



È vietata la riproduzione di questo documento senza la preventiva autorizzazione di MM Spa



## COMUNE DI MILANO

### MERCATO AGROALIMENTARE DELLA CITTÀ DI MILANO

#### PIATTAFORMA LOGISTICA ORTOFRUTTA

#### PROGETTO DEFINITIVO PER APPALTO INTEGRATO

### RELAZIONE DI CALCOLO DELLE STRUTTURE PAVIMENTAZIONE INDUSTRIALE

<div>IL DIRETTORE TECNICO</div> <div>DOTT. ING. Francesco Vanzo</div> <div>Ordine degli Ingegneri Milano n° 14647</div> <div></div>			<div>IL PROGETTISTA RESPONSABILE DELL'INTEGRAZIONE FRA LE VARIE PRESTAZIONI SPECIALISTICHE</div> <div>DOTT. ING. Andrea Pasquale Costa</div> <div>Ordine degli Ingegneri Milano n° A22465</div> <div></div>			<div>IL PROGETTISTA RESPONSABILE</div> <div>DOTT. ING. ANTONELLA ANTONELLI</div> <div>Ordine degli Ingegneri Milano n° A29226</div> <div></div>		
6	SET 2019	PROGETTO VALIDATO		A. ARIENTI	F. CAMPANALE M. MANGIONE	A. COSTA		
3	LUG 2019	PROGETTO DEFINITIVO PER APPALTO INTEGRATO				A. COSTA		
0	28/05/2019	EMISSIONE		A. ARIENTI	F. CAMPANALE M. MANGIONE	A. COSTA		
Aggiorn.	Data	Descrizione	Redatto	Verificato	Acquisito	Approvato		

COLLABORAZIONE  
ALLA PROGETTAZIONE:

STUDIO MICHAELIDES ASSOCIATI INGEGNERIA E ARCHITETTURA  
MILANO 20131 – VIA AMPERE, 112

CODIFICA  
DOCUMENTO

Commessa

YB00

Lotto

1

Fase

D

Categoria

R

Opera

RE

Progressivo

0105



## INDICE DEI CONTENUTI

---

<b>1. INTRODUZIONE .....</b>	<b>4</b>
<b>2. NORMATIVA DI RIFERIMENTO .....</b>	<b>5</b>
<b>3. PAVIMENTAZIONE INDUSTRIALE .....</b>	<b>6</b>
3.1. <i>Stratigrafia funzionale .....</i>	<i>6</i>
3.2. <i>Classificazione per tipologia del supporto.....</i>	<i>7</i>
3.3. <i>Classificazione per destinazione d'uso .....</i>	<i>8</i>
3.4. <i>Classificazione in base alla resistenza all'abrasione.....</i>	<i>8</i>
3.5. <i>Analisi dei carichi.....</i>	<i>9</i>
<b>4. CARATTERISTICHE MATERIALI .....</b>	<b>11</b>
4.1. <i>Calcestruzzo per Pavimentazione in FRC .....</i>	<i>11</i>
4.2. <i>Calcestruzzo per Rampa accesso PLO in FRC.....</i>	<i>11</i>
4.3. <i>Calcestruzzo per soletta di collegamento delle fondazioni.....</i>	<i>12</i>
4.4. <i>Acciaio da C.A. per barre di armatura.....</i>	<i>12</i>
4.5. <i>Acciaio da C.A. per reti elettrosaldate .....</i>	<i>12</i>
4.6. <i>Fibre strutturali sintetiche.....</i>	<i>13</i>
<b>5. CARATTERISTICHE PRESTAZIONALI PAVIMENTAZIONE IN FRC .....</b>	<b>14</b>
<b>6. VERIFICHE STRUTTURALI.....</b>	<b>15</b>
6.1. <i>Modello di calcolo .....</i>	<i>15</i>
6.2. <i>Resistenza di progetto a trazione del calcestruzzo.....</i>	<i>15</i>
6.3. <i>Verifica della pavimentazione a punzonamento .....</i>	<i>16</i>
6.4. <i>Verifica della soletta di collegamento delle fondazioni a punzonamento.....</i>	<i>18</i>
6.5. <i>Verifica di resistenza a flessione.....</i>	<i>19</i>
<b>7. DIMENSIONAMENTO GIUNTI.....</b>	<b>24</b>
7.1. <i>Giunti di isolamento.....</i>	<i>24</i>
7.2. <i>Giunti di costruzione .....</i>	<i>24</i>
7.3. <i>Giunti di dilatazione.....</i>	<i>26</i>
7.4. <i>Giunti di contrazione .....</i>	<i>26</i>
<b>8. FASI ESECUTIVE .....</b>	<b>28</b>
<b>9. PRESCRIZIONI PER PROGETTO ESECUTIVO.....</b>	<b>30</b>
9.1. <i>Presenza carrelli elevatori.....</i>	<i>30</i>
9.2. <i>Approfondimenti progetto esecutivo .....</i>	<i>30</i>





## 1. INTRODUZIONE

---

La presente relazione tecnico specialistica è stata redatta nell'ambito del progetto di riqualificazione generale dell'area dei "*Mercati Generali*" ubicati nell'area est della città di Milano ed illustra le scelte progettuali relative alla pavimentazione industriale necessarie alla costruzione della nuova Piattaforma Logistica Ortofrutta (PLO).

La progettazione si sviluppa a partire dagli elaborati del progetto di fattibilità tecnica ed economica elaborato da SO.GE.MI. implementando i criteri e gli indirizzi di impostazione generale, in accordo con le scelte di carattere architettonico ed impiantistico, ed integrando elementi e scelte progettuali proprie di una progettazione definitiva.

In sintesi la relazione descrive le caratteristiche geometriche, meccaniche e le prestazioni richieste alla pavimentazione industriale, oltre a definire la stratigrafia e le caratteristiche meccaniche.

Per la descrizione dettagliata dell'intervento si rimanda agli elaborati grafici di progetto ed ai paragrafi seguenti.



## 2. NORMATIVA DI RIFERIMENTO

---

Il dimensionamento e verifica della pavimentazione industriale è stata sviluppata in conformità alla seguente normativa:

- D.M. Infrastrutture 17 gennaio 2018 – Aggiornamento delle *“Norme tecniche per le costruzioni”* Pubblicato su S.O. n.8 della G.U. 20 Febbraio 2018, n.42;
- Circolare Applicativa Min. Infrastrutture e Trasporti 21 gennaio 2018, N. 7 C.C.LL.PP. *Istruzioni per l'applicazione dell'aggiornamento "Nuove norme tecniche per le costruzioni di cui al decreto ministeriale 17 gennaio 2018"*;
- Decreto 31 luglio 2012: *“Approvazione delle Appendici nazionali recanti i parametri tecnici per l'applicazione degli Eurocodici”*;
- Eurocodice 2 UNI EN 1992-1-1:2005 – *“Progettazione delle strutture di calcestruzzo - Parte 1-1: Regole generali e regole per gli edifici*;
- UNI EN 13670:2010 - *Esecuzione di strutture di calcestruzzo*;
- UNI EN 206:2016 – *Calcestruzzo – Parte 1: Specificazione, prestazione, produzione e conformità*;
- UNI 11104:2016 - *Calcestruzzo - Specificazione, prestazione, produzione e conformità – Istruzioni complementari per l'applicazione della EN 206*;
- UNI EN 11146:2005 – *Pavimenti in calcestruzzo ad uso industriale – Criteri per la progettazione, la costruzione ed il collaudo*;
- CNR-DT 204/2006 – *Istruzioni per la progettazione, l'esecuzione ed il controllo di strutture in calcestruzzo fibro rinforzato*;
- CNR-DT 211/2014 – *Istruzioni per la progettazione, l'esecuzione ed il controllo delle Pavimentazioni di Calcestruzzo*;
- *“Codice di buona pratica per i pavimenti in calcestruzzo ad uso industriale”* – CONPAVIPER – Terza Edizione maggio 2003;
- *“Linee guida CONPAVIPER per la prescrizione di calcestruzzi fibrorinforzati per la realizzazione di pavimentazioni”* – CONPAVIPER – revisione n. 01.12 del marzo 2010;



### **3. PAVIMENTAZIONE INDUSTRIALE**

---

#### **3.1. STRATIGRAFIA FUNZIONALE**

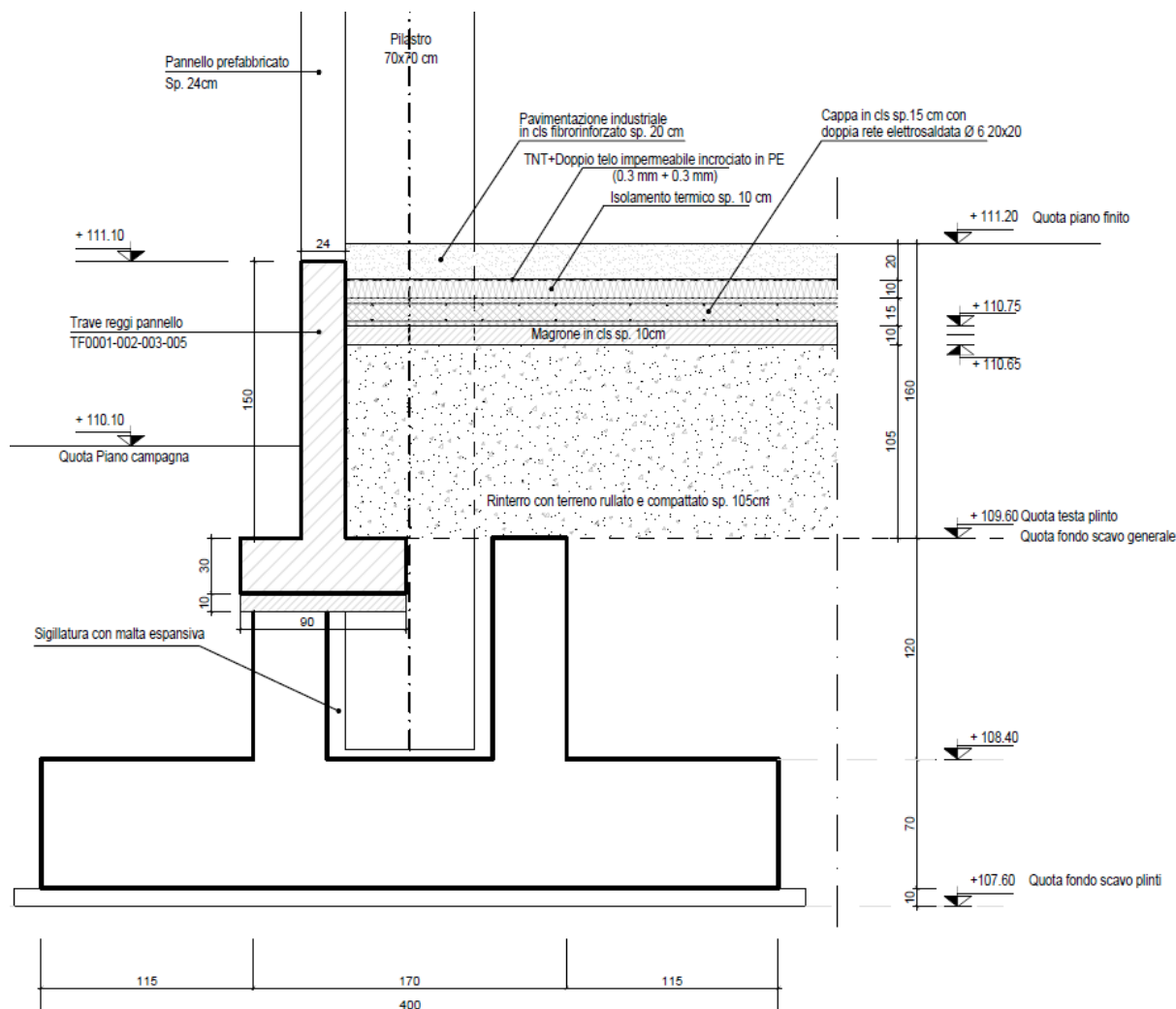
La pavimentazione industriale del PLO sarà realizzata con calcestruzzo fibro rinforzato con fibre sintetiche (SNFRC) e armatura lenta (rete metallica) secondo quanto disposto dalla normativa vigente (CNR DT 211/2014-Agg.06.2016 e NTC2018), e garantirà i seguenti requisiti:

- Lavabilità;
- Rugosità (classe R11);
- Impermeabilità;
- Predisposizione di gusce di raccordo tra pareti e pavimentazione.

Per consentire la lavabilità dei singoli depositi sono necessari drenaggi di scarico delle acque con pendenze interne dell'ordine dello 0.5%. Per facilitare le lavorazioni e tutti i necessari accorgimenti per la realizzazione della pavimentazione, si è optato per l'inserimento di due canaline longitudinali, poste in corrispondenza agli assi dei pilastri longitudinali sui fili Y-02 e Y-03.

La pavimentazione industriale, di spessore 20 cm, costituisce la parte superiore del "solaio su terra" costituito, oltre che dalla pavimentazione, da altri strati funzionali secondo la seguente stratigrafia:

- Pavimentazione industriale sp. 20 cm in calcestruzzo fibrorinforzato;
- Doppio telo in PE (0.3 mm + 0.3 mm) e TNT;
- Isolante termico sp. 10 cm in pannelli incrociati di polistirene XPS di spessore 5cm e portata 500MPa;
- Soletta di calcestruzzo sp 15 cm con interposta doppia rete metallica elettrosaldata  $\phi$  6 20 x20;
- Magrone in calcestruzzo sp. 10 cm;
- Strato di terreno rullato e compattato sp. 105 cm.



### 3.2. CLASSIFICAZIONE PER TIPOLOGIA DEL SUPPORTO

Trattasi in sintesi di pavimentazione di calcestruzzo su soletta strutturale, non collaborante essendo garantito il libero scorrimento mediante i teli di separazione tra i due elementi. Le azioni statiche e dinamiche, concentrate e distribuite, saranno valutate quindi sia nei confronti della pavimentazione in calcestruzzo sia nei confronti della soletta che poi trasmetterà le sollecitazioni al terreno sottostante.



### 3.3. CLASSIFICAZIONE PER DESTINAZIONE D'USO

La pavimentazione è classificata, in funzione dell'uso previsto, secondo lo schema riportato nella tabella 2.1 delle CNR-DT 211/2014, come:

- *L3: magazzini industriali con uso continuo di carrelli elevatori - Depositi*

**Tabella 2.1.** Classificazione delle pavimentazioni industriali in funzione dell'uso.

Tipo	Campi di utilizzo prevalente	Tipologie di carico più significative
L1	<ul style="list-style-type: none"><li>- Uffici, marciapiedi, cantine, disimpegni.</li><li>- Autorimesse, box, corselli</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>- Carichi statici e dinamici non compresi nei tipi successivi.</li><li>- Automezzi su pneumatici di peso totale <math>\leq 35</math> kN</li></ul>
L2	<ul style="list-style-type: none"><li>- Magazzini industriali con uso occasionale di transpallet e con scaffalature leggere</li><li>- Piazzali di autorimesse</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>- Carrelli elevatori con carico per asse <math>\leq 35</math> kN</li><li>- Scaffalature aventi carico massimo <math>\leq 10</math> kN/appoggio</li><li>- Automezzi su pneumatici di peso totale <math>\leq 120</math> kN</li></ul>
L3	<ul style="list-style-type: none"><li>- Magazzini industriali con uso continuo di carrelli elevatori</li><li>- Depositi</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>- Carrelli elevatori con pneumatici, peso totale <math>&gt; 35</math> kN</li><li>- Transpallet di peso totale <math>&gt; 10</math> kN</li><li>- Carrelli elevatori con ruote piene, peso totale <math>&lt; 30</math> kN</li><li>- Scaffalature aventi carico massimo <math>\leq 30</math> kN/appoggio</li><li>- Automezzi su pneumatici di peso totale <math>\leq 300</math> kN</li></ul>
L4	<ul style="list-style-type: none"><li>- Magazzini per la grande distribuzione e industria con uso intensivo di carrelli elevatori e con presenza di scaffalature alte</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>- Carrelli elevatori con pneumatici, peso totale <math>&gt; 60</math> kN</li><li>- Transpallet con peso totale <math>&gt; 20</math> kN</li><li>- Scaffalature aventi carico massimo <math>&gt; 30</math> kN/appoggio</li><li>- Automezzi su pneumatici di peso totale <math>&gt; 300</math> kN</li></ul>
L5	<ul style="list-style-type: none"><li>- Industria pesante, moli e banchine portuali e carichi speciali, piazzali di interporti</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>- Carrelli elevatori con ruote piene, peso totale <math>&gt; 90</math> kN</li><li>- Scaffalature aventi carico massimo <math>&gt; 50</math> kN/appoggio</li><li>- Carrelli con pneumatici di peso totale <math>&gt; 180</math> kN</li><li>- Automezzi su pneumatici di peso totale <math>&gt; 400</math> kN</li></ul>

### 3.4. CLASSIFICAZIONE IN BASE ALLA RESISTENZA ALL'ABRASIONE

La pavimentazione è classificata, in funzione del requisito prestazionale in termini di resistenza all'abrasione dello strato di usura, secondo lo schema riportato nella tabella 2.2 delle CNR-DT 211/2014. La resistenza all'abrasione è misurata attraverso la prova descritta dalla norma UNI EN 13892-4:2005, che prevede quattro classi di resistenza all'abrasione. La classificazione AR (Abrasion Resistance) indica l'abrasione della superficie del campione di prodotto sottoposta a prova, secondo il metodo BCA, espressa come profondità massima di materiale asportato in millimetri. La UNI EN





13892-4 indica quattro classi di abrasione: AR 4 = 0.40 mm, AR 2 = 0.20 mm, AR 1 = 0.10 mm e AR0.5 = 0.05 mm. La pavimentazione del PLO è classificata come:

- AR 2 = 0.20 mm;

**Tabella 2.2.** Classificazione delle pavimentazioni industriali di calcestruzzo in base alla resistenza all'abrasione, AR secondo UNI EN 13813:2004.

Classe	Tipologie di carico più frequenti
AR 4	<ul style="list-style-type: none"><li>- Pedonale</li><li>- Occasionale uso di automezzi su pneumatici di peso totale &lt; 300 kN</li><li>- Carrelli elevatori su pneumatici</li></ul>
AR 2	<ul style="list-style-type: none"><li>- Carrelli elevatori, con ruote piene, di peso totale &lt; 45 kN</li><li>- Transpallets con peso totale &lt; 10 kN</li><li>- Automezzi su pneumatici di peso totale &gt; 300 kN</li><li>- Carrelli elevatori con ruote dure, nylon o neoprene</li></ul>
AR 1	<ul style="list-style-type: none"><li>- Carrelli elevatori, con ruote piene, di peso totale &gt; 45 kN</li><li>- Transpallets con peso totale &gt; 10 kN</li><li>- Automezzi di peso totale &gt; 300 kN</li><li>- Ruote in acciaio, nylon e neoprene con forte abrasione</li><li>- Presenza di materiali abrasivi sulla pavimentazione</li><li>- Sollecitazioni da urto</li></ul>
AR 0.5	<ul style="list-style-type: none"><li>- Abrasione molto severa</li><li>- Caduta di oggetti molto pesanti</li><li>- Usi speciali, diversi dai precedenti</li></ul>

### 3.5. ANALISI DEI CARICHI

La valutazione dei carichi e dei sovraccarichi è stata effettuata in relazione alla destinazione d'uso dei depositi del PLO ed in conformità alle NTC 2018. La pavimentazione in calcestruzzo potrà, nel corso della sua vita utile, essere soggetta a sollecitazioni statiche e dinamiche:

#### Carichi Distribuiti Statici:

- Peso proprio pavimentazione in calcestruzzo fibro rinforzato: 5.00 kN/m<sup>2</sup>;
- Carichi variabili uniformemente distribuiti: 10.00 kN/m<sup>2</sup>;

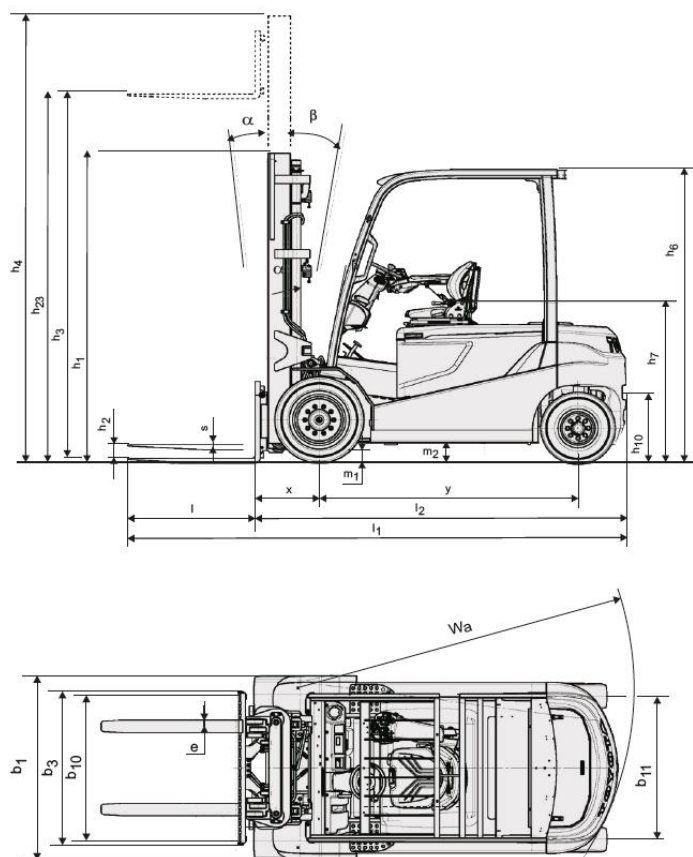


### Carichi Concentrati Statici

- Scaffalature su pedini di 50x50 mm ad interasse 2500 mm: 30.0 kN;
- Scaffalature su pedini di 100x100 mm ad interasse 2500 mm: 40.0 kN;

### Carichi Concentrati Dinamici

Carrello elevatore elettrico, dotato di ruote con gommatura superelastica, con le seguenti caratteristiche:



- Capacità/portata nominale: 50.00 kN;
- Peso Carrello: 77.21 kN;
- Reazioni sugli assali a carico ant. /post.: 113.16 kN / 14.06 kN;
- Reazioni sugli assali a vuoto ant. /post.: 35.48 kN / 41.73 kN;



## 4. CARATTERISTICHE MATERIALI

---

### 4.1. CALCESTRUZZO PER PAVIMENTAZIONE IN FRC

Classe di resistenza a compressione:	C30/37
Resistenza caratteristica cubica:	$R_{ck} \geq 37,00 \text{ MPa}$
Resistenza caratteristica cilindrica:	$f_{ck} \geq 30,00 \text{ MPa}$
Massa Volumica:	$\leq 2500 \text{ kg/m}^3$
Classe di esposizione:	XC3
Consistenza minima:	S5
Massimo rapporto a/c	0.50
Diametro massimo dell'aggregato:	25 mm
Diametro minimo dell'aggregato:	20 mm

### 4.2. CALCESTRUZZO PER RAMPA ACCESSO PLO IN FRC

Classe di resistenza a compressione:	C30/37
Resistenza caratteristica cubica:	$R_{ck} \geq 37,00 \text{ MPa}$
Resistenza caratteristica cilindrica:	$f_{ck} \geq 30,00 \text{ MPa}$
Massa Volumica:	$\leq 2500 \text{ kg/m}^3$
Classe di esposizione:	XC3
Consistenza minima:	S5
Massimo rapporto a/c	0.50
Diametro massimo dell'aggregato:	25 mm
Diametro minimo dell'aggregato:	20 mm



#### 4.3. CALCESTRUZZO PER SOLETTA DI COLLEGAMENTO DELLE FONDAZIONI

Classe di resistenza a compressione:	C25/30
Resistenza caratteristica cubica:	$R_{ck} \geq 30,00 \text{ MPa}$
Resistenza caratteristica cilindrica:	$f_{ck} \geq 25,00 \text{ MPa}$
Massa Volumica:	$\leq 2500 \text{ kg/m}^3$
Classe di esposizione:	XC2
Consistenza minima:	S5
Diametro massimo dell'aggregato:	16 mm

Con soletta di collegamento delle fondazioni si definisce la cappa di calcestruzzo armato spessore 15 cm posto al di sopra dello strato di rinterro e sotto lo strato di isolamento e la pavimentazione, che insieme alle travi porta-pannello perimetrali costituiscono il sistema di collegamento dei plinti di fondazione della struttura.

#### 4.4. ACCIAIO DA C.A. PER BARRE DI ARMATURA

B450C controllato in stabilimento, saldabile

Resistenza caratteristica di rottura:	$f_{tk} \geq 540 \text{ MPa}$
Resistenza caratteristica di snervamento:	$f_{yk} \geq 450 \text{ MPa}$
Rapporto $f_y/f_{y, \text{nom}}$ :	$\leq 1,25$
Rapporto $f_t/f_y$ :	$1,15 \leq f_t/f_y \leq 1,25$
Allungamento	$(A_{gt})_k \geq 7,50\%$

#### 4.5. ACCIAIO DA C.A. PER RETI ELETTROSALDATE

B450A controllato in stabilimento, saldabile

Resistenza caratteristica di rottura:	$f_{tk} \geq 540 \text{ MPa}$
Resistenza caratteristica di snervamento:	$f_{yk} \geq 450 \text{ MPa}$



Rapporto $f_y/f_{y,nom}$ :	$f_y/f_{y,nom} \leq 1,25$
Rapporto $f_t/f_y$ :	$1,05 \leq f_t/f_y \leq 1,25$
Allungamento	$(A_{gt})_k \geq 2,50\%$

#### 4.6. FIBRE STRUTTURALI SINTETICHE

Fibra sintetica strutturale ibrida costituita da una miscela di fibre di un copolimero poliolefinico e di una fibra fibrillata di polipropilene.

Forma:	monofilamento
Peso specifico:	0.91 kg/dm <sup>3</sup>
Lunghezza:	54 mm
Rapporto lunghezza/diametro:	80
Diametro equivalente:	0.677 mm
Resistenza a trazione:	620 - 758 MPa
Conformità:	UNI EN 14889-2



## 5. CARATTERISTICHE PRESTAZIONALI PAVIMENTAZIONE IN FRC

---

Si riassumono le principali caratteristiche prestazionali e di resistenza che dovrà possedere la pavimentazione in FRC.

### Caratteristiche prestazionali dell'opera/miscela:

Classe resistenza a compressione minima:	C30/37
Classe esposizione:	XC3
Classe consistenza:	S5 con stesura manuale
Massimo rapporto a/c:	0.50
Ritiro idraulico del calcestruzzo richiesto:	250 $\mu\text{m/m}$ (**)

(\*\*) Impiego di additivo auto stagionante e riduttore di ritiro (SRA) in dose non inferiore a 5 kg/mc.

### Componenti

Dim. max. nominale aggregato:	25 mm
Dim. min. nominale aggregato:	20 mm
Cemento (UNI-EN 197-1):	CEM III, CEM IV
Classe contenuto in cloruri:	0.2.

### I parametri minimi della miscela di FRC che devono essere garantiti sono:

Classe resistenza a compressione minima:	C30/37
Resistenza convenzionale di trazione alla fessurazione:	$f_{Lk} = 4.50 \text{ MPa}$
Classe di tenacità:	1.5 b

### Armatura prevista:

Armatura tradizionale: doppia rete metallica elettrosaldata  $\phi$  8 maglia 20 x 20 cm posate con opportuni distanziatori.

Armatura diffusa: costituita da fibre sintetiche strutturali, con un dosaggio 2.0 kg di fibre per m.c. di calcestruzzo. Le fibre polimeriche strutturali, oltre a caratterizzare alcune delle proprietà meccaniche della soletta, avranno la funzione di contenere gli effetti di possibili stati fessurativi dovuti al ritiro e migliorare la durabilità della pavimentazione stessa.



## **6. VERIFICHE STRUTTURALI**

---

### **6.1. MODELLO DI CALCOLO**

Generalmente le pavimentazioni industriali sono schematizzabili come una piastra su supporto continuo, costituito da terreno modellabile come un insieme di elementi elastici indipendenti (Winkler). In questo caso il supporto diretto è una piastra di spessore 15 cm, con interposto uno strato coibentante di adeguate caratteristiche prestazionali, che scarica sul terreno le pressioni sovrastanti.

Le analisi strutturali che seguono riportano le verifiche di portata della piastra rispetto ai carichi distribuiti oltre che alle verifiche a punzonamento della pavimentazione industriale e della soletta in relazione ai carichi concentrati di progetto per la verifica di compatibilità delle pressioni sul magrone.

Per le verifiche della resistenza della pavimentazione sotto carichi isolati si è fatto riferimento al calcolo elastico lineare, con il metodo di Westergaard, che fornisce le tensioni massime per lo schema di piastra infinita sotto il carico concentrato, oppure tramite analisi elastica agli elementi finiti di piastra su appoggi discreti. In alternativa si può fare riferimento anche al Technical Report 34 (4th edition) "Concrete Industrial Ground Floors".

### **6.2. RESISTENZA DI PROGETTO A TRAZIONE DEL CALCESTRUZZO**

Per il calcestruzzo si è individuata una resistenza di progetto C30/37 e con all'EC2 si individua il valore di progetto della resistenza a trazione per flessione ( $f_{ctd}$ ):

$$- f_{ctd} = f_{ctk} / \gamma_c = 2.43 / 1.5 = 1.62 \text{ N/mm}^2$$



### 6.3. VERIFICA DELLA PAVIMENTAZIONE A PUNZONAMENTO

La verifica è svolta in accordo alle indicazioni dell'Eurocodice 2 per quanto concerne la verifica a punzonamento delle piastre sottili, trascurando a favore di sicurezza il contributo della massicciata di base che assume valori significativi solo per elevati spostamenti della porzione di piastra punzonata. Nella pavimentazione considerata il maggiore rischio di punzonamento si verifica in corrispondenza dei supporti delle scaffalature:

- scarico su piedini di 50x50mm con interasse 2500 mm:  $Q_k = 30.0 \text{ kN}$ ;
- scarico su piedini di 100x100mm con interasse 2500 mm:  $Q_k = 40.0 \text{ kN}$ ;

Il procedimento per la verifica a punzonamento si basa sul calcolo delle sollecitazioni agenti lungo il perimetro di controllo  $U_i$  e lungo il perimetro della superficie caricata; in particolare è necessario verificare che:

- lungo il perimetro dell'area caricata la massima tensione di taglio-punzonamento non sia superata:

$$V_{Ed} < V_{Rd,max}$$

- l'armatura per il taglio-punzonamento non è necessaria se:

$$V_{Ed} < V_{Rd,c}$$

dove:

- $V_{Ed}$  = sforzo di taglio sollecitante di progetto;
- $V_{Rd}$  = resistenza di progetto a punzonamento.

Trascurando cautelativamente il contributo dell'armatura longitudinale, la resistenza di progetto a punzonamento risulta:

$$V_{Rd,c} = v_{min} = 0.035 k^{3/2} f_{ck}^{1/2} = \underline{0.54 \text{ MPa}}$$

dove:

- $k = 1 + (200 + d)^{1/2} = 2.00$ ;
- $d = h = 200 \text{ mm}$  = spessore pavimentazione;





- $f_{ck} = 30 \text{ MPa}$

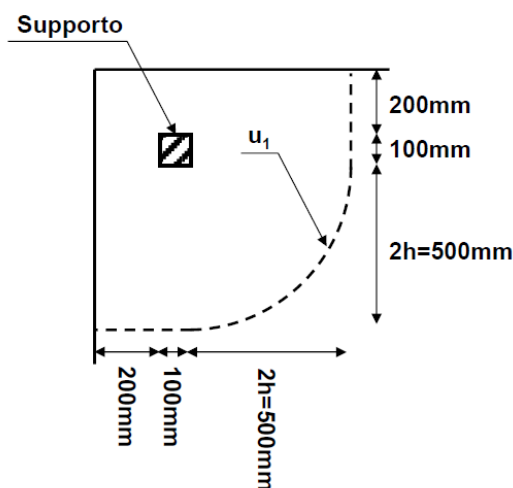
La resistenza di progetto massima può essere stimata attraverso la formula:

- $V_{Rd,max} = 0.4 v f_{cd} = 4.224 \text{ Mpa};$

dove:

- $v = 0.6 (1 - f_{ck} / 250) = 0.528;$
- $f_{cd} = f_{ck} / \gamma_c = 20 \text{ Mpa}.$

La verifica è svolta considerando le posizioni più critiche del carico applicato alla pavimentazione, in coerenza con quanto indicato in EC2. Nel caso della pavimentazione del PLO la condizione più critica si realizza quando il piedino della scaffalatura è posto in prossimità di uno spigolo di un campo delimitato dai giunti costruzione ed isolamento, ad una distanza di 200 mm per piedino da 100x100 mm e 100 mm per piedino 50x50 mm, dai due lati della pavimentazione che convergono nello spigolo stesso secondo lo schema seguente:



I perimetri di controllo risultano:

- $u_1 = 2 \times 200 + 2 \times 100 + 200 \Pi = 1228 \text{ mm}$  (per piedino 100x100 mm);
- $u_2 = 2 \times 100 + 2 \times 50 + 200 \Pi = 928 \text{ mm}$  (per piedino 50x50 mm);

Gli sforzi sollecitanti di progetto, valutati lungo i perimetri di controllo sono pari a:



- $V_{Ed1} = V_{sd1} / u_1 d = (1.5 \times 40.0 \times 10^3) / (1228 \times 200) = 0.244 \text{ MPa};$
- $V_{Ed2} = V_{sd2} / u_2 d = (1.5 \times 30.0 \times 10^3) / (928 \times 200) = 0.243 \text{ MPa};$

e quindi minori di  $V_{Rd,c} = 0.540 \text{ MPa}$  → Verifica soddisfatta.

Lungo il perimetro dell'area caricata, la massima tensione tangenziale risulta invece:

- $V_{Ed1} = V_{sd1} / 4 a d = (1.5 \times 40.0 \times 10^3) / (4 \times 100 \times 200) = 0.750 \text{ MPa};$
- $V_{Ed2} = V_{sd2} / 4 a d = (1.5 \times 30.0 \times 10^3) / (4 \times 50 \times 200) = 1.125 \text{ MPa};$

e quindi minori di  $V_{Rd,max} = 4.224 \text{ MPa}$  → Verifica soddisfatta.

Le verifiche effettuate risultano essere soddisfatte le due tipologie di impronte e di conseguenza non sussistono rischi di punzonamento per la pavimentazione industriale di progetto.

#### **6.4. VERIFICA DELLA SOLETTA DI COLLEGAMENTO DELLE FONDAZIONI A PUNZONAMENTO**

I carichi concentrati agenti sulla pavimentazione industriale “passano” attraverso lo spessore del cls. e lo strato isolante direttamente sulla soletta di cls. da 15 cm. Si procede anche in questo caso alla verifica a punzonamento con riferimento alla classe di calcestruzzo C25/30 utilizzata.

Risulta quindi, trascurando cautelativamente il contributo dell'armatura longitudinale, la resistenza di progetto a punzonamento pari:

- $V_{Rd,c} = v_{min} = 0.035 k^{3/2} f_{ck}^{1/2} = \underline{0.495 \text{ MPa}}$

dove:

- $k = 1 + (200 + d)^{1/2} \leq 2.00 ;$
- $d = h = 150 \text{ mm}$  = spessore cappa cls.;
- $f_{ck} = 25 \text{ MPa}$

La resistenza di progetto massima può essere stimata attraverso la formula:



- $V_{Rd,max} = 0.4 v f_{cd} = 3.60 \text{ Mpa};$

dove:

- $v = 0.6 (1 - f_{ck} / 250) = 0.540;$
- $f_{cd} = f_{ck} / \gamma_c = 16.67 \text{ Mpa}.$

La verifica è effettuata lungo il perimetro critico, considerando una distribuzione a 45° nel calcestruzzo considerando le due impronte di carico della scaffalatura:

- $u_1 = 4 \times (200 + 100 + 200) = 2000 \text{ mm}$  (per piedino 100x100 mm);
- $u_2 = 4 \times (200 + 50 + 200) = 1800 \text{ mm}$  (per piedino 50x50 mm);

Gli sforzi sollecitanti di progetto, valutati lungo i perimetri di controllo sono pari a:

- $V_{Ed1} = V_{sd1} / u_1 d = (1.5 \times 40.0 \times 10^3) / (2000 \times 150) = 0.200 \text{ MPa};$
- $V_{Ed2} = V_{sd2} / u_2 d = (1.5 \times 30.0 \times 10^3) / (1800 \times 150) = 0.170 \text{ MPa};$

e quindi minori di  $V_{Rd,c} = 0.495 \text{ MPa}$  → Verifica soddisfatta.

Lungo il perimetro dell'area caricata, la massima tensione tangenziale risulta invece:

- $V_{Ed1} = V_{sd1} / 4 a d = (1.5 \times 40.0 \times 10^3) / (4 \times 500 \times 150) = 0.200 \text{ MPa};$
- $V_{Ed2} = V_{sd2} / 4 a d = (1.5 \times 30.0 \times 10^3) / (4 \times 450 \times 150) = 0.167 \text{ MPa};$

e quindi minori di  $V_{Rd,max} = 3.60 \text{ MPa}$  → Verifica soddisfatta.

Le verifiche effettuate risultano essere soddisfatte per le due tipologie di impronte e di conseguenza non sussistono rischi di punzonamento per la pavimentazione industriale di progetto.

## 6.5. VERIFICA DI RESISTENZA A FLESSIONE

La metodologia utilizzata per il dimensionamento della pavimentazione prevede l'applicazione della teoria di Westergaard con la determinazione delle sollecitazioni



massime tramite analisi elastica su appoggio elastico continuo. I parametri di base utilizzati nelle verifiche sono:

- $h = 200 \text{ mm}$  (spessore della pavimentazione);
- $E = 32837 \text{ N/mm}^2$  (modulo elastico del calcestruzzo);
- $\nu = 0.2$  (coefficiente di Poisson del cls. non fessurato);
- $k = 0.08 \text{ N/mm}^3$  (costante di Winkler);
- $P_k$  = valore caratteristico dei carichi applicati che nelle verifiche che seguono sono:

$P_k = 30.00 \text{ kN}$  per impronta scaffalatura  $50\text{mm} \times 50 \text{ mm}$ ;

$P_k = 40.00 \text{ kN}$  per impronta scaffalatura  $100\text{mm} \times 100 \text{ mm}$ ;

$P_k = 63.00 \text{ kN}$  per impronta ruota carrello elevatore  $300\text{mm} \times 200 \text{ mm}$ , carico già amplificato di coefficiente dinamico pari a 1.4;

Il valore di  $k = 0.08 \text{ N/mm}^3$ , è un'assunzione progettuale della caratteristica che dovrà avere il rinterro previsto in progetto. Il valore indicato dovrà essere rilevato da prove su piastra sui rinterri come da disposizioni di capitolato tecnico.

Il valore  $P_k = 63.00 \text{ kN}$  è il valore indicato in EC2 per i carrelli elevatori di classe media a cui appartiene il modello indicato nella presente relazione.

La teoria di Westergaard consente l'individuazione del carico di prima fessurazione della pavimentazione mediante le seguenti equazioni:

- per un carico  $P$  al centro della pavimentazione risulta:

$$\sigma_0 = 1.264 \frac{P}{h^2} \left( \log \frac{l}{b} + 0.267 \right)$$

- per un carico  $P$  lungo il bordo della pavimentazione risulta:

$$\sigma_l = 2.288 \frac{P}{h^2} \left( \log \frac{l}{b} + 0.090 \right)$$

- per un carico  $P$  su uno spigolo:



$$\sigma_a = 3 \frac{P}{h^2} \left( 1 - 1.23 \left( \frac{r_r}{l} \right)^{0.6} \right)$$

Dove oltre ai parametri già definiti sono:

- $l$  = raggio di rigidezza relativa così definito:

$$l = \sqrt[4]{\frac{Eh^3}{12(1-\nu^2)k}}$$

- $r_r = (A_c / \Pi)^{0.5}$  raggio equivalente dell'area di contatto  $A_c$ ;
- $b$  = raggio d'impronta fittizio così definito:

$$b = \sqrt{1.6r_r^2 + h^2} - 0.675h \quad \text{per} \quad r_r / h < 1.724$$
$$b = r_r \quad \text{per} \quad r_r / h > 1.724$$

Calcoliamo ora i parametri e le tensioni massime di trazione rispettivamente per le tre condizioni di carico (30.0 ÷ 40.0 ÷ 56.70 kN) e per i tre casi indicati (centro, bordo e spigolo della pavimentazione):

#### 1) $P_k = 30.00 \text{ kN}$

Il raggio di rigidezza relativa risulta pari a:

$$l = [(32837 \times 200^3) / (12 \times (1-0.2^2) \times 0.08)]^{0.25} = 731 \text{ mm};$$

Il raggio equivalente dell'area di contatto  $A_c$  risulta pari a:

- $A_c = 2500 \text{ mm}^2$ ;
- $r_r = (2500 / \Pi)^{0.5} = 28.21 \text{ mm}$ ;

Il raggio di impronta fittizio risulta:

- $r_r / h = 28.21 / 200 = 0.141 < 1.724$
- $b = [(1.6 \times 28.21^2) + 200^2]^{0.5} - 0.675 \times 200 = 69 \text{ mm}$

La tensione al centro risulta:



- $\sigma_0 = 1.264 \times (45000/40000) \times ((\log (731/69) + 0.267) = 1.84 \text{ MPa};$

La tensione al bordo risulta:

- $\sigma_l = 2.288 \times (45000/40000) \times ((\log (731/69) + 0.090) = 2.87 \text{ MPa};$

La tensione su uno spigolo risulta:

- $\sigma_a = 3 \times (45000/40000) \times (1 - 1.23 \times (28.21/731)^{0.6}) = 2.78 \text{ MPa};$

## 2) $P_k = 40.00 \text{ kN}$

Il raggio di rigidezza relativa risulta pari a:

- $l = [(32837 \times 200^3) / (12 \times (1-0.2^2) \times 0.08)]^{0.25} = 731 \text{ mm};$

Il raggio equivalente dell'area di contatto  $A_c$  risulta pari a:

- $A_c = 10000 \text{ mm}^2;$
- $r_r = (10000 / \pi)^{0.5} = 56.41 \text{ mm};$

Il raggio di impronta fittizio risulta:

- $r_r / h = 56.41 / 200 = 0.282 < 1.724$
- $b = [(1.6 \times 56.41^2) + 200^2]^{0.5} - 0.675 \times 200 = 77 \text{ mm}$

La tensione al centro risulta:

- $\sigma_0 = 1.264 \times (60000/40000) \times ((\log (731/77) + 0.267) = 2.36 \text{ MPa};$

La tensione al bordo risulta:

- $\sigma_l = 2.288 \times (60000/40000) \times ((\log (731/77) + 0.090) = 3.66 \text{ MPa};$

La tensione su uno spigolo risulta:

- $\sigma_a = 3 \times (60000/40000) \times (1 - 1.23 \times (56.41/731)^{0.6}) = 3.30 \text{ MPa}.$

## 3) $P_k = 63.00 \text{ kN}$



Il raggio di rigidezza relativa risulta pari a:

$$- I = [ (32837 \times 200^3) / (12 \times (1-0.2^2) \times 0.08) ]^{0.25} = 731 \text{ mm};$$

Il raggio equivalente dell'area di contatto  $A_c$  risulta pari a:

$$\begin{aligned} - A_c &= 60000 \text{ mm}^2; \\ - r_r &= (60000 / \pi)^{0.5} = 138.20 \text{ mm}; \end{aligned}$$

Il raggio di impronta fittizio risulta:

$$\begin{aligned} - r_r / h &= 138.20 / 200 = 0.691 < 1.724 \\ - b &= [(1.6 \times 138.2^2) + 200^2]^{0.5} - 0.675 \times 200 = 131 \text{ mm} \end{aligned}$$

La tensione al centro risulta:

$$- \sigma_0 = 1.264 \times (94500/40000) \times ((\log (731/131) + 0.267) = 3.06 \text{ MPa};$$

La tensione al bordo risulta:

$$- \sigma_l = 2.288 \times (94500/40000) \times ((\log (731/131) + 0.090) = 4.52 \text{ MPa};$$

La tensione su uno spigolo risulta:

$$- \sigma_a = 3 \times (94500/40000) \times (1 - 1.23 \times (131/731)^{0.6}) = 3.98 \text{ MPa}.$$

Nei casi in cui le tensioni di calcolo risultano superiori alla resistenza a trazione di calcolo del calcestruzzo ( $f_{ctd}$ ), si affida quindi all'armatura inferiore ( $\phi$  8 20 x 20) la sollecitazione di trazione in eccedenza rispetto alla resistenza di calcolo ( $f_{R3,d}$ ) residua del calcestruzzo fibrorinforzato, individuata in corrispondenza di in *CMOD* pari a 2.5 mm.



## **7. DIMENSIONAMENTO GIUNTI**

---

Al fine di evitare la formazione di fessurazioni superficiali dovute alle variazioni di temperatura ed al ritiro del calcestruzzo è necessario realizzare nella pavimentazione alcune soluzioni di continuità, disponendo dei giunti che possono essere:

- di isolamento;
- di costruzione;
- di dilatazione;
- di controllo o di contrazione;

### **7.1. GIUNTI DI ISOLAMENTO**

La pavimentazione deve essere completamente desolidarizzata da elementi fissi e/o singolari (pannelli di tamponamento ed interni, pilastri, baie di carico, pozzetti e canaline raccolta acqua, ecc.) allo scopo di evitare o limitare l'innescò di fessure dovute alla impedita deformabilità della pavimentazione in prossimità di tali elementi. I giunti di isolamento interesseranno tutto lo spessore della pavimentazione e saranno realizzati posando una striscia continua di materiale deformabile (esempio con bandelle di schiuma di polietilene) in corrispondenza dell'interfaccia con gli elementi da isolare, di spessore non inferiore a:

- 5 mm lungo il perimetro ed in corrispondenza dei pannelli interni;
- 10 mm in corrispondenza dei pilastri prefabbricati.

### **7.2. GIUNTI DI COSTRUZIONE**

Si tratta di tagli a tutto spessore creati con l'accostamento di due campi di pavimentazione gettate in tempi diversi predisponendo apposite casserature che





delimitano le campiture mediante un rinforzo metallico preformato a cassero a perdere, completo di elementi per la trasmissione degli sforzi di taglio e flessione.

In base all'estensione della pavimentazione da realizzare ed alla tecnica esecutiva impiegata, sono definiti giunti di costruzione di due tipi:

- Per i depositi verranno realizzati giunti ogni 648 m<sup>2</sup> di pavimentazione, previsti ogni 36.0 m in senso trasversale all'edificio. Il campo giornaliero risulta quindi di 36.0 m x 18.0 m è quindi limitato dal giunto di costruzione vero e proprio (ogni 36 m) e dalle canaline raccolta acque poste ogni 18 m in senso longitudinale;
- Per la zona di percorso tra i fili Y-04 e Y05 verranno realizzati giunti ogni 324 m<sup>2</sup> di pavimentazione, previsti sempre ogni 36.0 m. Il campo giornaliero risulta quindi di 36 m x 9.0 m, limitato dal giunto posto a 36.0 e dai pannelli prefabbricati posti sui fili Y-04 e Y-05.

I giunti di costruzione devono rispettare i seguenti requisiti:

- intaglio a completo spessore di pavimentazione con l'inserimento di barrotti metallici  $\phi 20/50$  cm e L=60 cm posizionati a metà dello spessore al fine di rendere collaboranti i singoli campi di pavimentazione;
- ampiezza pari a 10mm;
- La parte superficiale del giunto viene intasata con resina poliuretanica di elevata deformabilità, aventi le seguenti caratteristiche:
  - *Consistenza tissotropica;*
  - *Allungamento a rottura > 500%;*
  - *Allungamento di esercizio > 15%;*
  - *Resistenza a trazione dopo 28 gg a +23°C e 50% U.R (DIN 53504S3a) > 3.5 MPa*
  - *Modulo elastico a +23°C (ISO 8339) > .0.6 MPa*



### 7.3. GIUNTI DI DILATAZIONE

Trattandosi di pavimentazione interna con campi di esecuzione di ridotte dimensioni limitate sui lati da giunti costruzione e di isolamento non sono previsti specifici giunti dilatazione che, in generale, si fanno coincidere con i giunti di costruzione.

Si verifica comunque che le ampiezze previste per i giunti di isolamento e costruzione siano compatibili con la massima dilatazione/contrazione  $\Delta L$  del giunto secondo l'espressione:

$$\Delta L = \alpha \cdot L_p \cdot \Delta T = 3.6 \text{ mm}$$

Dove:

- $L_p$  = lunghezza pavimentazione fra due giunti = 3600 cm;
- $\Delta L$  = massima dilatazione/contrazione;
- $\alpha = 10^{-5} \text{ 1/}^\circ\text{C}$  = coefficiente di dilatazione lineare del calcestruzzo;
- $\Delta T$  = escursione termica media a livello baricentrico = 10  $^\circ\text{C}$ .

L'ampiezza minima dei giunti (5 mm) è compatibile con la massima deformazione prevista (3.6 mm) della pavimentazione.

### 7.4. GIUNTI DI CONTRAZIONE

I giunti di contrazione o controllo limitano il fenomeno fessurativo da ritiro e l'innalzamento della pavimentazione causata dal ritiro differenziale tra estradosso e intradosso. Le dimensioni dei campi di pavimentazione sono subordinate alla presenza delle baie di carico poste sull'allineamento Y-01 e dai giunti di isolamento creati dalla presenza delle canaline raccolte acque.

Il campo di pavimentazione delimitato dai giunti di contrazione ha le seguenti dimensioni massime:

- $L_x = 3.50 \text{ m}$ ;
- $L_y = 4.50 \text{ m}$



La lunghezza massima del riquadro (distanza massima tra i giunti) risulta conforme alla dimensione massima subordinata allo spessore del pavimento tramite la formula:

- $L_{\max} = (18 \times h + 100) \text{ cm} = 18 \times 20 + 100 = 460 \text{ cm}.$

I giunti di contrazione dovranno rispettare i seguenti requisiti:

- Presentare un intaglio parziale dello spessore della pavimentazione almeno pari a circa 5 cm;
- La parte superficiale del giunto viene trattata in analogia al giunto di costruzione.



## 8. FASI ESECUTIVE

---

Le fasi esecutive per la realizzazione della pavimentazione in calcestruzzo e della soletta di collegamento del PLO si svilupperanno dopo la realizzazione delle fondazioni dirette, del rinterro di terreno rullato e compattato su l'area di sedime e del montaggio delle strutture prefabbricate. Le operazioni di costruzione saranno precedute da idoneo livellamento del sottofondo e verifica, mediante prova su piastra, della portanza del sottofondo. Il valore del modulo di deformazione da raggiungere sarà al minimo  $M_d > 600 \text{ kg/cm}^2$ :

- Getto di magrone in calcestruzzo per uno spessore di 10 cm mediante getto con autopompa;
- Posa doppia rete elettrosaldata, mediante opportuni distanziatori;
- Getto della soletta ( $H = 15 \text{ cm}$ ) con calcestruzzo C25/30, prevedendo l'esecuzione di campi giornalieri con idonei giunti di costruzione per limitare i fenomeni fessurativi da ritiro;
- Posa di isolante termico in XPS sp. 10 cm;
- Posa incrociata di doppio telo in PE sp. 0.3 mm e strato di separazione in TNT di grammatura superiore a  $250 \text{ g/m}^2$ ;
- Esecuzione di pavimentazione di spessore 20 cm in calcestruzzo fibrorinforzato in campi di getto giornaliero di  $18.0 \text{ m} \times 36.00 \text{ m}$  max., con disposizione a quinconce, con stesura meccanizzata o manuale del calcestruzzo additivato;
- Protezione e maturazione del getto della pavimentazione (durata minima 7 giorni). mediante ricoprimento delle superfici con geotessile, TNT, bagnato regolarmente ogni 24 ore o mediante ricoprimento con teli di polietilene dopo idonea bagnatura delle superfici o mediante applicazione di un agente di curing conforme alla UNI 8656;
- Esecuzione dei giunti di contrazione secondo gli schemi di progetto da 18 a 24 ore dopo ultimazione getto;
- Sigillatura dei giunti di costruzione;
- Esecuzione dello strato superficiale di finitura della pavimentazione differenziata a seconda delle destinazioni d'uso previste per il PLO:



- *rivestimento corticale epossidico multistrato* di spessore 3.0-3.5 mm per i Depositi;
- *finitura a spolvero di quarzo* e trattamento a spruzzo della superficie della soletta esposta mediante additivi a base di silicati di litio per i Percorsi;
- *finitura “scopata” antiscivolo* per *Rampa esterna*;
- Messa in esercizio dell'intera pavimentazione.



## **9. PRESCRIZIONI PER PROGETTO ESECUTIVO**

---

### **9.1. PRESENZA CARRELLI ELEVATORI**

I depositi sono suddivisi da partizioni interne costituite da strutture metalliche ancorate alla pavimentazione e pannelli coibentati. Le partizioni sono state verificate con un sovraccarico orizzontale lineare pari a  $H_k = 1,00 \text{ kN/m}$  posto a 1.20 m dal piano della pavimentazione. In relazione quindi alla presenza di carrelli elevatori nelle strutture di Proprietà/Gestione della Committenza occorre proteggere le pareti tramite i seguenti metodi alternativi:

- Inserimento barriere paraurti specifiche;
- Presenza di scaffalature antiribaltamento.

### **9.2. APPROFONDIMENTI PROGETTO ESECUTIVO**

Con riferimento alla successiva fase esecutiva dello sviluppo del progetto si indicano gli argomenti specifici che dovranno essere approfonditi:

- Illustrazioni e motivazioni di eventuali indagini integrative ritenute necessarie allo sviluppo del progetto;
- Soluzioni adottate e modifiche apportate rispetto al progetto definitivo;
- Definizione esecutiva della tipologia di fibre sintetiche adottate per il calcestruzzo fibrorinforzato ed integrazione con l'armatura tradizionale;
- Sviluppo di tutte le verifiche strutturali necessarie anche a valle di opportuna simulazione numerica agli elementi finiti in campo non-lineare del pavimento in calcestruzzo fibrorinforzato;
- Illustrazione di tutte le problematiche esaminate e delle verifiche analitiche effettuate in sede di progetto esecutivo.
- Definizione della specifica per la Prequalifica della miscela di calcestruzzo da richiedere all'impresa esecutrice della pavimentazione in FRC.