



CONSIDERAZIONI SULLE SCAFFALATURE METALLICHE INDUSTRIALI

Inquadramento normativo

Le scaffalature sono generalmente assimilate ad “attrezzature di lavoro” oppure “arredi dei luoghi di lavoro” (interpello n.16/2013 del 20/12/2013), e ricadono solo nell’ambito della legislazione sulla sicurezza dei posti di lavoro (D.Lgs. 2008/81).

Le specifiche prestazionali e le norme/direttive tecniche, cui conformarsi, sono definite dal rapporto contrattuale fra Committente e Produttore. Però esse devono tener conto che le scaffalature in zona sismica, di qualsiasi tipologia e dimensione (con la sola esclusione delle scaffalature di classe 3 ovvero quelle di altezza inferiore a 3 m assimilabili ad elementi di arredo), devono essere sempre concepite con criteri antisismici. L’obbligatorietà discende dalla legislazione vigente in Italia:

- a) sulla **sicurezza dei luoghi di lavoro** (in particolare il **D.Lgs. 81/2008 o Testo Unico**);
- b) sulla **progettazione delle strutture** (in particolare il **D.M. 17/01/2018** e la **C.M. 7 del 21/01/2019**).

a) Sicurezza sul lavoro

Pur considerando prevalente la responsabilità del datore di lavoro, esiste sempre anche la responsabilità del fornitore, il quale ha l’obbligo di immettere nel mercato prodotti sicuri in relazione al loro impiego, alle prestazioni richieste e ai rischi connessi alla loro installazione.

Tra questi rischi non può non considerarsi la sismicità del luogo dove la scaffalatura sarà costruita.

Nel caso delle scaffalature, il riferimento di legge che meglio descrive la responsabilità del fornitore è l’Art. 23 del suddetto D.lgs. 81:

“Obblighi dei fabbricanti e dei fornitori

1. Sono vietati la fabbricazione, la vendita, il noleggio e la concessione in uso di attrezzature di lavoro, dispositivi di protezione individuali ed impianti non rispondenti alle disposizioni legislative e regolamentari vigenti in materia di salute e sicurezza sul lavoro.”

Nella valutazione di “rischio sismico” si devono considerare i seguenti aspetti:

D) se la struttura della scaffalatura è progettata per resistere al sisma, durante un terremoto si possono comunque presentare i seguenti rischi, da eliminare o mitigare:

- rischio di caduta delle merci dai pallet;
- rischio di scivolamento dei pallet, tale da provocarne la caduta all’interno dello scaffale con conseguente danneggiamento ed eventuale crollo della struttura;



- rischio di scivolamento dei pallet, tale da provocarne la caduta fuori dalle scaffalature nei corridoi di passaggio con possibili danni alle persone.

II) se la struttura della scaffalatura **non** è progettata per resistere al sisma, si aggiunge il rischio rappresentato da:

- possibilità di cedimento strutturale, ovvero crollo parziale o globale della scaffalatura con danneggiamento delle merci e possibili danni alle persone che stazionano nelle aree circostanti.

b) Progettazione delle strutture

Il Ministero del Lavoro, nella **lettera circolare n. 21346 del 13/09/1995**, ha definito “sicuro” un prodotto progettato secondo la seguente gerarchia di norme tecniche:

- 1) normativa comunitaria cogente, se esistente;
- 2) leggi e norme tecniche nazionali cogenti, se esistenti;
- 3) norme di rango superiore emanate a livello europeo, come le norme EN, se esistenti;
- 4) norme emanate a livello nazionale, come le norme UNI, se esistenti;
- 5) norme volontarie di “buona tecnica”, emanate da Enti e/o Associazioni di Produttori a livello europeo o italiano, se esistenti.

Nel settore delle scaffalature metalliche le norme applicabili al caso specifico sono le seguenti:

Norme di Progettazione Antisismica Applicabili in Italia

Per la progettazione antisismica delle scaffalature porta pallet il riferimento è costituito dalla specifica tecnica **UNI/TS 11379: 2010** “Progettazione sotto carichi sismici delle scaffalature per lo stoccaggio statico di pallet”, che riprende la definizione dell’azione sismica sul territorio nazionale stabilita dal **D.M. 17/01/2018** e dalla **C.M. 7 del 21/01/2019**, integrata con le regole specifiche per la progettazione delle scaffalature desunte dalle norme europee di riferimento.

I principi di tale norma sono in parte trasferibili anche alle altre tipologie di scaffalature.

La verifica delle scaffalature esistenti è regolata dalla **Linea Guida C.S.L.P. del 2012** “Valutazione della vulnerabilità e interventi per le costruzioni ad uso produttivo in zona sismica”.

Norme di Progettazione Antisismica Applicabili in Europa

Per la progettazione antisismica delle scaffalature porta pallet il riferimento è costituito dalle specifiche tecniche delle normative:

- **UNI EN 16681:2016** “Steel static storage systems - Adjustable pallet racking systems - Principles for seismic design”. I principi di tale norma, allo stato attuale di definizione, sono generalmente analoghi ai criteri di progettazione della UNI/TS;



- **UNI EN 15512:2009** “Sistemi di stoccaggio statici di acciaio - Scaffalature porta-pallet - Principi per la progettazione strutturale”;
- **UNI EN 15629:2009** “Sistemi di stoccaggio statici di acciaio - Specifiche dell’attrezzatura di immagazzinamento”
- **UNI EN 15635:2009** “Sistemi di stoccaggio statici di acciaio - Utilizzo e manutenzione dell’attrezzatura di immagazzinaggio”
- **UNI EN 15620:2009** “Sistemi di stoccaggio statici di acciaio - Scaffalature porta-pallet - Tolleranze, deformazioni e interspazi”.
- **Linee guida FEM 10.2....** (FEM - Federation Europeenne de la Manutention)

Le regole generali per la progettazione sono basate sui principi e sulle formulazioni delle norme tecniche per la progettazione degli edifici (**Eurocodice 3 parte 1-1 e parte 1-3 e Eurocodice 8**).

Comportamento strutturale

Il comportamento strutturale delle scaffalature industriali viene descritto nella UNI/TS 11379:2010, “*Progettazione sotto carichi sismici delle scaffalature per lo stoccaggio statico di pallet*”, specifica tecnica che fornisce indicazioni per la progettazione in zona sismica di sistemi di scaffalature di acciaio per lo stoccaggio statico di merci su pallet e informazioni sul comportamento delle scaffalature sulla base delle conoscenze tecniche ricavate dallo stato dell’arte e frutto delle ricerche eseguite a livello europeo. Le strutture porta-pallet, fatta eccezione dei magazzini autoportanti che sono dei veri edifici, sono strutture particolari che solo in parte possono essere ricondotte alle strutture ordinarie. Le differenze principali sono:

- tali strutture sfruttano l’elevata resistenza del materiale in modo da poter ridurre gli spessori delle sezioni, generalmente sono **profili sottili formati a freddo**, caratterizzati da continue forature che vengono assemblati per mezzo di connessioni ad aggancio.





Sebbene da una parte questa scelta riduca i costi della struttura per via del minor impiego del materiale, dall'altra aumenta le problematiche che possono influenzare la risposta strutturale di tali telai, rendendo molto più difficoltosa la fase progettuale.

- tra le caratteristiche più ricercate nella progettazione dei componenti vi sono la **flessibilità nell'utilizzo**, per realizzare sistemi diversi, e la semplicità di montaggio, dato che questo è caratterizzato da un'elevata ripetitività; questo porta a realizzare sistemi e connessioni con schemi tutt'altro che canonici, caratterizzati da eccentricità più o meno marcate, trasferimenti di azioni per effetto di forze di contatto o di ingranamento e altre peculiarità poco usuali nella tradizionale ingegneria delle strutture metalliche.

- più del **90% della massa è costituita dalla merce immagazzinata** e queste sono semplicemente appoggiate sulle travi di sostegno.

- le scaffalature storicamente sono state concepite, progettate, **prodotte e ottimizzate per portare carichi verticali** rilevanti in rapporto al loro peso. Le azioni orizzontali per cui sono concepite in origine sono estremamente modeste, in quanto prodotte dalla movimentazione delle merci contenute nelle così dette "unità di carico", che avviene con modalità assolutamente controllate. Le stesse imperfezioni di montaggio, in particolare i fuori piombo degli elementi verticali portanti (i montanti) ne influenzano in modo non trascurabile il dimensionamento statico. Questo vale sicuramente per gli scaffali da magazzino, installati all'interno di edifici.

- caratteristica comune a tutte le tipologie di scaffalature è l'**elevata deformabilità**, dovuta alla snellezza dei profili ed ai collegamenti semirigidi, per cui nella maggior parte dei casi queste strutture devono essere studiate tenendo conto dei fenomeni del secondo ordine (instabilità dell'equilibrio). Pertanto per una corretta progettazione delle scaffalature ordinarie in acciaio, deve essere opportunamente definito uno schema di funzionamento statico, devono essere scelti i componenti strutturali da utilizzare e deve essere dimensionato il sistema di connessione.

- strutturalmente gli scaffali sono **telai a nodi semirigidi**, con nodi di modesta rigidità rispetto a quelli delle strutture tradizionali in carpenteria. Inoltre la **risposta alle azioni orizzontali può essere significativamente diversa nelle due direzioni (longitudinale e trasversale)** e può essere considerevolmente influenzata dalle dimensioni globali della struttura e dalla distribuzione delle masse lungo la sua altezza. Infatti nel piano trasversale, la rigidità laterale delle spalle tralicciate è in genere minore di quella valutabile per via teorica considerando le proprietà delle sezioni, per via dell'elevata flessibilità a taglio derivante dai sistemi costruttivi di collegamento delle diagonali, che può essere determinata solamente mediante prove. Mentre nel piano longitudinale, in genere, non è prevista alcuna controventatura. Solo dove richiesto, in tale direzione, gli scaffali possono essere controventati per resistere alle azioni orizzontali o limitare le deformazioni.



Progettazione strutturale in zona sismica

Il comportamento strutturale delle scaffalature in zona sismica è completamente differente rispetto a quello delle strutture ordinarie in acciaio. La sua differenza è dovuta principalmente alla presenza delle merci che rappresentano la massa sismica; queste possono variare in forma geometrica, peso, distribuzione planimetrica e altimetrica all'interno delle unità di carico. Bisogna inoltre sottolineare che le merci immagazzinate non sono connesse rigidamente alla struttura, ma sono semplicemente appoggiate e quindi libere di muoversi sul piano orizzontale. Le regole per la progettazione antisismica date per gli edifici non consentono di tener conto in modo adeguato del reale comportamento delle scaffalature, infatti durante un terremoto si verificano una serie di fenomeni fisici caratteristici di queste tipologie di strutture che riguardano gli elementi non strutturali (le merci):

- la dissipazione di energia dovuta alla deformazione delle merci stivate;
- l'effetto di scorrimento che si verifica tra i pallet e le strutture che li sostengono, quando le forze sismiche eccedono un certo limite, in funzione dell'intensità delle accelerazioni e dell'attrito effettivo tra le superfici a contatto;
- la possibile caduta accidentale delle unità di carico dalle travi di supporto, devono per questo motivo essere **previsti accessori capaci di limitare lo scivolamento e la caduta accidentale dei pallet;**
- la presenza di **forti eccentricità di carico** in senso planimetrico ed altimetrico, che potrebbero indurre effetti locali e/o globali imprevedibili sulla struttura.

La risposta delle scaffalature metalliche in presenza delle azioni sismiche è quindi influenzata dalla tipologia strutturale adottata per la scaffalatura e dalla natura dei carichi stoccati, nonché dalle logiche di magazzino specifiche della scaffalatura in questione.

Aspetti Critici

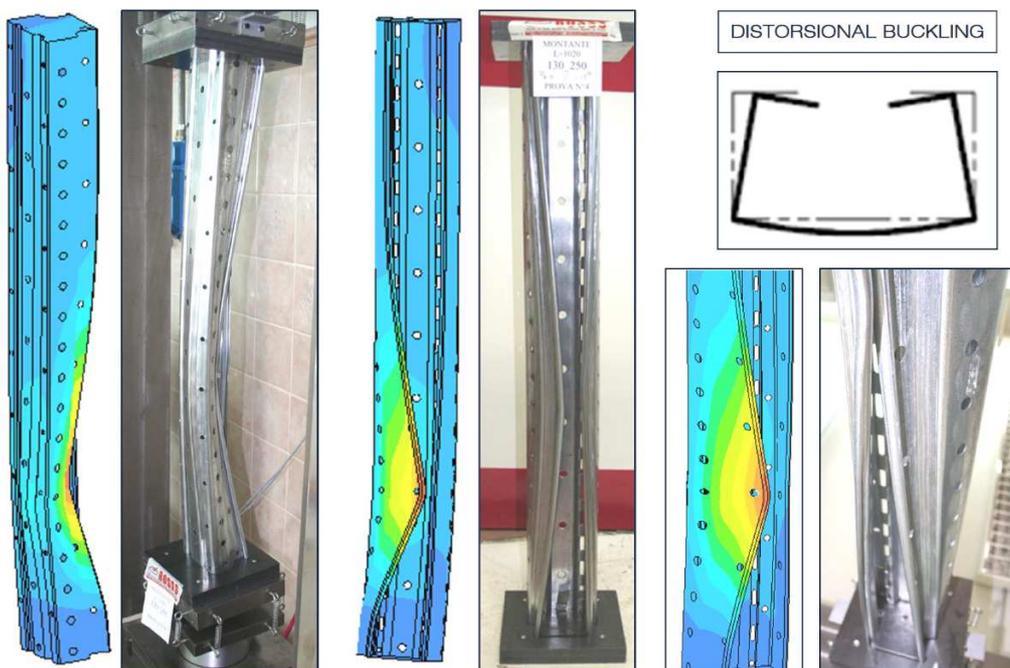
Gli eventi sismici avvenuti in Italia hanno evidenziato la particolare criticità di queste opere metalliche nei confronti delle azioni orizzontali, generalmente trascurate a livello progettuale e costruttivo.

Secondo quanto affermano le norme italiane (UNI/TS 11379:2010, D.M. 17/01/2018 e C.M. 7 del 21/01/2019) i temi più rappresentativi e critici della progettazione antisismica delle scaffalature sono i seguenti:

- le sezioni dei profili hanno spessore molto piccolo rispetto alla larghezza. In particolare si tratta di **profili in parete sottile**, detti anche profili **sagomati (o formati) a freddo** soggetti a penalizzazione per i fenomeni di instabilità locale (quindi **sezioni in Classe 4**). Di conseguenza risulta



indispensabile un'adeguata sperimentazione per la progettazione strutturale dei componenti e dei sistemi;



- l'elevato carico verticale, gli effetti dell'instabilità dell'equilibrio, sia locale che globale, influenzano in modo significativo la risposta in campo statico e dinamico.

Il controllo di questi effetti si basa sulla valutazione di:

- limitazione del carico critico: Nei casi in cui $\gamma_{1R} a_{gR} \cdot S \geq 0.1g$ il carico critico euleriano dello scaffale $P_{cr,E}$ deve risultare almeno doppio rispetto al carico portato nella condizione di progetto sismico P_E :

$$P_E / P_{cr,E} \leq 0.5$$

- parametro di sensibilità θ definito come:

$$\theta = \frac{P \cdot d_{ER}}{V \cdot h}$$

dove:

P è il carico verticale totale dovuto all'orizzontamento in esame e alla struttura ad esso sovrastante;

d_{ER} è lo spostamento orizzontale medio d'interpiano allo SLV, ottenuto come differenza tra lo spostamento orizzontale dell'orizzontamento considerato e lo spostamento orizzontale dell'orizzontamento immediatamente sottostante;

V è la forza orizzontale totale in corrispondenza dell'orizzontamento in esame, derivante dall'analisi lineare con fattore di comportamento q ;

h è la distanza tra l'orizzontamento in esame e quello immediatamente sottostante;



Il fattore θ non può comunque superare il valore 0.3.

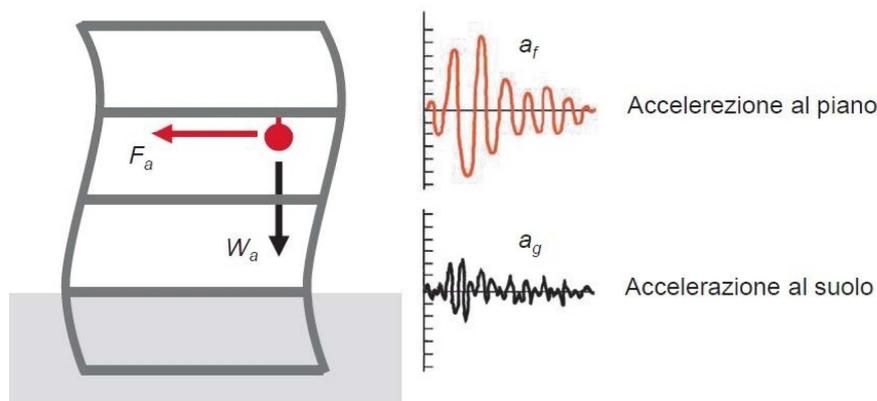
- l'elevata deformabilità laterale: la risposta dinamica delle scaffalature è caratterizzata da periodo di oscillazione elevati (1 sec nella direzione delle spalle tralicciate, 3-4 sec nella direzione longitudinale non controventata, 2 sec in presenza di controventi longitudinale);
- la risposta sismica delle scaffalature può essere significativamente diversa in direzione longitudinale o trasversale e può essere considerevolmente influenzata dalle dimensioni globali della struttura e dalla distribuzione delle masse lungo la sua altezza.

Infatti la risposta alla sollecitazione dinamica di una scaffale, non è legata alla sola duttilità del materiale, ma anche all'interazione e all'accoppiamento del sistema strutturale portante con le unità di carico, che rappresentano la grande maggioranza della massa. Si tiene conto di questa interazione mediante coefficienti che modificano lo spettro (E_{D1}) e il peso sismico del pallet (E_{D2}), in particolare:

- il coefficiente E_{D1} , che tiene conto dell'effetto globale del movimento macroscopico delle unità di carico sulle travi porta pallet, il quale si manifesta al superamento di una soglia di sollecitazione orizzontale, funzione del coefficiente d'attrito tra pallet e travi; numericamente E_{D1} modifica l'ordinata dello spettro di progetto;
- il coefficiente E_{D2} , che tiene conto dello smorzamento interno dei pallets; tale parametro definisce un valore di massa partecipante non superiore alla massa gravante, modifica il periodo di oscillazione e in genere riduce la sollecitazione.

Inoltre il posizionamento delle scaffalature ai vari piani degli edifici cambia le modalità di valutazione dell'azione sismica:

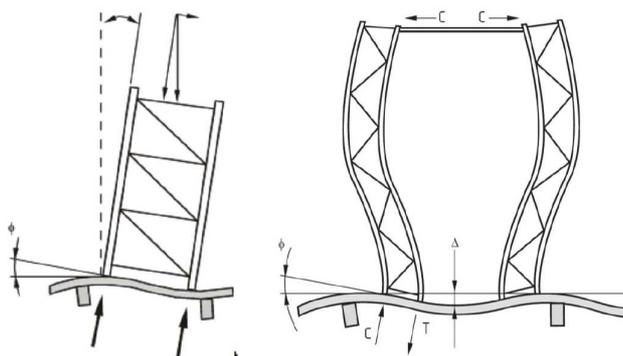
- 1) scaffalature a livello del suolo: possono essere pensate come indipendenti dalla struttura circostante (sempre che ci siano adeguati spazi di libera oscillazione);
- 2) scaffalature ai piani superiori: nella determinazione delle azioni sismiche sull'attrezzatura di stoccaggio è molto importante considerare l'**amplificazione trasmessa dalla vibrazione dell'edificio** alla **quota** di posizionamento della scaffalatura.





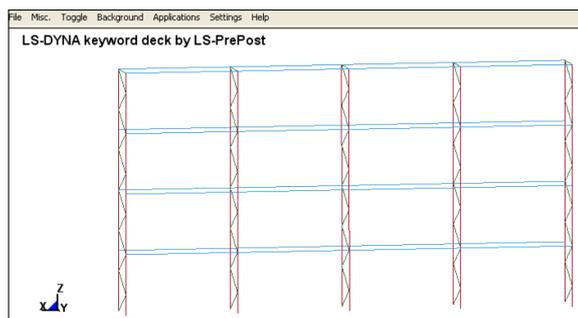
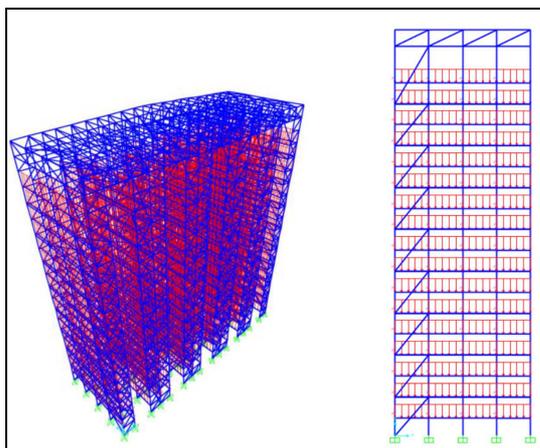
Per quanto riguarda la distribuzione delle masse lungo l'altezza è necessario effettuare delle affidabili valutazioni statistiche (identificazione del grado di riempimento medio attraverso l'analisi dei flussi) per trovare la **ripartizione di massa più probabile al manifestarsi del terremoto**, che dipende dal tipo e dalle dimensioni della scaffalatura;

- lo smorzamento naturale della struttura "nuda" è **molto basso**. Tuttavia lo smorzamento effettivo, misurato nelle condizioni reali, può essere significativamente superiore al valore atteso a causa dei micro-movimenti nelle merci stivate e/o dello scorrimento tra i pallets (o le unità di carico) e le travi che li supportano;
- le **forze cicliche** dovute al terremoto possono **danneggiare progressivamente le connessioni** e/o altri componenti della scaffalatura;
- la pavimentazione è il sistema fondale dello scaffale: le condizioni di ancoraggio alla pavimentazione giocano un ruolo decisivo sulla sicurezza. La pavimentazione deve essere staticamente adeguata e il sistema di ancoraggio deve garantire in ogni posizione il trasferimento delle azioni;



- la distanza tra gli scaffali e tra scaffale e strutture dell'edificio ospitante (conoscenza dell'edificio) al fine evitare un possibile martellamento.

Questi aspetti possono considerevolmente influenzare la risposta della struttura ed il suo modo di reagire alle azioni sismiche. Una modellazione affidabile della resistenza e rigidità effettive è di fondamentale importanza per predire il comportamento strutturale della scaffalatura.





Obiettivi: requisiti fondamentali e sicurezza

Sebbene le scaffalature metalliche non siano considerate edifici strategici che rispettino elevati livelli di sicurezza, eventuali crolli causati dal sisma o da impatti accidentali di carrelli elevatori hanno portato la progettazione verso il rispetto della robustezza.

Oltre alla sicurezza, l'aspetto fondamentale che interessa le scaffalature metalliche è la funzionalità anche in presenza di danni modesti. Infatti, un mancato utilizzo delle scaffalature per svolgere le operazioni di ripristino del danno può causare ingenti danni economici. A tal proposito, è necessario che vengano garantiti requisiti prestazionali tali da rendere superfluo un intervento di riparazione immediato che ripristini la configurazione base della struttura.

La scaffalatura deve mantenere la propria efficienza sotto i normali carichi di servizio. Dunque, la robustezza è da aggiungere ai comuni requisiti di regolarità, iperstaticità e duttilità, caratterizzanti strutture di questo tipo.

Dunque gli obiettivi su cui si deve basare un progetto perché possa essere ritenuto valido sono:

- la **salvaguardia delle vite umane**;
- il **contenimento dei danni**;
- il **mantenimento della funzionalità** delle strutture essenziali

La natura aleatoria degli eventi eccezionali (sisma ed impatti), unita alla limitatezza dei mezzi disponibili per valutarne gli effetti, rende il raggiungimento di tali obiettivi perseguibile solo in parte, nonché misurabile solo in termini probabilistici.

Soprattutto per le azioni eccezionali da impatto su strutture non strategiche, si finisce col trascurarle: ciò può portare a deformazioni plastiche relativi alle travi e ai montanti o addirittura al crollo di una scaffalatura.

Proposta obiettivo: certificato prodotto EN 15512

Non esiste una norma armonizzata, quindi un obbligo di marcatura CE per queste opere metalliche, però in alcuni casi può essere richiesta la marcatura CE, in conformità alla norma EN 1090, per i singoli elementi utilizzati per costruirla, ma non per la scaffalatura nel suo insieme.

A tal proposito l'associazione di categoria ACAI (Sezione scaffalature metalliche) ha proposto una 'Certificazione volontaria di prodotto' nella quale vengono espressi i principi basilari della progettazione sicura delle scaffalature.

I criteri e le modalità operative per lo svolgimento delle attività di accertamento della conformità per il rilascio di tali certificazioni di prodotto sono:

- a) conformità della progettazione della scaffalatura porta-pallet ai requisiti dalla norma UNI EN 15512 (verifica delle modalità operative adottate quali: schemi di calcolo, condizioni di utilizzazione, riferimenti normativi, ecc);



- b) conformità dei componenti fabbricati ai disegni di progetto (verifica del processo di fabbricazione, prove sui materiali, tolleranze dei rotoli e dei nastri per componenti ottenuti per deformazione a freddo, identificazione e rintracciabilità dei materiali, tolleranze di produzione, ecc.);
- c) gestione dei processi aziendali dall'acquisizione dell'ordine fino alla fornitura al Cliente, secondo un sistema di controllo conforme ai requisiti applicabili della norma ISO 9001.