



UNIVERSITÀ DI PISA

**DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA DELL'ENERGIA DEI SISTEMI  
DEL TERRITORIO E DELLE COSTRUZIONI**

**RELAZIONE PER IL CONSEGUIMENTO DELLA  
LAUREA MAGISTRALE IN INGEGNERIA GESTIONALE**

***Analisi dei requisiti di un configuratore automatico di  
prodotto per commesse ripetitive: il caso Bertolotti  
Rail***

**SINTESI**

---

RELATORI

Prof. Ing. Davide Aloini

*Dipartimento di Ingegneria dell'Energia,  
dei Sistemi, del Territorio e delle Costruzioni*

Ing. Elisabetta Benevento

*Dipartimento di Ingegneria dell'Energia,  
dei Sistemi, del Territorio e delle Costruzioni*

Ing. Emanuele Bandinelli

*Bertolotti Rail S.r.l*

IL CANDIDATO

Daniele Biancalana

*daniele.biancalana2@gmail.com*

## **Sommario**

La presente tesi è frutto del lavoro svolto presso Bertolotti Rail, azienda operante su commessa leader nella costruzione di macchine per la manutenzione di rotabili ferroviari. Pur essendo in ambito ETO, l'ambiente rail è caratterizzato dalla presenza di progetti semplici e ripetitivi. Gli ultimi anni hanno visto una consistente crescita del mercato e delle offerte da redigere, pertanto si è ritenuto necessario introdurre uno strumento a supporto degli uffici tecnico e commerciale in grado di snellire le attività di pianificazione e controllo. L'obiettivo dell'attività di stage è stata la determinazione dei requisiti e la definizione di una specifica tecnica che potesse guidare l'azienda nella scelta di un applicativo software. Inizialmente è stata realizzata un'analisi AS-IS, per permettere di identificare le potenziali inefficienze e selezionare il prodotto target sulla base del quale definire una WBS che è stata essenziale per definire un appropriato modello di costo. Lo step successivo ha riguardato la definizione dei requisiti non funzionali e funzionali. I secondi sono stati redatti a partire dalla determinazione dei bisogni degli stakeholder e sono stati formalizzati utilizzando i casi d'uso (UML). Infine è stata redatta una specifica tecnica di fornitura software in linea con lo standard ISO IEE 830.

## **Abstract**

This thesis is the result of my internship at Bertolotti Rail. The company is one of the leaders in the construction of plants to carry out the maintenance of railway rolling stocks. Despite its ETO orientation, the rail industry is characterized by simple and repetitive product. The constant growth of the rail sector in these last years has led to an increase in orders and costs for Bertolotti Rail Srl. Therefore, top management has decided to introduce an IT application to provide support to technicians and sales force to simplify planning and control processes. The goal of my internship was to define functional and non-functional requirements for the IT software design and to draft a technical specification to guide the selection of an IT solution. To accomplish this, an AS-IS analysis of Bertolotti Rail was performed to identify potential inefficiencies and to select a target product for an appropriate WBS. Starting from the WBS, it was possible to define a proper cost model. The next step was the definition of nonfunctional and functional requirements that were drafted based on stakeholders' needs and were formalized using the UML use case approach. At the end, a proper software requirement specification was redacted using the principles expressed in the standard ISO IEE 830.

## **1. Bertolotti Rail S.r.l**

Il presente elaborato di tesi è frutto del lavoro svolto presso l'ufficio tecnico e commerciale di Bertolotti Rail S.r.l, divisione ferroviaria del gruppo Bertolotti S.p.A che nasce nel 2017 per far fronte a un importo di commesse e fatturato sempre più elevato. L'azienda è orientata al mercato B2B con una modalità di risposta al cliente di tipo Engineering-To-Order e con la principale caratteristica di fornire al cliente un servizio "Turn key". La realtà di Bertolotti è integrata verticalmente, infatti controlla tutti i processi che portano alla realizzazione e alla messa in servizio degli impianti. Tuttavia, le attività della divisione ferroviaria riguardano esclusivamente la vendita e la progettazione dei prodotti, mentre tutti gli altri processi sono presidiati da Bertolotti S.p.A e acquistati da Rail mediante opportuni prezzi di trasferimento. Fornendo un servizio chiavi in mano, un aspetto cruciale per il successo dei progetti sono le interazioni frequenti e dedicate con i clienti durante tutte le fasi della commessa e, in particolar modo, durante la definizione dei requisiti dell'impianto.

## **2. Obiettivi**

Il principale obiettivo del presente elaborato è quello di definire i requisiti di prodotto che andranno utilizzati all'interno di una specifica software in grado di guidare le scelte relative all'introduzione di un configuratore. Quest'ultimo sarà capace di supportare l'ufficio commerciale nella redazione delle offerte per impianti considerati standard e di facilitare le stime dei budget preventivi ed esecutivi. Tale necessità è nata in seguito alla volontà dell'azienda di acquisire un maggior numero di quote di mercato ed è possibile solo incrementando il numero delle offerte effettuate; un fattore abilitante è contrarre i tempi necessari alla redazione delle offerte più standard, in modo tale da investire più risorse su progetti a più alto valore aggiunto. Garantire un buon livello di accuratezza dei budget (anche nel futuro) richiede una metodologia che consenta di registrare i valori relativi a tempi e costi e che modifichi le stime ogni volta che si realizza un nuovo progetto.

Sebbene i prodotti inseriti siano predefiniti, è necessario garantire un costante allineamento con i bisogni dei clienti e la possibilità di modificare i progetti e l'ingegneria non solo nelle fasi di iniziazione, ma anche, nelle fasi di pianificazione ed esecuzione.

L'applicativo sarà di supporto anche al project management durante le attività esecutive e di controllo, infatti deve restituire gli scostamenti fra quanto consuntivato e quanto preventivato, redigere report e verificare che gli opportuni indicatori valutino l'effettivo stato di avanzamento delle commesse. Un obiettivo parallelo è semplificare la gestione della

documentazione, limitare errori nella trasmissione dei dati e facilitare la comunicazione fra i reparti aziendali.

### **3. Metodologia**

Per raggiungere gli obiettivi prefissati dall'azienda è stata seguita una metodologia in due fasi. Il primo step si ha riguardato l'analisi del contesto aziendale per poter capire i processi, i prodotti, i vincoli di business e individuare eventuali inefficienze da correggere anche tramite l'utilizzo dell'applicativo software. In seguito la definizione delle dinamiche e delle prassi aziendali ha richiesto la mappatura dei processi mediante linguaggio BPMN, utilizzando le procedure realizzate dall'ufficio qualità che sono state poi confrontate con il reale svolgimento delle attività; così facendo si è ottenuta una fotografia realistica del contesto. Compreso lo scenario, si è passati alla valutazione dei prodotti Bertolotti Rail individuando quali potessero essere considerati ripetitivi (e quindi possibile oggetto di analisi). Volendo massimizzare i benefici ottenibili e impiegare un minor numero di risorse, si è optato per un approccio a fasi che selezioni così una prima famiglia di prodotti sulla cui base si definiscono i requisiti e le caratteristiche del software. La parte conclusiva di questo primo step ha ruotato intorno la riorganizzazione e la predisposizione della documentazione necessaria all'utilizzo del configuratore; in particolare è stata definita una WBS accurata e valorizzata ed è stata ottimizzata la documentazione riportante le informazioni necessarie al conseguimento degli obiettivi di commessa. Come scritto in precedenza il secondo step previsto dalla metodologia concerne la definizione dei requisiti e la redazione della specifica tecnica di fornitura. A tale scopo, sono stati individuate quattro tipologie di requisito:

- Requisiti di prodotto e requisiti di processo, formalizzati a partire dalle informazioni ottenute dalla fase precedente.
- Requisiti funzionali e non funzionali, definiti a partire dai bisogni degli stakeholder, ricavati grazie all'utilizzo dell'intervista singola e, infine, validati tramite gruppi di confronto. Ottenuta la lista definitiva, i bisogni sono stati classificati come funzionali e non funzionali per formalizzare i rispettivi requisiti.

I requisiti non funzionali sono stati formalizzati in linguaggio naturale come previsto dalle normative standard (e come visto da progetti similari), mentre per quelli funzionali è stato necessario l'uso degli use case così come definito dal linguaggio semi formale UML. In seguito alla validazione di tutti i requisiti da parte dei principali stakeholder, la chiusura delle attività

ha portato alla redazione della specifica tecnica di fornitura del software in base ai principi e alle linee guida espresse dallo standard “Software requirements specification IEEE 830”.

#### **4. Analisi del contesto**

L’analisi e la comprensione del contesto è stata fondamentale al fine di identificare con chiarezza l’ambiente in cui implementare l’applicativo software. In prima istanza è stata condotta un’analisi dell’ AS-IS dalla quale si è evidenziato che il processo di redazione dell’offerta, come avviene in tutti contesti ETO, risulta lungo e richiede l’impiego di un elevato numero di risorse, sia per progetti ripetitivi che per progetti totalmente customizzati, rendendo ancor più evidente le esigenze espresse nel capitolo relativo agli obiettivi. In seguito, l’analisi dei prodotti ha identificato quattro categorie di impianto: i cavalletti, gli impianti sabbia, le piattaforme di calaggio e le piattaforme di rotazione; sulla base di commesse realizzate in precedenza, questi hanno dimostrato di avere soluzioni piuttosto standard e ripetitive. Per poter meglio classificare i prodotti e indirizzare i lavori, è stato utilizzato il modello di Hvam che classifica i vari sistemi ETO in funzione del posizionamento del CODP (Customer Order Decoupling Point) all’interno del processo di realizzazione e redazione dell’offerta (processo di redazione della specifica). Se nello scenario AS-IS i prodotti Rail selezionati si collocano in una situazione definita “Modify-To-Order”, ovvero, in un contesto dove la progettazione usufruisce di modelli e moduli predefiniti e affiancati da un insieme di regole per creare prodotti personalizzati, il modello che si vuole raggiungere nel TO-BE è quello del “Select Variant”, che prevede la scelta di impianti quasi completi, selezionati e definiti in precedenza. L’analisi dei prodotti si conclude con la selezione di un prodotto target, sulla base del quale definire le strutture e i requisiti software. Il modello di Hayes&Weehlwright ha consentito poi la classificazione degli impianti prendendo in esame la ripetitività; questo modello prevede di inserire i prodotti all’interno di una matrice 2x2 che ha come dimensioni il volume e la complessità. L’analisi effettuata ha evidenziato alcune criticità, in primo luogo i cavalletti si sono dimostrati il prodotto più adatto all’analisi in virtù della loro ripetibilità, in secondo luogo, che gli altri prodotti considerati necessitano un maggior grado di standardizzazione prima di poter essere inclusi all’interno della valutazione.

A questo punto è stata condotta un’analisi più approfondita per meglio chiarire la struttura dell’impianto target, ottenendo i seguenti risultati:

- Gruppi meccanici (gruppo colonna, gruppo mensola e gruppo vite).
- Gruppi elettrici (Pulpito, quadri, bordo macchina e cavi).

In seguito a questa prima valutazione, sono state analizzate le varianti più richieste, così da ampliare lo spazio delle soluzioni e consentire un certo grado di customizzazione. Le principali soluzioni individuate sono: patin ripeur, Wi-Fi, discesa di emergenza, cavidotto aereo semplice o strutturato, motore ad assi ortogonali. Con uno spazio delle soluzioni chiaramente definito è stato possibile procedere andando ad ottimizzare le soluzioni ingegneristiche, sfruttando le conoscenze apprese grazie alle non conformità rilevate per progetti precedenti. Di conseguenza, è stata modificata e razionalizzata la documentazione necessaria per la corretta esecuzione della commessa (Disegni e distinte).

## **5. WBS e modello di costo**

Una volta definito il prodotto target si è andati a realizzare una WBS per i cavalletti, capace di semplificare la fase di configurazione e la gestione della commessa nelle fasi operative. Il primo livello di scomposizione segue una logica di prodotto, infatti sono stati differenziati e codificati i vari elementi fisici che compongono l'impianto e i servizi ad esso associati:

- Codificati con il label B010 – B040 si identificano i servizi che consentono a Bertolotti di fornire prodotti “turn key” (B010 Progettazione, B020 Trasporti, B030 Montaggio in cantiere (MIC), B040 Messa in servizio (MIS)).
- Codificati con il label B050 – B900, si identificano i cosiddetti gruppi meccanici, ovvero gli elementi fisici che compongono il prodotto realizzati in progettazione meccanica (B050 Gruppo colonna, B100 Gruppo mensola, B150 Gruppo vite).
- Codificati con il label E050 – E450 si identificano i cosiddetti gruppi elettrici, ovvero gli elementi fisici che compongono il prodotto realizzati in progettazione elettrica. (E050 Gruppo pulpito, E100 Gruppo Quadri, E150 Gruppo bordo macchina, E200 Gruppo cavi cantiere).

Dal secondo livello in poi della WBS si ha un cambio di logica, in quanto si va a scomporre il prodotto secondo i processi e, in particolare, si fa riferimento alle aree aziendali:

- Ufficio tecnico (Progettazione meccanica, progettazione elettrica, FAT).
- Produzione (Carpenteria, macchine utensili, verniciatura, montaggi interni)
- Acquisti (Materia prima, componenti commerciali, produzione esterna)
- Montaggi esterni (manodopera elettrica, manodopera meccanica)

A seguito della sua definizione, un fattore abilitante per permettere l'utilizzo del software è stato la valorizzazione dei singoli work package. Inizialmente questa attività è stata eseguita andando a recuperare il costo medio consuntivo registrato per commesse precedenti. Tuttavia l'assenza di alcune voci o la scarsa affidabilità delle fonti da cui provenivano i dati, ha fatto optare per un modello basato su una forbice di valori provenienti da fonti diverse (consuntivo, pareri esperti e fornitori). In ottica di utilizzo gli intervalli trovati devono guidare gli operatori dell'ufficio commerciale nella definizione del prezzo da fornire al cliente ma, in concomitanza all'utilizzo dell'applicativo e la registrazione dei nuovi costi a consuntivo, il software deve essere in grado di calcolare un nuovo costo medio e garantire una valorizzazione più affidabile, puntuale e in linea con la realtà.

## 6. Determinazione dei requisiti e SRS

L'analisi dall'AS-IS non è stata funzionale solo alla comprensione del contesto ma, come già espresso nel capitolo metodologico, è stata utilizzata anche per poter definire i requisiti di prodotto e processo. Il requisito di prodotto più rilevante ha riguardato i modelli da inserire all'interno del software configuratore, individuati attraverso il carico massimo ammissibile per ciascun prodotto e sulla base della mobilità della mensola, la figura 6-1 mostra uno schema delle varianti ammissibili.

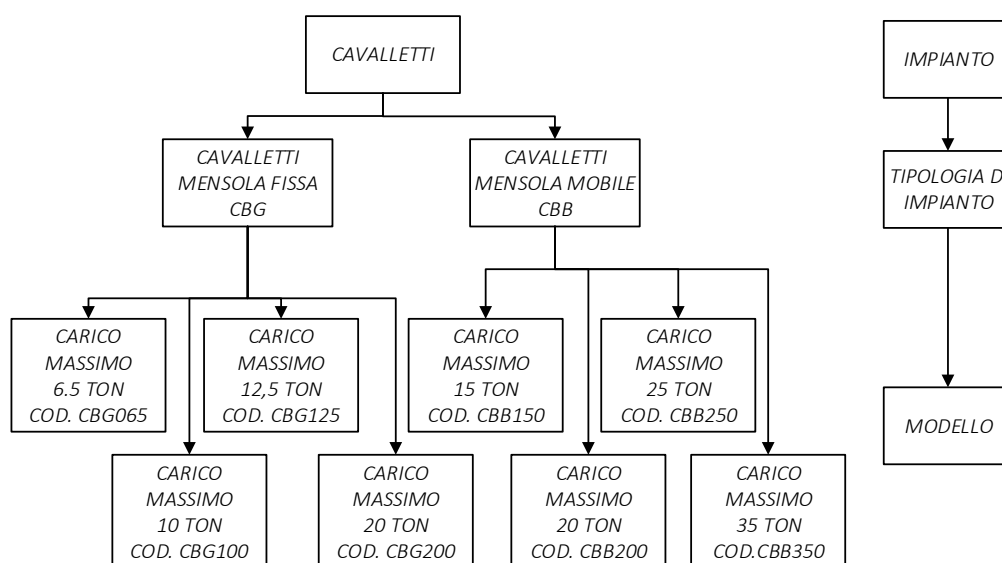


Figura 6-1

Selezionato il modello, il software configuratore permette di scegliere la configurazione specifica dell'impianto, individuata in virtù delle varianti comuni e più richieste (seguendo lo schema riportato in figura 6-2). A seconda del modello il sistema prevede che si generino i documenti standard, visibili e modificabili dagli utenti (così come riportati nel rettangolo in alto). Quando l'utente ha visualizzato la configurazione standard, il sistema porrà domande utili all'inserimento di ulteriori caratteristiche e alla creazione della relativa documentazione (disegni, distinte e work package della WBS).



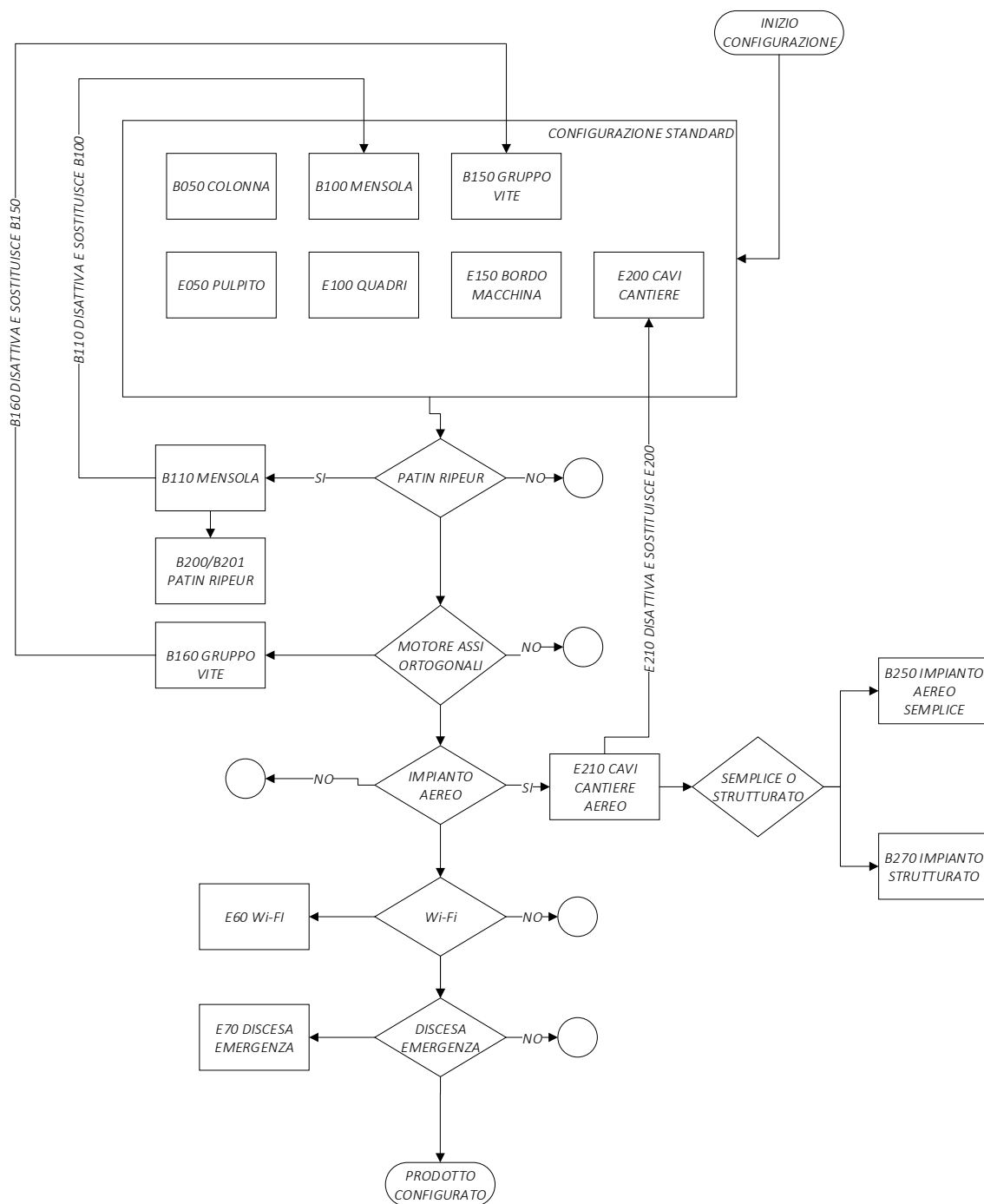


Figura 6-2

Altri requisiti di prodotto/processo hanno riguardato la possibilità di effettuare dei changeover per poter rimanere sempre allineati alle richieste del cliente, sia in fase di pianificazione che in fase operativa, seguendo le logiche stabilite dagli attuali processi aziendali. Lo step successivo ha coinvolto tutti gli stakeholder del progetto e l'identificazione dei loro bisogni, attraverso i quali definire i requisiti funzionali e non funzionali. I requisiti non funzionali descrivono caratteristiche, proprietà e vincoli che il sistema deve avere e per il caso

Bertolotti sono stati individuati i seguenti: usabilità, efficienza, interoperabilità, estensibilità, affidabilità, autenticazione e tracciabilità.

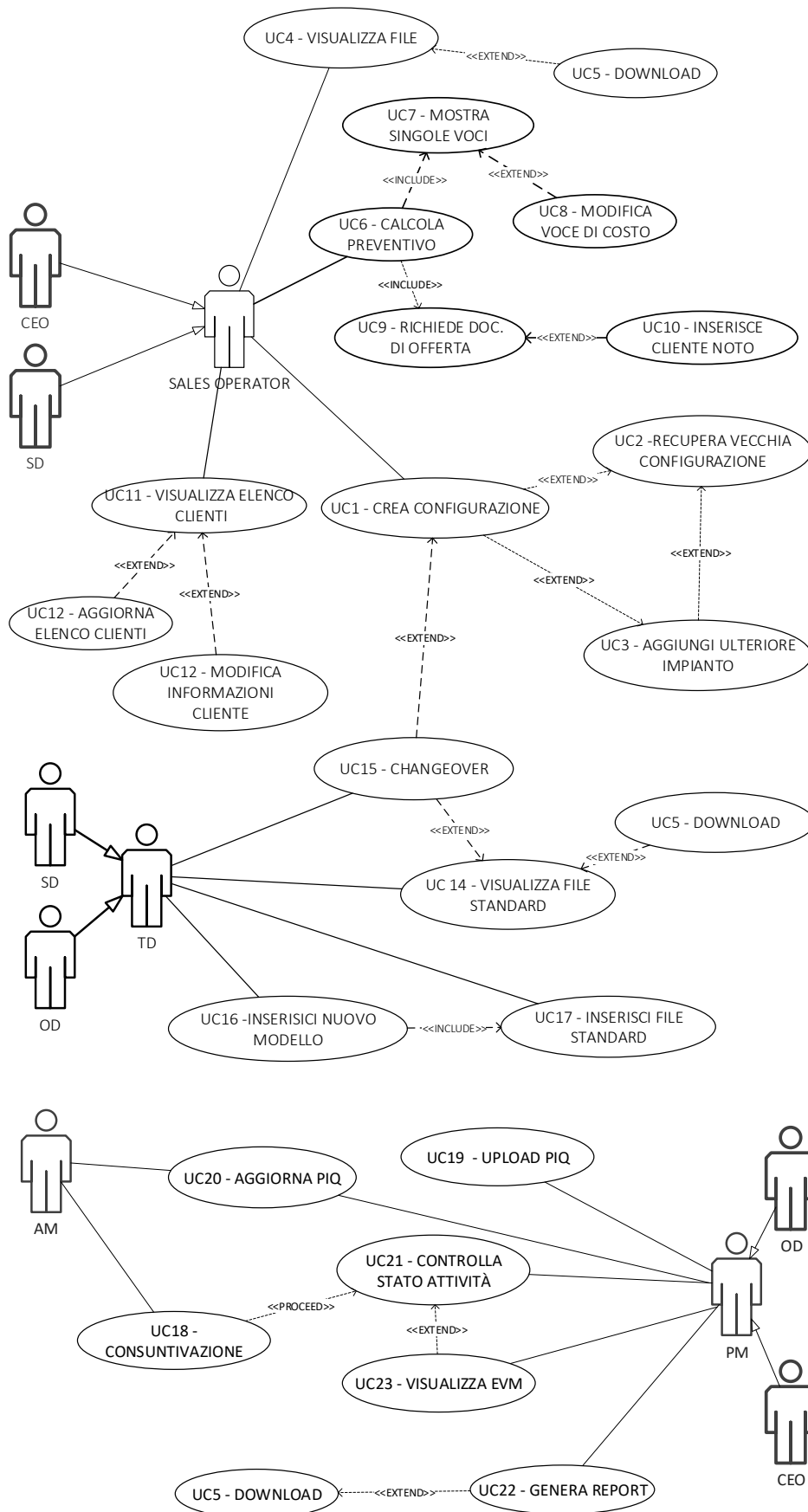


Figura 6-3

Come detto nel capitolo metodologico, i bisogni classificati come funzionali sono stati formalizzati tramite il linguaggio UML, individuando così ventitré casi d'uso che corrispondono a tutte le esigenze espresse dagli utilizzatori del sistema. Un requisito funzionale descrive i servizi, i compiti e le funzioni che un sistema deve realizzare e catturano il comportamento richiesto al software ed è alla base dello sviluppo delle attività di programmazione e sviluppo. La figura 6-3 riporta lo schema complessivo degli use case. In conclusione, i requisiti, così come definiti, sono stati utilizzati per redigere la specifica tecnica di fornitura software utilizzando il modello previsto dallo standard ISO IEEE 830.

## **7. Conclusioni e sviluppi futuri**

Riassumendo, le fondamentali feature individuate sono:

- permettere la definizione un impianto basato su ingegneria realizzata in precedenza, che consenta di garantire una consistente contrazione dei tempi pur garantendo un certo grado di personalizzazione;
- definire un criterio di allocazione dei costi sia diretti che indiretti per una maggiore accuratezza nella raccolta delle informazioni relative a costi e tempi;
- facilitare la comunicazione fra le aree aziendali;
- limitare l'uso eccessivo di documentazione riportante le stesse informazioni, garantire che tutti i documenti abbiano lo stesso indice di revisione ed evitare errori legati a mancati aggiornamenti;
- facilitare il controllo di commessa da parte del project management sia dal punto di vista dei costi che dal punto di vista dei tempi.

Il progetto configuratore prevede però alcuni ulteriori step che dovrebbero essere realizzati nel futuro:

- Standardizzare, ove possibile, gli impianti caratterizzati da un elevato grado di complessità per poter replicare lo studio descritto nel presente elaborato (piattaforme di calaggio, impianti sabbia e piattaforme di rotazione).
- Il software configuratore è visto come un Add-On rispetto all'introduzione di un ERP in grado di supportare la comunicazione interna fra i vari reparti aziendali per migliorare la consuntivazione; in questo modo le aree aziendali escluse (acquisti, produzione e service) possono giovare dei benefici legati all'utilizzo del configuratore.

- Analisi e ottimizzazione della supply chain utilizzando le informazioni ricavate dalle commesse gestite tramite il software configuratore.
- I documenti forniti in fase di configurazione, dovranno essere gestiti e aggiornati, pertanto dovrà essere individuata una figura all'interno dell'organico che si occupi di mantenere, non solo il software configuratore, assicurandone il corretto funzionamento, ma anche l'aggiornamento delle informazioni in base alle attività svolte.

