essere in grado di espellere i residui di combustione (fig. 1.8). L'intero sistema è supposto ideale, ovvero privo di perdite energetiche o trafiletti di materiale in lavorazione.

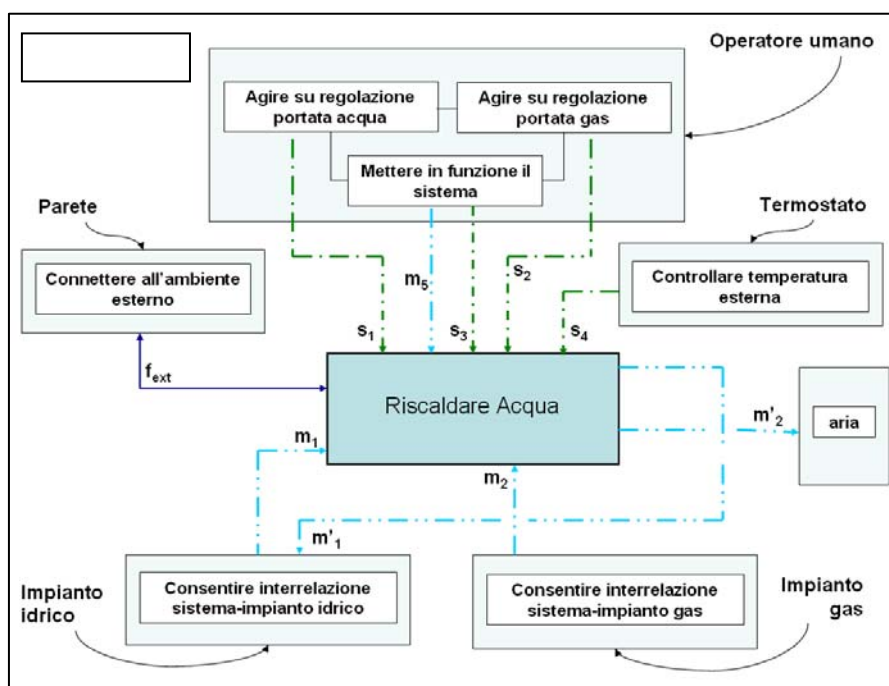


Figura 1-8 Rappresentazione della macrofunzione per una caldaia a gas.

Osservando l'immagine di fig. 1.8 si può dunque verificare che il sistema, il quale ha il compito fondamentale di riscaldare acqua, è connesso alla parete mediante un link di forza “ $f_{ext}$ ”, riceve dall'impianto idrico una portata di acqua “ $m_1$ ”, dall'impianto gas una portata di gas “ $m_2$ ”, viene controllato mediante una serie di segnali, “ $s_1$ ” “ $s_2$ ” “ $s_3$ ”, rispettivamente segnale di regolazione portata di acqua, regolazione portata di gas e di azionamento, gestiti dall'utente, riceve dall'ambiente esterno l'informazione riguardo la temperatura “ $s_4$ ”, riceve del

materiale “ $m_5$ ” mediante il quale “autogenerare” l’energia di cui ha bisogno (batterie); a funzione compiuta “espelle” due portate “ $m'_1$ ” “ $m'_2$ ”, rispettivamente la portata di acqua calda (che dunque hanno subito una trasformazione energetica) e la portata di gas combustibili. La prima ritorna all’impianto idrico; la seconda viene espulsa in aria. Per chiarezza espositiva da ora in poi si farà riferimento a questa fase come “fase di livello 0”.

A partire dalle pochissime informazioni contenute nella precedente esposizione è possibile iniziare a ragionare in termini di analisi funzionale. Si consideri, innanzitutto, il problema della connessione all’ambiente esterno; evidentemente per mantenere il sistema in una determinata posizione sarà necessario predisporre la struttura di qualcosa che consenta l’interazione tra la parete a cui dovrà essere collegato ed il sistema stesso. È evidente la necessità di espandere la macrofunzione in sottofunzioni più semplici, una delle quali dovrà proprio esprimere la suddetta occorrenza. Allo stesso tempo, il sistema dovrà essere dotato di qualcosa che consenta il convogliamento delle due portate di fluido in lavorazione, di un sistema all’interno del quale far avvenire le trasformazioni, di un gestore che regoli e distribuisca i flussi di segnale. La definizione in termini funzionali di tutte queste necessità si realizza nel secondo step di analisi funzionale, nel quale la macrofunzione è esplosa in sottofunzioni a maggiore specificità; per chiarezza, tale step sarà denominato “esplosione di *livello 1*”.

### 1.6.2 Analisi funzionale approfondita: esplosione in sottofunzioni

Il primo processo di esplosione funzionale rappresenta il momento cruciale dello studio di analisi funzionale. Una corretta definizione delle sottofunzioni di livello 1 è, infatti, fondamentale per garantirsi, quantomeno, la corretta traduzione delle necessità cruciali in specifiche funzionali fondamentali. Di seguito (fig. 1.9) si riporta l’esplosione strutturata per la macrofunzione di fig. 1.8 (prescindendo dalla riproposizione della contestualizzazione); essa rappresenta solo una delle tante possibili configurazioni funzionali che consentono la definizione schematica di una caldaia a gas. Per dare al problema trattato totale genericità, infatti, non si è fatto riferimento a nessun prodotto in particolare, ma si è cercato di definire la caldaia in



termini funzionali seguendo una linea del tutto generale, così da concentrarsi piuttosto sull'applicazione della metodologia che sul prodotto in se.

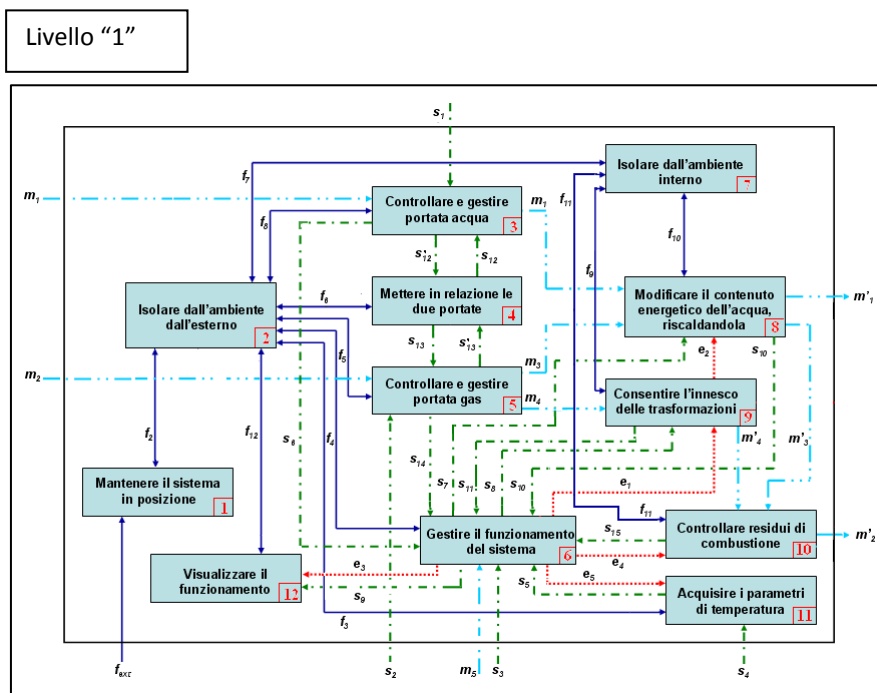


Figura 1-9: Rappresentazione del livello 1 per l'analisi funzionale "Caldaia a Gas"

Mediante lo schema di fig. 1.9 si iniziano a delineare le strutture funzionali fondamentali mediante le quali garantire il corretto funzionamento del sistema. Si nota come il blocco la cui funzione è descritta dalla locuzione "Mantenere il sistema in posizione" esprima il concetto di posizionamento del sistema. Tale blocco è connesso ad una struttura funzionale che descrive il compito di "Isolare l'ambiente dall'esterno", ovvero impedire le interrelazioni tra l'ambiente esterno e le trasformazioni che avvengono all'interno del sistema. Quest'ultimo blocco è collegato, mediante un certo numero di link di forza, ad una serie di blocchi funzionali; ciò vuol dire che il suo compito non si limita al solo isolamento, che rappresenta, il compito fondamentale, ma è chiamato a svolgere anche la mansione di "connettore" per buona parte degli elementi dell'apparato. Molto importanti risultano essere i blocchi funzionali relativi alla gestione e controllo delle portate di acqua (3) e gas (5) entranti nel sistema, messi in relazione attraverso il blocco funzionale (4). La gestione dell'intero sistema è delegata al blocco (6), "Gestire il funzionamento del sistema", a partire dal quale vengono prodotti gli input energetici per il funzionamento ed al quale, arrivano e partono la maggior parte dei segnali destinati

alla distribuzione del flusso informativo. I blocchi (8) e (9) sono, essenzialmente, i sistemi funzionali mediante i quali si esplicita il compito centrale del sistema; nonostante ciò essi non avrebbero modo di “agire” senza la presenza degli altri blocchi funzionali. Poiché il prodotto in fase di analisi è noto, è possibile fornire anche una lettura fisica ben definita della rete funzionale. Evidentemente è possibile avere questo livello di dettaglio solo in questo caso, non nel momento in cui si stia realizzando un prodotto innovativo. Dunque acqua e gas entrano nel sistema, vengono gestiti e convogliati mediante dei servomeccanismi di azione e controllo; l'ingresso dell'acqua produce un segnale ( $s_6$ ) che, inviato ad una centralina elettronica di gestione, trasporta l'informazione necessaria alla messa in funzione del sistema. La centralina interagisce con i blocchi (8) e (9), inviando loro, rispettivamente, il segnale contenente le informazioni di temperatura esterna e il segnale di innesco dell'ignizione. Inoltre produce, mediante la batteria, l'energia necessaria per consentire l'innesco delle trasformazioni ( $e_1$ ) nonché tutte le altre forme di energia per far funzionare i sistemi elettrici presenti all'interno del sistema (11) (10) e (12). I blocchi (8) e (9), rispettivamente, assicurano il riscaldamento dell'acqua e producono l'energia necessaria alla trasformazione ( $e_2$ ); una volta raggiunta la temperatura dell'acqua voluta, il blocco funzionale (8) invia un segnale alla centralina ( $s_{10}$ ), la quale, ricevutolo, blocca le operazioni. A trasformazione ultimata, l'acqua (calda) viene reimpressa nel circuito idrico (fig. 1.8), mentre i residui di combustione vengono espulsi in aria. La centralina di controllo ha anche il compito di gestire i flussi informativi relativi alla visualizzazione del funzionamento del sistema (interagendo con il blocco funzionale (12)), di acquisire e gestire i parametri di temperatura provenienti dall'esterno (interazione con blocco funzionale (11)), e di controllare, prima dell'immissione in aria, il contenuto dei residui di combustione.

La rappresentazione di funzionamento tecnico/funzionale appena descritta definisce solo una schematizzazione di massima di un sistema alquanto più complesso. Prova ne è il fatto che la centralina elettronica, ovvero il blocco funzionale (6) riceve un grande numero di segnali. Di seguito si riporta una tabella contenente la denominazione di tutti i link funzionali utilizzati per descrivere il sistema di fig. 1.9, ciò per rendere più leggibile la rete funzionale descritta. La tabella contiene, inoltre, indicazioni riguardo il blocco di partenza e di arrivo per ciascun

link utilizzato. Il pedice “*ext*” è utilizzato per definire connessioni con l’ambiente esterno.

**Tabella 1-1:** Insieme dei link utilizzati per l’analisi funzionale della “caldaia a gas”

Tippologia	Nome	Azione	Blocco “partenza”	Blocco “arrivo”
Forza	f <sub>ext</sub>	connessione tra ambiente esterno e sistema	ext	1
	f <sub>2</sub>	connessione tra blocco “partenza” e blocco “arrivo”	1	2
	f <sub>3</sub>	"	2	11
	f <sub>4</sub>	"	2	6
	f <sub>5</sub>	"	2	5
	f <sub>6</sub>	"	2	4
	f <sub>7</sub>	"	2	7
	f <sub>8</sub>	"	2	3
	f <sub>9</sub>	"	7	9
	f <sub>10</sub>	"	7	8
	f <sub>11</sub>	"	7	10
Materiale	m <sub>1</sub>	ingresso acqua dall’esterno/acqua in trasformazione	ext	3
	m <sub>2</sub>	ingresso del gas dall’esterno	ext	5
	m <sub>3</sub>	frazione di gas utilizzata per la trasformazione	5	8
	m <sub>4</sub>	frazione di gas per agnizione	5	9
	' <sub>3</sub>	scarico a seguito della combustione (trasformazione)	8	10
	' <sub>4</sub>	scarico a seguito della combustione dovuta (ignizione)	9	10
	' <sub>1</sub>	acqua in uscita (calda)	8	ext

	' <sub>2</sub>	gas combustibili	10	ext
	5	batterie	ext	6
<b>Segnale</b>	1	regolazione portata acqua	ext	3
	2	regolazione portata gas	ext	5
	3	accensione sistema	ext	6
	4	temperatura esterna	ext	11
	5	comunicazione temperatura esterna al gestore del sistema	11	6
	6	comunicazione richiesta acqua (calda) a gestore di sist.	3	6
	7	invio dati di temperatura trasdotti al sistema riscaldante	6	8
	8	invio segnale per ignizione	6	9
	9	visualizzazione funzionamento sistema (led luminosi)	6	12
	10	feedback temperatura interna (raggiunta)	8	6
	11	segnale avvenuta accensione (fiamma pilota)	9	6
	12	comunicazione pressione gas ad impianto idrico	4	3
	' <sub>12</sub>	risposta impianto idrico alla comunicazione	3	4
	13	comunicazione pressione acqua ad impianto gas	4	5
	' <sub>13</sub>	risposta impianto gas a comunicazione	5	4
14	comunicazione pressione gas	5	6	
15	caratteristiche dei fumi			
<b>Energia</b>	1	energia per avviamento sistema	6	9
	2	energia termica	9	8

	3	energia per funzionamento visualizzatori	6	12
	4	alimentazione controllore residui combustione	6	10
	5	alimentazione trasduttore parametri temperatura	6	11

Data la rete funzionale di fig. 1.9 è indispensabile, a questo stadio dello studio, iniziare a porsi le domande riguardanti la coerenza dell'analisi fin qui sviluppata. Non avrebbe senso, infatti, esplodere ulteriormente l'analisi senza aver prima discriminato la correttezza o meno di questo primo livello.

Saranno lasciati, per ora, indiscussi i temi riguardanti le problematiche relative alla correttezza e al soddisfacimento delle leggi fisiche in relazione allo schema funzionale proposto. Ciò sarà argomento di successive e più approfondite analisi. Per ora è sufficiente capire la qualità dello stato generale dell'analisi. Evidentemente, per il caso specifico in questione, è superfluo chiedersi se siano stati o meno soddisfatti tutti i requisiti di progetto; evidentemente, essendo noto il prodotto in fase di analisi è stato sufficientemente facile definire uno schema che soddisfacesse l'insieme delle funzioni necessarie al corretto funzionamento del sistema. Si può dire con certezza, inoltre, che tutte le funzioni finora utilizzate sono effettivamente indipendenti tra loro. Per quanto riguarda i link di forza, ciascun blocco funzionale è raggiunto da un link di questo tipo, per cui non ci sono incongruenze. I concetti di relazione sequenziale tra i vari blocchi funzionali, descritti in precedenza, attestano il fatto che l'insieme delle funzioni rappresenti un sistema all'interno del quale esistono percorsi logico-funzionali ben definiti, come anche risulta essere chiaro che ciascuna locuzione presentata in forma di espressione funzionale è rappresentativa di una funzione propria del prodotto, non di certo relativa all'uso. Rimane, però, da discriminare il concetto di atomicità delle funzioni rappresentate. Evidentemente esse non hanno le caratteristiche di semplicità richieste per poter definire concluso lo studio di analisi funzionale. Blocchi funzionali quali, ad esempio, i blocchi (6) e (8) di fig. 1.9 sono raggiunti da un numero di link tali per cui risulta evidente la necessità di espandere ulteriormente la loro definizione in sottofunzioni più elementari. Inoltre il concetto funzionale espresso all'interno di questi (come di altri, (3) (5)) blocchi ha caratteristiche ancora troppo generali. Ora,

poiché tali strutture funzionali rappresentano gli elementi fondamentali per giungere ad una corretta definizione della rete funzionale del prodotto in fase di analisi, si è pensato di operare una nuova decomposizione, generando il livello 2 di esplosione.

### 1.6.3 Elaborazione successiva dell'analisi funzionale proposta

Si è detto in precedenza che alcuni dei blocchi funzionali utilizzati per descrivere la rete funzionale della caldaia non fossero completamente esaustivi, in quanto ancora descriventi un concetto funzionale troppo generico. Tali blocchi sono:

- (3) “Controllare e gestire portata acqua”
- (5) “Controllare e gestire portata gas”
- (6) “Gestire il funzionamento del sistema”
- (8) “Modificare il contenuto energetico dell’acqua, riscaldandola”

Secondo i dettami della teoria dell'analisi funzionale, i blocchi appena citati, poiché contenenti delle “definizioni funzionali” troppo generiche e poiché raggiunti da troppi link devono necessariamente essere sottoposti ad una successiva fase di analisi, dunque esplosi in sottofunzioni che mettano in evidenza con maggiore dettaglio i compiti che ciascuno di essi deve assolvere all'interno della rete; di seguito sarà proposta un'analisi dettagliata di come procedere all'esplosione di ciascuno dei suddetti blocchi.

Si consideri il blocco (3), “Controllare e gestire portata acqua”; bisogna capire cosa vogliono specificare i verbi “controllare” e “gestire”. Gestire, dunque, fare in modo che l'acqua possa entrare all'interno della caldaia e possa defluire verso la zona in cui subirà la trasformazione; controllare, ovvero, ad esempio, assicurare che l'acqua non contenga impurità, magari filtrandola, e definire la portata necessaria in entrata in base alle esigenze dell'utilizzatore. Perciò il blocco funzionale (3) può essere esplosi in modo tale da mettere in evidenza tutte queste necessità, ovviamente in termini funzionali (fig. 1.10).

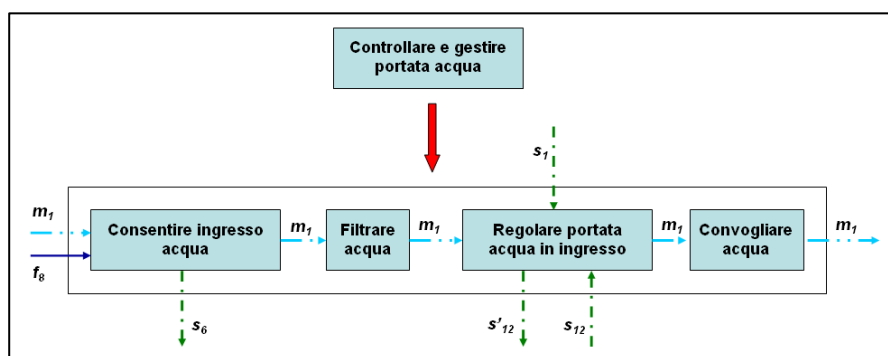


Figura 1-10: Esplosione blocco (3)

È importante, in questa fase, assicurare il nuovo corretto posizionamento dei vari link che, prima dell'esplosione del blocco convergevano verso lo stesso. Evidentemente tali link non potranno essere che gli stessi; essi, però, assumeranno una diversa collocazione (saranno ingressi per i nuovi sottoblocchi funzionali) in funzione delle peculiari definizioni associate a ciascun singolo sottoblocco. Perciò, ad esempio, i segnali di controllo “ $s_1$ ”, “ $s_{12}$ ”, “ $s'_{12}$ ” saranno direttamente relazionati al nuovo blocco funzionale che descrive le proprietà di regolazione della portata, mentre il segnale “ $s_6$ ”, mediante il quale è inviata la richiesta di azionamento del processo al blocco funzionale definente il controllo del sistema (fig. 1.9), partirà direttamente dal blocco funzionale “*Consentire ingresso acqua*” (fig. 1.10) che trasduce in termini funzionali la necessità appena esposta.

Un discorso del tutto analogo può essere fatto per quanto riguarda il blocco (5) “*Controllare e gestire portata gas*”, per il quale sono richieste, essenzialmente, specifiche funzionali estremamente simili a quelle del blocco (3), a meno di una struttura che sia in grado di “*Misurare la pressione del gas*” (fig. 1.11).

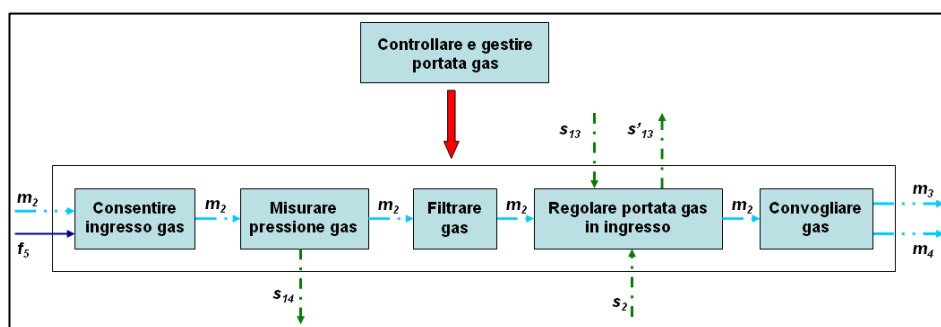


Figura 1-11: Esplosione blocco (5)

Vale ancora il discorso legato alla redistribuzione dei link in maniera congrua alle definizioni presenti nei nuovi blocchi funzionali. In particolare si nota come il segnale “ $s_{14}$ ”, relativo alla comunicazione della pressione del gas al blocco funzionale esprime la funzione di controllo, parta direttamente da “*Misurare pressione gas*”.

Un discorso più articolato va fatto per quanto riguarda il blocco (6) “*Gestire il funzionamento del sistema*”. Tale blocco, infatti, esprime una funzione assai complessa e, nello stesso tempo, molto generica. Mediante il verbo “gestire” si vogliono intendere tutta una serie di processi mediante i quali generare e distribuire l’energia necessaria al funzionamento del sistema, acquisire e controllare i segnali provenienti dagli altri blocchi, azionare o, all’occorrenza, bloccare il funzionamento del sistema stesso, anche e soprattutto in condizioni di pericolo. L’immagine di fig. 1.12 è rappresentativa dell’esplosione funzionale di tale blocco.

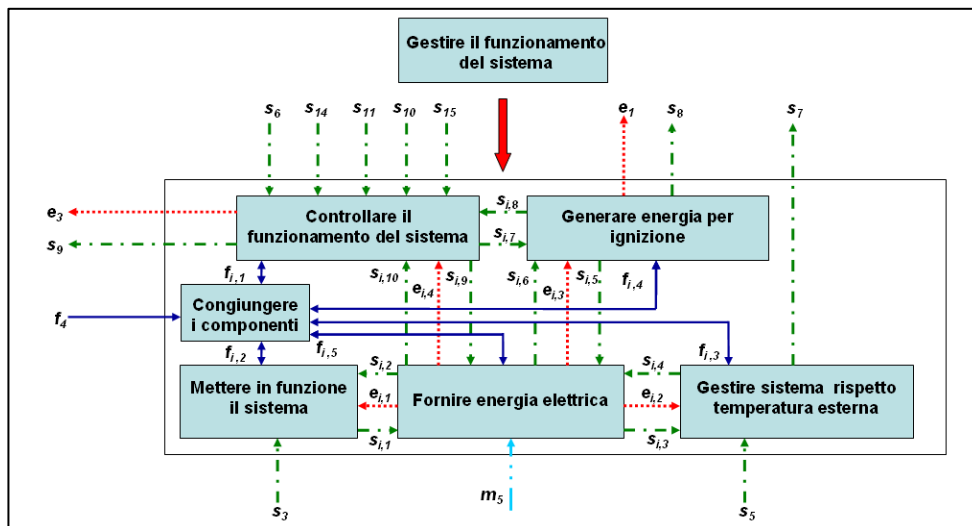


Figura 1-12: Esplosione blocco (6)



In questo caso è ancor più evidente come assuma grande importanza la redistribuzione dei link associati ai nuovi (vari) blocchi funzionali; così i link “trasportatori” di informazioni relativi al controllo convergeranno tutti sulla funzione “Controllare il funzionamento del sistema”, i link energetici avranno tutti origine dalla funzione “Fornire energia elettrica”, il segnale di accensione convergerà sul blocco “Mettere in funzione il sistema”, i segnali di gestione dell’energia faranno sempre capo alla funzione “Gestire sistema rispetto temperatura esterna”, mentre l’energia di ignizione sarà prodotta da “Generare energia per ignizione”. L’intero sistema di nuove funzioni sarà tenuto insieme mediante un sistema di link di forza generanti dal blocco “Congiungere i componenti”, mentre una fitta rete di segnali e link energetici metterà in comunicazione le nuove sottofunzioni (sintetizzando in maniera schematica il tipico comportamento di una scheda di controllo elettronico).

Non rimane che analizzare il blocco (8) “Modificare il contenuto energetico dell’acqua, riscaldandola”. Il blocco presenta al suo interno una funzione ancora piuttosto generica. In realtà per poter svolgere il compito che gli viene richiesto sarà necessario individuare una serie di blocchi che consentano l’acquisizione dell’acqua e la trasportino, dopo il riscaldamento, all’utenza; qualcosa che generi l’energia termica necessaria al riscaldamento; un sistema che smaltisca i residui di combustione ed un blocco funzionale che rappresenti la funzione di controllo delle temperature interne. Tali concetti sono schematicamente rappresentati nell’immagine di fig. 1.13.

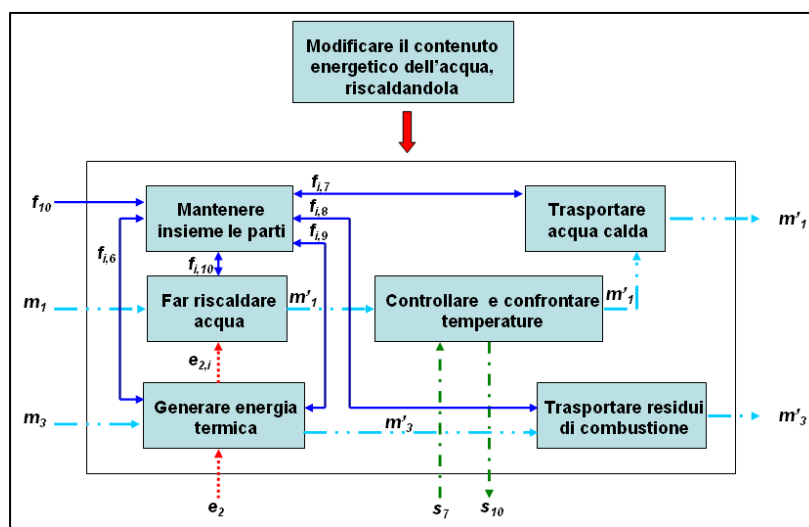


Figura 1-13: Esplosione blocco (8)

È utile mettere in evidenza, ad esempio, che le due portate “ $m_1$ ” ed “ $m_3$ ”, di acqua e gas, che prima convergevano verso un unico blocco adesso sono indirizzate verso due sottoblocchi differenti; i segnali di controllo della temperatura “ $s_7$ ” ed “ $s_{10}$ ” sono gestiti dal blocco controllare e confrontare temperature, così come sono messi ben in evidenza due percorsi diversi per i residui di combustione (“ $m'_3$ ”) e l’acqua calda inviata all’utenza (“ $m'_1$ ”).

Considerando le esplosioni funzionali svolte sui componenti appena citati e ricomponendo lo schema funzionale generale facente capo allo schema di figura 1.9 ciò che si ottiene è la rete di fig. 1.14, una rete che, almeno a prima vista, sembra essere estremamente complessa ma che, grazie alla ridefinizione ed esplosione dei blocchi funzionali centrali dell’analisi, assume una maggiore leggibilità e comprensibilità, mettendo, tra l’altro, in evidenza i punti critici del prodotto (raggiunti da un maggior numero di link funzionali) ovvero quelle funzioni la cui definizione puntuale risulta essere estremamente importante al fine di una corretta descrizione complessiva del prodotto tramite rete funzionale.

A questo punto è lecito riproporsi nuovamente la domanda: “*è questo lo stadio conclusivo dell’analisi funzionale di prodotto della caldaia a gas?*”. La risposta probabilmente è negativa. Molte delle funzioni ancora risultano avere caratteristiche alquanto generali e dovrebbero, in linea di principio, essere ulteriormente esplose. Nonostante ciò, già solo sfruttando il secondo livello di analisi funzionale il progettista ha davanti uno schema sufficientemente dettagliato la cui analisi può consentire una corretta individuazione delle funzioni fondamentali da analizzare e sviluppare, in futuro, in termini di archetipi di gruppi di componenti, così da rendere notevolmente più semplice e privo di errori concettuali il processo di elaborazione di prodotto. Inoltre, poiché si è trattato di un caso di esempio, utilizzato unicamente per descrivere in maniera più concreta la metodologia di analisi funzionale e per chiarire il concetto di sviluppo a livelli, il raggiungimento del grado di dettaglio descritto mediante lo schema funzionale di fig. 1.14 risulta essere più che soddisfacente.

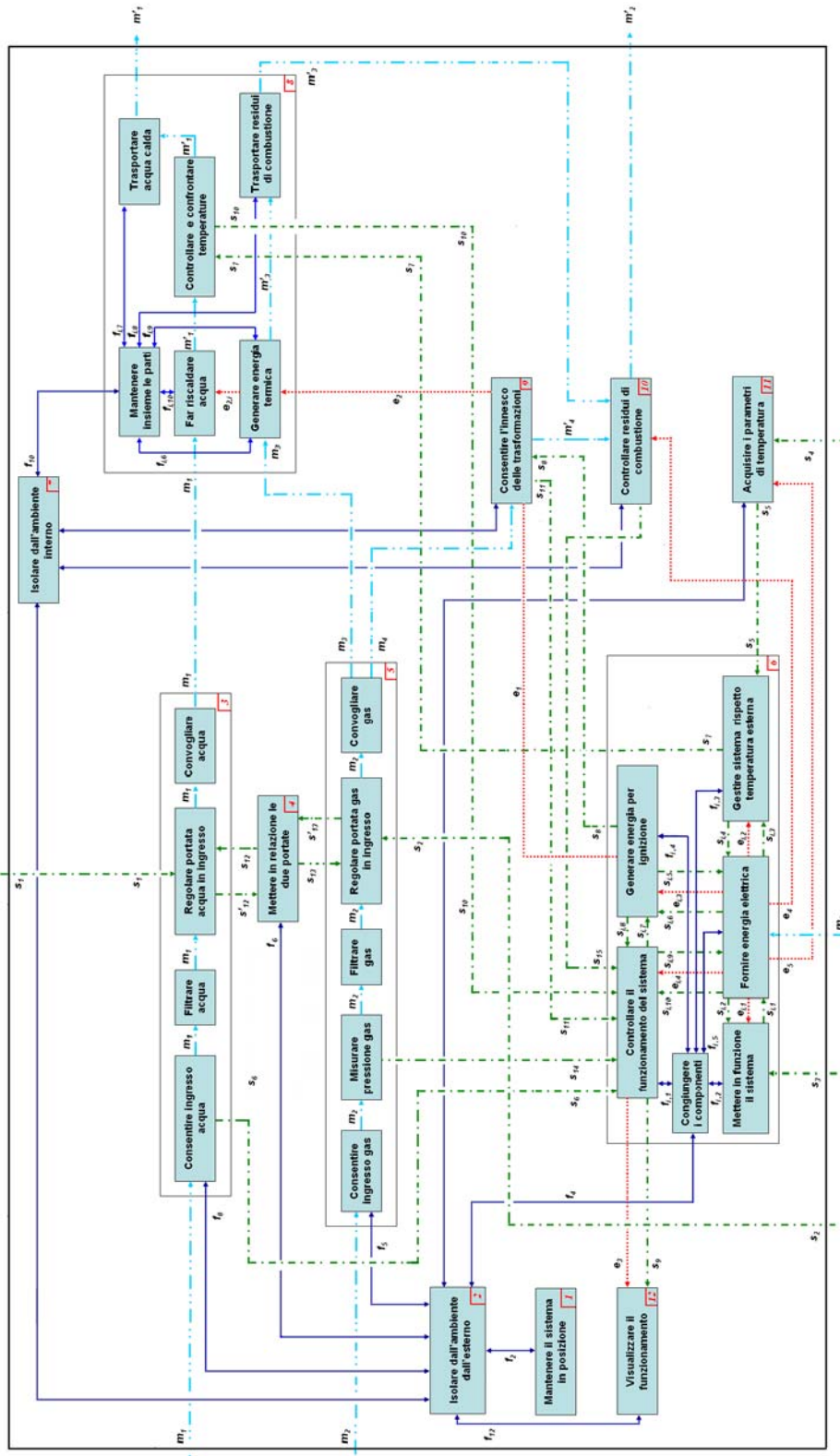


Figura 1-14: Rappresentazione analisi funzionale caldaia a gas: livello 1.