

ENTE NAZIONALE
CONPAVIPER

#NoiSiamoConpaviper

**CODICE DI BUONA PRATICA
PER PAVIMENTAZIONI IN CALCESTRUZZO
AD USO INDUSTRIALE**

QUARTA EDIZIONE



Associazione Italiana Sottofondi, Massetti e Pavimentazioni e Rivestimenti Continui

**CODICE DI BUONA PRATICA
PER PAVIMENTAZIONI IN CALCESTRUZZO
AD USO INDUSTRIALE**

QUARTA EDIZIONE

Le informazioni contenute in questo documento sono state messe a punto sulla base delle migliori esperienze fatte sul campo da chi ha contribuito alla sua redazione e delle normative vigenti e rappresentano un supporto teorico e generale.

Si sottolinea questo carattere "generale" del documento per evidenziare come l'impossibilità di poter considerare in modo esaustivo le reali condizioni di applicazione e le caratteristiche di ogni singolo prodotto presente sul mercato richieda una lettura critica di quanto scritto e, comunque, l'intervento sul campo di esperti in materia. CONPAVIPER - e gli autori del documento - declina quindi ogni responsabilità, diretta, indiretta o implicita, su quanto possa accadere nella realtà comune applicando quanto qui riportato.

*Il presente documento è stato messo a punto dal Gruppo di Lavoro **"Codice di Buona Pratica per Pavimentazioni in Calcestruzzo ad uso industriale"** CONPAVIPER, verificato dal **"Comitato Pavimenti in Calcestruzzo"** CONPAVIPER*

Il documento è stato pubblicato nel mese di febbraio 2024

Tutti i diritti sono riservati.

La pubblicazione, anche parziale, su carta o su web, richiede la specifica autorizzazione del CONPAVIPER.

1. Presentazione

*“Questa 4ª edizione del **Codice di Buona Pratica**, arriva a vent’anni esatti dalla terza edizione, un periodo lungo di grande evoluzione per il settore delle pavimentazioni industriali, in cui sono state pubblicate norme da parte dell’UNI, Istruzioni da parte del CNR, modelli e codici di calcolo, pareri delle istituzioni.*

Evoluzione che ha riguardato anche l’organizzazione delle imprese applicatrici, i macchinari e le attrezzature, che ha portato all’uso del digitale in fase progettuale e anche nei cantieri più evoluti. Quando fu pubblicata la prima edizione, quella del 1966, l’esigenza primaria era quella di mettere fine al termine “pavimenti a correre”, ad eliminare i calcestruzzi a dosaggio, a far comprendere che la pavimentazione industriale fosse un ambito specializzato.

Oggi molte di queste sfide, grazie al CONPAVIPER, sono state vinte. Sempre più spesso il pavimento nasce da una progettazione, il settore del calcestruzzo preconfezionato ha individuato prodotti specifici per questa applicazione, è ormai diffuso l’uso di tecnologie ad alto impatto sulla qualità come le fibre e i sistemi di post-tensione.

*E nella logica di voler predisporre non una norma ma un **Codice di buona pratica**, ovvero un supporto concreto e reale per chi opera nel settore, pur conservando il rigore scientifico, progettuale e tecnologico nella trattazione degli argomenti, si ripropone quale strumento d’estrema praticità e di facile consultazione per tutti i soggetti che sono direttamente coinvolti nella realizzazione delle pavimentazioni industriali, dal progettista al direttore dei lavori, dall’impresa esecutrice al produttore di calcestruzzo.*

Nel seguente codice saranno trattate le pavimentazioni di calcestruzzo per uso civile e industriale; rampe, pavimentazioni drenanti, pavimenti stampati, ecc. non faranno parte dei contenuti di questo documento, ma avranno una loro collocazione in altre pubblicazioni.

Questo documento, a differenza del precedente, non contiene la parte relativa alla progettazione, rimandando alle Istruzioni CNR questa trattazione, e riteniamo potrà essere un utile base per l’aggiornamento della UNI 11146, anch’essa datata e ormai superata.

Un ringraziamento speciale va al GRUPPO DI LAVORO CONPAVIPER per il loro contributo alla realizzazione di questa quarta edizione, e al prof. Giovanni Plizzari, che con costante attenzione ci ha tenuto allineati alle tendenze normative nazionali e internazionali.”

Giovanni Saba, Vicepresidente CONPAVIPER

“Voglio ricordare che, subito dopo essere stato nominato, ho contattato l’ingegner Giovanni Saba per informarlo della mia decisione di nominarlo vicepresidente, con l’impegno che concludesse la revisione del Codice di Buona Pratica dei Pavimenti Industriali. Ora ho il piacere di esprimere le mie congratulazioni a lui e ai colleghi che lo hanno supportato per aver raggiunto questo obiettivo.

Tenevo molto alla revisione di questo documento, in quanto è stato il primo testo creato vent’anni fa da CONPAVIPER e incarna uno degli aspetti più autentici della nostra associazione: la realizzazione di pavimentazioni industriali, fondamentali per il funzionamento delle nostre industrie, della logistica e del commercio.

Questo documento servirà come fondamento per il nostro prossimo obiettivo: la certificazione della specializzazione per chi lavora in questo settore, similmente a quanto abbiamo già realizzato per il settore delle resine.

*Questa è la vera potenza dell’Associazione, di CONPAVIPER: **avere l’abilità di trasformare concretamente il presente e il futuro del nostro mercato e della nostra categoria.**”*

Enzo Parietti, Presidente CONPAVIPER

1.1 Sommario

1. PRESENTAZIONE	3
1.1 SOMMARIO	4
2. GENERALITÀ	11
2.1 SCOPO	11
2.2 CAMPO DI APPLICAZIONE	11
3. DEFINIZIONI	13
3.1 PAVIMENTO/PAVIMENTAZIONE	13
3.2 ALTRE DEFINIZIONI UTILI	14
4. CLASSIFICAZIONE DELLE PAVIMENTAZIONI	21
4.1 CLASSIFICAZIONE PER TIPOLOGIA DI SUPPORTO	21
4.1.1 PAVIMENTAZIONE SU TERRENO	21
4.1.2 PAVIMENTAZIONE SU SOLETTA	22
4.1.3 PAVIMENTAZIONE SU PAVIMENTO PREESISTENTE	22
4.2 CLASSIFICAZIONE PER DESTINAZIONE D'USO	23
4.3 CLASSIFICAZIONE IN BASE ALLA PLANARITÀ	23
4.4 CLASSIFICAZIONE IN BASE ALLA RESISTENZA ALL'ABRASIONE	24
4.5 CLASSIFICAZIONE DELLE PAVIMENTAZIONI IN BASE ALL'ARMATURA	25
4.5.1 PAVIMENTAZIONE DI CALCESTRUZZO CON ARMATURA TRADIZIONALE	25
4.5.2 PAVIMENTAZIONE DI CALCESTRUZZO FIBRORINFORZATO	25
4.5.3 PAVIMENTAZIONI DI CALCESTRUZZO CON CAVI POST-TESI	26
4.5.4 PAVIMENTAZIONI DI CALCESTRUZZO NON ARMATE	26
4.6 CLASSIFICAZIONE DELLE PAVIMENTAZIONI IN BASE ALLA PRESENZA DEI GIUNTI DI CONTRAZIONE/CONTROLLO	26
4.6.1 PAVIMENTAZIONE DI CALCESTRUZZO CON GIUNTI DI CONTRAZIONE/CONTROLLO	26
4.6.2 PAVIMENTAZIONE DI CALCESTRUZZO SENZA GIUNTI DI CONTRAZIONE/CONTROLLO (JOINTLESS) O CON LA MINOR QUANTITÀ DI GIUNTI DI CONTRAZIONE/CONTROLLO	26
5. PRESCRIZIONI PER LA MASSICCIATA	27
5.1 CARATTERISTICHE FUNZIONALI E PRESTAZIONALI	27
5.2 DETTAGLI PROGETTUALI E PARTICOLARI ESECUTIVI	28
5.2.1 POZZETTI	28
5.2.2 SCAVI E RINTERRI	28
5.2.3 IMPIANTI	29
5.2.4 PENDENZE	29
5.2.5 PLANARITÀ DELLA MASSICCIATA	29
5.2.6 VALORI DI PRESTAZIONI MECCANICA	29
5.3 VERIFICHE DELLA MASSICCIATA	30
5.3.1 VERIFICHE DURANTE LA REALIZZAZIONE	30
5.3.2 VERIFICHE DELLA MASSICCIATA PRIMA DEI GETTI	30
5.3.3 VERIFICA DURANTE LA FASE DI GETTO	31
5.4 RESPONSABILITÀ	31
5.5 STRATI DI SEPARAZIONE	31
5.5.1 STRATO DI SCORRIMENTO	31
5.5.2 BARRIERA AL VAPORE	32
5.5.3 AVVERTENZE	32

6. PRESCRIZIONI PER PAVIMENTAZIONI SU ALTRI SUPPORTI E PER PAVIMENTI ESTERNI	33
6.1 PAVIMENTAZIONE SU SOLETTA	33
6.1.1 CALCESTRUZZO	34
6.1.2 DIMENSIONAMENTO	34
6.1.3 ARMATURA	34
6.1.4 STRATO D'USURA	34
6.1.5 GIUNTI	34
6.1.6 STAGIONATURA	35
6.1.7 PLANARITÀ	35
6.2 PAVIMENTAZIONE SU PAVIMENTO O PAVIMENTAZIONE ESISTENTE	35
6.2.1 CALCESTRUZZO	35
6.2.2 DIMENSIONAMENTO	36
6.2.3 ARMATURA	36
6.2.4 STRATO DI USURA	36
6.2.5 GIUNTI	36
6.2.6 STAGIONATURA	36
6.2.7 PLANARITÀ	36
6.3 PAVIMENTAZIONE SU STRATO DI COIBENTAZIONE	36
6.3.1 CALCESTRUZZO	37
6.3.2 DIMENSIONAMENTO	37
6.3.3 ARMATURA	37
6.3.4 STRATO D'USURA	37
6.3.5 GIUNTI	38
6.3.6 STAGIONATURA	38
6.3.7 PLANARITÀ	38
6.3.8 PRESENZA DI IMPIANTI, "A PAVIMENTO", DI RISCALDAMENTO E RAFFRESCAMENTO	38
6.4 PRESCRIZIONI PER PAVIMENTAZIONI ESTERNE DI CALCESTRUZZO (PIAZZALI)	39
6.4.1 CALCESTRUZZO	39
6.4.2 DIMENSIONAMENTO	42
6.4.3 ARMATURA	42
6.4.4 STRATO DI USURA	42
6.4.5 GIUNTI	42
6.4.6 STAGIONATURA	42
6.4.7 PLANARITÀ	42
6.4.8 PENDENZE	42
7. REQUISITI PER IL CALCESTRUZZO	44
7.1 I COSTITUENTI DEL CALCESTRUZZO	44
7.1.1 CEMENTO	44
7.1.2 AGGREGATI	44
7.1.3 ACQUA DI IMPASTO	46
7.1.4 ADDITIVI	46
7.1.5 AGGIUNTE	47
7.1.6 ALTRI COMPONENTI	47
7.2 CALCESTRUZZO	47
7.2.1 GENERALITÀ	47
7.2.2 CLASSE DI ESPOSIZIONE AMBIENTALE	48

7.2.3	CLASSE DI RESISTENZA	48
7.2.4	SCelta DELLA CLASSE DI CONSISTENZA	49
7.2.5	DIMENSIONE MASSIMA NOMINALE DELL'AGGREGATO	49
7.2.6	PRESCRIZIONI AGGIUNTIVE	49
7.2.7	CARATTERISTICHE COMPOSIZIONALI DEL CALCESTRUZZO	51
7.2.8	CONDIZIONI DI FORNITURA A PIÈ D'OPERA	53
7.3	CONTROLLO DELLA QUALITÀ DEL CALCESTRUZZO	53
7.3.1	QUALIFICA PRELIMINARE DEL CALCESTRUZZO	53
7.4	PRESTAZIONI PARTICOLARI	55
7.4.1	RESISTENZA ALL'ABRASIONE	55
7.4.2	RESISTENZA AGLI URTI	55
7.4.3	TENUTA IDRAULICA	55
7.4.4	APPROCCIO ALTERNATIVO ALL'USO DI CALCESTRUZZI AERATI IN CASO DI CICLI GELO/DISGELO E SALI DISGELANTI	56
7.5	MESSA IN ESERCIZIO	56
8.	INDICAZIONI PER LA PROGETTAZIONE STRUTTURALE DELLE PAVIMENTAZIONI	58
8.1	METODO DI CALCOLO	58
8.1.1	CALCOLO ELASTICO LINEARE	59
8.1.2	ANALISI LIMITE (LINEE DI ROTTURA)	59
8.1.3	ANALISI INCREMENTALI NON LINEARI (BASATA SULLA MECCANICA DELLA FRATTURA NON LINEARE)	59
8.2	VERIFICHE STATO LIMITE ULTIMO	59
8.2.1	PIASTRE SENZA ARMATURE	59
8.2.2	PIASTRE CON ARMATURE	59
8.2.3	PIASTRE FIBRORINFORZATE	59
8.2.4	PIASTRE CON ARMATURE E FIBRORINFORZO	60
8.2.5	PIASTRE CON ARMATURE POST-TESE	60
8.3	VERIFICHE STATI LIMITE DI ESERCIZIO	60
8.3.1	STATO LIMITE DI DEFORMAZIONE	60
8.3.2	STATO LIMITE DI CONTROLLO DELLE TENSIONI	60
8.3.3	STATO LIMITE DI FESSURAZIONE	60
8.4	GIUNTI DI COSTRUZIONE	61
8.5	RITIRO IGROMETRICO E DEFORMAZIONI DELLA PIASTRA (VERIFICHE PER CONDIZIONI IN ESERCIZIO)	61
8.5.1	FATTORI COMPOSIZIONALI CHE INFLUISCONO SUL RITIRO	62
8.5.2	FATTORI AMBIENTALI ESTERNI	62
8.5.3	FATTORI STRUTTURALI	62
9.	LE ARMATURE NELLE PAVIMENTAZIONI	64
9.1	PROGETTAZIONE	64
9.2	MATERIALI	64
9.2.1	LA RETE ELETTROSALDATA E/O BARRE D'ARMATURA	64
9.2.2	FIBRE A USO STRUTTURALE PER CALCESTRUZZI FRC	65
9.3	ARMATURA SUPPLETIVA	67
9.3.1	FIBRE NON STRUTTURALI	67
9.4	BARROTTI, PIASTRE, RIPARTITORI E GIUNTI DI COSTRUZIONE PREFABBRICATI	67
9.4.1	BARRE DI CONTROLLO	68
10.	STRATO DI USURA O STRATO DI FINITURA	69
10.1	APPLICAZIONE DELLO STRATO DI USURA	70
10.2	REQUISITI PRESTAZIONALI	73

10.2.1	RESISTENZA ALL'ABRASIONE E ALL'USURA	74
10.2.2	RESISTENZA ALL'URTO	74
10.2.3	RESISTENZA CHIMICA	74
10.2.4	SCIVOLOSITÀ	74
10.2.5	FUNZIONE ESTETICA	75
10.2.6	ANTISTATICITÀ	75
10.2.7	PROTEZIONE DALLE AZIONI AMBIENTALI	76
10.2.8	INDICE DI RIFLESSIONE SOLARE (SRI)	76
11.	GIUNTI	77
11.1	GIUNTI DI ISOLAMENTO DELLE STRUTTURE	78
11.2	GIUNTI DI COSTRUZIONE	78
11.3	GIUNTI DI CONTROLLO A PERIMETRO O PERIMETRALI	79
11.4	GIUNTI DI CONTRAZIONE/CONTROLLO	80
11.4.1	PROCEDURE OPERATIVE PER I GIUNTI DI CONTRAZIONE/CONTROLLO	80
11.4.2	RIEMPIMENTI E SIGILLATURE	82
11.4.3	NOTA RELATIVA ALLA DISTANZA DEL TAGLIO DAGLI SPICCATI IN ELEVAZIONE E/O DA ALTRI ELEMENTI	82
11.5	GIUNTI DI DILATAZIONE	83
11.5.1	AMPIEZZA DEI GIUNTI	83
12.	CONDIZIONI CLIMATICHE E TEMPERATURA IN FASE DEL GETTO, PER LA PROTEZIONE DELLA PAVIMENTAZIONE IN FASE DI ESECUZIONE E PRESCRIZIONI PER LA CORRETTA STAGIONATURA	84
12.1	RITIRO PLASTICO	84
12.2	CONDIZIONI DI CLIMA PARTICOLARI	85
12.2.1	GETTI IN CLIMA FREDDO	86
12.2.2	GETTI IN CLIMA CALDO	88
12.3	MATURAZIONE E PROTEZIONE DEL CALCESTRUZZO	89
12.3.1	PROTEZIONE E STAGIONATURA	90
12.3.2	CALCOLO DEL TASSO DI EVAPORAZIONE	91
13.	CRITERI PER LA VALUTAZIONE DELLE PRESTAZIONI E DIFETTOSITÀ DI UNA PAVIMENTAZIONE IN CALCESTRUZZO	93
13.1	PLANARITÀ	93
13.1.1	METODO DI MISURA	94
13.1.2	CRITERI DI ACCETTAZIONE	96
13.2	ORIZZONTALITÀ	96
13.2.1	ORIZZONTALITÀ IN PRESENZA DI PUNTI DI RACCORDO	96
13.2.2	ORIZZONTALITÀ IN ASSENZA DI PUNTI DI RACCORDO	97
13.2.3	VERIFICA DELL'ORIZZONTALITÀ	97
13.2.4	CRITERI DI ACCETTAZIONE	97
13.3	PENDENZE	97
13.4	CURLING	98
13.5	CAVILLATURE E FESSURE	99
13.5.1	CAVILLATURE E/O MICROFESSURE	99
13.5.2	FESSURE	99
13.6	DELAMINAZIONE	100
13.7	BLISTERING	101
13.7.1	CAUSA DEL BLISTERING	101
13.7.2	CONSEGUENZE E SOLUZIONI	102

13.8	DIFFERENZE CROMATICHE	102
13.9	PRESENZA IN SUPERFICIE DELLE FIBRE STRUTTURALI	103
13.10	EFFLORESCENZE	104
13.11	FINITURA	104
14.	CONTROLLI SUL CALCESTRUZZO IN OPERA	106
14.1	QUALITÀ DEL CALCESTRUZZO IN OPERA	106
14.1.1	PROVE DISTRUTTIVE	106
14.2	PROVE NON DISTRUTTIVE	108
14.2.1	ESTRAZIONE DI INSERTI (CUT AND PULL-OUT TEST)	108
14.2.2	RISPOSTA AGLI IMPULSI	108
15.	PROVE SULLA PAVIMENTAZIONE IN OPERA	109
15.1	VERIFICA DELLA RESISTENZA ALL'USURA	109
15.2	RESISTENZA ALLO SCIVOLAMENTO	109
15.3	SPESSORE DELLA PAVIMENTAZIONE	110
15.4	PROVE PER LA LOCALIZZAZIONE DELLE ARMATURE	111
15.5	MOVIMENTI MUTUI VERTICALI TRA MASSICCIATA E PAVIMENTAZIONE	111
16.	NOTE GENERALI DI ACCETTAZIONE E RACCOMANDAZIONE	113
17.	ATTREZZATURE PER LA REALIZZAZIONE DELLE PAVIMENTAZIONI	114
17.1	ATTREZZI PER LA STESURA E LO SPANDIMENTO	114
17.2	STAGGE LASER	114
17.3	STAGGE MANUALI	114
17.4	VIBRATORI E COMPATTATORI	114
17.5	ATTREZZI PER FRATTAZZATURA IMMEDIATA	114
17.5.1	ATTREZZI PER REALIZZARE BORDURE E GIUNTI	115
17.6	FRATTAZZI E CAZZUOLE MANUALI	115
17.7	FRATTAZZATRICI MECCANICHE A MOTORE	115
17.8	SEGHE TAGLIAGIUNTI	115
17.8.1	TAGLIO A SECCO	115
17.8.2	TAGLIO A UMIDO	115
18.	PROCEDURE DI FINITURA	116
19.	CASISTICHE DI POSA PAVIMENTAZIONI IN CALCESTRUZZO: NUMERO DI ADDETTI IN BASE ALLA TIPOLOGIA E QUANTITÀ DI PAVIMENTAZIONE DA REALIZZARE	118
19.1	CASO DI POSA MANUALE, FRATTAZZATURA E FINITURA DEL PAVIMENTO IN CALCESTRUZZO	118
19.2	CASO DI POSA CON LASER SCREED, FRATAZZATURA E FINITURA DEL PAVIMENTO IN CALCESTRUZZO	119
19.2.1	CASO DI POSA CON LASER-SCREED SENZA ARMATURA TRADIZIONALE IN BARRE O RETE	119
19.2.2	CASO DI POSA CON LASER-SCREED CON UN LIVELLO DI ARMATURA TRADIZIONALE IN BARRE O RETE	120
19.2.3	CASO DI POSA LASER-SCREED CON DOPPIO LIVELLO DI ARMATURA TRADIZIONALE IN BARRE O RETE	120
20.	PIANO DI USO E MANUTENZIONE	122
20.1	OBIETTIVI TECNICO - FUNZIONALI	122
20.2	OBIETTIVI ECONOMICI	123
20.3	CONSIGLI UTILI	123
21.	NORME DI RIFERIMENTO PER PAVIMENTAZIONI DI CALCESTRUZZO	125
21.1	PAVIMENTAZIONI	125
21.2	RIFERIMENTI NORMATIVI PER RILEVATI (MASSICCIATA DI SOTTOFONDO)	126
21.3	CALCESTRUZZO	127

21.4	CEMENTI	130
21.5	AGGREGATI	130
21.6	ADDITIVI	131
21.7	AGGIUNTE	132
21.7.1	AGENTI ESPANSIVI	132
21.8	BARRE, RETI, FIBRE	132
21.9	STRATO DI USURA / SUPERFICIALE	133
21.10	SIGILLANTI E BOIACCHE	134
21.10.1	SIGILLANTI SILICONICI	134
21.10.2	BOIACCHE	134
21.11	MEMBRANE PER IMPERMEABILIZZAZIONI	134
21.11.1	PER STRATO DI TENUTA	134
21.11.2	PER ALTRI STRATI	134
21.12	NORME ED ISTRUZIONI DI RIFERIMENTO SULLA PROGETTAZIONE	135

2. Generalità

2.1 Scopo

Il presente Codice descrive un insieme di specifiche tecniche e procedure per la corretta realizzazione delle pavimentazioni di calcestruzzo generiche e ad uso industriale.

In particolare, il Codice definisce:

- le proprietà reologiche e meccaniche del calcestruzzo necessarie perché la pavimentazione possa mantenere inalterata la funzionalità per l'intera vita utile di progetto. Suddette proprietà vengono stabilite tenendo conto delle esigenze esecutive al momento della realizzazione dell'opera, dei carichi statici e dinamici durante l'esercizio, nonché delle possibili condizioni di aggressione promosse dall'ambiente in cui la pavimentazione è situata.
- le specifiche tecniche per i materiali destinati alla realizzazione dell'eventuale strato superficiale resistente all'abrasione e quelli da impiegare nell'esecuzione dei giunti di contrazione, di isolamento e di costruzione.

2.2 Campo di applicazione

Le specifiche tecniche, le raccomandazioni e i suggerimenti contenuti nel presente Codice di Buona Pratica si applicano alle pavimentazioni di calcestruzzo di marciapiedi, cantinati, autorimesse, piazzali, opifici artigianali, magazzini, stabilimenti industriali, banchine portuali poggianti direttamente sul terreno di sottofondo, poggianti su vecchie pavimentazioni in conglomerato cementizio oppure eseguite, come finitura e non collaborante, su solai realizzati in opera o costituiti da elementi prefabbricati.

Verranno trattate le vere e proprie pavimentazioni di calcestruzzo, cioè le piastre di calcestruzzo che devono essere libere di manifestare le proprie dilatazioni/contrazioni senza interagire con strutture esistenti (pilastri, setti, cordoli perimetrali, muri perimetrali, marciapiedi, ecc.), con elementi inseriti nella pavimentazione stessa (pozzetti, griglie di raccolta acque, basamenti di macchine per l'industria, ecc.). Quindi, le pavimentazioni devono essere svincolate dal contesto dove sono inserite e libere di manifestare le proprie deformazioni. Il corretto funzionamento delle pavimentazioni richiede quindi la presenza di opportune tipologie di giunti, che verranno descritti nel seguito.

Le platee dirette o indirette e/o strutture di collegamento di pilastri, setti, muri perimetrali e altri elementi che vengono utilizzate "a uso pavimento", non fanno parte delle pavimentazioni di calcestruzzo vere e proprie, non saranno trattate nel presente documento, ma sono particolari strutture, con finitura superficiale, utilizzate in modo improprio e anomalo come pavimentazione. Per la progettazione, la realizzazione e il controllo di tali elementi strutturali, si rimanda in toto alle Norme Tecniche per le Costruzioni.

Le pavimentazioni di calcestruzzo qui trattate devono essere di spessore costante: in seguito verrà consigliato che tale spessore non sia inferiore ai 15 cm, per evitare fenomeni naturali che saranno approfonditi. Le variazioni di sezione non sono ammesse, se non in presenza di opportuni giunti che permettono il mutuo spostamento/scorrimento delle piastre a spessore diverso.

Le pavimentazioni realizzate in conformità con i criteri di questo Codice sono classificate come pavimentazioni a prestazione.

È frequente nella pratica dover eseguire pavimentazioni senza aver ancora definito la loro destinazione d'uso e quindi descritte in modo sommario; tali pavimentazioni non avranno requisiti di prestazione e non potranno essere oggetto di contestazioni, in quanto non conformi a nessun progetto elaborato, sia dal punto di vista del calcolo che del capitolato esecutivo delle opere.

Una pavimentazione che non è strutturale e/o prestazionale deve comunque essere progettata e supportata da un capitolato delle opere, allo scopo di adempiere alle prestazioni minime richieste dal committente e dal progettista da lui incaricato.

Nota

Rampe, pavimentazioni drenanti, pavimenti stampati, ecc. non fanno parte dei contenuti di questo documento.

3. Definizioni

3.1 Pavimento/pavimentazione

Pavimento/Pavimentazione

Nella stesura di questo codice si è deciso di utilizzare i termini “**pavimento**” e “**pavimentazione**” senza alcuna distinzione e considerando sempre il sistema composto da tutti gli strati funzionali.

Note.

- In ambito civile si intende in genere per “pavimento” tutto il sistema, e per “pavimentazione” solo la parte superficiale.
- Nel settore delle pavimentazioni industriali, se si prende come riferimento la norma UNI 11146 del 2005 si intende per Pavimento la piastra in calcestruzzo e lo strato di usura e per la definizione di Pavimentazione si richiama la UNI 7998 del 1979, ritirata nel 2013, che lo definisce come il “Sottosistema parziale avente funzione principale di consentire o migliorare il transito e la resistenza ai carichi in determinate condizioni s’uso.”

Pavimentazione di calcestruzzo a uso industriale

La pavimentazione di calcestruzzo, spesso definita pavimentazione industriale, rappresenta una struttura che può essere interna o esterna a un edificio industriale. Questa è formata da una piastra di calcestruzzo che è, nella norma, completata in superficie da uno strato antiusura con adeguate proprietà di resistenza all’abrasione, come stabilite dalle specifiche di progetto.

Questo strato antiusura si realizza applicando, su un calcestruzzo ancora fresco, una miscela anidra (spolvero) o una malta premiscelata (pastina). Questa miscela è composta da acqua, cemento e aggregati (come il quarzo, corindone o elementi metallici) che presentano una resistenza all’abrasione. Alternativamente, possono essere applicati altri trattamenti protettivi una volta che il calcestruzzo ha raggiunto la maturazione.

È importante distinguere che platee di fondazione o solai, siano essi in opera o prefabbricati e rifiniti superficialmente con gli strati di usura sopra menzionati, non sono classificabili come pavimentazioni di calcestruzzo. Essi rappresentano piuttosto fondazioni o solai con una finitura superficiale utilizzabile come pavimento. Pertanto, le prestazioni comunemente richieste per le pavimentazioni non sono applicabili a questi elementi specifici. Questo include considerazioni relative alla planarità, quadri fessurativi, giunti di contrazione/controllo, giunti di costruzione, giunti di isolamento, e così via.

Pavimentazione “non strutturale” o a “prestazioni non garantite”

La pavimentazione definita come “non strutturale” o a “prestazioni non garantite” riguarda soluzioni in calcestruzzo che necessitano comunque di un processo di progettazione e di un dettagliato capitolato delle opere.

Questo è essenziale per soddisfare gli standard minimi di qualità richiesti dal committente. Descrizioni sommarie o incomplete della pavimentazione da implementare non sono in grado di assicurare l’adempimento degli standard qualitativi minimi desiderati.

Pavimentazione strutturale o a prestazione garantita

Pavimentazione di calcestruzzo per la quale sono stati definiti almeno i seguenti parametri:

- progettazione e calcolo della piastra;
- capitolato delle opere contenente anche le modalità di esecuzione e controllo;
- classificazione secondo Tabella 2.1 e 2.2 della CNR-DT 211;
- caratteristiche del supporto;
- classe di resistenza caratteristica a compressione del calcestruzzo (C_{fck}/R_{ck});
- classe di resistenza residua, in caso di pavimentazione in calcestruzzo fibrorinforzato FRC;
- classe di esposizione;
- classe di consistenza;
- dimensione massima dell'aggregato;
- tipo di armatura e/o di rinforzo (se previsto);
- modalità di messa in opera;
- modalità e durata della "stagionatura protetta";
- tipologia, dimensionamento, esecuzione e riempimento dei giunti;
- piano di uso e manutenzione.

3.2 Altre definizioni utili

Ambiente di servizio

Il termine "ambiente di servizio" fa riferimento alle condizioni ambientali alle quali la pavimentazione in calcestruzzo è sottoposta durante il suo ciclo di vita; tali condizioni devono essere considerate sia nella progettazione del calcestruzzo che nella definizione delle dimensioni della piastra e dei giunti.

Specificamente, l'ambiente in cui la struttura è situata determina l'eventuale copriferro estradossale minimo per proteggere le armature dalla corrosione, con la relativa sigillatura dei giunti di contrazione/controllo, e stabilisce le condizioni di aggressione fisica (come gelo-disgelo) e chimica (come la presenza di sali disgelanti, sostanze acide, ecc.) a cui si prevede la struttura sarà esposta. Pertanto, la struttura dovrà essere realizzata utilizzando un calcestruzzo adatto alla classe di esposizione prevista.

L'ambiente di servizio definisce anche le condizioni climatiche, come temperatura e umidità relativa, che influenzano le dimensioni della piastra e dei giunti di contrazione/controllo, dilatazione e isolamento.

Barre e armature di controllo

Barre d'acciaio di dimensioni stabilite dal progettista e opportunamente posizionate in prossimità dei vertici di elementi direttamente a contatto con la pavimentazione.

La mancanza di giunti di isolamento crea problemi in corrispondenza dei vertici degli elementi a diretto contatto con la pavimentazione, perché in tali punti si concentrano gli sforzi di interazione, dovute alla iniziale contrazione volumetrica del calcestruzzo, tra pavimentazione ed elemento a contatto, con presenza di tensioni di trazione impedita spesso tali da innescare la fessurazione.

Barriera al vapore

Barriera, costituita generalmente da fogli di polietilene, predisposta sulla massicciata prima dell'esecuzione del getto della pavimentazione al fine di evitare che, in servizio, l'umidità e l'acqua presenti nel terreno possano raggiungere, per risalita capillare, la superficie superiore della pavimentazione.

La predisposizione della barriera al vapore è necessaria allorché si preveda che la superficie superiore della pavimentazione debba rimanere asciutta, per tipologia di lavorazioni che avverranno in superficie, deposito di materiali sensibili all'acqua, oppure debba ricevere un rivestimento continuo in resina.

La barriera al vapore, può limitare il fenomeno della reazione alcali-aggregato, ma accentuare il fenomeno del ritiro differenziale se progettualmente non ne verrà correttamente studiato il comportamento e,

quindi, il conseguente imbarcamento della pavimentazione.

Calcestruzzo

Prodotto realizzato attraverso la miscela di cemento, acqua, aggregati, additivi e, volendo, aggiunte minerali (pozzolaniche oppure inerti).

Calcestruzzo preconfezionato

Calcestruzzo prodotto in un impianto di produzione con processo industrializzato.

Caposaldo

Punto fisso non modificabile accidentalmente, rispetto al quale si imposta la quota di riferimento del pavimento.

Carico

Azioni cui sono generalmente assoggettate le pavimentazioni di calcestruzzo, possono essere suddivise in:

- carichi concentrati statici (ad esempio quelli trasmessi dai piedritti di scaffalature);
- carichi concentrati dinamici prodotti da veicoli, quali carrelli elevatori o automezzi con diversi tipi e numero di ruote;
- carichi uniformemente distribuiti su un'area (ad esempio merci stoccate su pallets) oppure su una linea (ad esempio tubazioni oppure murature).

La distinzione tra i carichi agenti sulla pavimentazione viene effettuata sulla base dell'area di impronta sulla quale gli stessi vengono applicati. In linea di massima, indipendentemente dal carico applicato, la sollecitazione agente sul pavimento è prevalentemente di tipo flessionale ed interessa sia il lembo inferiore che quello superiore della piastra di calcestruzzo.

Sono da ritenersi carichi anche le sollecitazioni determinate dal ritiro del calcestruzzo, dalle variazioni di temperatura e di umidità dell'ambiente e dalle deformazioni del supporto.

Clima in fase di realizzazione

Condizioni climatiche durante l'esecuzione del getto e successivamente durante l'esercizio della struttura.

Delle condizioni climatiche si deve tener conto sia per procedere ad una corretta organizzazione del cantiere e delle operazioni di getto, che per la progettazione del calcestruzzo e della piastra, in base alla tipologia di ambiente nel quale la pavimentazione si troverà durante il servizio.

Controllo di accettazione dei materiali

Controllo eseguito dal direttore lavori al fine di verificare la rispondenza delle prestazioni dei materiali con quanto previsto dal progetto.

Controllo di accettazione delle prestazioni dell'opera

Controllo eseguito dal direttore lavori al fine di verificare la rispondenza delle prestazioni di quanto eseguito con quanto previsto dal progetto.

Controllo di conformità dei materiali

Controllo delle prestazioni dei materiali contrattualizzate, eseguito in contraddittorio dal fornitore dei

materiali con chi ha stipulato il contratto (es.: esecutore della pavimentazione, impresa General Contractor o Committente dell'opera).

Controllo di conformità delle prestazioni dell'opera

Controllo delle prestazioni dell'opera contrattualizzate, eseguito in contraddittorio dall'esecutore della pavimentazione con chi ha stipulato il contratto (es.: impresa General Contractor o Committente dell'opera).

Controllo statistico di produzione

Controllo eseguito dal fornitore di calcestruzzo per monitorare il soddisfacimento delle prestazioni dei calcestruzzi prodotti e regolare la formulazione delle ricette.

Destinazione d'uso

Con il termine "destinazione d'uso" si intende il fine ultimo per cui la pavimentazione di calcestruzzo o per uso industriale viene realizzata.

Questo concetto implica che per la formulazione di una progettazione e di un capitolato precisi e completi, sarà necessario conoscere tutte le sollecitazioni alla quale la pavimentazione sarà sottoposta durante la vita di servizio, come i carichi, il tipo di traffico e la sua frequenza, le specifiche dei vari cicli produttivi e delle attività collaterali che si svolgeranno sulla sua superficie, l'ambiente, le condizioni termo-igrometriche.

Tali sollecitazioni vincoleranno anche la redazione del conseguente piano di manutenzione.

Fibre a uso non strutturale

Le fibre non strutturali nel calcestruzzo (UNI EN 14889-1 e UNI EN 14889-2) sono elementi aggiuntivi che possono essere integrati con l'obiettivo di ridurre e controllare le fessurazioni causate dal ritiro plastico del materiale. Queste fibre, che possiedono forma, sezione, lunghezza e quantità concepite per soddisfare le specifiche di progetto, vengono incorporate nel calcestruzzo durante la fase di preparazione dell'impasto.

Possono essere aggiunte al fine di ridurre e controllare le fessure indotte dal ritiro plastico del calcestruzzo.

La sperimentazione del loro impiego può avere risvolti positivi sulla riduzione degli effetti del cracking plastico in relazione all'aumento della capacità di bleeding. Tuttavia, in relazione all'elevata superficie specifica, l'aggiunta di fibre va accompagnata ad una sensibile revisione degli ingredienti necessaria per compensare la richiesta d'acqua, le implicazioni sul mantenimento di lavorabilità e l'aumento della porosità capillare proporzionale al dosaggio delle stesse.

È importante notare che, in quanto fibre ad uso non strutturale non consentono di migliorare la tenacità del calcestruzzo che le contiene.

Al fine di mitigare gli effetti fessurativi dovuti al ritiro, risulta comunque essenziale la stagionatura protetta della pavimentazione in calcestruzzo.

Fibre ad uso strutturale o a prestazione

Le fibre, quando impiegate con funzione strutturale secondo la definizione di cui alle norme UNI EN 14889-1 e UNI EN 14889-2 per il confezionamento del calcestruzzo FRC, in conformità alle Linee Guida emesse dal Servizio Tecnico Centrale del CONSIGLIO SUPERIORE DEI LAVORI PUBBLICI, possono essere utilizzate come alternativa o in combinazione con le barre di armatura tradizionale, conformemente

alla progettazione di calcolo elaborata in accordo con le norme tecniche delle costruzioni e le Istruzioni per la progettazione, l'esecuzione, ed il controllo delle pavimentazioni di calcestruzzo CNR-DT 211.

L'aggiunta di fibre nel calcestruzzo permette di realizzare un materiale con adeguate proprietà di duttilità e tenacità, in linea con le prestazioni progettualmente richieste, resistente anche a sollecitazioni particolari come quelle indotte dalla caduta di oggetti metallici, dalle sterzate di veicoli o dal trascinarsi di oggetti pesanti.

L'impiego di tale composito è particolarmente adatto negli elementi iperstatici, come le piastre su appoggio continuo, in quanto la resistenza residua a trazione in fase fessurata, dovuta alla presenza delle fibre aumenta la capacità portante complessiva della struttura.

Le fibre, di forma, sezione, lunghezza e quantità adeguate per soddisfare le specifiche di progetto, sono componenti integranti della miscela di calcestruzzo, che viene concepita, qualificata e prodotta considerando le fibre come componente essenziale. L'introduzione delle fibre con funzione strutturale deve essere realizzata in conformità a quanto prescritto dalla normativa in vigore sui calcestruzzi FRC.

È noto che la presenza di armatura metallica e fibre strutturali porta un contributo positivo ai fini del contenimento del ritiro della piastra.

Giunti

I giunti nelle pavimentazioni sono elementi costruttivi essenziali, che servono principalmente a ripartire i carichi tra le lastre di calcestruzzo adiacenti.

I giunti di costruzione, che interessano l'intera sezione della piastra, vengono caratterizzati dalla discontinuità delle armature e sono destinati a separare sezioni di pavimentazione realizzate in momenti di getto differenti. Essi devono permettere spostamenti orizzontali tra le diverse sezioni di pavimentazione adiacenti al giunto, garantendo simultaneamente una corretta trasmissione delle sollecitazioni taglianti e flettenti.

I giunti di contrazione/controllo vengono realizzati mediante taglio meccanico della piastra allo scopo di favorire la formazione controllata di fessure, originate dagli sforzi di trazione indotti dal ritiro igrometrico. Questo tipo di giunto, pur canalizzando la formazione delle fessure in zone prestabilite, non elimina il fenomeno del ritiro, ma permette di mitigarne gli effetti sulla struttura.

I giunti di dilatazione hanno la finalità di assorbire le variazioni dimensionali della piastra derivanti da escursioni termiche e variazioni geometriche causate dal ritiro idraulico del calcestruzzo. In questi giunti, anche l'armatura viene interrotta e devono consentire gli spostamenti orizzontali relativi delle porzioni di pavimentazioni adiacenti. Generalmente si fanno coincidere con i giunti di costruzione, garantendo allo stesso tempo una corretta trasmissione delle sollecitazioni con adeguati sistemi di trasferimento dei carichi.

I giunti di isolamento hanno la funzione di rendere la pavimentazione indipendente dalle strutture ad esso adiacenti quali pilastri, muri, cordoli, fondazioni di macchine, ecc., strutture sottostanti, quali travi porta-pannello o strutture di fondazione di collegamento o strutture emergenti o inserite.

A differenza dei giunti di contrazione, che sono realizzati mediante un taglio parziale della piastra di calcestruzzo, i giunti di isolamento coinvolgono l'intera sezione della pavimentazione. La loro realizzazione prevede l'inserimento, nelle sezioni di giunto, di uno strato di materiale deformabile di spessore adeguato alle specifiche progettuali, per permettere la separazione tra la pavimentazione e le strutture adiacenti.

Imbarcamento (Curling)

Deformazione delle piastre di calcestruzzo dovuta alle contrazioni differenziali per ritiro delle superfici

superiore ed inferiore della piastra a causa della diversa velocità di evaporazione dell'acqua sulle due superfici.

La deformazione si manifesta come un incurvamento bidirezionale della piastra con concavità verso l'alto e sollevamento degli spigoli in prossimità di un giunto.

Lotto di calcestruzzo

Quantità di calcestruzzo preconfezionato trasportato da una singola betoniera.

Lotto di pavimentazione

Superficie di pavimentazione realizzata per ogni singolo giorno di getto. Un lotto di pavimentazione è generalmente costituito da più lotti di calcestruzzo.

Massicciata di sottofondo

Parte dello strato di supporto direttamente a contatto con la pavimentazione di calcestruzzo costituita da uno o più strati di materiale lapideo selezionato e stabilizzato naturalmente (misto granulare), oppure legato artificialmente con cemento (misto cementato).

Il sottofondo può essere costituito dal terreno naturale inorganico o da rilevati strutturali. La massicciata può essere costituita da un solo strato di ghiaia o pietrisco mono granulare avente funzioni drenanti e/o anticapillari.

Messa in esercizio

Quest'espressione designa il lasso di tempo richiesto perché la pavimentazione soddisfi le specifiche meccaniche stabilite dal progetto, relative a carichi sia statici che dinamici in fase operativa, oltre a manifestare la capacità di opporsi efficacemente alle aggressioni ambientali.

Ostacoli alla posa

Si definiscono come ostacoli alla posa il perimetro della superficie, i contenimenti, gli spiccati in elevazione, i perimetri di pozzetti, grigliati, canalette di raccolta liquidi, pilastri, ecc. compresi nella pavimentazione. Tali elementi implicano lavorazioni aggiuntive a mano e difficoltà di posa e livellatura (staggiatura) in quanto ogni parte di tali ostacoli necessita della creazione in opera di una fascia a quota piano finito e, quindi, il tempo di posa in opera, staggiatura e finitura aumenta.

Prove iniziali

Prove da eseguire prima che inizi la produzione di un nuovo calcestruzzo o di una nuova famiglia di calcestruzzi per determinare quale sia la composizione in grado di soddisfare i requisiti allo stato fresco ed indurito specificati.

Rampa di calcestruzzo

Pavimentazione di calcestruzzo realizzato con una pendenza superiore al 2%.

Un gradiente di pendenza superiore al 2% classifica il tratto di pavimentazione caratterizzato da tale prestazione in "forte pendenza" e richiede una finitura superficiale particolare.

Rapporto acqua - cemento (a/c)

Il rapporto in massa tra le quantità d'acqua "efficace" e di cemento, utilizzate per il confezionamento del calcestruzzo. L'acqua efficace fa riferimento ad aggregati in condizioni sature e a superficie asciutta (s.s.a.).

Rete elettrosaldata/Barre in acciaio da c.a.

Nelle pavimentazioni di calcestruzzo, l'armatura è tipicamente rappresentata da rete elettrosaldata o barre in acciaio per calcestruzzo armato. Questa può avere funzioni sia prestazionali/strutturali, qualora richiesto dal progetto, sia di controllo degli sforzi indotti da variazioni termoigrometriche che interessano il composto cementizio.

L'armatura, pertanto, può incrementare la capacità resistente della pavimentazione e consentire di contrastare, ma non eliminare, gli effetti del ritiro del calcestruzzo, controllando l'ampiezza dell'apertura dei giunti di contrazione o di controllo e l'entità dell'imbarcamento prodotto dalle contrazioni differenziali della piastra di calcestruzzo oltre che limitare l'apertura delle cavillature prodotte da modesti cedimenti differenziali dello strato di supporto.

Ripartitori

Comunemente definiti "barrotti" o "piastre", sono costituiti da tondini o piatti di acciaio in grado di contrastare i movimenti verticali differenziali che si verificano tra due lastre contigue, in corrispondenza dei giunti di costruzione.

Spessore della pavimentazione

Lo spessore della pavimentazione è lo spessore minimo per garantire le prestazioni richieste. Lo spessore minimo previsto dal progetto deve essere sempre garantito. Quindi, valutate opportunamente le tolleranze esecutive, il limite minimo della tolleranza deve garantire lo spessore di progetto.

Stagionatura protetta (Curing)

Tutti gli interventi volti a mantenere un ambiente umido e a controllare la temperatura contribuiscono al corretto processo di stagionatura protetta (Curing), consentendo il raggiungimento delle prestazioni ottimali del calcestruzzo nella sua fase matura.

Il processo di curing comprende l'insieme delle misure precauzionali, incluse le tempistiche da rispettare, che devono essere osservate durante le fasi di presa e indurimento del calcestruzzo. Questa pratica mira a minimizzare l'evaporazione dell'acqua e a bilanciare i gradienti termici, promuovendo così la formazione ottimale dei prodotti idrati e limitando il rischio di formazione di fessure.

Prevenire l'evaporazione dell'acqua dal calcestruzzo non solo riduce la possibilità di fessurazioni dovute al ritiro plastico, ma favorisce anche il processo di idratazione del cemento. Questo risultato si traduce in un miglioramento delle proprietà meccaniche e di una maggiore durabilità del calcestruzzo. In pratica, la stagionatura protetta è essenziale per garantire che il calcestruzzo mantenga integrità strutturale, resistenza e longevità nel tempo, conformemente alle specifiche progettuali.

Strato di separazione o di scorrimento

Strato avente la funzione di ridurre l'attrito con il sottofondo durante il ritiro o la dilatazione della pavimentazione realizzato generalmente con:

- uno strato di sabbia;
- teli di tessuto non tessuto coperti da fogli di polietilene;
- fogli di polietilene singoli o doppi.

Superficie continua

A parità di superficie totale da realizzare, si definisce continua una superficie non interrotta e non determinata dalla somma di più superfici fisicamente staccate fra loro o su più livelli.

Supporto

L'insieme dei vari strati sottostanti la piastra di calcestruzzo.

Verifica

Conferma mediante l'esame di evidenze oggettive che i requisiti specificati sono stati soddisfatti.

Vita di esercizio (vita nominale)

Periodo di tempo durante il quale le prestazioni del calcestruzzo nella struttura saranno mantenute ad un livello compatibile con i requisiti prestazionali della struttura, ove si provveda a opportuna manutenzione.

4. Classificazione delle pavimentazioni

La classificazione delle pavimentazioni in calcestruzzo può essere effettuata sulla base di diversi parametri: la stratigrafia, la finitura, la destinazione d'uso, alla presenza o meno di giunti, alla tipologia di armature utilizzate...

Ai fini della progettazione si può fare riferimento alle Istruzioni CNR-DT 211.

Di seguito verranno riportati alcuni modelli di classificazione utili ai fini dell'individuazione del tipo di pavimentazione in calcestruzzo oggetto della commessa.

4.1 Classificazione per tipologia di supporto

La struttura tipica degli strati che costituiscono una pavimentazione in calcestruzzo, così come delineati dalle Istruzioni CNR-DT 211 può essere così semplificato:

1. **Strato di Usura:** questo è lo strato superficiale, esposto direttamente all'usura e agli agenti atmosferici.
2. **Piastra di Calcestruzzo:** rappresenta il corpo principale della pavimentazione, fornendo resistenza e stabilità strutturale.
3. **Strato di Separazione:** questo strato può includere barriere al vapore, barriere ai liquidi, e barriere di scorrimento, tra gli altri, e serve a prevenire la diffusione di umidità e liquidi attraverso la struttura.
4. **Supporto** (che può essere composto da più elementi)

È possibile suddividere le pavimentazioni di calcestruzzo in base al tipo di supporto presente:

- Pavimentazioni su terreno;
- Pavimentazioni su soletta;
- Pavimentazioni su pavimentazione esistente.

4.1.1 Pavimentazione su terreno

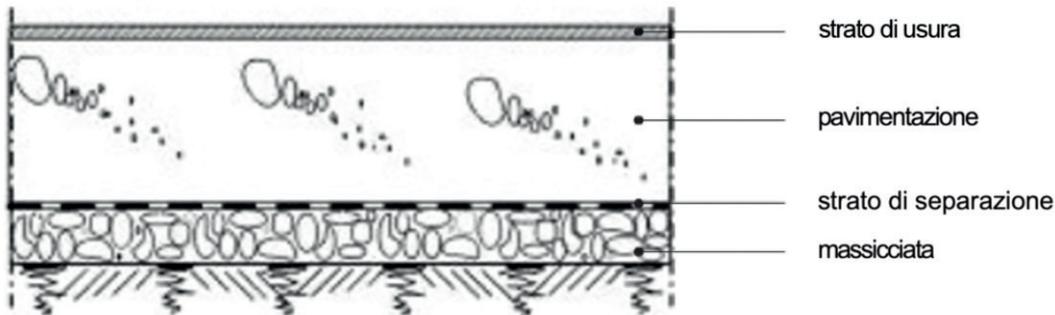
Nella Figura 1 è illustrata la sequenza tipica di strati che costituisce una pavimentazione di calcestruzzo realizzata su un supporto costituito dalla massicciata, un rilevato e il terreno.

Fig. 1 - Schema tipo di una pavimentazione poggiante su massicciata, rilevato e terreno



Nella Figura 2 è illustrata la sequenza tipica della stratigrafia che costituisce una pavimentazione di calcestruzzo realizzata su massiccata posta direttamente su terreno

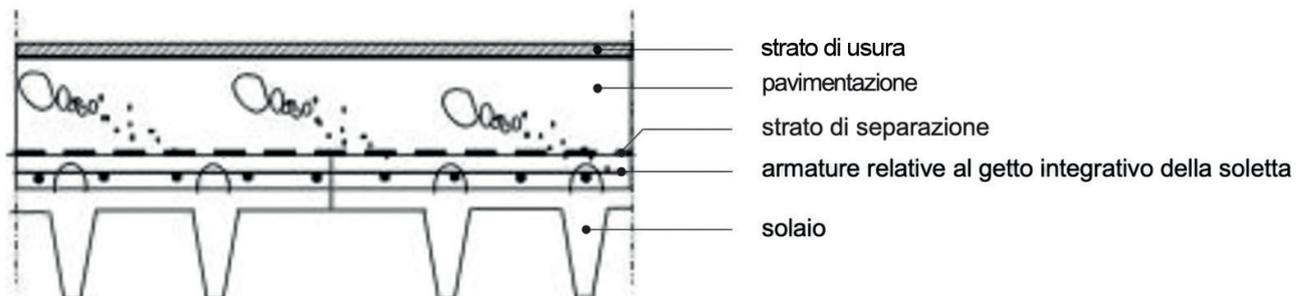
Fig. 2 - Schema tipo di una pavimentazione poggiante su massiccata e terreno



4.1.2 Pavimentazione su soletta

Nella Figura 3 è illustrata la sequenza tipica di strati che costituisce una pavimentazione di calcestruzzo realizzata su soletta.

Fig. 3 - Pavimentazione su soletta-solaio

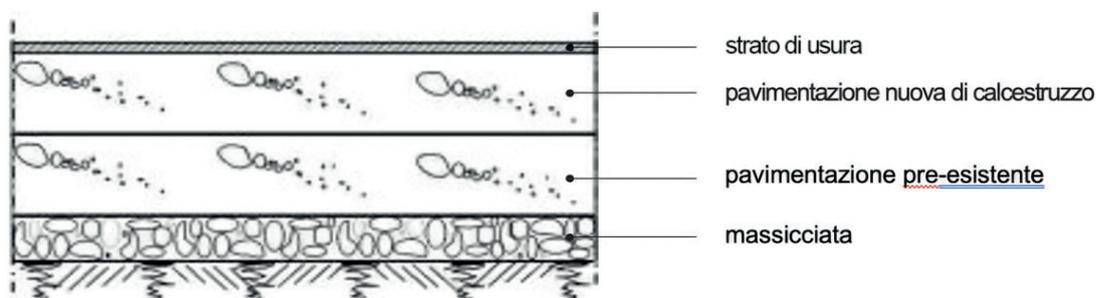


La pavimentazione può essere collaborante o meno con la soletta; nel primo caso non esiste alcuna separazione fra il getto della pavimentazione ed il getto della soletta.

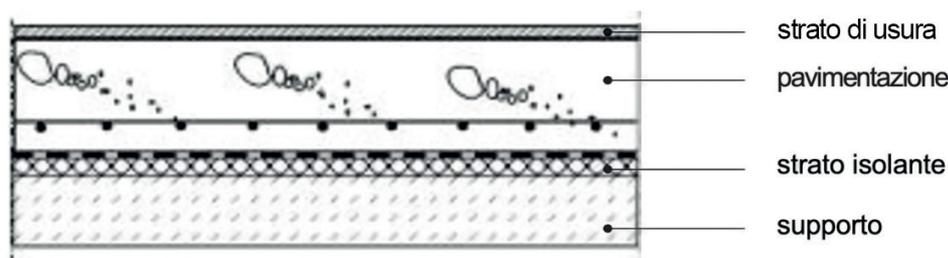
La pavimentazione collaborante con la soletta è in genere una soluzione sconsigliata in quanto rende più difficoltoso il controllo della fessurazione e richiede misure che assicurino l'assenza di scorrimento tra soletta e piastra.

4.1.3 Pavimentazione su pavimento preesistente

Nella Figura 4 è illustrata la sequenza tipica di strati che costituisce una pavimentazione di calcestruzzo realizzata su pavimentazione preesistente.

Fig. 4 - Pavimentazione su pavimentazione preesistente

Nella Figura 5 è illustrata la sequenza tipica di strati che costituisce una pavimentazione di calcestruzzo realizzata su pavimentazione preesistente con strato di separazione

Fig. 5 - Pavimentazione su pavimentazione preesistente con strato isolante

4.2 Classificazione per destinazione d'uso

Le pavimentazioni di calcestruzzo possono essere classificate, in funzione dell'uso previsto, secondo lo schema riportato nella Tabella 2.1 della CNR-DT 211; tale classificazione fa particolare riferimento alle pavimentazioni per uso industriale.

Nella stessa tabella sono descritte le tipologie di carico più significative.

4.3 Classificazione in base alla planarità

La classificazione delle pavimentazioni industriali in base alla planarità è cruciale e correlata direttamente all'uso previsto, specialmente considerando il tipo di movimentazione e stoccaggio delle merci.

Le tolleranze di planarità e orizzontalità, basate su normative come UNI 11146-2005, vengono stabilite in fase progettuale in riferimento all'altezza delle scaffalature e al tipo di carrelli. Differenti esigenze emergono nelle aree libere rispetto alle corsie delle scaffalature.

La non conformità alle prescrizioni progettuali relative a planarità e orizzontalità implica interventi specifici sia nella progettazione che nell'esecuzione.

L'altezza delle scaffalature e la distanza tra le ruote del carrello sono ulteriori parametri da considerare nella definizione delle tolleranze, specialmente in presenza di scaffalature elevate. In assenza di specifiche, si fa riferimento alle classificazioni standard.

La misura della planarità è condotta secondo la norma DIN 18202.

Si evidenzia che l'orizzontalità non è applicabile quando la pavimentazione industriale viene raccordata agli elementi circostanti già posizionati in quota.

Dal punto di vista progettuale il tema è trattato dalle CNR-DT 211.

4.4 Classificazione in base alla resistenza all'abrasione

Le pavimentazioni in calcestruzzo interne, caratterizzate da una finitura liscia, possono essere categorizzate basandosi su specifici requisiti prestazionali riguardanti la resistenza all'abrasione dello strato di usura, come delineato nella Tabella 2.2 della CNR-DT 211.

Questo documento classifica anche i diversi tipi di carichi tipicamente associati a ciascuna categoria di pavimentazione, fornendo indicazioni precise in base alla classificazione attribuita.

La misurazione della resistenza all'abrasione si effettua conformemente alla metodologia descritta dalla norma UNI EN 13892-4, applicabile esclusivamente su superfici lisce e non inclinate

È compito del progettista specificare la classe di resistenza all'abrasione selezionata, essendo questa una caratteristica cruciale della pavimentazione. Il fenomeno dell'abrasione è intrinsecamente complesso, influenzato da molteplici fattori quali il tipo di ruote, lo spostamento di oggetti, impatti e cadute, contaminazioni sulla superficie, residui da lavorazioni speciali e la frequenza di utilizzo del pavimento.

È essenziale sottolineare che la resistenza all'abrasione è strettamente correlata alle proprietà meccaniche del calcestruzzo impiegato, alle caratteristiche dello strato di usura, e alle condizioni di stagionatura della pavimentazione.

Prescrizioni relative a quantitativi di spolvero per metro quadro non equivalgono a definizioni della performance in termini di resistenza all'abrasione, è fondamentale, pertanto, attenersi scrupolosamente alle norme e ai parametri stabiliti per garantire la qualità e la durabilità della pavimentazione.

La classificazione AR (Abrasion Resistance) indica l'abrasione della superficie del campione di pavimentazione sottoposto a prova, secondo il metodo BCA, espressa come profondità massima di materiale asportato in millimetri.

La UNI EN 13892-4 indica le seguenti quattro classi di abrasione:

- AR 4 = 0,40 mm
- AR 2 = 0,20 mm
- AR 1 = 0,10 mm
- AR 0,5 = 0,05 mm

Le classi AR 2 e AR 1 sono generalmente le più indicate nelle pavimentazioni di magazzini e produzioni di tipo standard.

In assenza di prescrizioni progettuali, la resistenza all'abrasione minima da garantire sarà la AR2.

Per aumentare la resistenza all'abrasione della superficie della pavimentazione è consigliabile, oltre ad utilizzare calcestruzzi, strati di usura e stagionature adeguate, anche l'applicazione di consolidanti, tipo silicati, o opportuni cicli di levigatura superficiale, o idonei materiali di riporto a spessore. Tali indicazioni di esecuzione dovrebbero essere indicate in fase progettuale, sulla base dei requisiti richiesti per la resistenza all'abrasione.

Nota relativa alla finitura in base all'ubicazione

Le pavimentazioni possono essere ubicate all'interno (chiuso), all'esterno protette dagli agenti atmosferici o all'esterno senza protezione dagli agenti atmosferici.

Il grado di finitura delle pavimentazioni interne potrà essere liscio, non sdruciolevole, e privo di rugosità superficiale.

Il grado di finitura esterno non potrà mai essere liscio. Il grado di rugosità superficiale potrà essere ottenuto con finiture realizzate con pale metalliche morbide o con la rigatura scopata.

Superfici in forte pendenza richiedono una finitura scopata o simile. Le increspature che promuovono la rugosità possono essere realizzate con lavorazioni/incisioni al fresco o all'indurito purché la loro profondità non sia superiore a 5 mm.

Nota relativa al EUROCODICE 2 - Classi XM

Per quanto riguarda la resistenza all'abrasione del calcestruzzo, si riporta quanto indicato dall'EUROCODICE 2 par. "4.4.1.2 Copriferro minimo, c_{min} ":

(...)

"Per quanto riguarda l'abrasione del calcestruzzo, si raccomanda di prestare particolare attenzione agli aggregati, conformemente alla EN 206-1. Come opzione si può tener conto dell'abrasione del calcestruzzo aumentando il copriferro (strato sacrificale). In questo caso si raccomanda che il copriferro minimo c_{min} sia aumentato di k_1 per la Classe di abrasione XM1, di k_2 per XM2 e di k_3 per XM3.

La Classe di abrasione XM1 corrisponde ad un'abrasione moderata, come nel caso di elementi di siti industriali con transito di veicoli su pneumatici. La Classe di abrasione XM2 corrisponde ad alta abrasione, come nel caso di elementi di siti industriali con transito di carrelli elevatori con ruote pneumatiche o di gomma dura. La Classe di abrasione XM3 corrisponde ad abrasione estrema, come nel caso di siti industriali con transito di carrelli elevatori con ruote di elastomeri o di acciaio o veicoli cingolati. I valori di k_1 , k_2 e k_3 da adottare in uno Stato possono essere reperiti nella sua appendice nazionale. I valori raccomandati sono 5 mm, 10 mm e 15 mm. "

4.5 Classificazione delle pavimentazioni in base all'armatura

Si riportano di seguito le classificazioni più comuni riguardanti le armature. In fase di progettazione si possono combinare le varie tipologie di pavimentazioni.

4.5.1 Pavimentazione di calcestruzzo con armatura tradizionale

Le pavimentazioni con armatura costituita da rete elettrosaldata o barre single sono un tipo di pavimentazione in calcestruzzo rinforzato, ideate per offrire maggiore resistenza e durabilità. La rete elettrosaldata è composta da acciaio, formato dall'incrocio di barre o fili, ed è utilizzata per incrementare la resistenza alla trazione del calcestruzzo.

Le barre single, invece, sono inserite individualmente e possono essere disposte in base alle specifiche esigenze strutturali. Questo tipo di armatura è essenziale in aree sottoposte a carichi pesanti o ad elevato traffico, garantendo una distribuzione uniforme dei carichi e riducendo il rischio di fessurazioni e deformazioni nel tempo.

4.5.2 Pavimentazione di calcestruzzo fibrorinforzato

Le pavimentazioni realizzate con calcestruzzi fibrorinforzati sono caratterizzate dall'incorporazione di fibre, metalliche o sintetiche, nella miscela di calcestruzzo per migliorare le sue proprietà. Le fibre agiscono

come rinforzo tridimensionale, migliorando la resistenza alla trazione del calcestruzzo e riducendo il rischio di formazione di fessure e fratture.

Questa tipologia di calcestruzzo è particolarmente utile in pavimentazioni soggette a carichi pesanti o sollecitazioni intense, come quelle industriali o aeroportuali.

La presenza di fibre permette, inoltre, la realizzazione di pavimentazioni con spessori ridotti, mantenendo elevate prestazioni meccaniche e durabilità.

4.5.3 Pavimentazioni di calcestruzzo con cavi post-tesi

Le pavimentazioni post-tese sono una forma avanzata di pavimentazioni in calcestruzzo, che incorpora la tecnica del post-tensionamento.

In questo processo, dei cavi d'acciaio sono posizionati all'interno delle casseforme del calcestruzzo prima che questo indurisca. Una volta che il calcestruzzo ha raggiunto una resistenza sufficiente, i cavi vengono tesi, comprimendo il calcestruzzo e aumentando la sua resistenza e capacità portante.

Questo tipo di pavimentazione è particolarmente utile in situazioni dove sono richiesti lunghi sbalzi o grandi luci, permettendo la realizzazione di strutture sottili ma resistenti. L'uso di pavimentazioni post-tese è frequente in costruzioni di edifici, parcheggi multipiano e ponti.

L'azione di post-compressione nella pavimentazione, oltre ad avere funzione meccanica ai carichi previsti, consente di eliminare completamente i giunti di contrazione nel pavimento.

4.5.4 Pavimentazioni di calcestruzzo non armate

Pavimentazioni particolari senza armatura tradizionale o fibre o cavi post-tesi.

4.6 Classificazione delle pavimentazioni in base alla presenza dei giunti di contrazione/controllo

4.6.1 Pavimentazione di calcestruzzo con giunti di contrazione/controllo

Pavimentazione in cui sono presenti giunti di contrazione/controllo realizzati mediante taglio parziale del pavimento in campiture regolari subito dopo l'indurimento del calcestruzzo.

4.6.2 Pavimentazione di calcestruzzo senza giunti di contrazione/controllo (jointless) o con la minor quantità di giunti di contrazione/controllo

La realizzazione di questa pavimentazione può essere effettuata, conformemente alle specifiche progettuali, implementando un'armatura ottimizzata, ad esempio, utilizzando rete elettrosaldata o fibre in funzione di contrastare efficacemente il fenomeno del ritiro del calcestruzzo.

È fondamentale osservare un accurato design geometrico per ciascun getto di pavimentazione e selezionare un tipo di calcestruzzo che garantisca un ritiro idraulico sotto controllo, in linea con le indicazioni o le prescrizioni delineate dal progetto. Questo tipo di calcestruzzo può essere formulato mediante l'impiego di agenti espansivi e, qualora necessario, additivi ritentori di umidità di impasto, ossia Shrinkage Reducing Admixture (SRA).

5. Prescrizioni per la massicciata

Il presente capitolo fornisce le prescrizioni per la definizione dei dettagli progettuali e costruttivi della massicciata, contemplate già nelle "Istruzioni per la progettazione, la realizzazione ed il controllo delle pavimentazioni di calcestruzzo - CNR-DT 211" e nella UNI 11146, indispensabili per la realizzazione di una pavimentazione strutturale o non strutturale.

5.1 Caratteristiche funzionali e prestazionali

La massicciata ha il compito di sopportare le sollecitazioni trasmesse dalla pavimentazione per effetto dei carichi su di essa gravanti, interagendo con la struttura di sottofondo.

Gli strati che costituiscono la massicciata debbono essere in grado di esplicare reazioni ai carichi applicati senza subire, né trasmettere, cedimenti globali e differenziali, che comporterebbero fessurazioni della piastra di calcestruzzo della pavimentazione compromettendone la funzionalità.

Le caratteristiche fisiche dei materiali costituenti, lo spessore, le caratteristiche di resistenza a taglio e la deformabilità della massicciata vanno definite in sede progettuale, in funzione del tipo e delle prestazioni richieste per la pavimentazione, dei carichi e delle sollecitazioni esterne in rapporto alle caratteristiche geotecniche del sottofondo.

La massicciata deve essere caratterizzata da:

- omogeneità e planarità;
- assortimento granulometrico (pezzatura massima dei grani inferiore a 75 mm);
- assenza di frazioni argillose;
- spessore adeguato, definito sulla base delle caratteristiche geotecniche del sottofondo;
- buon grado di compattazione;
- buon grado di saturazione;
- buon grado di livellamento.

Le prove per la valutazione delle qualità fisiche e meccaniche della massicciata sono:

- Analisi granulometrica (ASTM D422 - CNR B.U. N.23) (Prova di laboratorio per la determinazione dell'assortimento granulometrico, delle dimensioni massime dei grani, della presenza di terre finissime - argille).
- Prova di classificazione (UNI EN 13242, UNI EN ISO 14688-1, UNI EN 13285).
- Prova Proctor (UNI EN 13286-2). (Prova di laboratorio che consente la determinazione del grado massimo di addensamento raggiungibile da una terra e il tenore di umidità ottimale per conseguirlo).
- Determinazione dell'indice di Portanza Californiana CBR (ASTM D-1883) - Nota: I misti granulari non legati devono possedere un indice di Portanza Californiana CBR superiore a 60.
- Prova di densità in situ (CNR B.U. N.22). (Verifica il grado di addensamento ottenuto in campo, in rapporto al massimo addensamento ottenuto in laboratorio con lo stesso materiale attraverso la prova Proctor).
- Prova di carico su piastra (CNR B.U. N.92 1983) (Verifica il grado di portanza della massicciata mediante l'applicazione di un carico e la rilevazione del cedimento conseguente).

La prova di carico su piastra, CNR B.U. N.92 1983, consente di determinare la portanza della massicciata, intesa come pressione da applicare per produrre un cedimento unitario, nota anche come **Modulo di Reazione (k)** o **coefficiente di Winkler**.

La determinazione del modulo di reazione del sottofondo si basa sull'impiego di una piastra circolare rigida di diametro superiore a 760 mm.

- Modulo di reazione:

$$k = \Delta p / \Delta s \text{ [N/mm}^3\text{]}$$

- valori tipici di **k**: 0,06 - 0,12 N/mm³.

5.2 Dettagli progettuali e particolari esecutivi

5.2.1 Pozzetti

I pozzetti di scarico o di ispezione devono essere posizionati solo nelle immediate vicinanze dei pilastri e mai al centro della pavimentazione, o nelle zone di maggior transito.

I pozzetti vanno posizionati senza rinfiacco, al fine di non ridurre lo spessore della pavimentazione.

Pozzetti e canaline di raccolta acque devono essere dotati di fondazione propria.

5.2.1.1 Pozzetti e Forometrie in sezione

Laddove necessario o previsto un loro posizionamento interno alla pavimentazione:

- Verificare la necessità del posizionamento di eventuali ulteriori giunti di contrazione e armature suppletive per il controllo della fessurazione da ritiro plastico del calcestruzzo;
- il corpo del pozzetto fra il piano di posa e la superficie deve poter essere realizzato contestualmente ai getti tramite apposite cassature rimovibili (prolunga flottante), se necessario realizzare disaccoppiamento tra pavimentazione e pozzetto al fine di evitare che l'elemento costituisca un ostacolo ai movimenti di ritiro della pavimentazione.

5.2.2 Scavi e rinterri

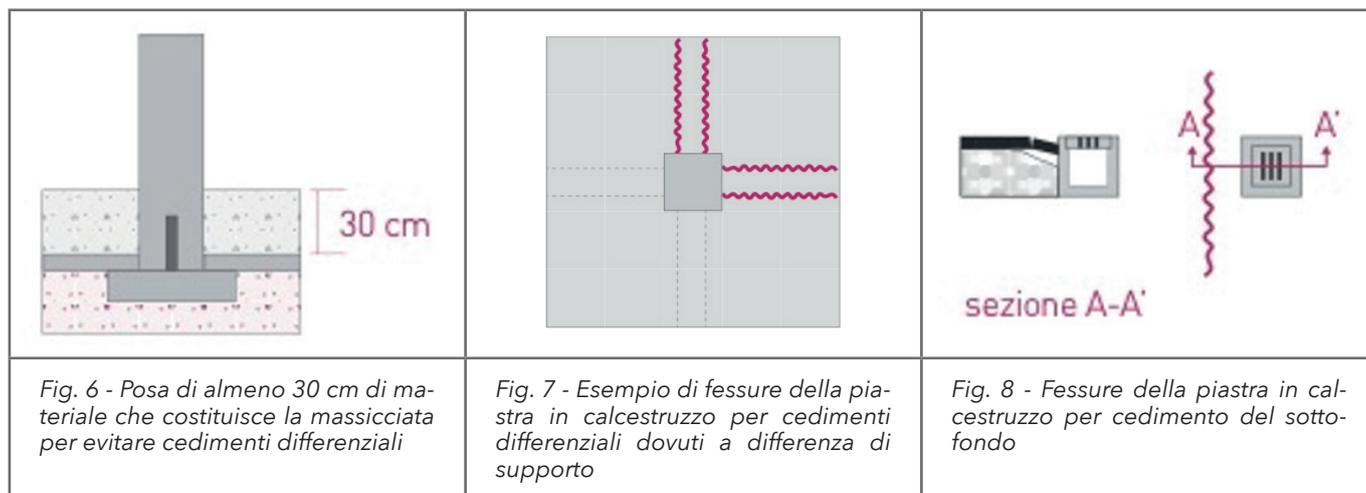
In ogni intervento costruttivo, è fondamentale che scavi e rinterri siano metodicamente costipati fino a rifiuto, ricorrendo a utensili e macchinari adatti in rapporto alle condizioni specifiche del cantiere e alle caratteristiche intrinseche del materiale di riempimento.

Particolare riguardo progettuale va rivolto ai rinterri prossimi a pilastri, basamenti, cunicoli, canalizzazioni, muri e scavi per impianti, dato che tali aree sono più predisposte a subire cedimenti.

È imprescindibile evitare di far gravare direttamente la pavimentazione sulle strutture di fondazione quali travi e plinti.

Differenze nel supporto, fra massiciata e strutture di fondazione, possono indurre cedimenti differenziali tra la porzione sostenuta dalle strutture e quella appoggiata sulla massiciata, generando così eventuali fessurazioni.

Pertanto, è raccomandabile che plinti, travi e cordoli di fondazione siano posizionati ad una quota inferiore di almeno 30 cm rispetto al piano di posa della lastra di calcestruzzo. Questo permette al materiale della massiciata di ricoprire completamente tali elementi, assicurando un supporto uniforme su tutto il piano di posa.



5.2.3 Impianti

Affinché lo spessore del pavimento mantenga una uniformità su tutta l'area, è essenziale prevenire la collocazione di impianti quali tubature, cablaggi, e qualsiasi altro elemento che possa ridurre lo spessore o ostacolare il movimento della lastra durante la contrazione volumetrica da ritiro idraulico, nonché durante i processi di espansione e contrazione dovuti a fluttuazioni termiche ambientali.

La presenza di tali elementi, tubazioni e cablaggi, può facilitare l'insorgere di fessurazioni e potenziali riduzioni localizzate delle prestazioni meccaniche del pavimento.

È quindi imperativo prevedere soluzioni progettuali che garantiscano l'integrità strutturale e la durabilità della pavimentazione, preservandola da alterazioni morfologiche e funzionali, e mantenendo inalterate le caratteristiche meccaniche e strutturali previste.

5.2.4 Pendenze

Nel caso sia prevista una pavimentazione con pendenze, dette pendenze si devono ottenere sagomando opportunamente la massicciata.

5.2.5 Planarità della massicciata

Per garantire un buon grado di scorrimento al calcestruzzo, per garantire le prestazioni della pavimentazione, il grado di planarità della massicciata va contenuto entro il limite di 2 cm, rispetto al piano progettuale di riferimento, ogni 4 m.

5.2.6 Valori di prestazioni meccanica

Nei processi di dimensionamento della pavimentazione, i parametri utilizzati per il Modulo di Reazione k derivano da test eseguiti su piastre con un diametro di 760 mm, condotti in conformità con CNR BU 92:1983.

È indispensabile verificare il valore del Modulo di Reazione K della massicciata completata, mediante l'effettuazione di almeno un test per ogni 400 m² o, alternativamente, tre test per ogni 1.000 m². È cruciale posizionare i punti di prova in prossimità di chiusini, pilastri, aree umide, aree di ripristino, o in altri punti in cui potrebbero verificarsi cedimenti.

Se il modulo di reazione risultante è inferiore a quello presupposto nella progettazione, è consigliabile

effettuare interventi di bonifica della massicciata per ristabilire le condizioni fisico-meccaniche originariamente previste. In circostanze eccezionali in cui ciò non fosse fattibile, è necessario ridimensionare la pavimentazione considerando le nuove restrizioni prestazionali del substrato. Variazioni significative nelle prestazioni del supporto possono indurre fessurazioni, particolarmente nei pressi dei pilastri, laddove la fondazione e i cordoli non siano adeguatamente coperti da uno strato di materiale omogeneo di spessore sufficiente (minimo 30 cm).

È suggerito che la massicciata abbia un modulo di reazione k non inferiore a $0,06 \text{ N/mm}^3$ (6 kg/cm^3).

I valori di portanza devono essere chiaramente definiti nel progetto della pavimentazione, che deve dettagliare, insieme a tutte le operazioni di cantiere e ai criteri costruttivi, le lavorazioni necessarie in corrispondenza di pilastri, cordoli e pozzetti per garantire uniformità di portanza, anche sotto condizioni costruttive critiche.

In sintesi, un attento e rigoroso approccio progettuale e una meticolosa verifica delle condizioni della massicciata sono essenziali per prevenire cedimenti e garantire la longevità e l'integrità strutturale della pavimentazione. Ogni deviazione dai parametri progettuali deve essere adeguatamente indagata e risolta per evitare compromissioni delle performance strutturali e meccaniche della costruzione finale.

5.3 Verifiche della massicciata

Il presente capitolo fornisce le prescrizioni per le verifiche della massicciata nelle varie fasi esecutive.

5.3.1 Verifiche durante la realizzazione

La Direzione dei Lavori è tenuta a effettuare verifiche approfondite sulla portanza della massicciata per assicurarsi che i parametri utilizzati nel progetto per il dimensionamento siano rigorosamente adempiuti. La massicciata deve essere composta da materiali con un'adeguata e uniforme capacità portante, e la densità volumetrica della massicciata deve essere chiaramente specificata nel capitolato tecnico.

È imperativo che tutte le verifiche sui materiali utilizzati per la massicciata siano condotte in conformità alle norme UNI pertinenti. Specificamente, occorre verificare i seguenti parametri: gelività, plasticità, omogeneità, spessore del materiale di riporto, costipamento e contenuto d'acqua durante la fase di costipamento.

Per la verifica della planarità della massicciata di sottofondo, può essere utilizzato un livello ottico, e le deviazioni non devono superare $\pm 1 \text{ cm}$ dal valore prescritto (massimo 2 cm su 4 m). La misurazione dei punti deve essere effettuata sistematicamente, sia per controllare la planarità sia per garantire la consistenza dello spessore della pavimentazione.

Lo spessore della pavimentazione deve aderire scrupolosamente a quanto previsto dal progetto, mantenendosi all'interno delle tolleranze stabilite.

La conferma dei valori di portanza, impiegati nei calcoli di dimensionamento, deve essere attuata mediante test su piastra e test di densità in situ per ogni singolo strato riportato. Si considerano conformi una prova ogni 400 m^2 per ogni strato riportato e/o almeno tre prove su piastra ogni 1.000 m^2 .

Queste procedure rigorose sono indispensabili per mantenere l'integrità strutturale e le prestazioni meccaniche della pavimentazione, assicurando che ogni aspetto della costruzione sia realizzato in conformità con le specifiche di progetto e le normative applicabili.

5.3.2 Verifiche della massicciata prima dei getti

Prima di iniziare i getti, all'impresa che realizza la pavimentazione è consigliato effettuare un sopralluogo

del sito, in presenza della D.L. o di un rappresentante della Committenza, per verificare la situazione di cantiere e più precisamente controllare:

- Prima della posa in opera del calcestruzzo la massicciata deve risultare priva di ghiaccio.
- Sulla massicciata non devono esservi pozzanghere e/o fango.
- Tra massicciata e pavimentazione non devono essere presenti tubazioni che riducano lo spessore del calcestruzzo.
- Dalla massicciata devono essere rimossi sassi, macerie, residui di polistirolo espanso, legno, ecc. In sostanza, la rimozione deve riguardare tutto ciò che riduce lo spessore, che impedisce lo scorrimento e che potrebbe affiorare in superficie durante le fasi di getto.

5.3.3 Verifica durante la fase di getto

Qualora il passaggio delle autobetoniere causasse deformazioni significative nella massicciata, evidenziando tracce profonde e generando discrepanze nello spessore, il Direttore dei Lavori è tenuto a interrompere i lavori. Questo episodio deve essere accuratamente registrato sul giornale dei lavori. È imperativo che la massicciata sia ripristinata e riportata al livello previsto.

L'esecutore, in assenza del Direttore dei Lavori, è obbligato a segnalare tale anomalia sia al general contractor sia al Direttore dei Lavori, registrando la problematica sul giornale dei lavori e richiedendo interventi mirati per il ripristino delle condizioni e delle prestazioni previste dal progetto.

Per evitare implicazioni dettate da deformazioni e/o cedimenti del terreno, l'impiego di pompe per il confezionamento del calcestruzzo è consigliato, poiché impedirebbe ogni contatto diretto dell'autobetoniera con la massicciata. Questa precauzione è essenziale per mantenere l'integrità strutturale della massicciata e per prevenire danni che potrebbero compromettere l'efficacia strutturale dell'intera costruzione. La manutenzione della corretta planarità e dello spessore della massicciata è cruciale per la realizzazione di opere conformi alle specifiche progettuali e normative.

5.4 Responsabilità

Il Direttore dei Lavori o la Direzione dei Lavori (D.L.) dovrà farsi carico degli accertamenti sulla prestazione meccanica e planarità della massicciata al fine di verificare la correttezza di quanto realizzato per ottenimento delle prescrizioni progettuali.

5.5 Strati di separazione

Eventuali elementi di separazione interposti tra la massicciata e la piastra di calcestruzzo.

5.5.1 Strato di scorrimento

Strato avente la funzione di ridurre l'attrito, pavimentazione/supporto, durante il ritiro o la dilatazione della piastra.

Viene realizzato generalmente con:

- uno strato di sabbia di alcuni centimetri (per migliorare anche il grado di planarità della massicciata);
- teli di tessuto non tessuto con foglio di polietilene posato sopra (sovrapposto di almeno 15 cm e bloccato con nastro adesivo);
- foglio singolo o doppio di polietilene (sovrapposto/i di almeno 15 cm e bloccato/i con nastro adesivo).

Nota

Il foglio o il doppio foglio di polietilene oltre che da strato di scorrimento, funge anche da barriera al vapore. Lo strato di scorrimento non sempre coincide con la barriera al vapore.

5.5.2 Barriera al vapore

La barriera al vapore ha il compito essenziale di preservare la pavimentazione da eventuali infiltrazioni d'umidità ascendente, oltre a prevenire fenomeni di pop-out e di riguardare la massicciata di sottofondo da possibili percolazioni d'acqua, siano esse derivanti da precipitazioni atmosferiche o da lavaggi frequenti.

Inoltre, essa agisce per prevenire fenomeni di distacco di rivestimenti superficiali impermeabili continui, come quelli in resina, che possono essere indotti dalla pressione del vapore che si accumula all'interfaccia tra calcestruzzo e resina. Il materiale prediletto per la realizzazione di barriere al vapore è, comunemente, il polietilene, modellato in fogli.

È imperativo che le giunture dei fogli siano sovrapposte per almeno 15 cm e possano essere saldate mediante l'utilizzo di nastri adesivi, che devono essere resistenti alle sollecitazioni generate dal calcestruzzo durante le fasi di posa.

Questa precauzione è fondamentale per impedire la penetrazione del conglomerato, durante la fase di getto, al di sotto della barriera, prevenendo il sollevamento di quest'ultima e la conseguente induzione di possibili fessurazioni superficiali.

Particolare attenzione deve essere rivolta durante la posa del calcestruzzo in prossimità di elementi sporgenti in elevazione, quali muri, pilastri, chiusini, basamenti, ecc.

L'integrità della barriera al vapore deve essere mantenuta per assicurare la sua efficienza nel proteggere la struttura dagli effetti deleteri dell'umidità e della pressione del vapore.

La barriera al vapore è necessaria quando:

- si deve applicare sulla pavimentazione in calcestruzzo un rivestimento in resina epossidica;
- la pavimentazione è soggetta a frequenti lavaggi o nel caso di piazzali esterni, laddove l'acqua potrebbe, infiltrandosi tra i giunti, raggiungere gli strati della massicciata, favorendo l'allontanamento delle parti fini e la formazione di cavità tra piastra e massicciata che potrebbero determinare pericolosi cedimenti del pavimento;
- le attività che si svolgono sulla pavimentazione sono sensibili all'acqua o solo all'umidità (esempio lavorazione di prodotti in carta);
- la pavimentazione viene realizzata in zone (ad esempio lungo la "fascia adriatica") in cui si sia riscontrata la presenza di aggregati potenzialmente reattivi con gli alcali del cemento.

5.5.3 Avvertenze

Lo strato impermeabile-barriera al vapore interposto tra massicciata e pavimentazione, accentuando il ritiro differenziale, può di conseguenza aumentare l'imbarcamento delle piastre.

In presenza quindi di strato impermeabilizzante-barriera al vapore, è buona norma:

- aumentare lo spessore della piastra;
- ridurre la distanza tra i giunti di contrazione.

6. Prescrizioni per pavimentazioni su altri supporti e per pavimenti esterni

Il capitolo descrive gli accorgimenti tecnici da adottare a seconda dei tipi di supporto diversi dalla massicciata su cui si realizzerà la pavimentazione di calcestruzzo, quali:

- solai e/o platee;
- vecchie pavimentazioni in calcestruzzo;
- strati coibenti.

Il capitolo fornisce, inoltre, i dettagli progettuali e costruttivi necessari per la realizzazione di una pavimentazione esterna.

6.1 Pavimentazione su soletta

Si intende una pavimentazione di calcestruzzo realizzata su un solaio esistente o costituito generalmente da elementi prefabbricati.

È previsto un solo modello di realizzazione, ovvero una pavimentazione in calcestruzzo svincolata (o "desolidarizzata") dalla struttura sottostante.

Questo avviene attraverso la formazione di una soletta aggiuntiva, con unicamente la finitura o la staggiatura della superficie del calcestruzzo senza la presenza di strati antiusura. Ad indurimento avvenuto, posizionamento di singolo o doppio foglio di polietilene quale strato di separazione/scorrimento e successivo getto della pavimentazione superficialmente finita con lo strato antiusura (vedi Figura 3).

Indicazioni:

- La pavimentazione non deve essere ancorata o gettata in aderenza alla soletta di completamento del solaio, predisporre sempre singolo o doppio foglio di polietilene quale strato di separazione/scorrimento.
- Lo spessore della pavimentazione deve essere omogeneo e si consiglia non inferiore a cm 15.
- Tra soletta di completamento e pavimentazione di calcestruzzo non devono essere presenti tubi, cavi elettrici, o quant'altro possa ridurre lo spessore del calcestruzzo. Se la riduzione dello spessore supera il 10% dello spessore prescritto si possono generare fenomeni fessurativi e di rotture localizzate della pavimentazione, quindi va evitata la presenza di qualsiasi elemento inglobato che possa determinare tale riduzione di sezione.
- Per quanto possibile disporre i giunti di contrazione e controllo del ritiro del calcestruzzo in accordo allo stato deformativo del solaio esistente.

Le cappe di calcestruzzo collegate alle strutture portanti, che costituiscono il getto integrativo degli elementi prefabbricati e che, rifinita superficialmente con uno strato antiusura, coincide con il piano di calpestio, non sono pavimentazioni di calcestruzzo, ma strutture ad uso pavimento che non hanno nessun tipo di affinità con le pavimentazioni vere e proprie e non sono oggetto di questo documento.

Nota:

Questo tipo di intervento deve essere prescritto dal progettista strutturale del solaio in ogni suo particolare tecnico ed esecutivo. L'applicatore deve attenersi scrupolosamente a tali prescrizioni, documentate in forma scritta, al fine di non rendersi responsabile del comportamento strutturale del "pavimento" così eseguito ed estraneo a tutti i principi delle pavimentazioni di calcestruzzo.

6.1.1 Calcestruzzo

Il calcestruzzo dovrà essere prescritto, dal progettista, almeno con le quattro caratteristiche fondamentali previste dalle Norme Tecniche per le costruzioni:

- classe di esposizione ambientale;
- resistenza caratteristica a compressione;
- classe di consistenza;
- diametro massimo dell'aggregato.

Inoltre, andranno prescritte tutte le caratteristiche aggiuntive in funzione della pavimentazione da realizzare. Per quanto non espressamente scritto valgono le indicazioni riportate nel Cap.7.

6.1.2 Dimensionamento

Si raccomanda uno spessore costante per tutta la superficie della pavimentazione, non inferiore ai 15 cm. Questa pavimentazione non è concepita per sopportare sollecitazioni meccaniche e deformazioni, poiché la sua capacità deformabile è direttamente correlata a quella del solaio sottostante, già definita.

In interventi di questa specificità, il fenomeno dell'imbarcamento dovuto al ritiro differenziale del calcestruzzo nella nuova pavimentazione potrebbe manifestarsi in modo più accentuato, sebbene possa essere attenuato attraverso l'impiego di spessori appropriati, calcestruzzi specializzati e metodologie e tempistiche di maturazione congrue.

Tuttavia, è essenziale porre particolare attenzione nella definizione della distanza tra i giunti di contrazione, che potrebbe necessitare di essere inferiore rispetto a quella comunemente adottata per pavimentazioni realizzate su massiciata, e implementare misure di controllo accurate per garantire la conformità alle specifiche progettuali.

6.1.3 Armatura

Le armature dovranno essere coerenti alle sollecitazioni dovute al ritiro e alle variazioni termo-igrometriche.

6.1.4 Strato d'usura

Valgono le indicazioni del Cap.10.

6.1.5 Giunti

Per la realizzazione di una rete efficace di giunti di contrazione e di controllo, è indispensabile condurre un'analisi approfondita relativa alla tipologia di solaio su cui verrà installata la pavimentazione. Ove possibile, i giunti di contrazione e di controllo del ritiro del calcestruzzo dovrebbero essere disposti in conformità allo stato deformativo del solaio preesistente.

È fondamentale che le campiture siano, per quanto possibile, di forma quadrata, mantenendo una differenza minima tra la lunghezza dei lati; il rapporto tra i lati della maglia, delineati dai tagli, non dovrebbe eccedere 1,2.

Inoltre, è imperativo implementare il giunto di isolamento per l'intero perimetro della pavimentazione. Tutti gli elementi presenti che potrebbero impedire il corretto movimento della pavimentazione devono essere isolati. Le campiture di getto giornaliero devono essere unite attraverso adeguati giunti di costruzione e, se necessario, dovrebbero essere predisposti giunti di dilatazione.

Per tutte le disposizioni non esplicitamente menzionate, si deve fare riferimento alle indicazioni del Cap. 11.

6.1.6 Stagionatura

Valgono le indicazioni del Cap.12.

6.1.7 Planarità

Valgono le indicazioni del Cap.13.

6.2 Pavimentazione su pavimento o pavimentazione esistente

La definizione si riferisce a una piastra di calcestruzzo posizionata sopra un pavimento o una pavimentazione preesistente di calcestruzzo (per dettagli vedere Figura 4).

Questa tipologia di intervento richiede particolare cautela e necessita di un approccio consapevole e dettagliato sia nella fase progettuale che in quella costruttiva.

Di seguito sono elencate alcune raccomandazioni atte a prevenire potenziali problematiche.

- Il supporto preesistente serve come base di appoggio; quindi, prima di procedere, è imperativo che tutte le cavità siano saturate per garantire uniformità di spessore alla nuova piastra.
- Si raccomanda che la nuova piastra mantenga uno spessore uniforme, non inferiore a 15 cm, ed essa deve essere realizzata posta la disposizione di un singolo o doppio foglio di polietilene sulla superficie preesistente, allo scopo di isolarla dalla struttura sottostante.
- In alternativa, qualora la nuova piastra debba avere uno spessore ridotto a causa delle restrizioni di altezza imposte dalle strutture esistenti, si dovranno impiegare tecniche costruttive alternative per ancorare il nuovo strato al preesistente, tecniche non trattate nel presente documento. Le riparazioni o i rinforzi a basso spessore possono essere eseguiti utilizzando metodologie adeguate e il calcestruzzo utilizzato dovrà possedere caratteristiche coerenti con la tecnologia adottata.
- Relativamente alle norme progettuali/esecutive per la realizzazione della nuova piastra isolata, si suggerisce di sovrapporre i giunti della nuova struttura a quelli preesistenti. Tuttavia, essendo completamente isolata dalla struttura sottostante, l'influenza dei giunti preesistenti sulla nuova piastra è minima. Prima della posa in opera del nuovo strato, è necessario analizzare le condizioni del supporto preesistente, specialmente relativamente a movimenti verticali anomali, che dovranno essere eliminati. Non devono esserci tubazioni, cavi elettrici, o altri elementi tra il supporto vecchio e la nuova pavimentazione che possano ridurre lo spessore del calcestruzzo. Qualora il supporto presenti irregolarità superficiali (es. buche, cavità, fessure), queste dovranno essere adeguatamente riempite prima della realizzazione della nuova pavimentazione.

6.2.1 Calcestruzzo

Il calcestruzzo dovrà essere prescritto, dal progettista, almeno con le caratteristiche fondamentali previste dalle Norme Tecniche per le costruzioni:

- classe di esposizione ambientale;
- resistenza caratteristica a compressione;
- classe di consistenza;
- diametro massimo dell'aggregato;
- se si trattasse di un calcestruzzo fibrorinforzato FRC, ad uso strutturale, anche la classe di resistenza residua;
- andranno prescritte tutte le caratteristiche aggiuntive, con particolare attenzione al ritiro idraulico, in funzione della pavimentazione da realizzare.

Per quanto non espressamente scritto valgono le indicazioni riportate nel Cap.7.

6.2.2 Dimensionamento

È raccomandato che lo spessore della pavimentazione mantenga un valore non inferiore ai 15 cm, con uniformità su tutta la superficie.

Nel processo di calcolo e progettazione, è essenziale adottare metodologie che considerino anche le potenziali prestazioni meccaniche della struttura sottostante.

In tali opere specialistiche, il fenomeno di imbarcamento da ritiro differenziale del calcestruzzo potrebbe essere particolarmente pronunciato. Ciò, tuttavia, può essere mitigato attraverso l'utilizzo di uno spessore adeguato, l'impiego di tipologie di calcestruzzo speciali e l'adozione di metodologie e tempistiche di maturazione appropriate.

È cruciale prestare attenzione nella determinazione della distanza tra i giunti di contrazione e di controllo, che potrebbe necessitare di essere inferiore rispetto a quella comunemente adottata per pavimentazioni realizzate su massicciate.

Queste considerazioni sottolineano l'importanza di una progettazione accurata e di un'attenta esecuzione in opere di questa natura, dove la precisione nel calcolo e la conoscenza delle proprietà meccaniche e di deformazione delle strutture coinvolte giocano un ruolo cruciale nel successo dell'intervento.

6.2.3 Armatura

Le armature dovranno essere coerenti con le sollecitazioni che investiranno l'opera durante la vita di servizio per carichi statici e dinamici, per il controllo delle deformazioni intrinseche del supporto, dovute al ritiro e alle variazioni termo-igrometriche.

6.2.4 Strato di usura

Valgono le indicazioni del Cap.10.

6.2.5 Giunti

Gli interassi tra i giunti di contrazione/controllo devono essere frutto di calcolo progettuale, seguendo quanto previsto dalle "Istruzioni per la progettazione, l'esecuzione ed il controllo delle pavimentazioni di calcestruzzo - CNR-DT 211" e/o ACI 330R-08: la responsabilità di tale scelta spetta al progettista.

Inoltre, il giunto di isolamento va sempre realizzato lungo tutto il perimetro della pavimentazione e devono essere isolati tutti gli elementi che potrebbero essere presenti nella pavimentazione e bloccare il libero scorrimento. Le campiture di getto giornaliero devono essere collegate da opportuni giunti di costruzione e, qualora fossero necessari, devono essere realizzati i giunti di dilatazione.

Per quanto non espressamente scritto valgono le indicazioni del Cap.11.

6.2.6 Stagionatura

Valgono le indicazioni del Cap.12.

6.2.7 Planarità

Valgono le indicazioni del Cap.13.

6.3 Pavimentazione su strato di coibentazione

La pavimentazione su coibentazione è definita come una struttura confezionata sopra uno strato composto

da elementi isolanti selezionati, i quali devono possedere adeguata resistenza alla compressione e un modulo elastico, determinati progettualmente in base ai carichi previsti durante l'utilizzo della pavimentazione (vedi Figura 5).

Indicazioni:

- È fondamentale disporre, sopra lo strato coibente, un singolo o doppio foglio di polietilene che agisca come strato di separazione/scorrimento.
- Si raccomanda che lo spessore della pavimentazione mantenga uniformità e non sia inferiore a 15 cm.
- Non devono essere presenti, tra lo strato isolante e la pavimentazione di calcestruzzo, tubi, cavi elettrici o altri elementi che potrebbero compromettere lo spessore della pavimentazione. Qualora la riduzione dello spessore ecceda il 10% di quello prescritto, possono manifestarsi fenomeni di fessurazione e rotture localizzate nella pavimentazione. Pertanto, è imperativo evitare la presenza di qualsiasi elemento incorporato che possa determinare una simile riduzione di sezione.
- La posizione dei giunti di contrazione e controllo deve essere determinata considerando le sollecitazioni indotte dalla presenza di materiali coibenti con un basso modulo elastico.

Ogni aspetto tecnico ed esecutivo di tali interventi deve essere affrontato con precisione e in conformità con le prescrizioni progettuali, per assicurare la longevità e l'efficacia della soluzione coibente implementata.

6.3.1 Calcestruzzo

Il calcestruzzo deve essere definito dal progettista, almeno, attraverso le quattro caratteristiche fondamentali, stabilite dalle Norme Tecniche per le Costruzioni:

- Classe di esposizione ambientale
- Resistenza caratteristica a compressione
- Classe di consistenza
- Diametro massimo dell'aggregato

Nel caso di calcestruzzo fibrorinforzato destinato all'uso strutturale, è necessario definire anche la classe di resistenza residua. Sarà indispensabile prescrivere tutte le caratteristiche supplementari, ponendo particolare attenzione al ritiro idraulico, in funzione del tipo di pavimentazione da implementare.

Per tutti gli aspetti non esplicitamente menzionati, si fa riferimento alle indicazioni contenute nel Cap.7

6.3.2 Dimensionamento

Si consiglia che lo spessore della pavimentazione non risulti essere inferiore ai cm 15, costante per tutta la superficie.

Per il calcolo devono essere impiegate metodologie di progettazione che tengano conto anche della prestazione meccanica dello strato coibente.

6.3.3 Armatura

Le armature dovranno essere coerenti con le sollecitazioni che investiranno l'opera durante la vita di servizio per carichi statici e dinamici, per il controllo delle deformazioni intrinseche del supporto, dovute al ritiro e alle variazioni termo-igrometriche.

6.3.4 Strato d'usura

Valgono le indicazioni del Cap.10.

6.3.5 Giunti

Gli interassi tra i giunti di contrazione/controllo devono essere frutto di calcolo progettuale, seguendo quanto previsto dalle "Istruzioni per la progettazione, l'esecuzione ed il controllo delle pavimentazioni di calcestruzzo - CNR-DT 211" e/o ACI 330R-08: la responsabilità di tale scelta spetta al progettista.

Inoltre, il giunto di isolamento va sempre realizzato lungo tutto il perimetro della pavimentazione e devono essere isolati tutti gli elementi che potrebbero essere presenti nella pavimentazione e bloccare il libero scorrimento. Le campiture di getto giornaliero devono essere collegate da opportuni giunti di costruzione e, qualora fossero necessari, devono essere realizzati i giunti di dilatazione.

Per quanto non espressamente scritto valgono le indicazioni del Cap.11.

6.3.6 Stagionatura

Valgono le indicazioni del Cap.12.

6.3.7 Planarità

Valgono le indicazioni del Cap.13.

6.3.8 Presenza di impianti, "a pavimento", di riscaldamento e raffrescamento

Tali impianti sono montati, per la quasi totalità dei casi, su strato coibente. Per prima cosa si devono creare "impianti indipendenti" all'interno delle singole porzioni di getto giornaliero: all'interno dei giunti di costruzione e/o all'interno del perimetro del fabbricato. Inoltre, se presenti giunti di dilatazione, anche questi diventano il confine per gli "impianti indipendenti" all'interno dei giunti di dilatazione/costruzione/perimetro fabbricato. I tubi degli impianti non devono mai essere passanti attraverso i giunti di costruzione e/o giunti di dilatazione poiché, causa il mutuo scorrimento tra le singole piastre individuate dai sopracitati giunti, strapperebbero le tubazioni.

Prima delle operazioni di posa di acciaio e calcestruzzo, è assolutamente necessario effettuare tutte le prove di tenuta idraulica, alla presenza del Direttore Lavori.

I tubi del riscaldamento o raffrescamento devono essere adeguatamente fissati e bloccati.

Dal momento che la presenza di elementi dell'impianto all'interno della lastra in calcestruzzo potrebbe innescare fenomeni fessurativi, richiede, quindi, l'adozione di opportuni accorgimenti per contrastare la nascita del fenomeno (per esempio l'uso di rete elettrosaldata e/o fibre strutturali). È bene osservare che la presenza di strati di isolamento termico potrebbe favorire l'innescare di fessurazioni e deformazioni, totalmente indipendenti dalle caratteristiche del calcestruzzo, ma dovute alla presenza di tali elementi. Inoltre, le deformazioni e fessurazioni, potranno essere accentuate dai gradienti termici indotti dal riscaldamento. Nella progettazione e nella successiva messa in opera dell'impianto di riscaldamento si dovrà verificare la compatibilità con i giunti di costruzione e di dilatazione della pavimentazione, come precedentemente indicato. Si consiglia che lo spessore di progetto, della pavimentazione, venga garantito dal lembo superiore di tali tubi. Inoltre, durante l'esecuzione dei getti, l'impianto va mantenuto in pressione al fine di individuare qualsiasi perdita dovuta alle operazioni di posa.

Ad avvenuta stagionatura del calcestruzzo deve essere effettuato un ciclo di accensione progressiva dell'impianto in modalità riscaldamento, per verificare la funzionalità dell'impianto oltre che rendere la pavimentazione stabile.

Di norma il ciclo di accensione si esegue mettendo in funzione l'impianto al minimo e aumentando o diminuendo, rispettivamente per riscaldamento e per raffreddamento (es. celle frigo) la temperatura di 5°C al giorno fino al raggiungimento del regime massimo previsto in esercizio. Mantenuta la temperatura

massima per minimo 5 giorni, si procede a ritroso, diminuendo o aumentando la temperatura di 5 °C al giorno fino al raggiungimento della temperatura ambiente. La pavimentazione, sottoposta a questo ciclo, subisce uno shock termico che, frequentemente, provoca la comparsa di fessurazioni che devono essere valutate, ma non possono essere considerate difetto oppure oggetto di contestazione.

Il processo di avviamento del riscaldamento deve essere documentato.

Per ambienti che durante la vita di servizio dovranno avere determinate temperature, calda o fredda, anche se l'impianto non è presente all'interno della piastra di calcestruzzo, ma è esterno alla piastra stessa, per portare il luogo interessato alla temperatura di regime, va seguita la medesima procedura precedentemente riportata, di riscaldamento o raffreddamento dell'ambiente. La pavimentazione, sottoposta a questo ciclo, subisce uno shock termico che, frequentemente, provoca la comparsa di fessurazioni che devono essere valutate, ma non possono essere considerate difetto oppure oggetto di contestazione.

Il Direttore Lavori, dovrà seguire "passo passo" tale messa in servizio della pavimentazione, che sarà effettuata dal Committente, e dovrà avere evidenza documentata di tutte le fasi e conservata, con il timbro di data certa. Senza la certezza della data della documentazione esibita dal Direttore Lavori, la documentazione non sarà ritenuta valida.

6.4 Prescrizioni per pavimentazioni esterne di calcestruzzo (Piazzali)

6.4.1 Calcestruzzo

Il calcestruzzo deve essere definito dal progettista, almeno, attraverso le quattro caratteristiche fondamentali, stabilite dalle Norme Tecniche per le Costruzioni:

- Classe di esposizione ambientale
- Resistenza caratteristica a compressione
- Classe di consistenza
- Diametro massimo dell'aggregato

Nel caso di calcestruzzo fibrorinforzato destinato all'uso strutturale, è necessario definire anche la classe di resistenza residua. Sarà indispensabile prescrivere tutte le caratteristiche supplementari, ponendo particolare attenzione al ritiro idraulico, in funzione del tipo di pavimentazione da implementare.

Per tutti gli aspetti non esplicitamente menzionati, si fa riferimento alle indicazioni contenute nel Cap.7

6.4.1.1 Problema del gelo-disgelo

Qualora il piazzale sia soggetto a cicli di gelo e disgelo e all'uso di sali disgelanti devono essere prese le seguenti precauzioni:

- Aggregati non gelivi (UNI 8520-2)
- Rapporto a/c max 0.45
- Volume minimo di aria inglobata (microbolle) secondo UNI EN 206

Il calcestruzzo utilizzato per la realizzazione di una pavimentazione può essere soggetto ad azioni di degrado in funzione delle condizioni ambientali alle quali è sottoposto. A seconda di queste azioni, la UNI EN 206 e la UNI 11104, individuano le classi esposizione ambientale del calcestruzzo.

Per pavimentazioni esterne, esposte ad un clima rigido, esiste il rischio di aggressione del calcestruzzo ad opera sia dei cicli di gelo-disgelo che dei sali disgelanti. Per queste pavimentazioni, realizzate con calcestruzzi in classe di esposizione XF (in accordo alla UNI 11104), confezionati con additivi aeranti e

aggregati non gelivi, quando:

- non contengono armature o inserti metallici, la resistenza minima deve soddisfare quanto previsto dal prospetto 5 della UNI 11104;
- contengono armature o inserti metallici, vanno considerate anche le classi di esposizione relative alla corrosione e, quindi si avranno le seguenti classi: XF4 - XD3 - XC4, che influenzeranno anche le caratteristiche meccaniche del calcestruzzo.

La resistenza minima del calcestruzzo deve conformarsi alle specifiche delineate nel prospetto 5 della UNI 11104.

Nel contesto in cui non si ricorresse all'uso di calcestruzzi integrati con additivi aeranti, sia con che senza armature, è imperativo rispettare le disposizioni delineate nella "nota a" del prospetto 5 della UNI 11104, e la resistenza minima stabilita dovrà essere conforme ai requisiti stipulati in tale nota (consultare Cap. 7).

Si evidenzia che, quando si impiega calcestruzzo con aria inclusa per ottimizzare la resistenza ai cicli di gelo/disgelo, è indispensabile evitare finiture del calcestruzzo che utilizzano indurenti superficiali seguiti da frattazzatura meccanica, poiché tale processo espelle l'aria inclusa dallo strato superficiale del calcestruzzo, annullando i vantaggi dell'integrazione d'aria nel punto più esposto al gelo.

Inoltre, i calcestruzzi aerati potrebbero accelerare l'inizio di fenomeni di delaminazione dello strato di usura applicato a causa dei cicli gelo/disgelo. Di conseguenza, quando si utilizzano calcestruzzi con aria inclusa, la finitura dovrebbe essere mantenuta ruvida o non levigata, come, ad esempio, una finitura a staggia manuale o meccanizzata, o superfici spazzolate.

È anche prassi consolidata che i calcestruzzi aerati presentino una classe di consistenza con uno slump sul Cono di Abrams tra 12 cm e 20 cm, allo scopo di massimizzare l'efficacia dell'additivo aerante, mantenendo così costante la quantità d'aria, la dimensione delle bolle e la loro distribuzione nel mix. Perciò, la posa di calcestruzzi aerati dovrebbe essere eseguita attraverso sistemi meccanizzati di stesura.

Nell'eventualità che l'uso di una finitura con semina di indurenti superficiali e successiva frattazzatura meccanica sia imperativo, l'utilizzo di calcestruzzo aerato dovrebbe essere assolutamente evitato. Tale condizione è ammissibile, per le classi di esposizione XF3 e XF4, secondo la UNI EN 206 e la UNI 11104, a condizione che si dimostri che il calcestruzzo prescritto, senza aria inclusa, possieda una resistenza al gelo comparabile a quella di un calcestruzzo equivalente la cui conformità sia già stata verificata (come indicato nella "nota a" del Prospetto 5 della UNI 11104).

Visto che i cicli di gelo e disgelo intensificano il deterioramento del calcestruzzo in stati di saturazione, è fondamentale implementare tutte le misure preventive per precludere l'accumulo d'acqua sulla superficie del calcestruzzo (progettando adeguati gradienti di pendenza verso i tombini, assicurando la planarità, sigillando i giunti con resina, etc.) e la risalita di umidità per capillarità dal substrato. Le pavimentazioni in calcestruzzo possono essere realizzate nella classe di esposizione XF3 solo se è previsto che non verranno utilizzati sali disgelanti a base di cloruri o acetati, e che i veicoli in transito non rilasceranno soluzioni contenenti tali sali derivati dalla loro circolazione su strade pubbliche.

6.4.1.2 Regole generali

Quindi, essendo il piazzale una pavimentazione esposta a condizioni climatiche variabili durante tutto l'arco di vita, sono indispensabili alcune precauzioni:

- prevedere le deformazioni dimensionali dovute alle variazioni di temperatura;
- prevedere pendenze superiori a 1,5 cm per metro calcolate sulla distanza tra l'angolo più lontano dal punto di raccolta delle acque piovane;
- prevedere canaline di raccolta delle acque piovane anziché caditoie;
- realizzare uno strato superficiale con grado di finitura del tipo "scopato o frattazzato grezzo" e

non liscio;

- impregnare e consolidare lo strato d'usura per favorire la protezione della pavimentazione dagli agenti disgelanti che vengono portati dai veicoli;
- non utilizzare sali disgelanti o limitare l'uso a casistiche necessarie ed estreme;
- utilizzare in aree soggette a frequenti escursioni termiche intorno a 0° C un calcestruzzo resistente al gelo confezionato con aggregati non gelivi e/o areato e/o con calcestruzzo non areato ma resistente ai cicli gelo/disgelo;
- è sconsigliatissimo l'utilizzo della tecnica dello spolvero e/o la pastina con calcestruzzi areati;
- è consigliato limitare l'uso dello spolvero a pochi grammi al metro quadrato o eliminarlo completamente anche utilizzando calcestruzzi tradizionali.

6.4.1.3 Realizzazioni in inverno

Se l'esecuzione del getto di una pavimentazione esterna è prevista durante un periodo invernale particolarmente rigido occorre prendere provvedimenti per evitare formazione di ghiaccio sul terreno di sottofondo:

- non eseguire il getto su massicciata gelata e in presenza di ghiaccio;
- non gettare con temperature inferiori a 5°C o con temperature che scenderanno sotto lo zero nelle prime ore di maturazione del calcestruzzo;
- si consiglia di verificare la temperatura di rugiada affinché non risulti inferiore ad 1°C;
- prevedere l'impiego di calcestruzzo con accelerante di presa per favorire l'aumento della temperatura del calcestruzzo e facilitare lo sviluppo delle resistenze meccaniche nelle prime ore di maturazione;
- proteggere la superficie non cassetata con pannelli di materiale coibente nei giorni successivi al getto per garantire un corretto sviluppo delle resistenze meccaniche (almeno per dieci giorni);
- utilizzare un calcestruzzo resistente ai cicli gelo/disgelo e sali disgelanti con o senza (dopo le opportune prove) additivi aeranti.

6.4.1.4 La gelività degli aggregati

Gli aggregati definiti non gelivi, sono: gli aggregati in categoria $\leq F_2$ e $\leq MS_{25}$ per quanto attiene al requisito di resistenza al gelo, relativamente alla prova diretta o indiretta conformi alla norma UNI EN 12620, non gelivi, con l'assorbimento d'acqua dell'aggregato, determinato in conformità alla UNI EN 1097-6, inferiore all'1%; oppure aggregati "categoria F_1 ", resistenti al gelo/disgelo in conformità alla UNI EN 1367-1, sottoponendo gli aggregati alla prova diretta di gelo/disgelo, o "categoria MS_{18} ", in conformità alla UNI EN 1367-2, sottoponendo gli aggregati alla prova al solfato di magnesio".

6.4.1.5 La reazione alcali - aggregati

Alcuni aggregati possono contenere particolari forme di silice reattiva agli alcali, apportati o dal cemento, oppure provenienti dall'ambiente esterno (ad es. acqua di mare o sali disgelanti).

Il fenomeno si manifesta come rigonfiamento localizzato degli aggregati reattivi, dal quale fuoriesce un gel biancastro (silicato sodico).

Il fenomeno si manifesta solo in presenza di umidità pertanto, in piazzali non protetti o in pavimentazioni su massicciata con umidità in risalita, sussistono potenziali condizioni per la reazione alcali-aggregato.

Al fine di evitare l'innesco della reazione alcali - aggregato è necessario confezionare il calcestruzzo con aggregati non reattivi secondo UNI 8520-22/2020 e ricorrendo all'impiego di cementi d'altoforno o pozzolanici oppure ricorrendo all'aggiunta di filler pozzolanici (fumo di silice e/o cenere volante).

6.4.2 Dimensionamento

Valgono le indicazioni del Cap.8.

6.4.3 Armatura

Valgono le indicazioni del Cap.9.

6.4.4 Strato di usura

Valgono le indicazioni del Cap.10.

6.4.5 Giunti

È buona regola separare (a tutto spessore con materiale comprimibile) il pavimento dal perimetro del fabbricato.

Si consiglia di eseguire la sigillatura dei giunti di contrazione e controllo affinché si eviti che soluzioni ricche di cloruri possano raggiungere le armature della pavimentazione.

Per quanto non espressamente scritto valgono le indicazioni del Cap.11.

6.4.6 Stagionatura

Valgono indicazioni del Cap.12.

6.4.7 Planarità

Valgono le indicazioni del Cap.13.

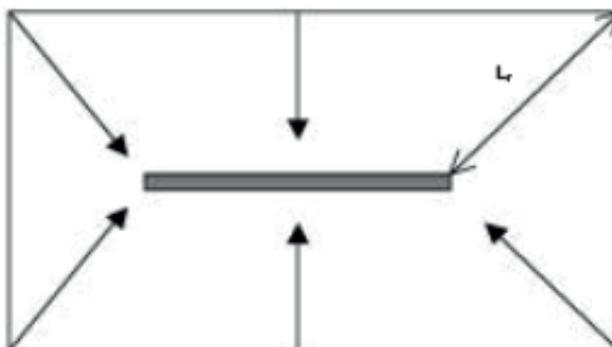
6.4.8 Pendenze

I punti di raccolta delle acque devono essere realizzati con canaline e con chiusini.

Le canaline di raccolta devono essere posate nel senso longitudinale del pavimento, al centro o per ciascun lato.

La pendenza minima per lo scorrimento dell'acqua su superfici in calcestruzzo è pari all'1,5 % (1,5 cm per metro). Per rispettare tale pendenza, la quota di colmo deve essere determinata misurando la distanza tra il punto più lontano e il punto di raccolta delle acque (L_r).

Fig. 9 - Schema deflusso acque



L_r = distanza determinante la quota di colmo della pendenza minima necessaria (1,5%) per il deflusso delle acque

A fronte di motivate esigenze specifiche, si possono adottare pendenze minori (anche 0,8-1%), utilizzando opportuni accorgimenti procedurali e di controllo in corso d'opera, rivolti a consentire sempre un regolare deflusso dei liquidi.

In questi casi, particolare attenzione andrà posta nei confronti della durabilità delle superfici e dei giunti con appropriati sistemi costruttivi e appropriate procedure di uso e manutenzione.

Gradienti di pendenza superiori al 2%, come evidenziato nel Cap. 3 inerente le definizioni, classificano la pavimentazione in "forte pendenza".

In assenza di prescrizioni progettuali, eventuali ristagni d'acqua non costituiranno difetto del profilo superficiale nel caso in cui sia superata la prova di planarità in corrispondenza di ogni singolo ristagno con le modalità, le tempistiche e le tolleranze esposte ai Capitoli 13 e 15.

Nota

In relazione al tipo di lavorazione superficiale ed alla sua finitura, il gradiente di pendenza delle falde brevi (inferiore a 2 m) deve essere ragionevolmente aumentato. Questo può essere il caso dei marciapiedi, ove si consiglia almeno il 3% di pendenza.

7. Requisiti per il calcestruzzo

All'interno di questo capitolo sono fornite una serie di informazioni e di indicazioni di buona pratica relative al calcestruzzo per le pavimentazioni trattate dal presente Codice.

Ove si ritenga utile verranno ripresi concetti contenuti in ambito normativo al fine di poter dare un supporto a chi opera nel settore.

Si ritiene opportuno sottolineare che:

- la definizione del mix design del calcestruzzo è di responsabilità del fornitore di calcestruzzo, il quale è tenuto a rispondere delle prestazioni richieste.
- la scelta dei componenti così come del mix design del calcestruzzo è collegata ad alcune caratteristiche dell'opera e del cantiere, è quindi fondamentale assicurare un dialogo tra progettista, direttore lavori, impresa esecutrice e fornitore al fine di assicurare le scelte più idonee possibili per la buona riuscita dell'opera.

7.1 I costituenti del calcestruzzo

Si riportano alcune informazioni tecniche e alcuni suggerimenti relativi ai materiali costituenti la miscela di calcestruzzo per pavimenti ad uso industriale.

7.1.1 Cemento

Il cemento impiegato per confezionare il calcestruzzo deve essere conforme alla norma UNI EN 197-1.

Il tipo di cemento deve essere scelto in relazione a:

- classe di esposizione (eventuale aggressione da solfati);
- rischio di reattività degli aggregati;
- resistenza caratteristica a compressione;
- spessore della pavimentazione (calore di idratazione);
- condizioni climatiche al momento del getto;
- tempi di lavorazione e messa in esercizio.

Nel caso di utilizzo di cementi a basso contenuto di clinker, i tempi di maturazione e di messa in esercizio vanno protratti rispetto a un cemento Portland (CEM I) di pari classe.

Viene pertanto suggerito di assumere le informazioni necessarie presso l'impianto di produzione del calcestruzzo per i tipi di cemento disponibili e verificarne la congruità con le specifiche del progettista.

Ogni cambio di cemento deve essere preventivamente comunicato dal confezionatore.

7.1.1.1 Classe di resistenza del cemento

Ove possibile e salvo contraria specifica, è preferibile ricorrere all'impiego di cementi ad elevata resistenza iniziale (32.5R e 42.5R).

7.1.2 Aggregati

Si fa riferimento alle definizioni della norma UNI EN 12620.

Gli aggregati devono soddisfare quanto previsto dalle norme UNI EN 12620 e UNI 8520-2 e successivi aggiornamenti. Per gli aggregati sono fondamentali e devono rientrare nei limiti della categoria "A" anche le seguenti caratteristiche aggiuntive:

- contenuto di parti leggere o frustoli vegetali, vedi paragrafo 7.1.2.1;
- perdita di massa per urto e rotolamento (Los Angeles);
- degradabilità mediante soluzione solfatica;
- potenziale reattività in presenza di alcali;
- percentuale passante allo staccio da 0.063 mm;
- l'equivalente in Sabbia (ES) e, nel caso, il valore di Blu di metilene;
- il contenuto di grumi d'argilla e particelle friabili.

La forma dell'aggregato, sia esso tondo o frantumato, non apporta modifiche significative alla qualità strutturale della pavimentazione. L'aggregato derivato da processo di frantumazione, di norma, necessita di un maggiore apporto di acqua d'impasto; tuttavia, mantenendo costante la natura e la quantità di cemento, permette al calcestruzzo di sviluppare una resistenza a flessione superiore rispetto a quella generata con l'uso di aggregati tondi. L'aggregato interagisce attivamente con le prestazioni del calcestruzzo, influenzando anche il fenomeno del ritiro. Questo è strettamente correlato al rapporto inerte/cemento: un incremento del rapporto i/c comporta una riduzione del ritiro. Inoltre, in termini di ritiro, l'impiego di aggregati con alta massa volumica agevola la diminuzione del medesimo.

Tuttavia, l'uso di tali inerti è condizionato al soddisfacimento delle condizioni seguenti:

- La massa volumica del calcestruzzo non deve eccedere i 2.600 kg/m³. Ogni incremento nella massa volumica del calcestruzzo deve essere conciliabile con la natura del supporto strutturale.
- È raccomandato che la resistenza a frammentazione dell'aggregato pesante non superi LA 20.

In conclusione, mentre la morfologia dell'aggregato non influisce marcatamente sulla qualità della pavimentazione, le sue proprietà fisiche e il rapporto inerte/cemento giocano un ruolo cruciale nel determinare la resistenza a flessione e il ritiro del calcestruzzo.

Ogni adozione di inerti con elevate masse volumiche richiede, in ogni caso, una attenta valutazione delle condizioni strutturali e delle proprietà meccaniche degli aggregati utilizzati.

Tabella 1 - Proprietà degli aggregati e corrispondenti prestazioni del calcestruzzo che vengono influenzate

Proprietà dell'aggregato	Prestazioni del calcestruzzo influenzate
- Distribuzione granulometrica; - Forma; - Tessitura; - Contenuto di sostanze finissime.	Proprietà reologiche del calcestruzzo fresco
- Forma e tessitura; - Massa volumica; - Distribuzione granulometrica; - Natura di sostanze finissime; - Modulo elastico.	Proprietà elasto-meccaniche del calcestruzzo indurito
Contenuto di: - Sostanza umida; - Zuccheri; - Acido fulvico.	Cinetica di idratazione del cemento Tempi di presa e di indurimento
Contenuto di: - Cloruri; - Solfati; - Zolfo totale; - Minerali alcali reattivi. - Gelività.	Durabilità delle strutture in calcestruzzo armato
Contenuto di impurità organiche leggere	Finitura superficiale ed estetica dei manufatti

7.1.2.1 Impurità degli aggregati

Particolare attenzione deve essere posta al contenuto di contaminanti leggeri (elementi lignei e vegetali) per i quali la norma UNI 8520-2 prospetto 5 prevede, nel caso di aggregati da utilizzare per pavimentazioni, un limite massimo di queste sostanze pari alla metà di quello consentito per gli aggregati per utilizzo ordinario.

7.1.2.2 Prevenzione della reattività degli aggregati

Alcuni aggregati possono contenere elementi reattivi che, entrando in contatto con gli alcali presenti nel cemento, un ingrediente chiave sia del calcestruzzo che dei premiscelati utilizzati per gli strati di usura, possono innescare reazioni espansive in ambienti umidi.

Questa espansione genera pressioni interne che possono portare alla fessurazione del calcestruzzo.

I "pop-out" si riferiscono a piccoli coni di calcestruzzo che vengono espulsi dalla superficie a causa di questa pressione interna. Questo fenomeno, sebbene principalmente estetico, può segnalare problemi più profondi e seri, come la compromissione della funzionalità e della durabilità strutturale del calcestruzzo e della pavimentazione.

Le procedure di valutazione della reattività potenziale di un aggregato sono spesso caratterizzate da un grado di affidabilità variabile, e rappresentano soluzioni sia economicamente onerose che prolisse.

Conseguentemente in aree con una storia documentata di tali reazioni, l'adozione di misure preventive e l'assunzione di un approccio cauto, trattando gli aggregati come se fossero reattivi, è un metodo saggio per prevenire problematiche funzionali e mantenere l'efficienza operativa delle strutture in calcestruzzo. In queste aree è quindi consigliabile:

- l'uso di cementi con contenuto di alcali ridotto, in quanto può minimizzare il rischio di reazioni alcali-aggregato e quindi di "pop-out"
- l'uso di additivi come il fumo di silice, o altri additivi minerali, in quanto può ridurre la reattività alcali-aggregato. Allo stesso modo, l'impiego di inibitori di reazione alcali-aggregato può risultare utile.

Questo approccio mira a minimizzare il rischio di alterazioni funzionali senza enfatizzare i costi e i tempi implicati nelle prove di valutazione della reattività.

7.1.2.3 Prevenzioni in caso di aggregati gelivi

Nella realizzazione delle pavimentazioni esterne soggette ai cicli di gelo/disgelo si devono utilizzare solo aggregati non gelivi in categoria $\leq F_2$ e $\leq MS_{25}$ per quanto attiene al requisito di resistenza al gelo.

7.1.3 Acqua di impasto

L'acqua di impasto deve ottemperare alle prescrizioni della norma UNI EN 1008.

Non è suggerito l'utilizzo di acque di riciclo.

7.1.4 Additivi

7.1.4.1 Additivi superfluidificanti

Al fine di assicurare una buona lavorabilità del calcestruzzo, senza compromettere resistenze e durabilità, è necessario il contenimento del rapporto A/C ottenuto mediante l'uso di opportuni additivi superfluidificanti, conformi alla UNI EN 934-2, da utilizzarsi in relazione a:

- tipo e classe di cemento;
- tempi di trasporto;
- tempi di lavorazione;
- tempi di presa;
- condizioni ambientali.

7.1.4.2 Altri additivi per calcestruzzo

Oltre agli additivi per l'aumento della finestra di lavorabilità, esistono una serie di additivi con il compito di migliorare le caratteristiche del calcestruzzo allo stato fresco e allo stato indurito quali, ad esempio:

- ritardanti o acceleranti;
- additivi ad azione mista;
- aeranti;
- riduttori di ritiro plastico (SRA - "Shrinkage Reducing Admixtures");
- espansivi non metallici;
- PRA permeability reducing admixtures;
- additivi modificatori della viscosità VMA.

7.1.5 Aggiunte

È consentito l'impiego di aggiunte del tipo I e II, secondo UNI EN 206, quali filler calcarei, ceneri volanti e fumo di silice, per migliorare specifiche proprietà del calcestruzzo indurito (es: per prevenire la reazione alcali aggregato).

Nel caso di aggiunte di cenere volante il produttore è tenuto ad informare l'impresa di pavimentazione.

7.1.6 Altri componenti

Al fine di consentire l'acquisizione di specifiche prestazioni è consentito l'impiego di particolari costituenti, quali fibre metalliche, fibre sintetiche, fibre di origine naturale, agenti espansivi o altro.

7.2 Calcestruzzo

7.2.1 Generalità

Il calcestruzzo dovrà essere prodotto in impianti dotati di un Sistema di Controllo della Produzione (FPC) predisposto in conformità a quanto previsto dalle Linee Guida Ministeriali e certificato da un organismo terzo indipendente autorizzato.

Si suggerisce di chiedere sempre copia del Certificato in vigore.

Il Progettista dovrà prescrivere il calcestruzzo specificandone, almeno, le seguenti caratteristiche fondamentali:

- Classe di esposizione ambientale;
- Classe di resistenza;
- Diametro massimo nominale dell'aggregato;
- Classe di consistenza.

Per garantire la durabilità, corrispondente ad una vita nominale prefissata (vedi paragrafo 5.2.1), delle pavimentazioni di calcestruzzo, esposte all'azione dell'ambiente interno ed esterno, si devono adottare i provvedimenti atti a limitare gli effetti di degrado indotti dall'attacco chimico, fisico, dai cicli di gelo e disgelo, dai sali disgelanti e, per le pavimentazioni con armatura metallica strutturale, quelli derivanti

dalla corrosione delle armature.

Al fine di ottenere le prestazioni richieste, in fase di progetto, valutate le condizioni ambientali di posa e servizio, si devono fissare le caratteristiche del calcestruzzo, le procedure di posa e le prescrizioni in merito ai processi di maturazione.

Per la valutazione della durabilità, nella formulazione delle prescrizioni sul calcestruzzo, si possono prescrivere anche prove per la verifica della resistenza alla penetrazione degli agenti aggressivi, ad esempio si può tener conto del grado di impermeabilità del calcestruzzo; a tal fine può essere determinato il valore della profondità di penetrazione dell'acqua in pressione in mm.

Allo scopo di ottenere la prestazione richiesta in funzione delle condizioni ambientali, per la definizione della relativa classe di esposizione, si deve fare riferimento a quanto contenuto nelle norme UNI EN 206 ed UNI 11104.

Inoltre, in aggiunta a quanto previsto dalle norme UNI EN 206 ed UNI 11104, al fine poter prescrivere calcestruzzi durevoli, si aggiunge la definizione della profondità di penetrazione dell'acqua in pressione, secondo la prova prevista nella norma UNI EN 12390-8, sul calcestruzzo indurito. Tali limiti di penetrazione media e massima dell'acqua dovranno essere in relazione alla classe di esposizione e al valore di tenuta previsto dal progettista.

7.2.2 Classe di esposizione ambientale

Anche nel settore delle pavimentazioni industriali, il calcestruzzo, materiale predominante utilizzato per la realizzazione di pavimenti, può subire vari processi di degrado correlati alle condizioni ambientali specifiche a cui è esposto. Queste condizioni possono variare notevolmente, includendo esposizione a sostanze chimiche aggressive, variazioni di temperatura, cicli di gelo-disgelo, e sollecitazioni meccaniche, che possono compromettere le prestazioni e la durabilità del calcestruzzo nel tempo.

Le normative UNI EN 206 e UNI 11104 forniscono indicazioni chiare e categorizzazioni (classi di esposizione ambientale del calcestruzzo) per valutare e affrontare i vari livelli e tipi di esposizione ambientale che il calcestruzzo può incontrare, come dettagliatamente discusso nei capitoli e paragrafi precedenti del presente documento. Queste classi di esposizione forniscono un quadro di riferimento essenziale per la selezione dei materiali, le proporzioni del mix design, e le pratiche di protezione e manutenzione, al fine di ottimizzare la resistenza e la longevità delle pavimentazioni in calcestruzzo in ambienti industriali.

La conoscenza approfondita di queste classi e delle misure preventive e correttive associate è fondamentale per gli ingegneri e i progettisti coinvolti nella realizzazione di pavimentazioni industriali, permettendo di sviluppare soluzioni concrete ottimali che soddisfano i requisiti specifici di resistenza, durabilità e funzionalità richiesti in ciascun contesto industriale.

È pertanto fondamentale la corretta prescrizione della classe di esposizione.

7.2.3 Classe di resistenza

Per la progettazione e realizzazione di pavimentazioni in calcestruzzo, è imperativo prescrivere una classe di resistenza che soddisfi sia le esigenze statiche, originarie dal progetto strutturale, sia le esigenze di durabilità. Quest'ultime devono essere in conformità con la classe di resistenza minima corrispondente alla classe di esposizione ambientale selezionata, come delineato nel prospetto 5 della UNI 11104.

Per le pavimentazioni interne, la classe di resistenza prescritta non deve essere inferiore a C30/37, per essere in conformità con le prestazioni minime di durabilità (XC3). Per quelle esterne, in presenza di armature o inserti metallici, la classe minima di resistenza richiesta è la C32/40, coerentemente con le

prestazioni minime di durabilità (XC4), come definite nella sezione 3.1 della UNI EN 1992-1-1.

In circostanze specifiche, riguardanti pavimentazioni esterne senza armature o inserti metallici, ed esposte a cicli di gelo/disgelo, l'unica classe di esposizione potrebbe essere XF4. In tali circostanze, se utilizzato calcestruzzo aerato, la resistenza minima non deve essere inferiore a C30/37.

Le classi di resistenza suddette impongono l'adozione di rapporti acqua/cemento inferiori a 0,55, mitigando così i rischi di aggressioni durante la fase operativa e riducendo il ritiro idraulico del calcestruzzo.

L'impiego di calcestruzzi prestazionali a ridotto rapporto a/c può comportare difficoltà nella realizzazione dello strato di usura e della finitura correlate alla mancanza di bleeding fisiologico.

Queste considerazioni sottolineano l'importanza di un approccio equilibrato e informato nella selezione delle classi di resistenza, per garantire la realizzazione di pavimentazioni in calcestruzzo che rispondano in maniera ottimale sia ai requisiti strutturali che a quelli di durabilità, conformemente alle normative vigenti.

7.2.4 Scelta della classe di consistenza

La scelta della consistenza del calcestruzzo per pavimentazioni dipende da alcuni aspetti collegati al cantiere, in particolare dalle modalità di realizzazione della piastra.

Quando la stesura del conglomerato cementizio avviene manualmente è opportuno utilizzare un calcestruzzo con slump di riferimento (UNI EN 12350-2) variabile fra 200 e 250 mm in funzione della composizione del calcestruzzo e delle condizioni operative ed ambientali, accertata l'assenza di segregazioni e fenomeni secondari.

Al fine di una corretta determinazione delle caratteristiche reologiche del calcestruzzo, in sostituzione alla misura dello slump si consiglia di utilizzare la classe di spandimento misurata attraverso la tavola a scosse, prescrivendo conglomerati di classe di spandimento F5 o F6 (UNI EN 12350-5).

Se la realizzazione della pavimentazione avviene con macchine vibro-finitrici, è opportuno utilizzare un calcestruzzo con slump di riferimento (UNI EN 12350-2) variabile fra 140 e 180 mm. In alternativa, è possibile di utilizzare la classe di spandimento misurata attraverso la tavola a scosse, prescrivendo conglomerati di classe di spandimento F3 (UNI EN 12350-5).

Per le pavimentazioni a casseri scorrevoli la classe di consistenza da prescrivere per il calcestruzzo è la S1 o, più correttamente, dovrà essere determinarla con la prova Vébé (UNI EN 12350-3).

7.2.5 Dimensione massima nominale dell'aggregato

La dimensione massima dell'aggregato (D_{max}) deve essere scelta in modo che il calcestruzzo possa presentare il ritiro minimo.

Considerato lo spessore minimo previsto per le pavimentazioni di calcestruzzo, la scelta cadrà su D_{max} di circa 32 mm.

7.2.6 Prescrizioni aggiuntive

7.2.6.1 Bleeding

Nei calcestruzzi per pavimentazioni occorre controllare il fenomeno di bleeding per evitare le seguenti problematiche:

- Fenomeno di delaminazione superficiale e profonda
- Fenomeno del "blistering"

- Riduzione della resistenza all'abrasione della superficie della pavimentazione.

Allo scopo è opportuno che il volume di acqua di bleeding, misurato secondo la procedura riportata nella norma UNI 7122, risulti inferiore allo 0,1% (oppure a 0,5 l/m²/h).

7.2.6.2 Ritiro igrometrico

Il ritiro igrometrico del calcestruzzo è un fenomeno fisico che comporta la contrazione volumetrica del materiale una volta indurito, soprattutto quando è esposto ad ambienti con bassa saturazione di acqua.

Tale fenomeno è generalmente ostacolato da vincoli sia interni che esterni al materiale, inducendo, quindi, lo sviluppo di sollecitazioni di trazione. Quando queste sollecitazioni superano la resistenza a trazione intrinseca del calcestruzzo, si verifica la formazione di fessurazioni nel materiale.

La misurazione del ritiro non contrastato del calcestruzzo si effettua in conformità con la norma UNI EN 12390.

È importante che il progettista determini il valore del ritiro igrometrico specifico per il calcestruzzo destinato a pavimentazioni, valutato a 28 giorni secondo le procedure stabilite dalle normative menzionate.

Inoltre, si consiglia che il ritiro igrometrico non superi i 500 µm/m.

È fondamentale sottolineare che il ritiro igrometrico rilevato in situ per le pavimentazioni sarà probabilmente differente rispetto ai valori ottenuti in condizioni standardizzate dalle normative. Pertanto, il valore del ritiro complessivo anticipato per la pavimentazione deve essere rigorosamente specificato dal progettista, il quale dovrà anche definire le strategie appropriate per assicurare il raggiungimento delle performance richieste dal materiale, garantendo così la longevità e l'integrità strutturale della pavimentazione in calcestruzzo.

7.2.6.3 Contenuto di aria

Un eccessivo contenuto di aria nel calcestruzzo può essere causa o concausa di fenomeni di delaminazione.

A tal proposito occorre distinguere tra aria intrappolata e aria inglobata o aggiunta ai fini della resistenza ai cicli di gelo e disgelo.

Aria intrappolata

Il calcestruzzo allo stato fresco deve presentare una percentuale di aria intrappolata che non superi il 3%, quantificata conformemente alla norma UNI EN 12350-7, applicata al calcestruzzo in stato fresco. È essenziale sottolineare che il metodo delineato nella UNI EN 12350-7 rappresenta la sola procedura ritenuta affidabile per determinare accuratamente il contenuto aeriforme all'interno del composto di calcestruzzo.

Per quanto concerne le verifiche in ambito laboratoriale, la norma UNI EN 480-11 è considerata appropriata per misurare l'aria inglobata, allo scopo di valutare l'efficacia dell'additivo aerante, ma non è indicata per la quantificazione dell'aria intrappolata in provini di forma cubica o cilindrica o in carote prelevate direttamente dalla pavimentazione. Pertanto, la determinazione del contenuto d'aria è condizionata dalla rigorosa adesione alle procedure e normative stabilite, garantendo così la precisione e l'affidabilità dei risultati ottenuti.

Aria inglobata

Nel caso di calcestruzzi esposti a cicli di gelo-disgelo, il contenuto di aria inglobata (mediante l'utilizzo nelle miscele di additivi areanti) dovrà rispettare quanto specificato dalla norma UNI 11104.

Qualora si utilizzassero calcestruzzi confezionati con additivo aerante, va evitata l'applicazione dello strato superficiale a polvero, pastina e la realizzazione di finitura liscia (solo staggiato).

7.2.6.4 Pompabilità del calcestruzzo fibrorinforzato

Nel caso fosse necessario garantire la pompabilità del calcestruzzo fibrorinforzato, occorre che tale requisito sia chiaramente specificato nelle prescrizioni tecniche del calcestruzzo

È di fondamentale importanza notare che l'introduzione delle fibre da entità terze potrebbe compromettere la facilità di pompaggio e indurre anomalie nelle prestazioni del calcestruzzo, quali riduzioni nella tenacità e variazioni nella classe di consistenza, problemi per i quali il produttore di calcestruzzo non può essere ritenuto responsabile. Pertanto, eventuali modifiche al mix design devono essere condotte con estrema attenzione, preservando le caratteristiche prestazionali e di lavorabilità del materiale.

7.2.7 Caratteristiche composizionali del calcestruzzo

La formulazione del mix design è di competenza del produttore di calcestruzzo preconfezionato, il quale si assume la responsabilità di fornire un prodotto che risponda ai requisiti prestazionali previsti dal progetto della pavimentazione.

Si riportano di seguito alcune informazioni sulle caratteristiche che in genere è utile rispettare in fase di formulazione del mix design per un pavimento. Si tratta di considerazioni che ovviamente devono essere valutate tenendo conto delle reali caratteristiche e proprietà dei costituenti a disposizione, delle condizioni di produzione, trasporto, consegna e uso, e ovviamente delle prestazioni previste a progetto.

7.2.7.1 Principi relativi ai calcestruzzi per pavimenti realizzati con finitura meccanizzata

Il calcestruzzo per pavimentazioni, con particolare riferimento a quelli con finitura meccanizzata, deve essere confezionato avendo cura di seguire il più possibile le seguenti raccomandazioni di base:

- il contenuto di pasta (calcolata come totale dei passanti a 0,125 mm compresa acqua e l'aria) non dovrebbe superare i 300-310 litri/m³ in caso di calcestruzzo non pompato e fibrorinforzato, mentre nel caso dell'uso della pompa e impiego di fibre, il volume di pasta non dovrebbe, comunque, superare i 325 litri/m³;
- il contenuto di cemento non dovrebbe superare i 360 kg/m³ salvo casi particolari con uno studio, progettazione e qualifica delle miscele specifico e accurato. In casi eccezionali dove sono richieste resistenze a compressione molto elevate, il legante dovrebbe essere una miscela di cemento con polveri reattive che contribuiscono al raggiungimento delle resistenze desiderate. Il progettista può valutare la possibilità di riferire la resistenza caratteristica a compressione non ai 28 giorni, ma a maturazioni superiori.
- Il contenuto di aria intrappolata allo stato fresco rilevata con porosimetro non dovrebbe superare il 2,5%;
- il rapporto i/c non dovrebbe essere inferiore a 5,6;
- la percentuale delle sabbie passanti al vaglio di 4 mm, esclusi filler e polveri minerali, non dovrebbe essere superiore al 45% del totale degli aggregati;
- il modulo di finezza delle sabbie passanti al vaglio di 4 mm non dovrebbe essere inferiore a 2,65;
- la dimensione dell'aggregato massimo dovrebbe essere la maggiore possibile, tenendo ovviamente conto dello spessore della pavimentazione e della disposizione dell'armatura;
- i tempi di presa dovrebbero essere controllati al fine di consentire in maniera agevole le lavorazioni previste;
- dovrebbe essere garantito un minimo di bleeding "fisiologico".

7.2.7.2 Principi relativi alla progettazione di miscele di calcestruzzo pompabili

Al fine di ottenere un corretto pompaggio del calcestruzzo, riducendo al minimo problematiche di bloccaggio delle pompe e conseguente fermo del getto di calcestruzzo, che produrrebbero giunti freddi non ammessi per tali opere, lo studio della miscela richiede accorgimenti raffinati relativamente al corretto proporzionamento degli ingredienti volti all'aumento del volume di pasta.

Tali accorgimenti devono essere implementati solo ai fini del pompaggio che può avvenire:

- per caduta;
- con tubazioni.

In caso di pompaggio per caduta, si deve considerare il volume di pasta (compresa l'aria), il modulo di finezza della sabbia risultante e la frazione 4 - 8 mm degli aggregati. Il suggerimento è di restare in questi valori:

- $300 \text{ litri/m}^3 < V_{\text{pasta}} < 320 \text{ litri/m}^3$;
- $2,4 < \text{Modulo di finezza sabbie} < 3,0$;
- 4 - 8 mm dal 16% al 22%.

In caso di pompaggio con tubazioni, a seconda della lunghezza della tubazione, si dovrebbe prevedere:

- $V_{\text{pasta}} > 320 \text{ litri/m}^3$;
- Omogeneità del calcestruzzo relativo al passante al vaglio ai 4 mm, con scarto in massa non superiore al 2%.

È opportuno sottolineare che tutti gli accorgimenti preposti all'aumento del volume di pasta ai fini del pompaggio, complicano il raggiungimento di eventuali prestazioni di ritiro e di creep da essiccamento conseguenti l'aumento dell'aliquota di fini e finissimi nella miscela. In occasione di volumi di pasta eccedenti i 325 litri/m^3 , occorrerà prevedere una finitura ruvida senza applicazione di strati di usura a spolvero o pastina.

7.2.7.3 Principi relativi alla progettazione di calcestruzzi fibrorinforzati

Nella definizione della miscela di calcestruzzo fibrorinforzato, è opportuno considerare che la presenza di fibre non incide sostanzialmente sulla resistenza a compressione del calcestruzzo. Tuttavia, durante la progettazione del mix, è essenziale considerare la superficie specifica delle fibre in relazione al dosaggio totale di fibre impiegate (conosciuto nella tecnologia del calcestruzzo come "metodo della superficie specifica"), e va previsto un adeguato volume di pasta per ospitare tale aggiunta.

Per calcestruzzi FRC destinati a usi strutturali, la resistenza residua è influenzata significativamente dalla geometria delle fibre, dalla loro numerosità, dalla loro predisposizione ad opporsi allo sfilamento e dalla capacità adesiva della pasta cementizia.

La pasta cementizia dovrà essere possibilmente compatta, priva di aria e caratterizzata da elevata adesione. Per questo motivo è preferibile l'impiego di cementi finemente macinati e l'impiego di ridotte quantità di fini passanti compresi fra 0,5 e 1 mm responsabili della produzione di aria.

Nella progettazione di miscela per calcestruzzo fibrorinforzato sarebbe fondamentale considerare un riproporzionamento, nello specifico un aumento, del volume di pasta, mediante aggiunta di legante o polveri minerali, che tenga conto:

- del volume di fibre da impiegare;
- della superficie specifica delle fibre stesse.

Tali implementazioni dovrebbero essere considerate anche nel calcolo del ritiro, poiché l'aumento di pasta può contribuire ad aumentarlo e andrà opportunamente studiato e valutato.

Inoltre, nel caso di pavimentazioni con lisciatura meccanizzata e applicazione di strato di usura, il volume di pasta non dovrebbe eccedere i 325 litri/m³, per non favorire fenomeni di delaminazione.

Un corretto volume di pasta è necessario anche per limitare gli effetti dell'affioramento soprattutto di fibre con massa volumica inferiore a 1.

7.2.8 Condizioni di fornitura a piè d'opera

Devono essere adottate le misure necessarie a prevenire le segregazioni, l'eccesso di bleeding e a ridurre i tempi di trasporto e di attesa in cantiere, nonché di scarico.

Il progetto e il programma di lavoro devono prevedere le condizioni di fornitura e di consegna che riducano i tempi di sosta e gli intervalli tra i diversi lotti di fornitura.

La scelta dell'impianto di produzione deve tenere in considerazione i tempi di percorrenza, sussistendo l'obbligo per il confezionatore di fornire con continuità i vari lotti di calcestruzzo al fine di minimizzare il rischio di formazione di giunti "freddi" che possono originare fessurazioni e problemi di planarità.

Tra lo scarico di un'autobetoniera e quello della successiva non dovrebbero normalmente intercorrere più di 30 minuti con temperatura esterna di 20°C e vento moderato. Se l'intervallo tra due consegne dovesse essere superiore, l'esecutore della pavimentazione dovrebbe intervenire per limitare il rischio di fessurazioni nella relativa ripresa di getto. È comunque buona regola segnalare al Committente eventuali ritardi nelle consegne.

Nel caso in cui le autobetoniere siano obbligate a sostare in condizioni di esposizione solare, con temperature ambientali che superano i 20°C, è essenziale garantire che l'esterno del tamburo sia mantenuto umido.

Se l'operazione di pompaggio presenta delle difficoltà, si consiglia di utilizzare un additivo facilitatore, al fine di ottimizzare il processo.

7.3 Controllo della qualità del calcestruzzo

7.3.1 Qualifica preliminare del calcestruzzo

Si tratta dello studio preliminare che viene condotto prima della fornitura al fine di qualificare il prodotto previsto a progetto.

Per le forniture ordinarie non è in genere necessario, in quanto la qualifica è assicurata dal controllo statistico effettuato dal produttore di calcestruzzo e certificato attraverso l'FPC.

Per i casi in cui è richiesto dal committente/progettista o dal Direttore Lavori, per i cantieri più importanti o in cui è richiesto l'uso di calcestruzzi speciali, o in caso di dubbio allora deve essere condotta prima di avviare la fornitura.

Tale studio dovrà comprovare la conformità del calcestruzzo a quanto previsto a progetto e quanto richiesto per la cantierizzazione.

In particolare, nella relazione di qualificazione dovrà essere fatto esplicito riferimento, almeno, a:

- Tipo, provenienza, caratteristiche dei componenti e relativa certificazione
- Classe di esposizione ambientale a cui è destinata la miscela
- Resistenza caratteristica a compressione $C_{f_{ck}}/R_{ck}$
- Classe di consistenza e suo mantenimento
- Diametro massimo dell'aggregato
- Resistenza residua media a trazione per flessione, ove previsto dal Progettista

- Resistenza ai cicli gelo disgelo, se necessario, in funzione della classe di esposizione ambientale
- Resistenza a trazione residua per calcestruzzi fibrorinforzati FRC ad uso strutturale
- Ritiro, quando è oggetto di specifica
- Tutte le prescrizioni aggiuntive, oggetto di specifica progettuale

Il calcestruzzo dovrà avere le caratteristiche reologiche adeguate per una corretta lavorazione in opera.

Le tempistiche di esecuzione delle prequalifiche dovranno essere in linea con le tempistiche delle prove di laboratorio a cui saranno sottoposti i campioni prelevati in questa fase.

Il Direttore Lavori dovrà essere presente a tutta la campagna prove e l'autorizzazione all'inizio dei getti potrà avvenire solo dopo l'approvazione, da parte della Direzione Lavori, della documentazione relativa agli studi di prequalifica e dopo la valutazione dei risultati ottenuti su campioni prelevati direttamente su impasti della miscela oggetto di qualifica preliminare.

7.3.1.1 Controllo di accettazione

I controlli di accettazione del calcestruzzo sono procedure previste dalle Norme Tecniche per le Costruzioni per le strutture.

Devono essere eseguiti dal Direttore Lavori, nominato dal Committente.

L'obiettivo è quello di verificare la conformità del fornitore di materiali e dei materiali impiegati.

Per il calcestruzzo dove:

- il produttore abbia il certificato FPC in vigore
- il prodotto sia conforme alle specifiche di progetto e alle normative vigenti, prima del suo impiego nelle opere di costruzione

in genere riguardano la lavorabilità e la resistenza a compressione del calcestruzzo e la qualità delle armature, ma a seconda del progetto e del materiale previsto possono comprendere anche altre tipologie di controlli come, ad esempio, il contenuto di aria, la resistenza a trazione, etc.

Le prove relative ai controlli di accettazione devono essere eseguite presso laboratori ufficiali o autorizzati ai sensi della L. 1086.

È responsabilità del Direttore Lavori o suoi incaricati eseguire prelievi con le modalità previste dalle norme in vigore. Non è necessaria la presenza di altre figure impegnate nella commessa.

7.3.1.2 Controllo di conformità

Il controllo di conformità è quello che viene eseguito in contraddittorio tra fornitore di calcestruzzo e chi ha stipulato il contratto di fornitura con lo stesso.

L'obiettivo è quello di verificare la corrispondenza del prodotto alle prestazioni contrattuali siglate tra le parti e, al tempo stesso, assicurare che la qualità del calcestruzzo sia quella prevista.

La verifica principale è quella della consistenza, che deve essere valutata all'arrivo di ogni lotto di calcestruzzo, e in caso di attesa protratta in cantiere del mezzo di trasporto, prima del getto. La consistenza può essere misurata secondo diversi metodi, quello più comunemente utilizzato è l'abbassamento al cono di Abrams secondo la norma UNI EN 12350-2 mentre per i calcestruzzi fibrorinforzati si può utilizzare la tavola a scosse secondo la norma UNI EN 12350-5, per la misura dello spandimento, o la prova dell'indice di compattabilità secondo la norma UNI EN 12350-4.

Può essere opportuno eseguire anche ulteriori prelievi di calcestruzzo rispetto a quelli previsti dai controlli di accettazione, al fine di poter avere misurazioni anche con stagionature di durata diversa rispetto a quelle previste dalla legge, o di poter avere ulteriori riferimenti in caso di contenzioso.

Per la natura di questi controlli è opportuno che siano eseguiti in presenza di un rappresentante di entrambe le parti commerciali coinvolte.

7.4 Prestazioni particolari

Sono elencati alcuni suggerimenti atti a soddisfare particolari necessità prestazionali dei pavimenti.

7.4.1 Resistenza all'abrasione

Molte pavimentazioni di calcestruzzo sono sottoposte a severe condizioni d'usura.

In tali situazioni, il progetto dovrà prevedere un calcestruzzo con opportune caratteristiche prestazionali ad integrazione della resistenza all'abrasione propria dello strato d'usura.

Per realizzare una pavimentazione con elevata resistenza all'abrasione si raccomandano:

- classe di resistenza minima del calcestruzzo C35/45;
- rapporto a/c non superiore a 0,45;
- aggregati di tipo A, secondo la UNI 8520-2;
- stagionatura umida almeno 15 giorni.
- strato d'usura idoneo per tipo, quantità di materiale e metodo applicativo (Cap.10).

7.4.2 Resistenza agli urti

Determinate condizioni d'uso richiedono al pavimento una elevata resistenza agli urti.

In questi casi si raccomandano:

- classe di resistenza minima del calcestruzzo C35/45;
- rapporto a/c non superiore a 0,45;
- inserimento di fibre di opportuna natura, dimensione e dosaggio;
- stagionatura umida almeno 15 giorni.

7.4.3 Tenuta idraulica

Pavimentazioni soggette a frequente contatto di acqua, particolarmente se a pressione, richiedono calcestruzzi caratterizzati da elevata resistenza alla penetrazione dell'acqua in pressione (UNI EN 12390-8).

Per quanto concerne il calcestruzzo, si raccomandano le seguenti prescrizioni aggiuntive:

- classe di resistenza minima del calcestruzzo C32/40;
- rapporto a/c non superiore a 0,50;
- stagionatura umida almeno 15 giorni.

Per quanto concerne il pavimento si raccomandano i seguenti provvedimenti:

- realizzazione di pendenze non minori dell'1,5%;
- rivestimento superficiale (impregnazione o trattamento impermeabilizzante).

È possibile migliorare le caratteristiche di tenuta idraulica del calcestruzzo anche mediante l'utilizzo di additivi cristallizzanti. Si suggerisce in ogni caso una prequalifica del calcestruzzo.

Secondo le "Linee guida per il calcestruzzo strutturale" edite dal Servizio Tecnico Centrale del CSL-LPP: "(...) ... il valore medio di penetrazione non superiore a 20 mm per il quale il materiale è ritenuto adeguatamente impermeabile non ha giustificazione fisica, ma è stato dedotto sulla base di indagini sperimentali. (...)".

7.4.4 Approccio alternativo all'uso di calcestruzzi aerati in caso di cicli gelo/disgelo e sali disgelanti

L'approccio alternativo a tali calcestruzzi è quello presente nella Norma "UNI 11104 Calcestruzzo Specificazione, prestazione, produzione e conformità - Istruzioni complementari per l'applicazione della EN 206" - "Nota a) - prospetto 5": **Quando il calcestruzzo non contiene aria aggiunta, le sue prestazioni devono essere verificate rispetto ad un calcestruzzo aerato per il quale è provata la resistenza al gelo/disgelo, da determinarsi secondo UNI CEN/TS 12390-9*, UNI CEN/TR 15177 o UNI 7087, per la relativa classe di esposizione.**

Nota (*):

*Il 19 gennaio 2017 è stata pubblicata la norma **UNI CEN/TS 12390-9 "Prova sul calcestruzzo indurito - Parte 9: Resistenza al gelo-disgelo con sali disgelanti - Scagliatura"***

Per la valutazione dei risultati della prova prevista dalla norma UNI CEN/TS 12390-9, si può fare riferimento alla **norma austriaca ONR 23303 - paragrafo 9.11 e sottoparagrafi**, per quanto riguarda la valutazione della resistenza dei calcestruzzi sottoposti a cicli di gelo/disgelo e attacco da sali disgelanti, con i calcestruzzi di riferimento, prove di laboratorio e relativi metodi di valutazione dei risultati delle prove stesse.

7.5 Messa in esercizio

Lo sviluppo delle proprietà prestazionali della pavimentazione avviene in funzione del periodo di maturazione e delle condizioni termo-igrometriche esistenti.

Per tale motivo, fino al raggiungimento dei valori prestazionali prestabiliti, la pavimentazione deve essere protetta e non sollecitata. Sono possibili deroghe solo se espressamente autorizzate dal Direttore dei Lavori dopo opportuna verifica delle caratteristiche prestazionali raggiunte e dopo l'esecuzione delle prove complementari.

In assenza di specifiche indicazioni, la pavimentazione non potrà essere sollecitata completamente prima di 28 giorni di stagionatura, accertando l'esito positivo delle prove previste.

Per uso precoce della pavimentazione, prima dei 28 giorni, per carichi e mezzi, si dovranno eseguire una serie di prove che attestino la resistenza del calcestruzzo e del sistema realizzato. Il calcestruzzo sarà testato tramite prove complementari, come previsto dalle Norme Tecniche per le Costruzioni, con la conservazione dei provini in sito, nelle stesse condizioni di maturazione e temperatura della pavimentazione. Il progettista dovrà fornire il valore minimo di resistenza del calcestruzzo, con tali prove complementari, che si dovrà ottenere per l'uso anticipato della pavimentazione, comunque mai prima di 14 giorni di maturazione.

Traffico pedonale o limitato potrà essere autorizzato espressamente in relazione alle condizioni ambientali e prestazionali della pavimentazione, comunque indicativamente non prima di sette giorni di maturazione.

Il Direttore Lavori sarà il responsabile del controllo, del monitoraggio di tali attività e avrà facoltà di bloccare l'uso anticipato della pavimentazione, qualora avesse dubbi, che tale uso, potrebbe pregiudicare le prestazioni finali della pavimentazione.

Durante l'esecuzione, la realizzazione, la maturazione e dopo la messa in servizio della pavimentazione,

non eseguire mai scavi, preparazione dei “piano di posa”, demolizioni e lavori che provochino urti e/o vibrazioni in zone limitrofe o sovrastanti all’opera.

Nota:

Nel presente capitolo sono esaminate alcune condizioni al momento del getto alle quali il calcestruzzo fresco potrebbe essere esposto. Il progetto e il capitolato devono evidenziare le corrette prescrizioni per la posa e la stagionatura protetta del calcestruzzo, in funzione del programma dei lavori e delle specifiche situazioni climatiche e stagionali del periodo di esecuzione previsto; tali situazioni possono infatti notevolmente incrementare i costi dei materiali e della fase realizzativa, così come il capitolato potrebbe subire un’integrazione proprio in funzione delle condizioni termo-igrometriche, della particolarità dell’opera e della sua cantierizzazione al momento del getto e nelle prime ore di maturazione che, in fase progettuale, non erano ovviamente conosciute.

8. Indicazioni per la progettazione strutturale delle pavimentazioni

Nel presente capitolo verranno riportate le indicazioni a carattere generale che devono essere seguite durante la progettazione strutturale della pavimentazione in calcestruzzo. Considerato lo scopo del presente documento non verranno riportate le formule per il calcolo in maniera analitica e le indicazioni qui riportate devono intendersi secondarie rispetto a documenti o norme specialistiche.

La pavimentazione in calcestruzzo necessita, a prescindere della classificazione d'uso, di una progettazione strutturale che deve essere eseguita da tecnici qualificati (ai sensi della legge 5 novembre 1971, n.1086) e condotta nell'ambito dei criteri della scienza e della tecnica delle costruzioni, nel rispetto delle normative vigenti. Il progettista della pavimentazione è incaricato dal Committente.

8.1 Metodo di calcolo

La pavimentazione in calcestruzzo può essere modellata come piastra su sottofondo continuo. Le caratteristiche del sottofondo devono essere definite in accordo alle indicazioni contenute nella relazione geotecnica che caratterizza la geologia del sottosuolo e ne prescrive le indicazioni per la realizzazione del sottofondo. Considerando i ridotti livelli deformativi indotti dalle pavimentazioni al sottofondo, questo può essere modellato come supporto elastico alla Winkler o, in alternativa, con la definizione di un semispazio elastico continuo secondo la teoria di Boussinesq. Modelli più avanzati possono essere adottati se supportati da solide basi teoriche.

La progettazione strutturale deve essere condotta agli Stati Limiti Ultimi (SLU) e agli Stati Limite di esercizio (SLE). La capacità portante ultima della pavimentazione in calcestruzzo corrisponde al collasso flessionale o per punzonamento della piastra.

Generalmente la piastra in calcestruzzo viene modellata in campo elastico con sezione interamente reagente.

La piastra può essere poi verificata ipotizzando la sezione non fessurata con la resistenza fornita dal solo calcestruzzo; questa metodologia di calcolo sezionale può portare a soluzioni conservative e con spessori della piastra importanti. Al fine di aumentare la portanza della pavimentazione è possibile l'introduzione di cavi di post-tensione che, grazie ad una coazione di compressione, riducono la trazione nel calcestruzzo e consentono di avere uno stato di sollecitazione compatibile con il modello a sezione interamente reagente. In alternativa, si possono affidare gli sforzi di trazione ad una armatura tradizionale (generalmente una rete elettrosaldata) e/o a un rinforzo fibroso. In questo caso la sezione non è più interamente reagente ma la soluzione ottenuta in campo elastico può essere considerata accettabile per l'armatura convenzionale. Nel caso di rinforzo fibroso si può trarre vantaggio dalla significativa energia di frattura che il calcestruzzo fibrorinforzato è in grado di offrire dopo la fessurazione della matrice di calcestruzzo, modelli di calcolo basati sulla meccanica della frattura non lineare rappresentano meglio il comportamento del materiale e ne sfruttano appieno le potenzialità. L'analisi limite o i modelli non lineari possono essere utilizzati solo se la piastra presenta sufficiente duttilità sezionale; questo è possibile in presenza di una adeguata armatura, sia essa costituita da fibre o armatura convenzionale.

8.1.1 Calcolo elastico lineare

Questo approccio è utilizzabile per pavimentazioni non armate, armate o post-tese. Nel caso delle prime la condizione di collasso è identificata con la fessurazione della sezione, condizione che deve tenere

conto della copresenza del ritiro. Considerato il limitato livello di resistenza in termini tensionali a trazione del calcestruzzo, quando si ha la presenza di carichi elevati, questa soluzione porta ad importanti spessori della piastra. Nel caso di sezioni armate, la resistenza a trazione a livello sezionele è garantita dall'armatura sia essa tradizionale, post tesa o diffusa. In letteratura sono presenti differenti formulazioni che forniscono lo stato tensionale della sezione in funzione della tipologia di carico. In linea generale il problema della risposta della piastra su suolo elastico può essere condotta con analisi lineare agli elementi finiti ipotizzando la sezione interamente reagente.

8.1.2 Analisi limite (linee di rottura)

Quando la sezione offre sufficiente duttilità per lo sviluppo di linee di rottura che anticipano un collasso flessionale della piastra, la valutazione del carico limite ultimo può essere determinato in accordo all'approccio dell'analisi limite. Lo scopo di questa metodologia è quello di sfruttare la capacità di redistribuzione della piastra su appoggio continuo che permette il raggiungimento del momento ultimo lungo l'intero sviluppo delle linee di rottura. Per ottenere questo è necessario armare le sezioni con adeguate (non eccessive) percentuali d'armatura, sia essa composta da sole fibre, da una combinazione di fibre e rete o da una doppia rete per resistere ai momenti che provocano sforzi di trazione sia all'intradosso sia all'estradosso della piastra.

8.1.3 Analisi incrementali non lineari (basata sulla meccanica della frattura non lineare)

L'analisi incrementale non lineare è eseguita mediante modelli ad elementi finiti basati sulla meccanica della frattura. Questa metodologia è applicabile per tutte quelle sezioni che offrono importanti resistenze post fessurazioni, come succede per esempio pavimentazioni fibrorinforzate, e permettono di condurre analisi dettagliate che tengono conto della redistribuzione degli sforzi e della loro eventuale interazione. Questo approccio presenta delle criticità tipiche della conduzione di analisi avanzate in campo non lineare e devono essere condotte da personale esperto.

8.2 Verifiche stato limite ultimo

8.2.1 Piastre senza armature

La verifica della sezione viene svolta confrontando lo sforzo sollecitante con la resistenza del calcestruzzo. Lo sforzo generalizzato è calcolato in accordo alla teoria di piastra su suolo elastico e determina lo stato tensionale all'interno della piastra in calcestruzzo. La verifica principale è in termini di sforzo a trazione sollecitante e resistente del solo calcestruzzo. Se la verifica allo stato limite ultimo risulta verificata, di conseguenza anche lo stato limite di fessurazione allo stato limite di esercizio, per le sole combinazioni dei carichi applicati, risulta implicitamente soddisfatta.

8.2.2 Piastre con armature

Per le sezioni di piastra armate con armatura tradizionale si utilizzano le formulazioni per la verifica allo stato limite ultimo in accordo con le normative vigenti.

8.2.3 Piastre fibrorinforzate

Per le sezioni di piastra armate con fibrorinforzo verranno adottate le formulazioni di calcolo sezionele allo stato limite ultimo che tengono conto del comportamento post fessurativo del composito. Per la definizione dei legami costitutivi si rimanda alla normativa tecnica delle costruzioni vigente.

8.2.4 Piastre con armature e fibrorinforzo

Per le sezioni di piastra con armature ibride (armatura convenzionale e fibre) verranno adottate le formulazioni di calcolo di sezione allo stato limite ultimo che tengono conto di entrambe le tipologie d'armatura.

8.2.5 Piastre con armature post-tese

Nelle piastre con armature post-tese vengono posizionati dei cavi scorrevoli (isolati dal calcestruzzo mediante guaine plastiche) in acciaio armonico. Ad avvenuta maturazione del calcestruzzo si procede alla tesatura dei cavi con conseguente trasferimento di coazione che genera uno stato di pressoflessione alla sezione della piastra. I cavi possono essere lasciati non aderenti oppure resi aderenti alla guaina attraverso l'iniezione (mediante boiacca di cemento) delle guaine. Questa metodologia costruttiva richiede esperienza nell'applicazione della post-tensione, nella maturazione del calcestruzzo e delle fasi di posa. Le verifiche vengono condotte considerando le perdite sviluppate dalla sezione in termini di attrito, viscosità e rilassamento e definendo la capacità sezionale in termini di sforzi generalizzati.

8.3 Verifiche stati limite di esercizio

Le principali verifiche agli stati limite di esercizio sono riportate nel seguito:

- stato limite di deformazione;
- controllo delle tensioni in esercizio;
- stato limite di fessurazione.

8.3.1 Stato limite di deformazione

Le verifiche sono condotte considerando la piastra in calcestruzzo su suolo elastico con sezione interamente reagente e trascurando la presenza di armature. I limiti deformativi devono essere definiti in funzione della destinazione d'uso.

8.3.2 Stato limite di controllo delle tensioni

Le verifiche sono svolte per valutare lo stato tensionale a livello sezionale. Le verifiche vengono condotte sia in termini di sforzi di compressione che di trazione. Per quanto riguarda la trazione può essere richiesto che, con i carichi di esercizio, la superficie estradossale risulti non fessurata.

8.3.3 Stato limite di fessurazione

Le verifiche devono essere condotte con riferimento alle condizioni di carico ed i loro effetti in termini di sforzi generalizzati. Si dovrà in particolare verificare che l'apertura di fessura indotta dalle azioni agenti sulla piastra sia compatibile con i requisiti normativi e i limiti richiesti dal Committente. Come già evidenziato in precedenza, può essere richiesta l'assenza di fessurazione nelle condizioni di esercizio. Le verifiche di fessurazione sono condotte con riferimento alle normative tecniche vigenti.

Le fessurazioni indotte dai carichi possono essere preventivamente valutate mediante modelli di calcolo. A causa della grande estensione planimetrica e del ridotto spessore, le pavimentazioni sono soggette ad importanti effetti dovuti al ritiro del calcestruzzo ed alle azioni termiche. Questi fenomeni, seppur descritti in letteratura, presentano delle criticità dovute alla variabilità ed alla difficile prevedibilità delle condizioni ambientali.

La gestione delle fessurazioni viene affidata ai giunti di contrazione, ad eventuali armature estradossali o fibre, eventuali additivi specifici per il controllo del ritiro del calcestruzzo o introducendo cavi di post-tensione.

8.4 Giunti di costruzione

I giunti di costruzione vengono utilizzati per formare i bordi di ogni campo di getto. In linea generale l'accostamento dei getti deve essere rettilineo e a tutta sezione verticale, se questo non fosse possibile si renderebbero necessarie valutazioni di dettaglio al riguardo.

I giunti di costruzione per pavimentazioni in calcestruzzo vengono generalmente realizzati mediante sistemi preformati realizzati generalmente in acciaio dolce, acciaio inossidabile o acciaio zincato che realizzano contestualmente sia la cassaforma a perdere a tutt'altezza per il contenimento del getto di calcestruzzo, sia il sistema di connessione efficace per il trasferimento dei carichi che garantisce la congruenza elastica lungo la linea del giunto delle due lastre contigue, consentendo il libero movimento dovuto agli effetti dei fenomeni di ritiro e di viscosità.

Le loro prestazioni di trasferimento dei carichi, tra le piastre di pavimentazione adiacenti, deve essere opportunamente verificata progettualmente. Al fine delle verifiche sarà necessario valutare la quota parte di carico che viene trasferito dal giunto alla lastra di calcestruzzo adiacente e verificare sia la sezione al bordo della lastra che la risposta meccanica del giunto tenendo conto delle verifiche sia lato acciaio che calcestruzzo.

Il meccanismo di trasferimento dei carichi può essere discreto o continuo.

Il trasferimento dei carichi di tipo discreto avviene mediante piattelli di varie forme (rettangolari, circolari o triangolari) o barrotti a passo costante.

Il trasferimento dei carichi di tipo continuo avviene invece mediante la realizzazione un meccanismo a sella Gerber nello spessore della pavimentazione, in cui elementi opportunamente predisposti consentono lo scorrimento di una parte superiore su quella inferiore per l'intero sviluppo del giunto di costruzione.

L'interruzione del getto di calcestruzzo comporta che le sollecitazioni in tali zone assumano valori particolarmente elevati. Per questi giunti, rappresentando quindi la parte della pavimentazione più soggetta a prematuri deterioramenti, è necessaria la verifica delle prestazioni meccaniche dei suoi elementi.

La parte in vista dei giunti di costruzione preformati può avere andamento lineare o sinusoidale.

Al fine di operare la scelta migliore, sarà cura del progettista valutare gli effetti del passaggio dei mezzi adibiti alla movimentazione, in termini di impatto, rumorosità e vibrazioni indotte, in corrispondenza di aperture potenziali che possono tipicamente essere dell'ordine dei 10-20 mm.

8.5 Ritiro igrometrico e deformazioni della piastra (verifiche per condizioni in esercizio)

Gli effetti del ritiro interessano la pavimentazione per tutta la durata della sua vita utile. È opportuno segnalare che il ritiro che interessa la pavimentazione nei primi tre giorni (72 ore) rappresenta una aliquota di circa il 20% del ritiro sviluppato dal calcestruzzo a tempo infinito. Nonostante le tensioni che si manifestano nei primi tre giorni siano contenute, esse si manifestano quando la resistenza a trazione, a causa della giovane età, è molto modesta e, quindi, il rischio della nascita delle fessure è molto elevato.

In linea di massima gli effetti del ritiro sono influenzati da fattori composizionali, ambientali e strutturali. Di tutto ciò si devono fare le dovute riflessioni in fase di progetto e devono essere tradotte in prescrizioni per la fase realizzativa.

8.5.1 Fattori compositivi che influiscono sul ritiro

I fattori compositivi che influenzano il ritiro del calcestruzzo sono:

- Dimensione/diametro massima/o dell'aggregato: calcestruzzi con granulometrie "grosse" ritirano meno, come è il caso per i comuni calcestruzzi con dimensione degli aggregati di 31,5 mm o 32 mm, secondo la scala scelta;
- consistenza del calcestruzzo: più il calcestruzzo è fluido, e maggiore sarà il ritiro;
- rapporto acqua/cemento: più elevato è il rapporto a/c, maggiore sarà il ritiro;
- modulo elastico dell'aggregato: maggiore è il modulo elastico, minore sarà il ritiro; per via della difficoltà di determinazione del modulo elastico degli aggregati è possibile assimilare tale valore alla prestazione di resistenza a frammentazione Los Angeles: minore è la LA, maggiore sarà il modulo elastico;
- volume di pasta: responsabile del ritiro è la pasta composta da cemento fini e finissimi. Maggiore è il suo volume e maggiore sarà il ritiro;
- rapporto inerte /cemento i/c, cioè il rapporto in massa tra gli aggregati e il cemento: maggiore è il rapporto i/c, minore sarà il ritiro.

8.5.2 Fattori ambientali esterni

Alcuni dei fattori esterni che possono influire sulle deformazioni della piastra, verranno elencati e definiti in seguito, come:

- l'irraggiamento solare diretto o altra fonte di calore diretta, che provoca l'inarcamento della piastra verso la fonte di calore;
- presenza di vento all'esterno o correnti d'aria all'interno;
- umidità relativa ambientale; minore è l'umidità, maggiore sarà il ritiro per essiccazione. Si tenga conto, inoltre, della variazione di umidità che potrebbe presentarsi fra l'estradosso e l'intradosso della piastra e le conseguenze che potrebbe comportare, come ad esempio fenomeni di imbarcamento;
- gradienti termici stagionali e/o giornalieri i quali provocano variazioni reversibili delle dimensioni delle pavimentazioni fra i suoi giunti. Si tenga sempre presente che le variazioni termiche interessano la piastra a partire dalla superficie, cioè dalla porzione di pavimentazione direttamente esposta all'ambiente. In generale il riscaldamento provoca un aumento della dimensione con compressione fra i giunti mentre, un raffreddamento, provoca una contrazione con conseguente apertura dei giunti. Si tenga conto, inoltre, della variazione termica differenziale che potrebbe presentarsi fra l'estradosso e l'intradosso della piastra e le conseguenze che potrebbe comportare: la superficie superiore, ovviamente, sarà sottoposta alle escursioni termiche più di quella inferiore. Quando la temperatura esterna scenderà sotto il valor medio della temperatura della piastra, la parte superiore della pavimentazione si troverà a una temperatura inferiore a quella della parte inferiore e produrrà una contrazione della parte superiore, accompagnata dall'imbarcamento della piastra analogo al fenomeno del "curling", mentre, quando la temperatura esterna scenderà sotto il valor medio della temperatura della piastra, la parte superiore della pavimentazione si troverà a una temperatura superiore a quella della parte inferiore, il tutto produrrà una dilatazione della parte superiore e un conseguente inarcamento noto con il termine di warping (ingobbimento); il fenomeno di warping è più presente nelle pavimentazioni esterne.

8.5.3 Fattori strutturali

Di seguito verranno elencati alcuni fattori strutturali che influenzeranno le deformazioni della piastra.

- Spessore: essendo la pavimentazione un elemento di grande estensione superficiale, due

dimensioni predominanti sulla terza, i fattori strutturali che influenzano maggiormente il ritiro sono legati alla geometria, in particolare al rapporto fra la superficie esposta all'evaporazione ed il volume di calcestruzzo. Il parametro che esprime questa dipendenza del ritiro dalla geometria della struttura è lo "spessore fittizio", h_0 , definito come segue: rapporto tra l'area della sezione ortogonale alla direzione del ritiro (A_c) e il semi-perimetro, S_p , della sezione di calcestruzzo realmente esposta al ritiro; maggiore è lo spessore fittizio, minore sarà il suo ritiro medio. Nel caso delle pavimentazioni, per via del fatto che l'evaporazione può avvenire quasi esclusivamente dall'estradosso della piastra, lo spessore fittizio, equivale al doppio dell'altezza effettiva della pavimentazione. Nelle pavimentazioni, il ritiro aumenta al diminuire dello spessore, diventa rilevante in quelle piastre di altezza inferiore a 15 cm e quindi non bisognerà mai scendere al di sotto di questo spessore minimo tollerato.

- Percentuale di armatura metallica nella sezione. L'influenza esercitata sul ritiro dalla presenza di armatura metallica nella sezione è duplice: ad un aumento della percentuale di armatura corrisponde una diminuzione del ritiro effettivo della sezione in calcestruzzo e, conseguentemente, essendo il ritiro libero indipendente dall'armatura, un aumento della tensione di trazione del calcestruzzo. Quindi se, da una parte, la presenza dell'armatura metallica riduce la contrazione dimensionale, percentuali rilevanti di armatura aumenta la tensione di trazione indotta nel calcestruzzo con il risultato di promuovere la fessurazione del calcestruzzo. Per questo motivo è opportuno che le armature siano adeguatamente distribuite e di piccolo diametro in modo da conseguire uno stato di fessurazione diffusa evitando la comparsa di una singola lesione di notevole ampiezza.
- Calcestruzzo fibrorinforzato FRC in adeguata classe di resistenza residua, definita progettualmente, può assumere un comportamento meccanico che risulta particolarmente efficace per:
 - ridurre la fessurazione da ritiro igrometrico;
 - sostituire o integrare l'armatura convenzionale (solitamente la rete elettrosaldata e/o barre), se verificato progettualmente in funzione delle prestazioni richieste.

9. Le armature nelle pavimentazioni

9.1 Progettazione

Le pavimentazioni possono essere dimensionate come strutture non armate o armate; le pavimentazioni armate, inoltre, possono avere un'armatura tradizionale, barre e/o reti, oppure utilizzare un calcestruzzo FRC fibrorinforzato ad uso strutturale, tecnologia della post-tensione, oppure un sistema misto armature tradizionali, calcestruzzo FRC fibrorinforzato ad uso strutturale e post-tensione.

In funzione delle sollecitazioni prevedibili (cedimenti della massicciata, tensioni calcolate, imbarcamenti delle lastre e viscosità) il progettista opterà per l'armatura ritenuta più idonea, e per il relativo posizionamento.

In corrispondenza dei giunti di costruzione può essere previsto l'impiego di barrotti o piastre per la ripartizione dei carichi tra le lastre (Cap.9.3.2) Nel caso vengano utilizzati agenti espansivi per il controllo del ritiro del calcestruzzo, verificare se è necessaria la determinazione della quantità di una armatura diffusa di controllo/contrasto.

Fibre per la produzione di calcestruzzo FRC ad uso strutturale, correttamente scelte e dosate, possono essere impiegate in sostituzione o come complemento dell'armatura.

9.2 Materiali

Le armature principali prese in esame, in questo documento, sono:

- rete elettrosaldata e barre in acciaio da c.a. B450C;
- fibre a uso strutturale.

Le armature secondarie sono:

- fibre non strutturali;
- barrotti o piastre ripartitori di carico;
- barre di controllo.

9.2.1 La rete elettrosaldata e/o barre d'armatura

Le pavimentazioni possono essere progettate alle prestazioni richieste:

- armate con rete elettrosaldata/barre, quindi le tensioni di trazione indotte da carichi sono contrastate dall'armatura,
- non armate nell'ipotesi di piastre a sezione totalmente reagente.

Nota

Nelle pavimentazioni progettate come piastre a sezione totalmente reagente, la funzione dell'armatura metallica, in forma di rete elettrosaldata, non è quella di aumentarne la portanza flessionale. L'utilizzo dell'armatura metallica, nelle pavimentazioni progettate come piastre non armate ed a sezione completamente reagente, è quello di limitare l'apertura delle fessure che si producono per effetto delle contrazioni di ritiro nelle sezioni di giunto di contrazione e non quello di aumentarne la prestazione flessionale. Impedendo alla fessura di aumentare la propria ampiezza, la rete elettrosaldata assicura che nelle sezioni di giunto si instauri l'effetto ingranamento tra gli aggregati, indispensabile ai fini di un corretto trasferimento dei carichi tra le due porzioni di pavimento contigue al giunto fessurato. Il dimensionamento

dell'armatura metallica per il controllo dell'apertura delle lesioni può essere effettuato in base al calcolo delle sollecitazioni di trazione, che si esplicano per effetto dell'attrito assorbito nelle sezioni di giunto proprio dalla rete elettrosaldata.

9.2.1.1 Posa delle armature (reti, barre)

La posa dell'armatura deve essere effettuata secondo le prescrizioni di progetto. Il ricoprimento dell'armatura all'estradosso deve essere di almeno 4 cm, e comunque superiore alla profondità del taglio dei giunti di contrazione/controllo.

Allo scopo di favorire che le operazioni di getto e posa del calcestruzzo avvengano con più precisione possibile, consentire il calpestio degli operatori senza deformazione del piano di appoggio, favorire il sostegno di tubazioni di calcestruzzo o altre attrezzature utilizzate per la posa senza procurare deformazioni all'armatura presente, il diametro minimo, di armature e reti, si consiglia non essere minore di 8 mm. Inoltre, il tutto dovrà essere appoggiato su opportuni distanziatori.

L'utilizzo di una rete elettrosaldata richiede particolari attenzioni in quanto:

- le sovrapposizioni dei pannelli di rete elettrosaldata o delle singole barre di acciaio dovranno rispettare le prescrizioni progettuali.
- durante le operazioni di getto, la rete superiore potrebbe essere schiacciata sul fondo della pavimentazione, sia pur in presenza di distanziatori.

Si dovrà prestare la cura necessaria per evitare sovrapposizioni che determinino stratificazioni di rete con sormonti di elevato spessore, utilizzando, se è possibile, opportuni fogli di rete bidirezionale o affiancare i singoli pannelli di rete ed effettuare le sovrapposizioni con barre singole del medesimo diametro della rete stessa.

L'esatta posizione dell'armatura nella piastra può essere ottenuta esclusivamente mediante l'utilizzo di adeguati distanziatori che dovranno essere indicati in fase progettuale.

L'eventuale l'armatura suppletiva fuori calcolo, costituita da barrotti o barre di rinforzo per il controllo del ritiro plastico attorno a chiusini e pilastri, devono essere previsti in fase progettuale e non devono impedire il libero scorrimento della pavimentazione.

Se vi fossero elementi fissati al terreno, o ad elementi costruttivi fissi, che impediscono lo scorrimento libero della pavimentazione, per causa dei quali si innescano fessure, queste non potranno essere considerate difetto né responsabilità dell'esecutore della pavimentazione. Di tale problematica saranno esclusivamente responsabili chi si occupa della parte impiantistica e il Direttore Lavori.

9.2.2 Fibre a uso strutturale per calcestruzzi FRC

Le fibre ad uso strutturale per calcestruzzi vengono aggiunte alla miscela di calcestruzzo con l'intento di migliorare e rinforzare le proprietà meccaniche del composito. Queste fibre possono essere di diversi materiali e ciascuna ha caratteristiche e applicazioni specifiche.

Si ricorda che ad uso strutturale possono essere utilizzate solo fibre marcate CE così definite secondo quanto riportato nelle UNI EN 14889-1 e UNI EN 14889-2.

L'uso di fibre nel calcestruzzo, selezionate in base a caratteristiche appropriate di natura e geometria e inserite in volumi adeguati per raggiungere la classe di resistenza a trazione residua specificata nel progetto, e uniformemente distribuite all'interno della matrice cementizia, permette di sostituire o complementare l'impiego di armature tradizionali, come le reti elettrosaldate, nelle pavimentazioni di calcestruzzo.

Peraltro, in fase post-fessurativa del calcestruzzo, l'apporto delle fibre contribuisce a confinare la

larghezza delle fessure nel pavimento a dimensioni ridotte (per esempio, a decimi di millimetro), compatibili sia con i requisiti estetici che con le condizioni operative della pavimentazione.

Al fine di garantire che le fibre svolgano al meglio il ruolo di rinforzo discreto della matrice cementizia è necessario garantire una distribuzione omogenea all'interno della matrice cementizia. L'inserimento delle fibre ad uso strutturale deve essere eseguito in coerenza a quanto riportato dalla normativa vigente sui calcestruzzi FRC.

L'aggiunta all'impasto, inoltre, deve avvenire nel calcestruzzo preferibilmente già a consistenza di progetto avendo l'accortezza di distribuirle per evitare che esse si accumulino solo in alcune porzioni di conglomerato.

Occorre tener presente, inoltre, che l'aggiunta delle fibre nel calcestruzzo, senza una corretta progettazione della miscela di calcestruzzo, può determinare una diminuzione della lavorabilità degli impasti proporzionalmente al loro dosaggio. Pertanto è necessario che venga effettuata la verifica della miscela di calcestruzzo prima dell'esecuzione della pavimentazione, mediante qualifica iniziale sia per il controllo della reologia del materiale e sia per il controllo, secondo la "Linea guida per l'identificazione, la qualificazione, la certificazione di valutazione tecnica ed il controllo di accettazione dei calcestruzzi fibrorinforzati FRC" edita dal Servizio Tecnico Centrale del CSLPP, delle prestazioni richieste progettualmente del calcestruzzo FRC.

Per il dimensionamento di piastre di calcestruzzo FRC fibrorinforzato si dovrà fare riferimento ai metodi di calcolo indicati dalle Norme Tecniche per le costruzioni, dalle "Linee guida per la progettazione, messa in opera, controllo e collaudo di elementi strutturali in calcestruzzo fibrorinforzato con fibre di acciaio o polimeriche" edita dal Servizio Tecnico Centrale del CSLPP e dalle "Istruzioni per la progettazione, l'esecuzione ed il controllo delle pavimentazioni di calcestruzzo - CNR-DT 211".

9.2.2.1 Fibre

Le fibre risultano caratterizzate, oltre che dal tipo di materiale, da parametri geometrici quali la lunghezza, il diametro equivalente, il rapporto d'aspetto e la forma (fibre lisce, uncinato, ecc.).

I principali parametri geometrici della fibra sono riportati nel seguito:

- la lunghezza della fibra (l_f) è la distanza tra le estremità della fibra e deve essere misurata in accordo con le norme di riferimento specifiche;
- la lunghezza in sviluppo della fibra (l_d) è la lunghezza della linea d'asse della fibra;
- il diametro equivalente (d_e) è il diametro di un cerchio con area uguale all'area media della sezione trasversale della fibra;
- il rapporto d'aspetto è definito come quoziente tra la lunghezza e il diametro equivalente della fibra.

Le fibre utilizzate dovrebbero possedere una resistenza a trazione sufficiente ad evitare che la rottura del calcestruzzo fibrorinforzato avvenga per collasso della fibra, prima che la stessa si sfilii dalla matrice.

A tale scopo è opportuno impiegare fibre di geometria adeguata capace di aumentare la tensione cui avviene lo sfilamento. Le fibre utilizzate per le pavimentazioni dovrebbero essere caratterizzate da valori elevati del rapporto d'aspetto (rapporto lunghezza/diametro della fibra). Infatti, fibre lunghe e di piccolo diametro sono più efficaci, a parità delle altre condizioni, rispetto a fibre corte e spesse.

Le fibre devono garantire nel tempo le prestazioni richieste al calcestruzzo fibrorinforzato.

9.2.2.2 Comportamento a compressione del calcestruzzo fibrorinforzato

La presenza di fibre non modifica in modo significativo la resistenza a compressione del calcestruzzo.

9.2.2.3 Quantità e tipologia

La tipologia, la geometria e il dosaggio delle fibre strutturali devono essere determinati in funzione della classe di resistenza a trazione residua stabilita progettualmente. La verifica della conformità di tali parametri e la qualificazione del composto calcestruzzo-fibre, all'interno dei calcestruzzi fibrorinforzati (FRC), devono essere effettuate in conformità con le linee guida stabilite dal Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici.

Pertanto, è imperativo che ogni componente e caratteristica del composito sia accuratamente analizzata e validata per assicurare l'integrità strutturale e la conformità alle normative vigenti del calcestruzzo FRC.

Non va confuso un calcestruzzo FRC fibrorinforzato ad uso strutturale, il quale deve avere determinate prestazioni, con un calcestruzzo con fibre aggiunte per fini non prestazionali, le quali hanno solo la funzione di soddisfare qualche richiesta specifica, come, per esempio, "armatura di pelle" estradossale della pavimentazione, superficie più sensibile a fenomeni di fessurazione da ritiro plastico del calcestruzzo.

9.3 Armatura suppletiva

Con tale termine si intendono fibre non strutturali o a uso non strutturale, barrotti, piastre ripartitori e le barre di controllo.

9.3.1 Fibre non strutturali

Sono fibre che non intervengono per soddisfare esigenze strutturali.

La lunghezza e il tipo di fibra devono essere idonei allo scopo per cui vengono impiegate. Il dosaggio è quello consigliato dal produttore. Il produttore delle fibre dovrà presentare nella scheda tecnica, le caratteristiche delle fibre e, comunque, sarebbe opportuno effettuare sempre prove di qualifica preliminare, prima del loro utilizzo.

L'aggiunta delle fibre nel calcestruzzo può avvenire indifferentemente in cantiere o all'impianto di betonaggio, adottando le metodologie indicate dal produttore per la corretta mescolazione nell'impasto; è sempre consigliato di aggiungere le fibre solo in impianto, poiché, anche per queste fibre, il calcestruzzo va progettato.

L'introduzione di tali fibre in un calcestruzzo standard, senza progettazione specifica, comporterebbe una riduzione della lavorabilità degli impasti proporzionalmente al loro dosaggio. Per compensare la perdita di fluidità conseguente all'aggiunta delle fibre occorrerà pertanto progettare il calcestruzzo, considerando anche la quantità di additivo necessaria.

9.4 Barrotti, piastre, ripartitori e giunti di costruzione prefabbricati

Sono elementi costruttivi da inserire nel giunto di costruzione, tra la metà e il terzo-medio inferiore dello spessore del calcestruzzo, al fine di trasferire i carichi tra una piastra e la successiva, riducendo così le conseguenze negative sui bordi dei giunti a seguito dei movimenti verticali innescati dal transito di carichi dinamici (vedere Figura 10).

Tali elementi non eliminano l'imbarco delle lastre.

Tali elementi devono essere dimensionati secondo calcolo, come indicato dalla "Istruzioni CNR-DT 211" e TR 34, sulla base dei carichi previsti sulla pavimentazione.

Il posizionamento di tali elementi costruttivi deve essere molto accurato nell'allineamento e nell'orizzontalità al fine di evitare fessurazioni.

9.4.1 Barre di controllo

Sono barre d'acciaio di dimensioni stabilite dal progettista posizionate in prossimità dei vertici degli elementi direttamente a contatto con la pavimentazione; in tale posizione si concentrano infatti gli sforzi di interazione tra pavimento ed elemento a contatto.

Le tensioni di trazione che si generano in questi punti singolari vanno analizzate e considerate in fase di progetto al fine di mitigare, ma non eliminare, viste le caratteristiche intrinseche del calcestruzzo, il più possibile la nascita di fessurazioni.

10. Strato di usura o strato di finitura

Va sempre considerato che il fenomeno fisiologico del bleeding, o acqua di risalita, che si presenta dopo la posa e la compattazione del calcestruzzo, incrementa il rapporto a/c estradossale. Questo comporta una penalizzazione della prestazione meccanica dello strato superficiale. Tale prestazione a regime sarà, quindi, fortemente dipendente dalla porosità capillare dello strato superficiale, in relazione a tutte le attività che ne avranno promosso la riduzione e la ottimizzazione durante la fase realizzativa, ivi comprese le attività di stagionatura. Si tenga presente che la resistenza delle finiture, sia all'usura per abrasione che alla durabilità alle aggressioni ambientali, è fortemente influenzata anche dalla superficie specifica della pavimentazione realizzata. Questa caratteristica geometrica favorisce la resistenza all'abrasione delle finiture lisce in relazione alla ridotta superficie esposta alla sollecitazione meccanica oppure penalizza le finiture ruvide esterne, caratterizzate da una maggiore superficie specifica, predisponendole maggiormente all'assorbimento di liquidi aggressivi.

Lo strato di usura (o di finitura) ha lo scopo di migliorare le prestazioni chimico-fisico-meccaniche o estetiche della superficie della pavimentazione.

Ovviamente, anche lo strato di usura va scelto e progettato in conformità alle prestazioni che si desiderano ottenere durante il servizio della pavimentazione stessa e sarà sempre oggetto di continuo e costante monitoraggio e relativa manutenzione da parte del Committente.

Lo strato di finitura ha sempre limitata durata rispetto alla vita nominale della piastra. Inoltre, non necessariamente lo strato d'usura è antipolvere ed antiolio, proprio perché realizzato con base cementizia. Nel caso necessiti ottemperare a tale richiesta, si dovrà effettuare un trattamento supplementivo tipo resine od altri trattamenti idonei al caso.

La resistenza all'usura di una pavimentazione dipende anche dalla tecnica applicativa.

Lo strato d'usura è generalmente realizzato con i seguenti metodi applicativi:

- a spolvero,
- a pastina,
- a riporto,
- in forma liquida.

Le pavimentazioni di calcestruzzo possono essere classificate, in funzione della richiesta prestazionale in termini di resistenza all'abrasione dello strato di usura, secondo lo schema riportato nelle "Istruzioni per la progettazione, l'esecuzione ed il controllo delle pavimentazioni di calcestruzzo e consente l'individuazione dello strato di usura più opportuno in funzione delle condizioni d'impiego. Inoltre, nella stessa tabella, sono descritte le tipologie di carico più frequenti per la pavimentazione in base alla sua classificazione. La resistenza all'abrasione viene misurata attraverso la prova descritta dalla norma UNI EN 13892-4, non applicabile su superfici ruvide e inclinate, che prevede quattro classi di resistenza all'abrasione.

La resistenza all'abrasione è un requisito importante della pavimentazione e il Progettista dovrà specificare la classe prescelta. L'abrasione è un fenomeno molto complesso in quanto dipende da numerosi fattori, quali il tipo di ruote, il trascinarsi di oggetti, urti e cadute, la presenza di impurità sulla pavimentazione, la presenza di prodotti di lavorazioni particolari, la frequenza d'uso.

È importante ricordare che quantitativi di spolvero prescritti al metro quadro, non definiscono la prestazione di resistenza all'abrasione, ma che la resistenza all'abrasione dipende anche dalle caratteristiche meccaniche del calcestruzzo utilizzato, dalle caratteristiche dello strato di usura, dalle condizioni

di lavoro e di stagionatura della pavimentazione e dalla presenza di eventuali trattamenti superficiali consolidanti applicati successivamente od altre lavorazioni successive, tipo levigature.

10.1 Applicazione dello strato di usura

I due metodi più comuni di realizzazione dello strato di usura con materiale riportato, effettuati nel momento della realizzazione della pavimentazione e con tecnica "fresco su fresco" sono il metodo a spolvero e quello a pastina.

I premiscelati pronti all'uso in commercio, utilizzabili per lo strato di usura riportato, applicati col metodo a spolvero o a pastina, sono inoltre classificabili in base al comportamento fisico-chimico del tipo di indurente e devono essere conformi alla UNI EN 13813.

Le operazioni di applicazione e lavorazione dello strato di usura riportato devono essere eseguite su calcestruzzo fresco, prima che sia completato il fenomeno della presa. È opportuno utilizzare esclusivamente prodotti premiscelati dove sia accertata la provenienza, la classificazione, le caratteristiche prestazionali, la marcatura CE.

10.1.1 Metodo a spolvero

Sul calcestruzzo fresco, posato in opera a quota piano finito, viene applicato a "semina" un determinato quantitativo di miscela anidra d'aggregati e cemento. La miscela adatta all'applicazione "a spolvero" è, generalmente, composta da aggregati fini con cemento e/o una miscela di leganti.

Tale semina viene effettuata manualmente o, se si desiderasse una uniformità superiore, può avvenire con metodo meccanizzato.

Gli aggregati possono essere naturali o industriali; devono possedere una massa volumica non inferiore a 2.700 kg/m^3 purché privi di silice amorfa e/o dolomie, caratterizzati da bassissimo assorbimento di acqua e con una durezza Mohs superiore a 7. Il cemento impiegato nella malta indurente dovrebbe possedere bassi valori di assorbimento d'acqua. Per questo motivo si sconsiglia l'uso di cementi di Tipo II/B.

Il prodotto deve essere applicato anidro con spolveratura su calcestruzzo fresco con lo scopo principale di migliorare la resistenza della parte corticale della pavimentazione, poiché abbassa il rapporto acqua/cemento di questa zona che è penalizzata dalla presenza dell'acqua di essudazione. Per questo motivo va applicato fino a rifiuto in almeno due fasi alternate da lavorazione meccanica, in modeste quantità (dell'ordine delle centinaia di grammi al metro quadrato), tali da permettere il totale assorbimento in relazione alle caratteristiche del calcestruzzo (tipo di cemento) e alle condizioni termo-igrometriche e del vento al momento delle lavorazioni. Per calcestruzzi di qualità elevata non va prescritto (C35/45 e oltre), poiché l'utilizzo può risultare un danno e non un beneficio. In questi casi, infatti, l'assenza di acqua libera in superficie conseguente un basso rapporto a/c costringe l'applicazione forzata di spolvero con acqua aggiunta.

Inoltre, sarebbe corretto utilizzare spolveri confezionati con lo stesso cemento del calcestruzzo e se non fosse possibile fare delle verifiche preliminari di compatibilità tra lo spolvero e il calcestruzzo. Mediante una scelta oculata dei leganti e l'impiego di polveri reattive di natura pozzolanica è possibile mitigare gli effetti della reazione alcali/aggregato laddove previsto l'impiego in calcestruzzo di aggregati potenzialmente reattivi. La scelta del materiale indurente e del quantitativo da applicare, sempre di qualche centinaio di grammi al metro quadro, è a discrezione dell'esecutore della pavimentazione al fine di raggiungere le prestazioni superficiali desiderate; se non fosse possibile raggiungere le prestazioni richieste utilizzando un limitato quantitativo di spolvero, va cambiata la tecnologia di realizzazione dello strato di usura o vanno utilizzati dei consolidanti superficiali di natura liquida.

Tale metodo non è mai applicabile quando si utilizzano calcestruzzi areati (XF3 e XF4) per cui si consiglia di prestare la massima attenzione alla prescrizione per pavimentazioni esterne, che possibilmente va sempre evitato, al fine da non incorrere in problematiche in funzione dell'uso di calcestruzzi più performanti per assolvere alle prestazioni richieste per la durabilità.

Il metodo a spolvero deve essere oggetto di progettazione da parte di tecnici specialistici della materia.

Nota

In relazione agli sviluppi della sicurezza e salute sui luoghi di lavoro è consigliabile limitare l'uso di sabbie silicee nelle malte applicate a secco mediante spolvero a causa della inevitabile esposizione degli operatori al rischio di silicosi.

10.1.2 Metodo a pastina

Il termine "pastina" rappresenta una miscela fluida (impasto d'aggregati di opportuna prestazione, cemento e acqua, a cui si possono aggiungere fibre sintetiche ed additivi) che sarà applicata "fresco su fresco" sulla piastra di calcestruzzo sottostante; non è solo un prodotto confezionato, ma è un sistema che coinvolge anche il calcestruzzo.

Le malte indurenti sono composte da legante cementizio, che dovrebbe possedere un ridotto assorbimento di acqua (si sconsigliano i CEM II/B), e da aggregato indurente. Tali malte sono applicate già premescolate con acqua e additivo. Lo scopo del legante è:

- conferire prestazione meccaniche alla malta;
- promuovere la produzione di idrati idro-reattivi utili per la durabilità della pavimentazione;
- ridurre/ottimizzare il rapporto a/c della coltre superficiale interessata dall'applicazione;
- ridurre le problematiche connesse alla presenza di aggregati potenzialmente reattivi nel calcestruzzo.

Scopo dell'aggregato fine è:

- conferire robustezza alla malta superficiale e aumentare la resistenza all'abrasione;
- ridurre gli effetti della microfessurazione da ritiro plastico (crazing);
- fornire un volume aggiuntivo di frazioni fini, ma non finissime, utili per le fasi di finitura.

Normalmente il calcestruzzo è prodotto con sabbie naturali silicee, dolomitiche e/o raramente quarzifere. Mediante l'uso in percentuale di alcune sabbie industriali di elevatissima prestazione, è possibile confezionare calcestruzzi contenenti un volume di sabbia caratterizzato da prestazioni eccellenti. Per questo motivo gli aggregati contenuti nella malta indurente risulta inutile e dannosa qualora posseggano prestazioni inferiori alle sabbie che già compongono il calcestruzzo.

Quindi, anche per il metodo a pastina, gli aggregati contenuti nelle malte indurenti devono possedere le seguenti caratteristiche minime: aggregati naturali o artificiali, con massa volumica superiore a 2700 kg/m³, privi di silice amorfa e/o dolomie, bassissimo assorbimento di acqua e durezza Mohs superiore a 7.

In merito allo strato di usura: lo spessore lo si ottiene posizionando appositi regoli che ne consentono una uniforme distribuzione su tutta la superficie in una unica fase; le condizioni di lavorazione non modificano le caratteristiche del calcestruzzo che non subisce alterazioni durante la posa in opera; la miscela è composta da inerti di opportuna granulometria e da una quantità di cemento di circa la metà rispetto all'inerte, con un dosaggio di acqua specificamente definito e calcolato. Durante l'applicazione la miscela non è modificabile e la sezione dello strato di usura avrà una composizione molto chiusa. Inoltre, l'impiego delle macchine frattazzatrici si limita a due fasi: la frattazzatura iniziale del calcestruzzo e la fase di finitura sulla pastina stessa. Non è mai necessaria aggiunta di acqua. La temperatura di posa in opera deve essere tra + 10 a + 25 gradi. Lo strato di usura a pastina può avere uno spessore di alcuni millimetri, "pastina rasata", o spessori che vanno da 10 mm a 50 mm, comunque a discrezione delle

indicazioni prestazionali richiesti dal progettista ed in funzione della natura dei materiali utilizzati. Esistono le varianti con aggregati lapidei e/o con aggregati metallici e/o artificiali a seconda delle prestazioni che si vogliono ottenere.

Il metodo a pastina, oltre alle eccellenti prestazioni relative all'usura ha il vantaggio, visto il notevole spessore con il quale viene posato, che, in caso di lavorazioni postume per portare la pavimentazione all'interno delle "tolleranze di servizio", permette di mantenere costanti le prestazioni superficiali, poiché, anche levigando alcuni millimetri, il materiale rimane lo stesso e con le stesse caratteristiche di resistenza.

Inoltre, per la classificazione di tale metodo di strato di usura a malta si può fare riferimento alla sezione "Massetti cementizi antiusura floorings" dalla norma "UNI EN 13318:2022 - Definizioni" e "UNI EN 13813:2004 - Proprietà e requisiti" e alla norma DIN 18560-2:2009 essendo, il metodo a pastina, un massetto vero e proprio applicato a fresco sulla piastra di calcestruzzo.

Tale metodo non è applicabile quando si utilizzano calcestruzzi areati (XF3 e XF4).

Il metodo a pastina deve essere oggetto di progettazione da parte di tecnici specialistici della materia.

10.1.3 Metodo senza indurente superficiale riportato

È possibile realizzare lo strato di usura della pavimentazione senza la necessità di applicare un prodotto cementizio superficiale a riporto/spessore. Questo, a patto che si utilizzino calcestruzzi con prestazioni adeguate e che si implementi un adeguato sistema di densificazione capillare ad elevata azione indurente.

Dopo l'indurimento, in determinate circostanze, si può procedere a una levigatura superficiale utilizzando utensili diamantati. Questa operazione permetterà di ottenere una superficie finale levigata, planare e compatta, lasciando a vista la grana della miscela di calcestruzzo.

Per migliorare ulteriormente le caratteristiche superficiali della pavimentazione, si suggerisce l'applicazione di un prodotto impregnante con elevata azione indurente, per conferire maggiore resistenza meccanica alla superficie.

Il metodo proposto, che non prevede l'utilizzo di indurenti superficiali, deve essere accuratamente progettato da tecnici specializzati nel settore.

10.1.4 Metodi di realizzazione dello strato di usura con materiale riportato - materiali resinosi e poliuretano-cemento

Per tali metodologie di protezione, il CONPAVIPER, ha pubblicato una linea guida specifica: "*Linee guida per la prescrizione, posa, controlli, verifica finale e manutenzione dei rivestimenti resinosi continui*", dove sono trattati in modo esaustivo tali tipi di rivestimento.

10.1.5 Consolidamento capillare della superficie

Le porosità superficiali, siano esse in forma di capillarità comunicanti o di microbolle stabilizzate e spaziate, sono caratterizzate dalla presenza di idrossido di calcio ed aria. I sistemi di consolidamento capillare, di seguito elencati, possono agire in modo chimico, fisico o combinato riducendo il volume dei vuoti favorendo l'incremento della prestazione meccanica dello strato di usura.

Si tenga presente che l'applicazione di silicati favorisce la riduzione della permeabilità, ma non rende la superficie impermeabile. L'azione delle resine è, invece, maggiormente impermeabilizzante, soprattutto per applicazioni a spessore. Per tali applicazioni o cicli si faccia riferimento alla "Linea Guida per la prescrizione, posa, controlli, verifica finale e manutenzione dei sistemi resinosi continui" edita dal CONPAVIPER.

Questi tipi di trattamento superficiali, eventualmente anche combinati, possono essere presi in considerazione, in fase progettuale, in relazione all'esposizione ambientale delle superfici trattate e alla presenza di vapore di risalita.

10.1.5.1 Silicati

Mediante l'applicazione di soluzioni acquose di silicati si trasforma l'idrossido di calcio, presente nel calcestruzzo, in prodotti idrati non più solubili che favoriscono l'intasamento delle capillarità e dei vuoti con una efficacia proporzionale alla concentrazione della soluzione e dalla successiva presenza di acqua, sulla superficie trattata, nel corso del normale uso dell'opera. L'attività assorbente del calcestruzzo favorisce l'ingresso delle soluzioni silicatiche in maniera proporzionale alla bassa viscosità del composto, alla temperatura del supporto e dal suo grado di maturazione. In relazione a questo ultimo aspetto si ricorda che, immediatamente dopo la posa della pavimentazione, l'acqua contenuta nel calcestruzzo tende ad evaporare cioè ad uscire dal conglomerato opponendosi, quindi, ad una eventuale impregnazione. Per questo motivo l'applicazione di una soluzione silicatica va applicata solo dopo una congrua e prolungata stagionatura del calcestruzzo, altrimenti verranno vanificati tutti i benefici consolidanti del prodotto. Nel caso in cui è previsto un rivestimento resinoso continuo, sulla superficie della pavimentazione, si consiglia di non applicare consolidanti silicatici.

10.1.5.2 Resine impregnanti catalizzate

L'applicazione, possibile solo a maturazione avvenuta, di resine veicolate da soluzioni a bassa viscosità favorisce l'impregnazione e l'occlusione fisica dei vuoti anche capillari mediante un sistema indurente non più reversibile. L'aumento conseguente delle prestazioni meccaniche della crosta così impregnata non è ottenibile con applicazione di resine applicate come curing compound in quanto pellicolari e non impregnanti.

10.1.5.3 Silani, Silossani e Cere industriali

Rappresentano una possibilità di ridurre le capillarità ed il grado di assorbimento compatibile anche con una inalterata permeabilità al vapore di risalita. La loro azione di "turapori" non è seguita da una apprezzabile resistenza meccanica e, pertanto, si ritengono utili per favorire le operazioni di pulizia e, in alcuni casi opportunamente certificati, come valido presidio di riduzione all'ingresso di cloruri veicolati o provenienti dalla salsedine marina.

Questi trattamenti hanno una durata limitata al raggiungimento del collasso del materiale stesso e vanno ripetuti nel tempo. Alcune formulazioni prevedono la loro comoda combinazione con una percentuale di silicato di litio. L'attività pellicolare di queste ultime formulazioni le rende applicabili anche come dispositivo antievaporante purchè tale efficacia sia confermata nella scheda tecnica del composto. (vedi Cap. 12)

10.2 Requisiti prestazionali

I principali requisiti prestazionali richiesti allo strato di finitura sono riportati nel seguito, potranno essere soddisfatti solamente con la scelta appropriata del prodotto da applicare e potrebbero essere necessari ricoprimenti in spessore, oltre alla normale finitura con frattazzatrice meccanica del calcestruzzo superficiale:

- Resistenza all'usura
- Resistenza all'abrasione
- Resistenza all'urto
- Resistenza chimica
- Pulibilità
- Scivolosità

- Funzione estetica
- Antistaticità
- Protezione dalle azioni ambientali

10.2.1 Resistenza all'abrasione e all'usura

I premiscelati pronti all'uso in commercio, utilizzabili per lo strato di finitura applicati con il metodo a spolvero o a pastina, o con il riporto successivo, sono classificabili in base al tipo di indurente che ne caratterizza il comportamento fisico-chimico secondo specifiche normative di prodotto:

- indurenti minerali, ricavati da macinazione di rocce dure (silice, quarzo, basalto, corindone, porfido) o da loppe d'altoforno o aggregati artificiali provenienti dalla produzione dell'acciaio;
- indurenti metallici, ricavati da pezzi di materiale ferroso;
- indurenti metallurgici, ricavati da pezzi di carburo di silicio o corindone sintetico.

In alternativa all'impiego di premiscelati, possono essere utilizzate altre tecnologie per migliorare la resistenza all'abrasione e all'usura della pavimentazione.

Tra queste si segnala l'impregnazione della parte superficiale del calcestruzzo tal quale, eventualmente dopo opportuna levigatura, mediante l'impiego di prodotti fluidi a effetto consolidante. Tali prodotti sono composti generalmente da soluzioni acquose di sali inorganici (es. silicati, in forma pura o modificati) che vengono fatte penetrare nelle porosità superficiali della pavimentazione e, ad avvenuta reazione di indurimento, aumentano le caratteristiche fisico-meccaniche della parte impregnata.

Il naturale distacco superficiale di qualche aggregato (2/3 al metro quadrato) di piccolo diametro (circa 5/6 mm), dovuto alle operazioni di frattazzatura, è un fenomeno naturale che può avvenire e non è mai da considerarsi difetto o mancanza di resistenza della parte superficiale. Eventualmente, nel caso si dovesse presentare tale fenomeno, si procederà con la stuccatura mediante materiali di idonea prestazione.

10.2.2 Resistenza all'urto

La resistenza all'urto può essere solo parzialmente modificata dallo strato di finitura in quanto dipende soprattutto dalle caratteristiche del calcestruzzo utilizzato.

L'impiego di un elevato ricoprimento in spessore (maggiore di 10 mm) migliora proporzionalmente la resistenza all'urto della superficie della pavimentazione stessa.

Una migliore resistenza può essere ottenuta utilizzando prodotti caratterizzati da un'alta duttilità quali, ad esempio, prodotti con inerti a base di acciaio e ghisa, malte ad alta resistenza a flessione-trazione, tipo a base di prodotti resinosi, oppure incorporando nell'indurente delle fibre di rinforzo.

10.2.3 Resistenza chimica

Durante la fase di progettazione, è essenziale selezionare il rivestimento più idoneo al fine di tutelare la pavimentazione da potenziali danni chimici che potrebbero insorgere nel corso del suo utilizzo.

A questo fine, è indispensabile prevedere anticipatamente le tipologie di materiali con cui la pavimentazione potrebbe venire a contatto. Alla luce di tale valutazione, sarà necessario operare scelte mirate in termini di prodotti e tecnologie, al fine di evitare reazioni avverse o intrusioni non volute.

Il progetto dovrà poi specificare la compatibilità della pavimentazione sia con determinati materiali che con i prodotti utilizzati per la pulizia.

10.2.4 Scivolosità

La scivolosità di una pavimentazione dipende dalla sua conformazione fisica superficiale, ma anche

dalle condizioni di utilizzo. La presenza di acqua o prodotti di altra natura sulla superficie, ad esempio, modifica le condizioni della pavimentazione, diminuendo l'effetto antisdrucchiolo dello strato finale.

Le pavimentazioni di calcestruzzo con strato di finitura realizzato mediante prodotti premiscelati a base di cemento presentano generalmente un adeguato effetto antisdrucchiolo.

I prodotti applicati per impregnazione, e ancor più i rivestimenti resinosi, diminuiscono fortemente l'effetto antisdrucchiolo, se non vengono prescritti ed applicati specifici prodotti superficiali.

La misurazione della sdrucchiolatezza superficiale ed i parametri di adeguatezza per gli ambienti lavorativi sono indicati nella UNI EN 13036-4 che indica come metodo di misurazione e valori la PTV (prova del pendolo).

10.2.5 Funzione estetica

Una pavimentazione di calcestruzzo tradizionale, senza un ulteriore specifico trattamento superficiale non soddisferà mai nessun requisito estetico, per natura dei materiali che la compongono, per le particolari lavorazioni e per le metodologie di maturazione.

I prodotti premiscelati a base di cemento possono assumere differenti colorazioni localizzate che dipendono proprio dalla stessa disomogeneità del calcestruzzo sottostante. Le fasi di lavorazione avvengono generalmente "sul calcestruzzo fresco" e sono quindi influenzate dalle caratteristiche del supporto in calcestruzzo e dalle condizioni ambientali.

Un migliore effetto estetico può essere ottenuto mediante l'utilizzo di prodotti ad elevato spessore, che vanno prescritti, progettati e non sono oggetto delle presenti istruzioni. È possibile garantire una funzione estetica della pavimentazione solo applicando, successivamente, una finitura cementizia o a base di resina, entrambe le soluzioni in spessore.

Nell'utilizzo del calcestruzzo fibrorinforzato, conforme alle disposizioni del paragrafo 13.8, la manifestazione di fibre in superficie non deve essere interpretata come un difetto estetico. Inoltre, nel caso in cui siano impiegate fibre metalliche, l'eventuale apparizione di macchie riconducibili a fenomeni di ossidazione non deve essere categorizzata come un'imperfezione o un difetto del materiale o della pavimentazione.

In una pavimentazione di calcestruzzo, la funzione estetica non può essere mai considerata di primaria importanza per il suo utilizzo ed è sempre secondaria rispetto alle prestazioni richieste per la pavimentazione stessa.

Inoltre, non si potrà mai rinunciare a un metodo di maturazione, seppur potrebbe produrre inestetismi, poiché la maturazione è sempre di primaria importanza rispetto alla funzione estetica. Come precedentemente riportato, qualora la funzione estetica risultasse irrinunciabile, in fase di progetto è possibile prescrivere una finitura a spessore, applicato alla fine delle tempistiche di maturazione del calcestruzzo, al fine di omogenizzare l'aspetto estetico dell'opera.

10.2.6 Antistaticità

I prodotti di finitura a base di cemento possono essere considerati antistatici, non permettono pertanto l'accumulo di cariche elettrostatiche pericolose.

Diverso comportamento possiedono invece i prodotti di finitura a base resinosa in quanto le resine utilizzate sono generalmente caratterizzate da buone capacità isolanti o addirittura dielettriche.

In quest'ultimo caso l'effetto antistatico dipenderà dal tipo di prodotto utilizzato, dallo spessore applicato, dalla sua formulazione, dalle condizioni ambientali.

Una pavimentazione antistatica deve essere espressamente prevista dal Progettista e da lui progettata.

10.2.7 Protezione dalle azioni ambientali

La resistenza della superficie della pavimentazione ad eventuali aggressioni ambientali non può prescindere da una corretta progettazione ed esecuzione dello smaltimento dei liquidi che potrebbero stazionare sulla sua superficie.

Le azioni aggressive sono direttamente dipendenti, oltre che dalla natura della sostanza, anche dal tempo di contatto con la superficie della pavimentazione, pertanto si dovranno progettare correttamente le pendenze della stessa per l'adeguato deflusso dei liquidi nei punti di raccolta.

La protezione nei confronti del fenomeno del gelo, coinvolgendo anche gli strati sottostanti del calcestruzzo, dovrà essere oggetto di specifica progettazione sia in termini di miscela del calcestruzzo che di progettazione delle pendenze delle superfici verso i punti di raccolta idraulica.

Non è possibile parlare di durabilità delle pavimentazioni di calcestruzzo, se il Progettista non prevedesse interventi di protezione delle superfici, di tipo filmogene, nei casi più blandi di aggressione ambientale, o in spessore per i casi più aggressivi. Tali interventi saranno sempre postumi alla realizzazione della pavimentazione stessa e saranno sempre oggetto di costante monitoraggio e manutenzione.

10.2.8 Indice di riflessione solare (SRI)

Potrebbe essere richiesto per particolari esigenze progettuali e di servizio della superficie della pavimentazione realizzata in esterno, la valutazione dell'indice di riflessione solare. A tal fine, si consiglia di rivolgersi a Laboratori che effettuano tali misure in conformità alle normative nazionali e internazionali.

11. Giunti

La pavimentazione è una piastra di calcestruzzo che deve essere libera di manifestare le proprie dilatazioni senza interagire con gli elementi verticali presenti nell'edificio. Il corretto funzionamento delle pavimentazioni richiede quindi la presenza dei giunti descritti nel seguito.

Le variazioni di temperatura e il ritiro del calcestruzzo innescano tensioni e deformazioni nella pavimentazione legate alle dimensioni della piastra. Per assorbire tali tensioni, riducendo antiestetiche fessurazioni superficiali, si devono realizzare nella pavimentazione alcune soluzioni di continuità, così da ridurre le dimensioni delle piastre.

La disposizione dei giunti, in generale, è determinata dal tipo di supporto della pavimentazione, dalla conformazione delle superfici, dal layout eventuale, dalla presenza di interruzioni ed irregolarità (pozzi, griglie, basamenti), dallo spessore della piastra, dal ritiro del calcestruzzo e dalla sua armatura; essa viene stabilita solo dal Progettista.

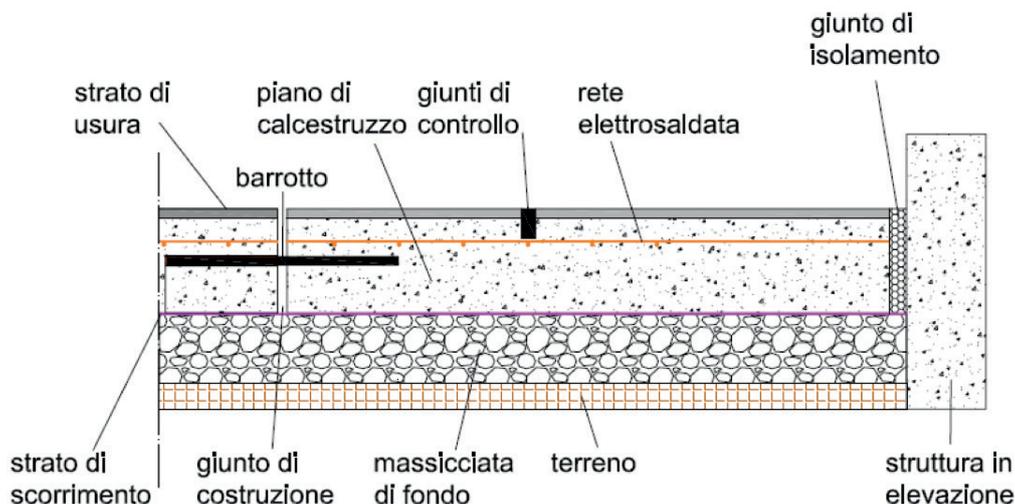
Non sono ammesse soluzioni sommarie e/o empiriche in cantiere che portano solo alla nascita di problematiche o spiacevoli contenziosi. Quindi, prima dell'inizio dell'esecuzione della pavimentazione, accertarsi della presenza di tutte le prescrizioni relative a tutte le tipologie di giunti e verificare anche la presenza degli elaborati esecutivi dove vengono indicate le disposizioni di tutte le tipologie di giunti. Eventualmente, qualora ci siano delle mancanze e/o incongruenze progettuali, il Direttore Lavori sarà l'unica figura deputata a fare integrazioni e/o aggiunte nell'ambito dei giunti e/o altre prescrizioni.

Quindi, l'esecuzione dei giunti ed il loro dimensionamento devono essere sempre prescritti ed indicati dal progettista.

Esistono varie tipologie di giunti, ognuna con caratteristiche proprie e in grado di assolvere alle prestazioni richieste; nello specifico si hanno le seguenti tipologie di giunti:

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

Fig. 10 - Esempi di giunti in una sezione di un pavimento



11.1 Giunti di isolamento delle strutture

Gli spiccati in elevazione vengono normalmente separati, con materiale comprimibile ed impermeabile, al fine di rendere il pavimento, dal punto di vista delle deformazioni, indipendente dalle strutture ad esso adiacenti, in modo da assecondare gli inevitabili movimenti differenziali di natura termo-igrometrica.

L'area interessata dal riempimento tra pilastro e pilastro è la meno costipata per cui soggetta a cedimenti.

Le staffe inserite nel pannello di tamponamento, per collegare il prefabbricato alla pavimentazione, o le armature di ripresa da elementi di fondazione della struttura prefabbricata, oltre ad essere errori costruttivi e di progettazione, favoriscono sollecitazioni a trazione nella pavimentazione, per ritiro impedito, con successivo innesco di stato fessurativo.

11.2 Giunti di costruzione

Si realizzano, di fatto, con l'accostamento di due piastre gettate in tempi diversi. Se non previsto in fase progettuale in modo diverso, l'accostamento dei getti deve essere rettilineo e a tutta sezione verticale.

L'interruzione del getto di calcestruzzo comporta che le sollecitazioni in tali zone assumano valori particolarmente elevati. Per questi giunti, rappresentando quindi la parte della pavimentazione più soggetta a prematuri deterioramenti, si consiglia di prevedere un opportuno rinforzo della parte superficiale in fase di posa, ad esempio predisponendo dei profili metallici oppure, a stagionatura avvenuta, con la formazione di travetti di resina o con particolari riempimenti. Questo vale in particolare per i bordi dei giunti esposti al passaggio delle ruote dure di carrelli e transpallet.

I giunti di costruzione devono coincidere con quelli di dilatazione, nei limiti in cui l'ampiezza di quest'ultimi consenta l'applicazione di un sistema di trasferimento del carico efficace, in caso contrario assumerà la connotazione di una netta separazione tra due piastre indipendenti su cui verrà predisposto un sistema di giunzione (giunto di dilatazione) per la continuità della pavimentazione. Non è detto che tutti quelli di dilatazione siano giunti di costruzione (anche un giunto di isolamento può, ad esempio, svolgere questa funzione).

La distanza tra i giunti di costruzione dipende dalla geometria della pavimentazione, dalla superficie giornaliera realizzata, dal ritiro igrometrico del calcestruzzo, dall'attrito con il supporto e dalle condizioni ambientali.

Per la determinazione della dimensione del lato dei giunti di costruzione si rimanda a quanto riportato nella CNR-DT 211 e UNI 11146.

Al fine di limitare gli spostamenti verticali differenziali tra campi di pavimentazione diversi separati da giunti di costruzione, è necessario impiegare sistemi di trasferimento del taglio. Sono sempre da preferire e quindi utilizzare sistemi di giunzione bidirezionali, evitando l'utilizzo dei monodirezionali. Tali collegamenti a taglio devono però consentire il libero scorrimento tra i diversi campi della piastra in più direzioni.

Inoltre, quando il carico è applicato in prossimità del giunto, non più del 50% del carico stesso è trasferito al sistema di collegamento. Pertanto, il giunto deve essere dimensionato per almeno metà del carico agente sulla piastra.

I bordi dei giunti bidirezionali devono essere protetti con profili in acciaio di spessore adeguato per garantire sufficiente rigidità e resistenza alla flessione causata dall'impatto delle ruote quando il giunto è aperto. L'utilizzo di profili in acciaio di spessore non idoneo può causare la rottura del calcestruzzo posto dietro le piastre.

Si raccomanda l'uso di profili di spessore opportuno (consigliato minimo 10 mm) e che gli stessi profili abbiano processi di fabbricazione idonei (consigliati i trafilati a freddo).

I giunti di costruzione per pavimentazioni in calcestruzzo vengono generalmente realizzati mediante sistemi prefabbricati realizzati generalmente in acciaio dolce, acciaio inossidabile o acciaio zincato che realizzano contestualmente sia la cassaforma a perdere a tutt'altezza per il contenimento del getto di calcestruzzo, sia il sistema di trasferimento dei carichi che garantisce la congruenza elastica lungo la linea del giunto tra le due lastre contigue, consentendo il libero movimento dovuto agli effetti dei fenomeni di ritiro e di fluage.

I sistemi attualmente disponibili per trasferire i carichi attraverso un giunto di costruzione sono essenzialmente due, di tipo discontinuo o continuo.

Il trasferimento dei carichi discontinuo avviene mediante piastre di varie forme (rettangolari, circolari o triangolari) o barrotti saldati a passo costante sulla parte verticale di separazione del giunto di costruzione che funge da elemento di contenimento del getto.

Il trasferimento dei carichi continuo avviene invece mediante la realizzazione di un meccanismo a sella Gerber nello spessore della pavimentazione, in cui elementi opportunamente predisposti consentono lo scorrimento di una parte superiore su quella inferiore per l'intero sviluppo del giunto di costruzione.

In generale i giunti costruzione prefabbricati:

- dovrebbero avere un'altezza il più vicino possibile all'intero spessore della pavimentazione, al fine di non consentire un'eccessiva fuoriuscita di calcestruzzo al di sotto del bordo inferiore. Comunque, l'eventuale calcestruzzo fuoriuscito, non può essere "esteso" sull'area ancora da pavimentare, ma dovrà essere trasportato altrove;
- i bordi liberi devono essere protetti da una coppia di lastre in acciaio di spessore adeguato in modo da fornire sufficiente rigidità e resistenza alla flessione e all'impatto della ruota quando il giunto si presenta aperto a ritiro avvenuto. Queste ultime generalmente sono poste superiormente con l'estradosso a raso della pavimentazione finita ed incorporate nei sistemi per giunti di costruzione prefabbricati. Per essere efficaci, le lastre in acciaio in vista dei giunti di costruzione prefabbricati devono essere sufficientemente rigide e ben ancorate al calcestruzzo mediante pioli o armature tridimensionali in acciaio, per resistere e distribuire le forze di impatto delle ruote dure dei carrelli e transpallet.

La parte in vista dei giunti di costruzione prefabbricati può avere andamento lineare o sinusoidale. Al fine di operare la scelta migliore, sarà cura del progettista valutare gli effetti del passaggio dei mezzi adibiti alla movimentazione, in termini di impatto, rumorosità e vibrazioni indotte, in corrispondenza di aperture potenziali che possono tipicamente essere dell'ordine dei 10-20 mm. Tali valori sono variabili in funzione della geometria delle singole piastre di pavimentazione e dal ritiro igrometrico del calcestruzzo utilizzato (minori sono le dimensioni di getto e minore è il ritiro del calcestruzzo e minore sono le dimensioni di apertura del giunto, così viceversa).

La distanza tra i giunti di costruzione dipende dalla geometria della pavimentazione cioè dalle esigenze esecutive, dal layout delle strutture di servizio, dalla superficie giornaliera realizzata, dal ritiro igrometrico del calcestruzzo, dall'attrito con il supporto e dalle condizioni ambientali.

11.3 Giunti di controllo a perimetro o perimetrali

Sono particolari giunti di contrazione/controllo (vedasi paragrafo 11.4) che interessano solamente una parte superficiale della piastra (all'incirca 1/5-1/4 dello spessore).

I giunti di contrazione/controllo vengono realizzati su richiesta in prossimità del perimetro interno del

fabbricato parallelamente all'allineamento dei pilastri perimetrali per due motivi:

- l'area interessata dal riempimento tra pilastro e pilastro è la meno costipata per cui soggetta a cedimenti;
- le staffe inserite nel pannello di tamponamento, per collegare il prefabbricato alla pavimentazione, oltre ad essere un errore costruttivo e di progettazione, tendono a sollecitare la pavimentazione a trazione, per ritiro impedito, con successivo stato fessurativo che si propaga verso il centro della piastra.

La realizzazione dei giunti a perimetro deve essere specificata in capitolato poiché comporta un costo suppletivo. La distanza del taglio parallelo ai muri perimetrali deve essere tale da consentire alla lama della taglierina di operare nei due sensi di marcia.

11.4 Giunti di contrazione/controllo

Tali giunti interessano solamente una parte superficiale della piastra (all'incirca 1/5-1/4 dello spessore).

I tagli per i giunti devono essere realizzati il prima possibile, sempre in funzione delle condizioni climatiche ambientali, del tipo di calcestruzzo utilizzato e della sua velocità di indurimento dello stesso, allo scopo di prevenire fessurazioni indesiderate dovute al ritiro plastico e impedito del calcestruzzo. Generalmente dovrebbero essere eseguiti entro alcune ore dal getto in relazione alle condizioni termo-igrometriche del sito dove si realizza la pavimentazione. Tempistiche oltre le 24 ore, potrebbero portare la nascita di spiacevoli quadri fessurativi.

La distanza tra i giunti (tagli) deve consentire la limitazione dei fenomeni fessurativi da ritiro e l'innalzamento della pavimentazione causata dal ritiro differenziale tra estradosso e intradosso.

Per la determinazione della dimensione del lato dei giunti di contrazione/controllo si rimanda a quanto riportato nelle Istruzioni CNR-DT 211 e UNI 11146.

Giunti particolari, ad esempio lungo il perimetro interno dell'edificio oppure da realizzare per limitare le deformazioni in una zona ritenuta a rischio, devono essere indicati nel progetto.

Le protezioni antinfortunistiche della macchina taglia-giunti, la forma circolare dell'utensile di taglio, non consentono di prolungare i tagli oltre 15 centimetri dagli spiccati in elevazione e non deve essere mai prolungato. Quindi, è di naturale presenza, la conseguente fessurazione di prolungamento del taglio, come indicatore della bontà di realizzazione del giunto e come monitoraggio dello stato dei giunti di contrazione/controllo.

Nelle pavimentazioni il dimensionamento della maglia dei giunti di contrazione/controllo dipende da fattori quali:

- tipologia di supporto;
- strato di scorrimento;
- grado di planarità della massicciata;
- situazione climatica al momento del getto e della stagionatura (condizioni termo-igrometriche, vento, irraggiamento solare, ecc.);
- metodo e tempi di stagionatura;
- tipologia pavimentazione (piazzale, pavimentazione in luoghi chiusi ecc.).

11.4.1 Procedure operative per i giunti di contrazione/controllo

Si realizzano riducendo la sezione del pavimento al fine di indurre un indebolimento, che entrerà in servizio all'innesco della fessurazione guidandola lungo la sua proiezione ai fini funzionali ed estetici.

I giunti di contrazione normalmente impiegati sono costituiti da:

- inserimento di profili di altezza adeguata, per l'innescò della corretta fessurazione al di sotto degli stessi;
- incisione superficiale allo stato fresco con appositi utensili durante la frattazzatura e finitura;
- taglio con sega meccanica.

Di questi tre sistemi, il taglio è quello maggiormente diffuso soprattutto in ambito sia civile che industriale. Per la sua realizzazione è necessario poter transitare e operare sulla superficie con l'attrezzatura preposta.

Il taglio risulta efficace se:

- possiede una profondità non inferiore a 1/5 dello spessore. Tale profondità deve essere studiata accuratamente in relazione al posizionamento delle armature poiché essa è imprescindibile e deve essere sempre garantita;
- è realizzato in tempi strettissimi; ad esempio, entro 4 ore dal termine delle operazioni di finitura in condizioni di clima caldo (periodo estivo o primavera inoltrata) e con temperature superiori a 20°C, entro 24 ore con temperature inferiori a 20°C.

Il taglio meccanico dei giunti di contrazione/controllo deve essere realizzato in tempi strettissimi allo scopo di controllare la fessurazione. Tale attività può causare piccoli sbrecciamenti localizzati che non possono essere considerati difetto o essere oggetto di contestazione.

Gli accorgimenti adottati per la stagionatura del calcestruzzo rimossi per effettuare il taglio, dopo l'esecuzione dello stesso, devono essere immediatamente ripristinati.

In contesti ambientali avversi, caratterizzati da elevate temperature e presenza di correnti d'aria, al fine di evitare fenomeni di fessurazione, si può procedere con un'anticipazione dell'implementazione dei giunti. Tale prassi può tuttavia indurre la formazione di lievi fratture ai margini del taglio, fenomeno che non deve essere interpretato come una non conformità o come motivo di disputa o contestazione.

Appena realizzato, il giunto va protetto con un "profilo preformato", che dovrà essere successivamente rimosso prima di effettuare la sigillatura con resina, la quale sarà sempre postuma alle fasi realizzative della pavimentazione, dopo un congruo tempo di maturazione della pavimentazione. Essa deve essere sempre prescritta in fase di progettazione, a cura e onere del Committente.

In presenza di barriera o strati impermeabili direttamente a contatto con l'intradosso della pavimentazione, si ricorda che gli interassi tra i tagli devono essere opportunamente ridotti e ricalcolati rispetto a una pavimentazione con le stesse caratteristiche, realizzata nelle medesime condizioni termo/igrometriche e di vento.

Durante la realizzazione del taglio è bene considerare l'aumento istantaneo di temperatura provocato dalla lama ai bordi dei tagli. La conseguenza di un taglio non adeguatamente raffreddato è la penalizzazione della resistenza meccanica locale del calcestruzzo nei bordi dei tagli, dovuta all'istantanea ed inaspettata sollecitazione termica in fase di indurimento.

In situazioni dove si fa uso di minime quantità di acqua per raffreddare la lama, o dove si utilizzano lame a secco per tagli estremamente prematuri (early entry sawing), è vivamente raccomandato effettuare una rifresatura dopo alcuni giorni.

La boiaccia generata dal taglio può originare delle colorazioni nelle vicinanze del taglio stesso. Queste colorazioni non sono categorizzate come difetti e, di conseguenza, non possono essere motivo di contestazione. Se vi sono requisiti specifici di natura estetica, questi devono essere stabiliti durante la fase di progettazione, prevedendo metodi e lavorazioni adeguati a soddisfare il requisito estetico desiderato.

Eventuali piccole irregolarità causate dalla procedura di taglio meccanico, utilizzata per creare i giunti di contrazione/controllo, non sono da considerarsi difetti. Anticipare il taglio e accettare tali irregolarità è preferibile, al fine di ridurre il rischio di formazione di fessurazioni.

11.4.2 Riempimenti e sigillature

I giunti di contrazione/controllo delle pavimentazioni sono generalmente chiusi mediante riempimenti eseguiti con materiali preformati o indurenti; nel caso venga richiesta una sigillatura questa dovrà essere prescritta in fase progettuale tenendo presente anche i tempi di esecuzione delle operazioni in relazione alle previste deformazioni delle lastre. Le funzioni di riempimento e/o di sigillatura, a seconda delle prestazioni richieste alla pavimentazione, possono presentarsi congiunte o disgiunte.

I riempimenti hanno la funzione di colmare le cavità formatesi a seguito del taglio dei giunti; particolari accorgimenti consentono anche di migliorare la resistenza dello spigolo del giunto nei confronti dello sbrecciamento da urti. Per garantire nel tempo tali funzioni si richiede al materiale di riempimento un buon ancoraggio alle pareti del giunto e la capacità di sostenere i movimenti reciproci delle superfici affiancate.

Sono consentiti distacchi parziali del materiale dalle pareti purché non comportino la caduta o la fuoriuscita del riempimento.

È opportuno posizionare elementi preformati comprimibili a cellule chiuse tra le due superfici del giunto per ottenere la sezione idonea a garantire al riempimento la sua capacità di lavoro; ciò previene anche l'eventuale adesione del ricoprimento al fondo del taglio.

Come riempimento temporaneo, ove non specificato in fase progettuale, si possono utilizzare semplici profili morbidi in PVC o simili, semplicemente inseriti a pressione. La sigillatura deve permettere la tenuta del giunto al passaggio di liquidi e sostanze indesiderate tipo sporco e altro.

Il materiale costituente la sigillatura deve possedere adeguata resistenza chimica nei confronti dei liquidi con i quali verrà a contatto ed essere in grado di sostenere, senza lacerarsi e senza distaccarsi dal supporto, i movimenti previsti per il giunto. Inoltre, il materiale deve avere caratteristiche meccaniche tali da rimanere integro e aderente, alle temperature di esercizio previste, anche in presenza di grandi deformazioni. In ogni caso, le specifiche di realizzazione e del materiale da impiegare devono essere prescritte dal Progettista.

La sigillatura, che avverrà dopo una congrua maturazione della pavimentazione, è necessaria e sarà a cura del Committente, che ne è l'unico responsabile.

Per la metodologia di sigillatura dei giunti di costruzione/dilatazione si rimanda a quanto riportato nelle Istruzioni CNR-DT 211.

Data la sollecitazione di natura fisico-meccanica del giunto posto all'estradosso della piastra di calcestruzzo, si possono prevedere distacchi o degradi localizzati che dovranno essere oggetto di specifico programma di manutenzione.

Qualora si richieda l'impermeabilità del giunto, è opportuno predisporre un allargamento della parte superiore del giunto stesso, di ampiezza tale da consentire al sigillante di seguire i movimenti della piastra senza che si verifichino microdistacchi del materiale dai bordi.

In ogni caso, il sistema sigillante non potrà sostituire una corretta impermeabilizzazione della pavimentazione per cui, le prescrizioni qui indicate, non assicurano automaticamente la tenuta all'acqua della pavimentazione, ma solo l'impermeabilità del giunto.

11.4.3 Nota relativa alla distanza del taglio dagli spiccati in elevazione e/o da altri elementi

Essendo la macchina taglia-giunti provvista di carter protettivo antinfortunistico e i dischi di formato circolare, il taglio deve terminare ad una distanza non superiore a cm 15 dagli spiccati in elevazione.

L'operatore deve comunque usare l'accortezza di approfondire, in quel punto, la lama nello spessore della piastra, al fine di favorire la rottura che si verificherà nel prosieguo del taglio.

Le fessure che si creano tra la fine taglio, per la realizzazione del giunto di contrazione/controllo, e gli spiccati in elevazione, causate dalla necessaria distanza di sicurezza delle attrezzature di taglio, non sono da considerarsi difetto. Inoltre, tale fessura serve a capire il buon funzionamento del giunto se è stato eseguito nei tempi e profondità corretti. La mancanza di tale fessura implica il non corretto funzionamento del giunto e deve essere preso in considerazione per interventi postumi di manutenzione e/o ripristino.

11.5 Giunti di dilatazione

I giunti di dilatazione servono per consentire le libere dilatazioni delle pavimentazioni.

Ove possibile, per ragioni di economia di lavoro e di riduzione delle discontinuità, è bene fare coincidere i giunti di dilatazione con quelli di costruzione. Le modalità di esecuzione sono analoghe ai giunti di costruzione stessi.

11.5.1 Ampiezza dei giunti

In merito all'ampiezza del giunto di dilatazione, nel caso in cui il comportamento deformativo della piastra è determinato pressoché dalla coazione termica, il progettista può preliminarmente riferirsi a quanto indicato nella UNI 11146 e sulla CNR-DT 211, per calcolare l'allungamento/accorciamento della lastra e quindi l'ampiezza del giunto di dilatazione.

Nei casi in cui saranno necessarie valutazioni più accurate, sarà cura del progettista indicarne il posizionamento e il movimento atteso.

Il progettista dovrà prevedere altresì, nel caso di giunti di dilatazione nei quali non è possibile installare dei giunti di costruzione prefabbricati, tutti gli accorgimenti necessari atti a garantire l'integrità, la planarità, l'assenza di urti e vibrazioni al passaggio di carrelli elevatori e transpallet, nonché al rispetto degli standard richiesti dalla Direttiva UE 2002/44/EC in materia di sicurezza e salute dei lavoratori derivanti dal rumore e vibrazioni.

Stabilito, a cura del progettista, il valore massimo della dilatazione/contrazione del giunto, si procederà all'impiego di una soluzione di sigillatura o di un più appropriato sistema, in relazione al valore massimo ottenuto per il giunto di dilatazione.

Inoltre, la dimensione del giunto deve essere determinata verificando che, nella massima fase di chiusura, l'eventuale materiale di riempimento prescritto progettualmente, soggetto a pressioni elevate, non fuoriesca dal giunto stesso.

In caso di contrazioni particolarmente ampie si consiglia di prendere accorgimenti tali da evitare aperture del giunto eccessive all'estradosso della piastra, inserendo giunti a pettine o altri accorgimenti opportuni.

Nota per giunti di dilatazione e costruzione:

In generale, nella realizzazione di un giunto, sia esso di costruzione o di dilatazione, si deve sempre tener presente il pericolo di sbrecciamento dello spigolo vivo del calcestruzzo causato dall'impronta delle ruote in materiale rigido, qualora non si ricorra a specifici dispositivi (giunti prefabbricati o sistemi di giunzione per giunti di dilatazione).

12. Condizioni climatiche e temperatura in fase del getto, per la protezione della pavimentazione in fase di esecuzione e prescrizioni per la corretta stagionatura

Per raggiungere le potenziali prestazioni attese dal calcestruzzo, soprattutto nella zona corticale, occorre proteggerlo e stagionarlo accuratamente.

La stagionatura della pavimentazione deve iniziare appena possibile dopo la fase di finitura e consiste nell'evitare una prematura essiccazione provocata soprattutto dall'irraggiamento solare e dal vento, mediante protezione accurata da tali agenti atmosferici.

Nel presente capitolo sono esaminate alcune condizioni al momento del getto alle quali il calcestruzzo fresco potrebbe essere esposto e che, potendo provocare deformazioni nel calcestruzzo ancora fresco, devono essere considerate nel progetto.

Il progetto e il capitolato devono evidenziare le corrette prescrizioni per il calcestruzzo in funzione del programma dei lavori e delle specifiche situazioni climatiche e stagionali del periodo di esecuzione previsto; tali situazioni possono infatti notevolmente incrementare i costi del calcestruzzo e della sua posa in opera, ma non devono mai risultare una scusa per non eseguire queste fasi delicate delle lavorazioni.

Va ricordato che la maturazione, oltre ad essere indispensabile per motivi tecnologici e caratteristiche intrinseche del calcestruzzo, è un obbligo per decreto ministeriale come riportato sulle Norme Tecniche per le costruzioni dove, al paragrafo 4.1.7. Esecuzione, viene indicato quanto segue: *“Tutti i progetti devono contenere la descrizione delle specifiche di esecuzione in funzione della particolarità dell'opera, del clima, della tecnologia costruttiva. In particolare, il documento progettuale deve contenere la descrizione dettagliata delle cautele da adottare per gli impasti, per la maturazione dei getti, (...)”*. Inoltre, al paragrafo, 11.2.1. Specifiche per il calcestruzzo, sempre delle Norme Tecniche per le costruzioni, viene riportato quanto segue: *“(...) Inoltre, si dovranno dare indicazioni in merito ai processi di maturazione ed alle procedure di posa in opera, facendo utile riferimento alla norma UNI EN 13670, alle Linee Guida per la messa in opera del calcestruzzo strutturale ed alle Linee Guida per la valutazione delle caratteristiche del calcestruzzo in opera elaborate e pubblicate dal Servizio Tecnico Centrale del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici. (...)”*.

Pertanto, è imperativo garantire che ci siano adeguate misure protettive per gli ambienti contro le condizioni meteorologiche sfavorevoli (vento, sole, pioggia, gelo) durante le fasi di getto, lavorazione, indurimento e maturazione del calcestruzzo. Prima del getto, è consigliato controllare le previsioni meteorologiche locali.

La formulazione del presente paragrafo e dei sottoparagrafi correlati è ispirata e fa riferimento alle “Linee Guida per la posa in opera del calcestruzzo strutturale”, pubblicate dal Servizio Tecnico Centrale del CSLP.

12.1 Ritiro plastico

Si manifesta nelle prime ore, quando la velocità di evaporazione dell'acqua sulla superficie del getto è maggiore della velocità alla quale l'acqua essuda. Il pericolo di fessurazione incombe dal momento in cui, con la scomparsa del velo liquido, la superficie del getto appare opaca.

Il ritiro plastico è quasi sempre accompagnato dalla formazione di fessure in quanto raramente la contrazione avviene in modo uniforme e d'altra parte entro le prime ore la miscela è praticamente priva di estensibilità essendo la sua resistenza a trazione ancora troppo bassa.

Comunemente si formano fessure lineari corte, da alcuni centimetri a circa trenta, piuttosto larghe (2-3 mm), ma poco penetranti. Alla loro distribuzione contribuiscono la presenza del rinforzo e dei granuli di aggregato grosso in vicinanza della superficie, la dispersione non uniforme dell'aggregato grosso e ogni eventuale impedimento alla contrazione.

Quando il processo di essudazione è governato dalla velocità di evaporazione dell'acqua e la superficie del calcestruzzo diventa opaca, si forma una serie complessa di menischi con la concavità rivolta verso l'alto, cioè esposta all'aria. Al di sotto del lato convesso si generano pressioni capillari negative che conducono alla formazione di una zona corticale addensata. Quando le forze capillari non sono più scaricate dal flusso plastico della pasta, la miscela risulta soggetta a compressione laterale, si contrae e, se la contrazione è impedita, si ha fessurazione.

Considerata la causa del fenomeno e la geometria degli elementi strutturali coinvolti, il rischio di fessurazione da ritiro plastico è particolarmente elevato se l'operazione di getto avviene in ambiente secco, ventoso e con la temperatura dell'impasto piuttosto alta.

Per contrastare la fessurazione da ritiro plastico occorre prevenire o ridurre la fuoriuscita e l'evaporazione dell'acqua, adottando uno o più dei seguenti provvedimenti:

- contrastare la suzione del piano di posa;
- contrastare la suzione delle sezioni di contenimento in adiacenza ai getti freschi;
- procedere con le attività di maturazione umida;
- nella stagione estiva mantenere bassa la temperatura dell'impasto;
- ridurre l'intervallo di tempo tra la fine del getto e l'inizio delle procedure di maturazione;
- erigere barriere frangivento;
- proteggere dall'insolazione (in condizioni critiche è opportuno programmare i tempi di lavoro in modo che il getto possa effettuarsi nel tardo pomeriggio o di sera);
- assicurarsi che la superficie del getto resti bagnata/satura dopo la finitura fino a che non diventano applicabili le procedure di maturazione (è raccomandato l'uso di teli bagnati, di fogli di plastica o di acqua nebulizzata).

12.2 Condizioni di clima particolari

Le prescrizioni precedenti di fornitura, di messa in opera, di **maturazione e di protezione** del calcestruzzo si applicano anche per le condizioni ambientali particolari, in cui però vanno aggiunte specifiche precauzioni, per esempio quando la temperatura dell'aria misurata in cantiere è inferiore a 5° C (clima freddo) o quando la temperatura del calcestruzzo al momento della sua messa in opera è suscettibile di superare 32° C (clima caldo).

Inoltre, con qualsiasi condizione climatica, in fase di esecuzione dei getti e delle lavorazioni all'interno di un edificio civile e/o industriale, tutte le aperture verso l'esterno devono essere chiuse e sigillate, al fine di evitare la nascita di canali d'aria, che possono compromettere il risultato finale della pavimentazione.

12.2.1 Getti in clima freddo

Si definisce "clima freddo" una condizione climatica in cui, per tre giorni consecutivi, si verifica almeno una delle seguenti condizioni:

- la temperatura media dell'aria è inferiore a 5° C;
- la temperatura dell'aria non supera 10° C per più di 12 ore.

Una temperatura particolarmente rigida può produrre, sulla superficie del calcestruzzo non opportunamente protetta, effetti di sfarinamento o di scagliatura.

Occorre dunque adottare opportuni sistemi di protezione dei getti, che possono variare da caso a caso.

Prima del getto si deve verificare che tutte le superfici che saranno a contatto con il calcestruzzo siano a temperatura > + 5°C.

La neve ed il ghiaccio, se presenti, devono essere rimossi immediatamente dalle zone di getto, dalle armature e dal fondo.

I getti all'esterno devono essere sospesi dall'impresa esecutrice se la temperatura dell'aria è 0°C; tale limitazione non si applica nel caso di getti in ambiente protetto o in presenza di adeguato isolamento o qualora siano predisposti opportuni accorgimenti efficaci, approvati dalla Direzione Lavori, come ad esempio riscaldare gli ingredienti costituenti il calcestruzzo durante la miscelazione (riscaldare preferibilmente l'acqua, gli aggregati e quando è possibile l'ambiente) per prevenire i citati effetti del clima freddo.

A causa del rallentamento dello sviluppo della resistenza meccanica dovuto alle basse temperature il calcestruzzo deve stagionare ad una temperatura del conglomerato cementizio sufficientemente elevata (per es. 10° C) per un tempo sufficientemente lungo (per es. 7 giorni) di **maturazione** parziale affinché sia eliminabile il rischio degli effetti della gelata.

La temperatura del calcestruzzo deve essere mantenuta, ai fini del decorso nel tempo della resistenza meccanica e del rischio causato dalla formazione del ghiaccio, al di sopra di quella ambientale.

Fra i sistemi utilizzati per mantenere la temperatura del calcestruzzo dopo il getto al di sopra di quella ambientale si evidenziano:

- prescrivere la temperatura del calcestruzzo all'arrivo in cantiere (alcuni valori di temperatura del calcestruzzo alla consegna con basse temperature dell'ambiente sono dipendenti spesso dalla possibilità di poter riscaldare i costituenti in impianto, per questo motivo per la prescrizione della temperatura va contattato preventivamente il produttore di calcestruzzo per valutarne la fattibilità);
- valutare il raffreddamento del calcestruzzo durante le fasi che costituiscono il ciclo di getto (per es. scarico dall'autobetoniera, movimentazione attraverso gru e/o pompa, nastri, ecc., riempimento della cassaforma);
- mantenere la temperatura del calcestruzzo dopo il getto a 10° C riducendo al minimo la dissipazione del calore di idratazione sviluppato;
- sviluppare metodi di maturazione che impediscano la dissipazione di calore nell'ambiente esterno, associati a sistemi di maturazione specifici. In ogni fase di preparazione, trasporto, maneggiamento, installazione e maturazione, il calcestruzzo deve essere adeguatamente protetto dalle condizioni climatiche fredde.

Il valore della resistenza alla compressione iniziale del calcestruzzo in condizioni climatiche fredde, dovrebbe essere controllata mediante prove su cubetti stagionati, confezionati e conservati negli stessi ambienti e nelle stesse condizioni del calcestruzzo in cui è stato messo in opera e in maturazione, quindi non protetti dagli effetti del clima freddo.

Le misure protettive devono essere mantenute almeno finché il periodo preindurimento sia completato, così come determinato e confermato dalle prove sui cubetti.

Inoltre, il calcestruzzo deve essere protetto tramite presidi di protezione semplici preposti a trattenere, per quanto possibile, il calore prodotto dall'idratazione e preservare il calcestruzzo fresco dagli eventi atmosferici, quali il vento, la pioggia, il precipitare delle temperature ambiente o alla copertura negli altri casi, evitando in ogni caso qualunque apporto d'acqua sulla superficie.

Si evidenzia come, anche nel caso in cui le condizioni climatiche non portino ad una formazione del ghiaccio subito dopo il getto, il calcestruzzo rimanga comunque esposto al rischio della gelata per un tempo relativamente lungo, almeno fin quando non abbia raggiunto un minimo di resistenza meccanica alla compressione, pari ad almeno 5 MPa; in questo periodo una gelata potrebbe indurre nel calcestruzzo danni irreversibili.

Durante le stagioni intermedie e/o in condizioni climatiche particolari (alta montagna) nel corso delle quali c'è comunque possibilità di gelo, tutte le superfici del calcestruzzo vanno protette dal gelo, dopo la messa in opera.

Nella seguente tabella, estratta dalle "Linee Guida per la posa in opera del calcestruzzo strutturale", edite dal Sistema Tecnico Centrale del CSLLPP, vengono riportate le temperature minime da garantire per il getto del calcestruzzo, nonché la massima velocità di raffreddamento consigliabile, in relazione allo spessore della pavimentazione.

In relazione alla temperatura ambientale ed ai tempi di attesa e di trasporto si deve prevedere un raffreddamento di $2\div 5^{\circ}\text{C}$ tra il termine della miscelazione e la messa in opera. Il calcolo della resistenza termica del sistema di protezione determina i valori necessari per mantenere un elemento costruttivo in calcestruzzo alla temperatura idonea (per esempio 10°C) per n giorni, in funzione del contenuto del cemento, della dimensione minima della struttura e della temperatura ambientale, fino al raggiungimento della resistenza di riferimento prescritta, sia in fase di maturazione che per il disarmo.

Si consiglia di allontanare gradatamente le protezioni facendo in modo che il calcestruzzo raggiunga a sua volta gradatamente l'equilibrio termico con l'ambiente. Al termine del periodo di protezione, necessario alla maturazione, il calcestruzzo deve essere raffreddato, infatti, gradatamente per evitare il rischio di fessure provocate dalla differenza di temperatura tra parte interna ed esterna. La diminuzione di temperatura sulla superficie del calcestruzzo, durante le prime 24 ore, non dovrebbe superare i valori riportati in tabella.

Tabella 2 - Temperature e velocità di raffreddamento consigliate in relazione alle dimensioni della sezione di calcestruzzo (dalle "Linee Guida per la posa in opera del calcestruzzo strutturale").

Dimensione minima della sezione (mm² per 1 m)	
≤ 300	≥ 300
Temperature minima del calcestruzzo al momento della in opera	
13°C	10°C
Massima velocità di raffreddamento tollerabile per le superfici del calcestruzzo al termine del periodo di protezione	
$1,15^{\circ}\text{C/h}$	$0,90^{\circ}\text{C/h}$

12.2.2 Getti in clima caldo

Il clima caldo influenza la qualità sia del calcestruzzo fresco che di quello indurito.

Provoca, infatti, una troppo rapida evaporazione dell'acqua di impasto ed una velocità di idratazione del cemento eccessivamente elevata.

Le condizioni ambientali che caratterizzano il clima caldo sono:

- temperatura ambiente elevata ($T_a = \geq 32^\circ\text{C} - T_a \leq 45^\circ\text{C}$);
- bassa umidità relativa dell'ambiente;
- intensità e incremento velocità del vento $> 5 \text{ km/h}$ (*);
- elevato assorbimento del calore dei raggi solari delle superfici (esposizione ai raggi solari);
- temperatura elevata ($> 30^\circ\text{C}$) del calcestruzzo al momento della sua messa in opera.
- un tasso di evaporazione che supera $1 \text{ kg/m}^2/\text{h}$.

Nota

La presenza di vento a una velocità superiore ai 5 km/h , implica la sospensione dei getti a patto che non siano stati previsti, in fase di progetto e applicati, idonei sistemi di protezione e/o criteri di accettazione relativi ai fenomeni che si potrebbero innescare causa la presenza del vento.

I potenziali problemi per il calcestruzzo fresco riguardano:

- aumento del fabbisogno d'acqua;
- veloce perdita di lavorabilità;
- riduzione del tempo di presa con connessi problemi di messa in opera, di compattazione, di finitura e rischio di formazione di giunti freddi;
- tendenza alla formazione di fessure per ritiro plastico;
- difficoltà nel controllo dell'aria inglobata;
- danni all'aspetto superficiale del calcestruzzo;
- riduzione delle attese in termini di resistenza e di durabilità del calcestruzzo;
- necessità di dover ricorrere alle ore notturne per le fasi di getto del calcestruzzo.

I potenziali problemi per il calcestruzzo indurito riguardano:

- riduzione della resistenza a 28 giorni e penalizzazione nello sviluppo delle resistenze a scadenze più lunghe, se non avviato in fase di progettazione del mix design del calcestruzzo, per effetto del prematuro indurimento del calcestruzzo;
- maggior ritiro per perdita di acqua;
- probabile insorgenza di fessure per effetto dei gradienti termici (picco di temperatura interno e gradiente termico verso l'esterno);
- ridotta durabilità per effetto della diffusa micro-fessurazione;
- forte variabilità nella qualità dell'aspetto della superficie dovuta alle differenti velocità di idratazione;
- maggior permeabilità.

Tutti i punti sopra elencati devono essere quindi considerati in fase di progettazione della struttura e prescrizione del calcestruzzo.

In condizioni normali, durante le operazioni di getto la temperatura del calcestruzzo fresco non dovrebbe superare $30-32^\circ\text{C}$; tale limite dovrà essere convenientemente ridotto nel caso di getti di grandi dimensioni, tenendo conto della maggiore quantità di calore di idratazione prodotto.

Esistono diversi metodi per raffreddare il calcestruzzo; il più semplice consiste nell'utilizzo di acqua molto fredda o di ghiaccio in sostituzione di parte dell'acqua d'impasto.

Tuttavia, l'impiego dell'acqua fredda o del ghiaccio per abbassare la temperatura del calcestruzzo nei climi caldi e ridurre la perdita di lavorabilità, non è un'operazione semplice. Può essere utile, in tal caso, il ricorso agli additivi superfluidificanti, agli additivi ritardanti o agli additivi superfluidificanti di tipo ritardante che non incidono tanto sull'abbassamento della temperatura quanto sui tempi di presa e maturazione del calcestruzzo.

12.3 Maturazione e protezione del calcestruzzo

Dopo la messa in opera, il calcestruzzo deve essere **maturato e protetto** dall'essiccamento in modo da:

- evitare modifiche dell'idratazione del cemento;
- ridurre il ritiro in fase plastica e nella fase iniziale dell'indurimento ($1 \div 7$ gg);
- far raggiungere un'adeguata resistenza meccanica;
- ottenere un'adeguata impervietà, compattezza e durabilità della superficie;
- migliorare la protezione nei riguardi delle condizioni climatiche (temperatura, umidità, ventilazione) e/o danni di tipo meccanico;
- evitare vibrazioni, impatti, o danneggiamenti sia alla struttura che alla superficie, ancora in fase di indurimento.

La maturazione comprende i processi durante i quali il calcestruzzo fresco sviluppa gradualmente le sue proprietà per effetto della progressiva idratazione del cemento. La velocità di idratazione dipende dalle condizioni climatiche d'esposizione e dalle modalità di scambio d'umidità e calore tra il calcestruzzo e l'ambiente.

Per consentire una corretta maturazione è necessario mantenere costantemente umida la struttura realizzata. La durata della maturazione protetta dei getti deve essere garantita dai 7 ai 21 giorni consecutivi.

Inoltre, è bene precisare e considerare quanto segue:

- La presa e l'indurimento del calcestruzzo richiedono la disponibilità di un'idonea quantità d'acqua.
- L'acqua che è presente nel calcestruzzo fresco, all'atto del getto, deve rimanere disponibile fino a quando il volume iniziale dell'acqua e del cemento non è sostituito dai prodotti d'idratazione.
- L'idratazione del cemento progredisce solamente se la tensione di vapore dell'acqua contenuta nei pori è prossima al valore di saturazione ($UR > 90\%$). Le miscele con un basso contenuto in acqua possono richiedere, nel corso della maturazione, un apporto esterno d'acqua.
- La temperatura elevata richiede una corretta maturazione umida del getto, anche se i tempi necessari per raggiungere le resistenze prescritte sono più brevi. La temperatura di maturazione elevata incrementa la resistenza meccanica a breve termine ma può penalizzare quella finale (a lungo termine), a causa di un'idratazione meno completa del cemento.

L'appaltatore e/o l'esecutore della pavimentazione, secondo quanto previsto dal contratto tra le parti, è responsabile della corretta esecuzione della maturazione, prescritta dal progettista e controllata dal direttore lavori.

Si definisce "ordinaria" la maturazione del calcestruzzo che avviene a temperatura ambiente ($5 \div 32^\circ\text{C}$) con esclusione d'ogni intervento esterno di riscaldamento o raffreddamento.

12.3.1 Stagionatura protetta

Fra i principali sistemi di protezione e stagionatura della pavimentazione, utilizzabili singolarmente o in combinazione fra loro, si elencano:

- Protezione in fase di stagionatura - coprire la pavimentazione con teli di polietilene o con fogli e/o pannelli coibenti e/o coperte termiche nel caso di clima rigido. In occasione di temperature rigide, il geotessuto può funzionare anche come coperta termica in relazione alla caratteristica coibente proporzionale alla propria densità.
- Protezione in fase di stagionatura - contrastare la suzione del piano di posa e delle sezioni in adiacenza ai getti freschi;
- Maturazione umida - rivestire con teli umidi (geotessuto mantenuto costantemente umido fino alla rimozione del dispositivo di maturazione). Il metodo può essere adottato in presenza di elevate temperature ambientali, ma i teli devono essere bagnati prima e portati in equilibrio con la temperatura ambientale, al fine di evitare uno shock termico causa elevata differenza di temperatura tra l'acqua e la piastra di calcestruzzo;
- Maturazione umida - nebulizzare acqua sulla superficie in maniera uniforme; la nebulizzazione è preferibile in quanto non promuove una drastica riduzione della temperatura del calcestruzzo fino a quel momento raggiunta. L'efficacia di questo metodo è correlata alla possibilità di realizzare un velo d'acqua che rimanga effettivamente presente per tutta la durata delle attività di maturazione umida prevista a margine del progetto. L'applicazione di acqua con modalità non continue e non costanti è deleteria per il risultato finale della maturazione stessa.
- Maturazione umida - applicare prodotti antievaporanti che formano pellicole protettive. A tal proposito si consiglia di utilizzare prodotti che siano caratterizzati da indici di efficienza adeguati rispetto alle condizioni termo-igrometriche presenti, tenendo in considerazione anche il problema di compatibilità all'aderenza di eventuali sovrapposizioni, previste o prevedibili, di futuri rivestimenti resinosi.
- Maturazione umida - implementare accorgimenti tecnologici nella progettazione di miscela del calcestruzzo volti all'aumento della capacità di bleeding con particolare attenzione a non modificare la velocità con la quale si manifesta e termina i suoi effetti.
- Protezione in fase di realizzazione: proteggere i getti dalle lavorazioni di cantiere eseguite in loro prossimità o soprastanti.

Le principali tipologie di antievaporanti pellicolari possono essere:

- Cere industriali disperse
- Resine e vernici metacriliche monocomponenti in fase solvente
- Resine idrocarburiche in fase solvente
- Sospensioni di bitume in emulsione acquosa
- Soluzioni acquose di resine acriliche e/o viniliche
- Emulsioni di gomma clorurata
- Soluzioni acquose di silicati di litio veicolati in polimeri

L'applicazione sulla superficie appena terminata di soluzioni acquose di silicati, non veicolati in soluzione pellicolare, non promuove nessun effetto antievaporante. Con particolare riferimento al silicato di sodio e potassio in relazione alla loro comprovata attività fortemente accelerante della presa ed indurimento, proporzionale al grado di concentrazione della soluzione, si sconsiglia la loro applicazione durante la delicata fase di maturazione. Il loro uso è, invece, fortemente consigliato ai fini di altre attività di densificazione/consolidamento non prima che il conglomerato abbia maturato una resistenza minima a trazione di 1,5 N/mm². (vedi Cap. 10.1.5)

L'obbligo della stagionatura deve essere prescritto dal Progettista. I metodi e la durata della stagionatura

devono essere prescritti in relazione alle condizioni ambientali e operative al momento nella realizzazione. La stagionatura deve essere protratta preferibilmente per circa 15 o anche 21 giorni nel caso di pavimentazioni jointless e/o condizioni particolari sia tecniche che ambientali, ma in ogni caso per un tempo mai inferiore a 7 giorni.

Alcuni tipi di stagionatura possono modificare l'aspetto della pavimentazione lasciando alcune differenze cromatiche superficiali. Generalmente tali differenze tendono a diminuire nel tempo. Se rappresentano un requisito essenziale, dovranno essere dettagliatamente specificate in fase progettuale.

In caso di pericolo di gelo dovranno essere poste in atto protezioni specifiche che isolino la superficie del getto dalla possibile formazione di ghiaccio negli strati superficiali durante la fase iniziale dell'indurimento.

12.3.2 Calcolo del tasso di evaporazione

La necessità di implementare le corrette attività di stagionatura sono, spesso, erroneamente correlate solo alle elevate temperature. Bassi valori di umidità dell'aria, infatti, promuovono una veloce evaporazione anche a temperature ottimali.

In fase realizzativa, in osservanza ai contenuti delle "Linee guida per la messa in opera del calcestruzzo strutturale" edite dal Servizio Tecnico del CSLPP, devono essere verificate le idonee condizioni ambientali di posa e, ai fini della valutazione del rischio di fessurazione indotta dal ritiro in fase plastica, è importante rilevare i seguenti parametri dell'ambiente circostante la pavimentazione oggetto di realizzazione:

- a. temperatura dell'aria;
- b. umidità relativa ambientale;
- c. velocità del vento a piè d'opera;
- d. temperatura del calcestruzzo dopo la posa.

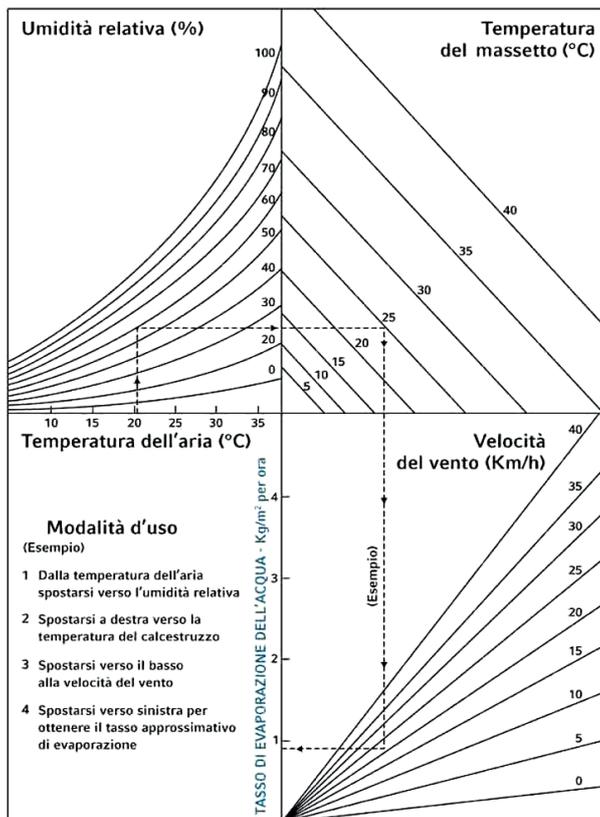
Quando la velocità di bleeding è superiore alla velocità di evaporazione dell'acqua, si innescano tensioni correlate alle tensioni idrostatiche che possono provocare la nascita di fessurazioni. In generale, quindi, il tasso di evaporazione (inteso come litri di acqua evaporata per ora e per metro quadrato - l/h/m²) è un dato che può indicare con precisione situazioni critiche che possono preventivamente essere gestite.

Un tasso di evaporazione compreso fra 0,5 e 1,0 è indicato come critico, quindi degno di attenzione, mentre un tasso superiore a 1,0 è pericoloso e deve essere evitato.

Il grafico sotto riportato permette la valutazione del tasso di evaporazione dell'acqua in funzione di tutti i parametri a), b), c), d) precedentemente riportati.

Per l'uso pratico del grafico, si entra con la temperatura dell'aria, si risale al valore dell'umidità relativa, quindi si prosegue a destra fino alla temperatura dell'impasto. Dal punto così trovato si scende sulla velocità del vento.

Fig. 11 - Nomogramma ACI per la stima della velocità di evaporazione dell'acqua di emersione superficiale (Fonte Menzel 1954, NRMCA 1960).



13. Criteri per la valutazione delle prestazioni e difettosità di una pavimentazione in calcestruzzo

Il contenuto di questo capitolo rappresenta un'utile guida e riferimento per il committente, per valutare in modo oggettivo il risultato finale della pavimentazione.

Molte delle informazioni qui di seguito fornite sono trattate in modo più dettagliato ed esaustivo nelle "Istruzioni per la progettazione, l'esecuzione ed il controllo delle pavimentazioni di calcestruzzo - CNR-DT 211".

Infine, sempre in questo capitolo, verranno riportate delle metodologie per la verifica delle prestazioni previste dal progetto.

13.1 Planarità

La planarità di una pavimentazione è requisito fondamentale e pertanto è importante una corretta scelta progettuale iniziale e una successiva realizzazione che rispetti le tolleranze richieste.

Per prima cosa va definita cosa si intende per planarità:

- la "planarità di esecuzione", accompagnata dalle relative "tolleranze di esecuzione", ed è ciò che si riesce ad ottenere con le normali procedure esecutive per una pavimentazione di calcestruzzo; va verificata, dal Direttore Lavori, entro le 72 ore dal completamento della pavimentazione stessa e ha lo scopo di verificare la correttezza delle procedure esecutive;
- la "planarità di servizio", accompagnata dalle relative "tolleranze di servizio", è la planarità che si necessita durante la vita di servizio della pavimentazione. Tale prestazione non sempre coincide con quella esecutiva e va ottenuta con l'aggiunta di altre lavorazioni (molatura, rettifica, levigatura, riporto di strati in spessore, ecc.), rispetto a quanto ottenuto nella realizzazione della piastra. Inoltre, tale requisito, è fortemente influenzato dalle caratteristiche progettuali della piastra e dalla scelta dei materiali effettuata dal Progettista.

La classificazione relativa al grado di planarità è riportata nelle "Istruzioni per la progettazione, la realizzazione ed il controllo delle pavimentazioni di calcestruzzo - CNR-DT 211" o da specifiche diverse indicate da documentazione tecnica dei sistemi di impilaggio su scaffali previsti dalla Committenza, i cui metodi di misurazione e verifica dovranno essere coerenti con la scelta fatta inizialmente.

In alcuni casi è possibile che i valori delle tolleranze di planarità eccedano i limiti previsti contrattualmente già alla consegna della pavimentazione, oppure che i valori siano entro la tolleranza indicata nelle verifiche iniziali (entro le 72 ore, lontano dagli spiccati in elevazione, dai pozzetti, dai bordi perimetrali, dai giunti di costruzione, dalle caditoie, dalle zone che necessitano in particolare di una lavorazione manuale) ma si possano modificare nel tempo a causa di deformazioni differite delle piastre.

In tal caso, sarà possibile intervenire localmente mediante levigature superficiali o interventi parziali.

L'eventuale correzione della planarità, ottenuta con metodi adeguati a mantenere le altre caratteristiche prestazionali della pavimentazione (resistenze, abrasione, ecc.) comporta sempre un inestetismo più o meno evidente che sarà mai considerato difetto; pertanto, se l'aspetto estetico risultasse essere una caratteristica prestazionale determinante della pavimentazione, dovrà essere chiaramente specificata in fase di progetto, allo scopo di ottimizzare tutti gli accorgimenti utili per ottenere il risultato voluto senza

operare successive correzioni e comunque sarà previsto un intervento finale di ricoprimento in spessore, che sarà oggetto di specifica progettuale e riportata nei documenti di progetto.

La planarità è lo stato di una superficie piana che non presenta irregolarità, sia convessa che concava. La planarità è indipendente dalla pendenza e dall'orizzontalità. Il grado di planarità di una pavimentazione deve essere definito contrattualmente, anche ai fini della scelta del metodo costruttivo.

I valori di tolleranza in esecuzione sulla planarità e relativo metodo di misura, riportati nel presente documento, sono quelli previsti dalla norma UNI 11146 e dalle "Istruzioni per la progettazione, la realizzazione ed il controllo delle pavimentazioni di calcestruzzo - CNR-DT 211"

Altre normative di riferimento, per la "planarità di esecuzione" sono riportate nelle "Istruzioni per la progettazione, la realizzazione ed il controllo delle pavimentazioni di calcestruzzo - CNR-DT 211", come ad esempio la DIN 18202.

Tabella 3 - Tolleranze di esecuzione in base al grado di planarità con movimentazione su superfici libere (UNI 11146)

Distanza tra i punti di controllo	1 m	2 m	4 m
Tolleranza	±4 mm	±5 mm	±6 mm
*) Scostamento di concavità o convessità rispetto al piano determinato dal regolo utilizzato per la misurazione			

Tolleranze in esercizio più restrittive di quelle indicate in esecuzione, ad esempio per magazzini destinati a stoccaggio con alte scaffalature ed impiego di carrelli elevatori a grande altezza, non sono contemplate dal presente codice e devono essere eventualmente specificate nel progetto.

13.1.1 Metodo di misura

La planarità deve essere verificata utilizzando il metodo di cui al punto successivo o altri metodi che consentano una precisione uguale o maggiore.

Allo scopo di verificare la corretta esecuzione del pavimento industriale, le tolleranze richieste devono essere verificate entro e non oltre le 72 ore successive al getto per escludere l'influenza sul risultato apportato dalle deformazioni da ritiro o cause dovute a errori progettuali e lontano almeno 50 cm dai pozzetti, dagli spiccati in elevazione e dai giunti di costruzione per escludere l'influenza del fenomeno di imbarcamento (curling) tipico dei pavimenti di calcestruzzo.

13.1.1.1 Verifica planarità con regolo

L'attrezzatura è costituita da:

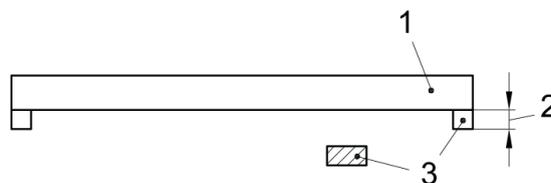
- un regolo dritto e rigido di due metri alle cui estremità sono applicati dei tasselli di sezione 5x5 mm, aventi spessore rispondente alla tolleranza concessa;
- un terzo tassello avente le stesse dimensioni. La procedura è schematizzata nelle figure che seguono.

Dove:

1 è il regolo;

2 lo spessore rispondente alla planarità richiesta;

3 i tasselli.



Appoggiando il regolo sul pavimento si avranno i seguenti casi:

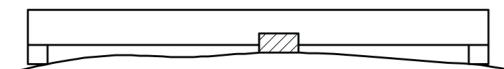
Caso 1

Il regolo tocca il pavimento: planarità fuori tolleranza



Caso 2

Il regolo non tocca il pavimento e il tassello non passa sotto il regolo: planarità entro tolleranza



Caso 3

Il regolo non tocca il pavimento e il tassello passa sotto il regolo: capovolgere il regolo



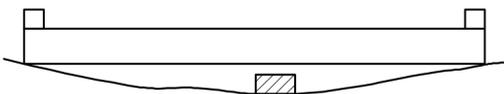
Caso 3A

Il tassello non passa: planarità entro tolleranza



Caso 3B

Il tassello passa: planarità fuori tolleranza



13.1.2 Criteri di accettazione

La pavimentazione è accettata alla verifica di due condizioni:

- almeno il 90% delle misurazioni preventivamente concordate deve essere conforme ai valori di riferimento;
- il 10% delle misurazioni preventivamente concordate non può comunque superare il valore di riferimento aumentato del 25% in ogni singola rilevazione.

Nota

Il progettista dovrà indicare il sistema di intervento per il recupero delle zone eventualmente non accettate alla verifica delle condizioni precisate.

13.2 Orizzontalità

Quanto previsto nel presente punto, in accordo con la UNI 11146 e le "Istruzioni per la progettazione, la realizzazione ed il controllo delle pavimentazioni di calcestruzzo - CNR-DT 211", è applicabile quando nel pavimento non siano previste pendenze per il deflusso dell'acqua. In tal caso si applica quanto indicato al capitolo 13.3.

Tabella 4 - Tolleranze sull'orizzontalità.

Distanza fra i punti di controllo	≤ 10 m	≤ 25 m	≤ 50 m	≤ 100 m
Tolleranze	±15 mm	±20 mm	±25 mm	± 35 mm

L'"**orizzontalità di esecuzione**", insieme alle correlate "tolleranze di esecuzione", rappresenta **il risultato ottenibile tramite procedure esecutive standard per una pavimentazione in calcestruzzo**. Questa deve essere verificata dal Direttore dei Lavori entro 72 ore dal completamento della pavimentazione, al fine di assicurare la correttezza delle procedure esecutive impiegate.

L'"**orizzontalità di servizio**", e le relative "tolleranze di servizio", **denotano l'orizzontalità necessaria durante il ciclo di vita utile della pavimentazione**. Tale orizzontalità non coincide sempre con quella esecutiva e può necessitare di interventi aggiuntivi come molatura, rettifica, levigatura, o l'aggiunta di strati in spessore, per raggiungere il livello desiderato, diversamente da quanto ottenuto nella realizzazione iniziale della piastra.

In aggiunta, tale requisito è profondamente influenzato dalle specifiche di progettazione della piastra e dalla selezione dei materiali operata dal Progettista. Le considerazioni sulla scelta dei materiali e sulle caratteristiche progettuali sono, pertanto, essenziali per assicurare l'adempimento ai requisiti di orizzontalità di servizio.

13.2.1 Orizzontalità in presenza di punti di raccordo

Una pavimentazione di calcestruzzo viene normalmente raccordata agli elementi circostanti già posizionati in quota e livello stabiliti (soglie, chiusini, basamenti, piani di scarico ecc.) che costituiscono i punti di raccordo e quindi in tali casi l'orizzontalità non necessariamente risulta requisito applicabile.

I riferimenti dei piani quotati su pilastri o muri, devono essere marcati con tratti precisi a cura del Committente.

13.2.2 Orizzontalità in assenza di punti di raccordo

In assenza di punti di raccordo, ad esempio platee, basamenti ecc., si deve stabilire la quota di riferimento rispetto al caposaldo. Le tolleranze riferite alla quota di riferimento devono essere le seguenti:

Distanza tra i punti di controllo	Tolleranza
≤ 10 m	± 15 mm
≤ 25 m	± 20 mm
≤ 50 m	± 25 mm
≤ 100 m	± 35 mm

13.2.3 Verifica dell'orizzontalità

Il controllo dell'orizzontalità deve essere effettuato con strumenti la cui precisione risulti non inferiore al 10% della tolleranza concessa. Il controllo è effettuato con un sistema di triangolazioni chiuse. Non sono ammesse letture "a ventaglio".

13.2.4 Criteri di accettazione

La pavimentazione è accettata alla verifica di due condizioni:

- almeno il 90% delle misurazioni preventivamente concordate deve essere conforme ai valori di riferimento;
- il 10% delle misurazioni preventivamente concordate non può comunque superare il valore di riferimento aumentato del 25% in ogni singola rilevazione.

Nota

Il progettista dovrà indicare il sistema di intervento per il recupero delle zone eventualmente non accettate alla verifica delle condizioni precisate.

13.3 Pendenze

Le pendenze per il deflusso delle acque verso i punti di raccolta vanno espresse in mm/m e devono essere indicate dal progettista.

Quanto previsto nel presente punto è applicabile quando non sia richiesto il soddisfacimento del requisito di orizzontalità di cui al Cap.13.2.

Per evitare ristagni d'acqua è necessario prevedere pendenze non inferiori a 15 mm/m.

Per rispettare tali pendenze, la quota di colmo deve essere determinata misurando la distanza (L_r) tra il punto più lontano e il punto di raccolta delle acque (Figura 9).

Il grado di planarità dei pavimenti in pendenza deve essere misurato con il metodo di controllo riportato al Cap.13.1

I punti di raccolta delle acque devono essere realizzati con canaline e con chiusini.

Le canaline di raccolta devono essere posate nel senso longitudinale del pavimento, al centro o per

ciascun lato. A fronte di motivate esigenze specifiche, si possono adottare pendenze minori (anche 0,8-1%), utilizzando opportuni accorgimenti procedurali e di controllo in corso d'opera, rivolti a consentire sempre un regolare deflusso dei liquidi.

In questi casi particolare attenzione andrà posta nei confronti della durabilità delle superfici e dei giunti con appropriati sistemi costruttivi e appropriate procedure di uso e manutenzione.

Gradienti di pendenza superiori al 2%, come evidenziato nel capitolo delle definizioni, classificano la pavimentazione come in "forte pendenza".

In assenza di prescrizioni progettuali, eventuali ristagni d'acqua non costituiranno difetto del profilo superficiale nel caso in cui sia superata la prova di planarità in corrispondenza di ogni singolo ristagno con le modalità, le tempistiche e le tolleranze esposte nel capitolo 13.2 avendo cura di procedere come segue:

- ristagno lungo il compluvio - alloggiare il regolo lungo la linea di compluvio;
- ristagno sul colmo - alloggiare il regolo lungo la linea di colmo in direzione della linea medesima;
- ristagno in falda (piano inclinato anche su due direzioni) - alloggiare il regolo sia in direzione parallela che ortogonale alla pendenza.

La verifica delle pendenze al pari della "planarità di esecuzione", accompagnate dalle relative "tolleranze di esecuzione", vanno verificate, dal Direttore Lavori, entro le 72 ore dal completamento della pavimentazione stessa e ha lo scopo di verificare la correttezza delle procedure esecutive.

Eventualmente, prima della messa in servizio della pavimentazione stessa, verranno riverificate nel controllo della planarità e delle "tolleranze di servizio".

13.4 Curling

Il curling è un fenomeno intrinseco delle pavimentazioni di calcestruzzo, consistente nell'incurvamento della pavimentazione soprattutto evidente negli spigoli in corrispondenza dei giunti, causato dal maggiore ritiro del calcestruzzo in corrispondenza della superficie a contatto con l'aria.

A causa di tale sollevamento, la pavimentazione si può fratturare in prossimità degli spigoli per il passaggio di carichi mobili. Tale fenomeno può essere limitato, ma non completamente annullato.

Per tale motivo si dovranno adottare tutti gli accorgimenti progettuali ed esecutivi, necessari a limitare tale fenomeno.

In particolare, è fortemente sconsigliato realizzare pavimentazioni di calcestruzzo con spessori inferiori o uguali a 15 cm ed è opportuno che il progettista si attesti verso spessori di 18 cm. Inoltre, una opportuna scelta delle prestazioni del calcestruzzo, dell'armatura, delle tecniche di maturazione contribuiscono al contenimento del fenomeno del curling.

Al fine di limitare la comparsa del fenomeno di "curling" è opportuno, nei giunti di costruzione e dilatazione, l'impiego di sistemi che assicurino trasferimento del carico e minimizzino il movimento verticale in corrispondenza di spigoli concorrenti in un giunto.

Inoltre, qualsiasi misura presa per ridurre il ritiro del calcestruzzo contribuirà al contenimento del fenomeno del curling.

Per quanto riguarda l'accettazione del fenomeno, le tolleranze devono essere coerenti con i limiti imposti per la planarità e per gli eventuali interventi correttivi vale quanto riportato al paragrafo precedente.

Al curling si può porre rimedio concordando preventivamente eventuali accorgimenti sullo spessore (sempre > di 15 cm) sulle caratteristiche del materiale e le modalità di maturazione.

Per spessori inferiori a 15 cm, le deformazioni a breve, medio e lungo termine non possono essere attribuite all'esecutore della pavimentazione.

Qualora, per problematiche particolari dovute agli spazi a disposizione si dovessero progettare pavimentazioni con spessori al di sotto dei 15 cm, si ricordi che sono opere speciali, sempre sconsigliate, e le conseguenti attività di monitoraggio e/o manutenzione, che deve effettuare obbligatoriamente il Committente, devono essere intensificate e aumentate, in relazione all'uso e alla riduzione dello spessore rispetto ai 15 cm.

13.5 Cavillature e fessure

13.5.1 Cavillature e/o microfessure

Le cavillature e/o microfessure sono una caratteristica frequente in una pavimentazione di calcestruzzo rifinita con o senza spolvero cementizio in quanto possono dipendere dalle naturali operazioni di finitura e dalle condizioni termo-igrometriche presenti al momento delle lavorazioni e nei primi periodi di indurimento.

Possono essere contenute eliminando l'azione diretta del sole e le correnti d'aria. Una corretta stagionatura diminuisce tale fenomeno, ma non può essere mai eliminato del tutto.

Normalmente sono estremamente piccole, tanto da essere spesso individuate solo dopo una preventiva leggera bagnatura della pavimentazione.

Le cavillature e/o microfessure a ragnatela non possono essere considerate un difetto, salvo che tale fenomeno sia accompagnato da distacchi parziali dello strato di finitura.

Se tali microcavillature non risultano accettabili per il Committente, il Progettista da Lui nominato, in fase di progetto, dovrà prevedere un trattamento superficiale di riporto (ad esempio una verniciatura o meglio in spessore per garantire una durata maggiore del ricoprimento).

13.5.2 Fessure

Le fessure si differenziano dalle microfessure per la forma, ampiezza e distribuzione sulla superficie della pavimentazione.

Le fessure sono spesso evidenti ad occhio nudo, con un'ampiezza da qualche centinaio di micron fino a qualche millimetro. Normalmente presentano un andamento lineare irregolare o possono suddividere un riquadro di calcestruzzo in due o più zone distinte. A volte possono presentare uno scalino tra i due lembi.

Le cause della fessurazione sono molteplici, ad esempio il ritiro del calcestruzzo, ma anche questo è un fenomeno naturale presente, che può essere mitigato, mai eliminato, la presenza di pilastri, spigoli, vertici, spiccati in elevazione in genere, carichi eccessivi sulla pavimentazione rispetto alle previsioni progettuali, rotture dei bordi delle lastre di calcestruzzo imbarcate a causa del fenomeno del curling, assestamenti differiti nel tempo del supporto.

La presenza di eventuali fessure può essere classificata come difetto lieve, medio o grave in relazione soprattutto alla loro estensione e alla loro ampiezza, o anche rispetto alla specifica destinazione d'uso della pavimentazione.

Al fine di garantire la funzionalità della pavimentazione, fessure sottili, con ampiezza inferiore a 0,3 mm, sono considerate accettabili, mentre fessure più ampie potranno essere oggetto di verifica puntuale con un semplice controllo del loro andamento e del loro deterioramento nel tempo e di puntuale ma-

nutenzione nel caso si verifichi una progressione del degrado dei cigli della fessura.

Particolari esigenze estetiche devono essere specificate dal Committente in fase di progetto, il Progettista deve progettare l'eventuale ricoprimento in spessore.

Per le pavimentazioni si considera accettabile la presenza di alcune decine di metri, dai 10 m ai 30 m, di fessura con ampiezza maggiore di 0,3 mm ogni 1.000 m² di pavimentazione (equivalente da 1 cm/m² a 3 cm/m² di fessura ammessa), valutata entro il primo anno dalla realizzazione. In ogni caso è suggerito un intervento di ripristino locale e non globale, cioè non totale ricoprimento della superficie.

In tal caso si dovrà provvedere a un intervento di sigillatura con sistemi resinosi adeguati, o prodotti specifici per l'intervento. Nel caso di fessure ancora attive si dovranno utilizzare dei sistemi flessibili o elastici. Inoltre, i giunti contrazione/controllo presenti dovranno essere analizzati attentamente e controllati circa la loro reale funzionalità al fine che, dopo la sigillatura delle fessure presenti, siano proprio i giunti a lavorare, cioè ad essere interessati ad eventuali altri movimenti da deformazioni termo-igrometriche, così da evitare l'insorgere di ulteriori fenomeni fessurativi superficiali.

Particolari esigenze estetiche devono essere specificate dal Committente in fase di progetto, il Progettista deve progettare l'eventuale ricoprimento in spessore.

La presenza di spiccati in elevazione, pozzetti, chiusini, griglie di raccolta acque, fondazioni per macchine ed altri elementi inseriti nella pavimentazione stessa, sono un potenziale pericolo per l'innescio delle fessurazioni. Per tale motivo in corrispondenza di tali particolari, dovranno essere prescritti tutti gli accorgimenti necessari per contrastare tale fenomeno.

Le fessure che si creano tra la fine taglio, per la realizzazione del giunto di contrazione/controllo, e gli spiccati in elevazione, causate dalla necessaria distanza di sicurezza delle attrezzature di taglio, non sono da considerarsi difetto. Inoltre, tale fessura serve a capire il buon funzionamento del giunto se è stato eseguito nei tempi e profondità corretti. La mancanza di tale fessura implica il non corretto funzionamento del giunto e deve essere preso in considerazione per interventi postumi di manutenzione e/o ripristino.

13.5.2.1 Monitoraggio delle fessure

Consiste nel rilevare, nel tempo, l'andamento delle fessure, per valutare se sono dovute a fenomeni legati alle condizioni termo-igrometriche o altre problematiche che dipendono da movimenti delle strutture e/o dal supporto, specialmente per pavimentazioni datate o realizzate con vecchie tecnologie costruttive,

Per la misura dell'ampiezza delle fessure si può utilizzare la lente d'ingrandimento quotata o mediante l'utilizzo di fessurimetri, al fine di verificare la variazione lineare nel tempo.

Con un estensimetro-deformometro si possono misurare, memorizzandole, le deformazioni lineari anche nell'ordine del micron.

L'attività di misurazione delle fessure, sia quelle dovute a fenomeni intrinseci in fase di realizzazione che per i monitoraggi nel tempo, possono essere eseguite solo da un laboratorio ufficiale, di cui all'art. 59 del D.P.R. 380/2001.

13.6 Delaminazione

La delaminazione rappresenta un fenomeno specifico che può manifestarsi in pavimentazioni realizzate in calcestruzzo, comportando il distacco localizzato della parte corticale della piastra, interessando spessori che possono variare da pochi millimetri fino a 1-2 cm o più.

Questo fenomeno può essere categorizzato in due modi distinti: delaminazione adesiva e delaminazione coesiva. La prima si riferisce al distacco netto della parte di finitura applicata durante le fasi finali della lavorazione del calcestruzzo. La seconda, invece, si verifica quando il distacco avviene all'interno della matrice di calcestruzzo, nella sua parte superficiale, raggiungendo spessori che possono variare fino a diversi centimetri.

È possibile accettare fenomeni di delaminazione puntuale e localizzata, purché venga effettuato un adeguato intervento di ripristino, in relazione a una soglia di accettazione prevista dal Progettista.

La delaminazione coesiva può essere risolta mediante la rimozione delle porzioni deteriorate e successivo ripristino utilizzando sistemi resinosi o cementizi modificati, al fine di ricostruire i volumi originali. Tale procedura deve essere attentamente valutata sia sotto l'aspetto tecnico che della durabilità, accettando eventuali differenze estetiche tra le aree riparate e il resto della pavimentazione. Qualora l'aspetto estetico rivesta un'importanza significativa, questa deve essere chiaramente definita in fase progettuale; in assenza di specifiche prescrizioni, l'aspetto estetico non dovrebbe costituire motivo di discussione o controversie.

In caso di delaminazione adesiva, è necessario procedere con la scarifica delle aree interessate fino a raggiungere il calcestruzzo integro e successivamente procedere al ripristino con sistemi adeguati. Analogamente, qualora l'aspetto estetico sia di particolare rilevanza, deve essere prescritto espressamente in fase progettuale, altrimenti non deve essere fonte di contestazione.

In entrambi i casi, le procedure di ripristino e i criteri estetici devono conformarsi scrupolosamente alle prescrizioni progettuali, evitando dispute inutili e garantendo la durabilità e l'integrità strutturale dell'opera.

Se i riquadri interessati dal fenomeno della delaminazione riguardano zone estese, o il recupero superficiale risulta essere difficile o incerto nel suo risultato tecnico, si può valutare la demolizione della zona interessata.

Al fine di evitare la nascita di fenomeni di delaminazione, il progettista deve limitarsi a prescrivere le prestazioni superficiali (resistenza all'abrasione) e non prescrivere quantitativi di spolvero che potrebbero non essere compatibili con le caratteristiche del calcestruzzo, le condizioni termo-igrometriche in fase di finitura e le modalità di lavorazione previste per il raggiungimento dello scopo. Inoltre, sempre al fine di scongiurare l'insorgere di fenomeni di delaminazione, si deve evitare la finitura liscia e lucida, ottenuta con utensili metallici, della pavimentazione stessa. Qualora tale tipologia di finitura, fosse oggetto di prescrizione progettuale, potrà avvenire solo con lavorazioni postume e a stagionatura completata.

Le tempistiche di realizzazione dipenderanno dalle condizioni termo-igrometriche del sito; è raccomandato intervenire a seguito dei 28 giorni di maturazione del calcestruzzo.

13.7 Blistering

Il fenomeno del blistering nelle pavimentazioni in calcestruzzo si riferisce alla formazione di bolle o vesciche d'aria (blister) tra la superficie del calcestruzzo e lo strato di finitura o il rivestimento applicato sopra. Questo fenomeno può manifestarsi durante le operazioni di finitura superficiale e gli effetti possono essere visibili dopo il processo di essiccazione e indurimento del calcestruzzo.

13.7.1 Causa del Blistering

Il blistering può essere causato da una serie di fattori, principalmente relativi all'intrappolamento di aria, di acqua o vapore acqueo sotto lo strato di superficie durante il processo di essiccazione. Questo può avvenire a causa di una eccessiva presenza di finissimi nella malta corticale del calcestruzzo in via di lavorazione, una miscela di calcestruzzo troppo umida, o l'utilizzo eccessivo di additivi aria-intrappolanti.

Altre volte, una rapida essiccazione della superficie può impedire l'evaporazione dell'umidità residua, portando alla formazione di blister.

13.7.2 Conseguenze e Soluzioni

Il blistering può compromettere l'aspetto estetico del calcestruzzo e, in alcuni casi, può anche influire sulla sua integrità strutturale e sulla sua durata, specialmente in pavimentazioni soggette a carichi pesanti o traffico intenso.

Per prevenire la formazione di blister, è fondamentale:

- **Compattazione Adeguata:** Assicurare una compattazione efficace del calcestruzzo per eliminare le bolle d'aria trappolate.
- **Cura e Controllo dell'Umidità:** Mantenere un'umidità equilibrata durante il processo di indurimento per permettere una corretta evaporazione dell'acqua.
- **Uso Controllato di Additivi:** Limitare l'uso di additivi aria-intrappolanti e assicurarsi che il mix design di calcestruzzo sia ben bilanciato.
- **Tempistiche di Finitura:** Prestare attenzione ai tempi di lavorazione e finitura della superficie, evitando di chiudere i pori in superficie quando il calcestruzzo non ha ancora raggiunto la maturazione adeguata.

Quando il blistering si è già verificato, può essere necessario rimuovere gli strati interessati e riparare la superficie del calcestruzzo, eventualmente applicando nuovamente il rivestimento o la finitura secondo pratiche corrette.

13.8 Differenze cromatiche

A causa delle naturali differenze cromatiche dei vari materiali utilizzati, degli ingredienti che li costituiscono, delle variabili nelle lavorazioni e delle condizioni ambientali durante la posa, l'aspetto superficiale della pavimentazione potrà presentare differenze cromatiche e colorazioni non uniformi. La colorazione iniziale, inoltre, tende a variare nel tempo con l'evoluzione del processo di idratazione, che a sua volta è condizionato dal rapporto a/c della malta corticale e della maturazione umida. Le differenze cromatiche, all'interno di una scala di grigi o crema, sono considerate accettabili, purché siano limitate alle caratteristiche dei materiali e non conseguenze di vizi di costruzione (per esempio macchie di umidità di risalita). Alcune metodologie di maturazione possono favorire la nascita di macchie ma, essendo la maturazione operazione fondamentale e non evitabile e comunque sempre di primaria importanza rispetto al valore estetico di una pavimentazione, tali macchie non possono mai essere considerate un difetto.

L'omogeneità e la persistenza della colorazione iniziale desiderata potrà essere ottenuta solo mediante successivo trattamento in spessore, mai con il solo calcestruzzo e relativa fase di finitura.

Tale requisito, se ritenuto importante dal Committente, dovrà essere comunicato al Progettista, il quale provvederà a considerarlo in fase di progetto e inserirlo nelle prescrizioni progettuali, prevedendo dei ricoprimenti in spessore, a totale ricoprimento della superficie della pavimentazione. In assenza di specifiche prescrizioni progettuali tutte le macchie o le variazioni cromatiche come sopra descritto, non possono essere considerate difetto oppure oggetto di contestazione.

Qualora vengano utilizzate le fibre metalliche, la comparsa di macchie di ruggine non è mai da considerarsi difetto relativo alla colorazione. Anche per tale fenomeno, se ritenuto importante dal Committente, dovrà essere comunicato al Progettista, il quale provvederà a considerarlo in fase di progetto e inserirlo nelle prescrizioni progettuali, prevedendo dei ricoprimenti in spessore.

13.9 Presenza in superficie delle fibre strutturali

Nelle pavimentazioni in calcestruzzo, comunemente, il fenomeno associato alla presenza superficiale di fibre, caratteristica intrinseca del calcestruzzo da intradosso a estradosso della pavimentazione, ha implicazioni prevalentemente estetiche piuttosto che funzionali. Le proprietà di fruibilità ed estetica della superficie delle pavimentazioni sono variabili progettuali che necessitano di una valutazione preliminare.

Nel caso in cui il committente attribuisca particolare rilevanza al requisito estetico, è imperativo che ciò venga comunicato al progettista. Quest'ultimo dovrà, quindi, tenerne conto durante la fase di progettazione, includendo nella documentazione progettuale prescrizioni relative a strati di usura o di finitura, di adeguati spessori, progettati per coprire completamente la superficie della pavimentazione, oppure esplorando eventualmente l'utilizzo di materiali strutturali alternativi al calcestruzzo fibrorinforzato.

Relativamente alla presenza di fibre in superficie si distinguono due possibilità:

- visibili, ma perfettamente adagiate e ancorate nella superficie;
- visibili e parzialmente esposte (caso maggiormente riscontrabile con fibre polimeriche).

L'uso di fibre nel calcestruzzo implica, quindi, ad accettarne la presenza in superficie al termine delle operazioni di finitura.

Per la valutazione della quantità di fibre presenti sulla superficie, verrà tenuta in considerazione la "Belgian Standard Technische Voorlichting 204".

Per prima cosa, l'attenzione non deve essere posta sulla porzione di pavimentazione "peggiore" ma va analizzata nella globalità. Non si guardi solo "il metro quadrato nella parte peggiore della pavimentazione" ma, devono essere seguiti i seguenti passaggi:

1. Disporre diversi quadrati, di "10 metri per 10 metri", sulla superficie del pavimento. Se la superficie del pavimento è inferiore a 10.000 m², disponi (almeno) cinque di questi quadrati; se la superficie è pari o superiore a 10.000 m², disponi (almeno) dieci quadrati.
2. All'interno di ogni quadrato, disponi cinque quadrati più piccoli, ciascuno di "1 metro per 1 metro", scelti in modalità casuale. A seconda della dimensione complessiva del pavimento, ti ritroverai con 25, < 10.000 m², o 50, > 10.000 m², quadrati "1 m x 1 m".
3. Contare le fibre visibili in ogni piccolo quadrato di "1 m x 1 m".
4. Eseguire la media aritmetica tra quanto contato al punto 3 e il numero di "quadrati 1 m x 1 m" e confrontare il risultato con quanto riportato, per le fibre metalliche, nella Tabella 5.

Tabella 5 - Affioramento fibre metalliche

Tipo di superficie	x = numero di fibre	x = numero di fibre	x = numero di fibre
	Buon risultato	Risultato accettabile	Risultato NON accettabile
Senza spolvero	$x < 6$	$6 \leq x < 10$	$x > 10$
Con spolvero	$x < 3$	$3 \leq x < 6$	$x > 6$

La "Belgian Standard TV 204" non indica una Tabella per le fibre di origine polimerica. Essendo esse, a parità di dosaggio in volume, presenti in numero ben più elevato è normale aspettarsi un maggiore numero, di fibre, in affioramento. Inoltre, per motivi legati alla loro leggerezza e natura, risulta più

difficoltoso contrastare fisicamente l'inconveniente, il quale, è amplificato anche dagli effetti della tribo-elettricità provocata dallo strofinio fra le pale metalliche della frattazzatrice meccanica e le fibre stesse.

Di conseguenza, nel caso di fibre sintetiche, la Tabella 6 può essere ricalibrata come segue:

Tabella 6 - Affioramento fibre strutturali di natura non metallica

Tipo di superficie	x = numero di fibre	x = numero di fibre	x = numero di fibre
	Buon risultato	Risultato accettabile	Risultato NON accettabile
Senza spolvero	$x < 18$	$18 \leq x < 30$	$x > 30$
Con spolvero	$x < 9$	$9 \leq x < 18$	$x > 18$

Per entrambi i casi, al fine di regolamentare il criterio di controllo si suggerisce di non effettuarlo in prossimità di muri, spiccati, chiusini, griglie di raccolta acque ed, in genere, in ogni zona dove la finitura è realizzata manualmente e procedere ad almeno 50 cm di distanza dalla fine della zona "finita a mano".

Inoltre, sempre per entrambi i casi, a seconda della particolarità dell'opera e delle precise prestazioni che deve assolvere in servizio, verrà scelto, in fase di progetto, se è sufficiente il "Risultato accettabile" o se sarà necessario cadere negli standard previsti dal "Buon risultato".

In assenza di prescrizioni progettuali, il vale il "Risultato accettabile".

13.10 Efflorescenze

Il fenomeno delle efflorescenze, pur essendo esteticamente inopportuno, è intrinsecamente legato alle proprietà del calcestruzzo. Esso si manifesta in condizioni di umidità, in quanto è la pasta cementizia, con il suo elevato contenuto d'acqua e le sue forze capillari, ad attivare tale fenomeno. È essenziale sottolineare che le efflorescenze non compromettono la durabilità strutturale della pavimentazione, rivelandosi pertanto unicamente un inconveniente di natura estetica.

13.11 Finitura

Il grado di finitura di una pavimentazione di calcestruzzo viene definito del tipo industriale a "frattazzo meccanico".

È tassativamente proibito procedere con operazioni di lucidatura delle pavimentazioni mediante frattazzo meccanico, per prevenire la formazione di delaminazioni, causate dallo stress indotto al calcestruzzo durante una fase cruciale del suo processo di maturazione. In tale fase, infatti, il calcestruzzo manifesta una resistenza meccanica ridotta, soprattutto nelle prime ore di stagionatura. Questo procedimento, se effettuato inappropriatamente, potrebbe compromettere l'integrità strutturale del materiale.

Nei casi in cui è richiesta una pavimentazione molto liscia o lucida è necessario prevedere ulteriori lavorazioni, dopo almeno 28 giorni di maturazione.

La finitura superficiale finale, in ogni caso, deve essere con effetto "antisdrucchiolo" come riportato al punto 4.5.4 - Istruzioni per la progettazione, per l'esecuzione ed il controllo delle pavimentazioni di calcestruzzo - CNR-DT 211, e avere un grado di finitura in relazione alla sicurezza di mezzi e pedoni secondo la prova del pendolo UNI EN 13036 e UNI EN 14231 (punto 10.2.1.3 - "Istruzioni per la pro-

gettazione, per l'esecuzione ed il controllo delle pavimentazioni di calcestruzzo - CNR-DT 211); il tutto dovrà essere coerente con quanto previsto dal D.Lgs. 81/2008 in materia di salute e sicurezza nei luoghi di lavoro e previsto dal Progettista generale dell'opera.

Lungo i muri, basamenti, pilastri, i chiusini, le griglie di raccolta acque, le pilette, i giunti di costruzione metallici/rinforzati, altri spiccati in elevazione e zone non raggiungibili o difficilmente raggiungibili per questioni di sicurezza nei luoghi di lavoro dalla "frattazzatrice meccanica", la finitura sarà del tipo manuale, e quindi diversa per gradazione cromatica e di diversa tessitura superficiale.

Come già riportato precedentemente, quando l'omogeneità, la persistenza della colorazione iniziale desiderata e la qualità della finitura sono ritenute importanti dal committente, esse potranno essere ottenute solo mediante successivo trattamento in spessore, mai con il solo calcestruzzo e relativa fase di finitura.

Tale requisito, se ritenuto importante dal Committente, dovrà essere comunicato al Progettista, il quale provvederà a considerarlo in fase di progetto e inserirlo nelle prescrizioni progettuali, prevedendo dei ricoprimenti in spessore, a totale protezione della superficie della pavimentazione.

In assenza di specifiche prescrizioni progettuali tutte le macchie o le variazioni cromatiche come sopra descritto, non possono essere considerate difetto oppure oggetto di contestazione.

14. Controlli sul calcestruzzo in opera

Per quanto riguarda le armature tradizionali deve essere fatto il controllo di accettazione previsto dalle norme tecniche a cura della direzione lavori.

I controlli sul calcestruzzo - prequalifica, accettazione, conformità - sono stati già trattati all'interno del capitolo 7.3.

A volte è opportuno procedere però a controlli sul calcestruzzo indurito. La resistenza del calcestruzzo nella struttura dipende dalla resistenza del calcestruzzo messo in opera, dalla sua posa e costipazione, dalle condizioni ambientali durante il getto e dalla maturazione.

Nel caso in cui:

- a) le resistenze a compressione dei provini prelevati durante il getto non soddisfino i criteri di accettazione della resistenza caratteristica prevista nel progetto, oppure
- b) sorgano dubbi sulle modalità di confezionamento, conservazione, maturazione e prova dei provini di calcestruzzo, oppure
- c) sorgano dubbi sulle modalità di posa in opera, compattazione e maturazione del calcestruzzo, oppure
- d) si renda necessario valutare a posteriori le proprietà di un calcestruzzo precedentemente messo in opera

si può procedere a una valutazione delle caratteristiche di resistenza attraverso una serie di prove sia distruttive che non distruttive.

14.1 Qualità del calcestruzzo in opera

Al fine di verificare la qualità del calcestruzzo impiegato e della sua messa in opera sarà possibile effettuare, oltre ai controlli di accettazione, obbligatori in corso d'opera, o di conformità, se previsti a contratto, delle indagini mediante prove distruttive e non-distruttive.

Le prime (carotaggi) sono sicuramente le più affidabili e consentono ulteriori valutazioni anche sullo spessore della pavimentazione, il grado di compattazione (densità, porosità, segregazione, vespai), ecc.

Le seconde hanno il pregio della minore invasività e della maggiore economia, ma l'interpretazione dei risultati richiede particolare cautela e, comunque, in caso di contestazione devono essere sempre effettuati i prelievi delle carote.

L'esito delle indagini con metodi non distruttivi, infatti, è sicuramente valido ai fini della verifica dell'uniformità della pavimentazione e della individuazione di zone con minori prestazioni meccaniche. Sono quindi molto utili per la scelta dei punti più rappresentativi nei quali effettuare i prelievi delle carote. Viceversa, per la stima della resistenza a compressione è necessario calibrare specifiche curve di correlazione sulla base delle prove di compressione, secondo le procedure indicate dalle norme europee (UNI EN 13791:2008) e nelle "Linee guida per la valutazione delle caratteristiche meccaniche del calcestruzzo indurito mediante prove non distruttive" pubblicate dal Ministero dei Lavori Pubblici nel 2017.

I prelievi in opera e/o le prove non distruttive, possono essere eseguite solo da un laboratorio ufficiale, di cui all'art. 59 del D.P.R. 380/2001.

14.1.1 Prove distruttive

Le modalità di estrazione delle carote, la scelta del diametro (almeno 3 volte la dimensione massi-

ma dell'aggregato), la preparazione delle estremità (molatura o lisciatura) e l'esecuzione delle prove meccaniche (compressione, trazione indiretta) sono discusse approfonditamente nella letteratura specifica e in normativa (UNI EN 12504-1, UNI EN 12390-1, UNI EN 12390-3, UNI EN 12390-6). L'esame visivo permette l'identificazione di eventuali barre d'armatura ed una prima classificazione delle macroporosità, anche col supporto di fotografie di riferimento (BS1881-120).

Nella scelta della lunghezza finale h dei campioni rispetto al diametro d è preferibile considerare fin da subito se la valutazione mira a verificare la resistenza cubica ($h/d = 1$) o cilindrica ($h/d = 2$), piuttosto che ricorrere a coefficienti correttivi.

Occorre infine ricordare che la resistenza del calcestruzzo in situ è necessariamente inferiore a quella ottenuta da prelievi effettuati in corso d'opera ai fini del controllo di accettazione. Infatti, nel confezionamento di questi ultimi il conglomerato viene compattato a rifiuto e maturato in camera umida climatizzata, ottenendo risultati rappresentativi della massima resistenza potenziale dell'impasto. Tale differenza giustifica il fatto che, per convalidare una determinata classe di calcestruzzo, sia sufficiente il raggiungimento di una resistenza inferiore (pari all'85% secondo le Norme Tecniche per le Costruzioni). Nello stesso riferimento normativo viene anche affrontato il problema di valutazione del valore della resistenza caratteristica in situ, mediante la valutazione e l'applicazione di opportuni coefficienti correttivi, con il supporto della normativa di riferimento e di seguito riportata, come la norma UNI EN 13791:2008 e le "Linee guida per la valutazione delle caratteristiche meccaniche del calcestruzzo indurito mediante prove non distruttive" pubblicate dal Ministero dei Lavori Pubblici nel 2017.

Per la determinazione della profondità di penetrazione dell'acqua sotto pressione nel calcestruzzo indurito, secondo la UNI EN 12390-8, oltre al controllo a bocca di betoniera è possibile effettuare la prova sul calcestruzzo in opera. I risultati dei provini prelevati a bocca di betoniera, verranno confrontati con le prescrizioni progettuali, mentre i risultati del prelievo in opera, saranno confrontati con quelli dei provini prelevati a bocca di betoniera.

Per la pavimentazione, a maturazione avvenuta (minimo 28 giorni), si devono estrarre almeno 3 carote, di diametro non inferiore a 150 mm e altezza non inferiore a 100 mm, sottoposte al test previsto dalla norma UNI EN 12390-8, sulla faccia corticale del campione prelevato, previa rettifica del provino, dove si potrà asportare uno strato al massimo di 3 mm. Il calcestruzzo in opera risulterà conforme se i risultati della prova sui campioni prelevati in opera avranno uno scostamento massimo indicato dal Progettista, rispetto ai risultati della prova sui provini prelevati a bocca di betoniera.

Per quanto riguarda i controlli in opera del FRC, allo stato attuale non è possibile effettuare l'estrazione di un elemento dall'opera che possa essere sottoposto a una prova di tenacità normata di comprovata attendibilità.

Eventuali estrazioni di campioni cilindrici possono essere utili per un confronto fra masse volumiche e resistenza meccanica a compressione in opera rispetto a quelle precedentemente qualificate.

Un eventuale test di possibile impiego, è il Double Punch Test (Barcellona Test), però allo stato attuale non è ancora normato su territorio nazionale ma solo in Spagna.

Una procedura ragionata di procedere, per il controllo delle prestazioni in opera del fibrorinforzato, potrebbe essere il seguente, dopo l'esecuzione di prelievi a bocca di betoniera di campioni cubici e travi (sono contemplati i campioni cilindrici qualora sia prescritta l'esecuzione della prova di trazione indiretta):

- determinazione del quantitativo di fibre allo stato fresco;
- determinazione della resistenza a compressione e delle caratteristiche del fibrorinforzato;
- estrazione di campioni cilindrici direttamente dalla pavimentazione;
- determinazione della resistenza a compressione del calcestruzzo in opera, come sopra riportato;
- conteggio del numero delle fibre (solo fibre metalliche).

Quindi, se la resistenza a compressione in opera risulterà conforme a quanto previsto dalle Norme tecniche per le costruzioni e se il numero di fibre contate sul calcestruzzo fresco e quelle contate dopo la prova distruttiva sulle carote sarà inferiore al valore prescritto dal Progettista, da tutto ciò si intende che la tenacità in opera sia soddisfatta.

In aggiunta, come precedentemente già riportato, è possibile sottoporre i campioni, direttamente estratti dall'opera, a Double Punch Test (Barcellona Test) e confrontarlo con i dati della stessa prova effettuata in fase di qualifica preliminare.

Nota:

Tutte le prove con prelievo a bocca di betoniera sono necessarie per valutare la conformità del calcestruzzo fornito e riguardano le responsabilità del fornitore, mentre le prove relative al calcestruzzo in opera sono necessarie per valutare la conformità del calcestruzzo posato e riguardano le responsabilità dell'esecutore della pavimentazione.

14.2 Prove non distruttive

Le indagini sul calcestruzzo mediante prove non distruttive mirano ad una valutazione indiretta della qualità del calcestruzzo e/o dello strato di usura e della piastra in senso globale attraverso la sua risposta a sollecitazioni fisico-meccaniche. L'accessibilità alla pavimentazione dal solo piano di calpestio limita il numero di tecniche utilizzabili e l'informazione ottenuta spesso è rappresentativa solo dello strato più superficiale del manufatto.

14.2.1 Estrazione di inserti (Cut and Pull-Out test)

Si tratta di una prova semi-distruttiva, nella quale uno speciale ancoraggio meccanico sottosquadro viene installato nel manufatto ed estratto mediante un attuatore idraulico ad azionamento manuale (UNI EN 12504-3).

La rottura inizia con il distacco di un elemento tronco-conico di calcestruzzo, che viene successivamente schiacciato tra la testa dell'ancoraggio e l'anello di riscontro dell'attuatore.

La forza massima di estrazione ha quindi un'ottima correlazione con la resistenza a compressione dello strato coinvolto (25 mm di spessore).

Altro utile metodo d'indagine è la prova di pull-off, dove un disco di alluminio viene incollato sulla superficie della pavimentazione, opportunamente incisa in precedenza, e successivamente sollecitato a trazione mediante un dinamometro, determinando in tal modo la resistenza a trazione diretta del conglomerato e individuando in tal modo anche la presenza di zone deboli nella stratigrafia.

14.2.2 Risposta agli impulsi

È una tecnica basata sulla risposta dinamica della pavimentazione sollecitata con un martello relativamente pesante (massa = 1 kg) dotato di testa in plastica o gomma dura (ASTM C1740).

Il martello può essere anche strumentato con una cella di carico dinamica e la vibrazione della superficie della pavimentazione in prossimità del punto di impatto viene rilevata con un sensore di velocità (geofono). Il risultato viene espresso attraverso il diagramma della mobilità, ottenuto normalizzando lo spettro della risposta in velocità rispetto allo spettro della forza di contatto.

Il diagramma fornisce indicazioni sulla deformabilità flessionale della piastra, lo spessore, la presenza di fessure, vespai e difetti nel sottofondo.

15. Prove sulla pavimentazione in opera

15.1 Verifica della resistenza all'usura

I requisiti di resistenza all'usura da verificare sull'opera finita sono di difficile definizione, data la forte dipendenza dal tipo di materiale, dal calcestruzzo e dalle modalità di posa e dalle condizioni generali e ambientali di realizzazione e stagionatura. Nel caso che contrattualmente sia prevista una verifica in opera è opportuno stabilire preventivamente il metodo di prova e le modalità di valutazione.

Per le prove sui singoli materiali possono essere utilizzati in laboratorio il metodo Bohme (UNI EN 13813), la cui prova può essere eseguita solo in laboratorio, su campioni prelevati in sito. Per quanto riguarda le prove sulla pavimentazione oggetto di verifica, si deve utilizzare la prova BCA (EN 13892-1 ed EN 13892-4). Tali misurazioni possono essere eseguite solo da un laboratorio ufficiale, di cui all'art. 59 del D.P.R. 380/2001. Quantitativi di spolvero prescritti al metro quadro, non sono una specifica di resistenza all'abrasione e non sostituiscono le metodologie di prescrizione a prestazione che devono essere redatte da Progettista e verificate dal Direttore Lavori.

La resistenza all'abrasione deve essere determinata mediante prove concordate preventivamente. Pertanto, si rende necessario stabilire in fase contratto a quali prove verrà sottoposto lo strato d'usura.

Valutazioni empiriche e sommarie, senza l'uso di strumentazione adeguata, non sono ammesse per formulare contestazioni.

15.2 Resistenza allo scivolamento

Non vi è ancora un diffuso consenso circa la definizione della resistenza allo scivolamento e dei relativi metodi di prova, che risentono in maniera variabile del materiale posto a contatto con la pavimentazione e dell'eventuale bagnatura della superficie. Per questo motivo, le pavimentazioni di calcestruzzo, nei luoghi di lavoro e/o frequentati dal pubblico, non devono mai essere lisciate. Tra i metodi più diffusi, per la valutazione dello scivolamento, è la prova del pendolo (UNI EN 13036 e UNI EN 14231).

Un parametro per la valutazione della scivolosità è dato dal coefficiente di attrito: quanto più alto è il coefficiente di attrito, tanto minore sarà la scivolosità.

I valori ottenuti con il pendolo secondo le normative internazionali sono suddivisi in quattro categorie di sciolosità:

1. Eccessiva: valore minore di 24
2. Moderata: valore maggiore a 25 e minore di 35
3. Bassa: valore maggiore a 36
4. Estremamente bassa: valore maggiore a 75

I valori ottenuti con il "Pendulum test" indicano la resistenza dinamica allo scivolamento (tecnicamente noto come coefficiente di attrito dinamico - COF) di una ampia superficie continua in calcestruzzo, provata nelle condizioni di gomma asciutta e cuoio bagnato e possono dimostrare a Committenti, Direttori Lavori, Collaudatori, Compagnie Assicurative, ecc. che la superficie calpestabile è sicura.

Per la maggior parte e tipologia di ambienti, un coefficiente di attrito dinamico, ovvero un PTV "Pendulum Test Value", superiore a 36 (per entrambe le condizioni asciutto e bagnato) viene considerato come un valore di rischio minimo di riferimento paragonabile ad un rischio 1 su 1.000.000, come da tabella riportata.

Tabella 7 - Rischi rapportati al PTV - Pendulum Test Value.

Valore PTV minimo	Rischio	Potenziale scivolosità
19	1:2	Alto
24	1:20	Alto
27	1:200	Moderato
29	1:10.000	Moderato
34	1:100.000	Moderato
36	1:1.000.000	Basso

Il Progettista dovrà prescrivere il valore che si deve ottenere con la lavorazione, riferito alla prova del pendolo, che sarà verificata dal Direttore Lavori.

Il valore che il Progettista prescrive per la resistenza allo scivolamento influenzerà il risultato della finitura superficiale, che non sarà mai oggetto di contestazione, poiché lo scivolamento ha sempre importanza prioritaria, rispetto alla funzione strettamente estetica.

Tali misurazioni possono essere eseguite solo da un laboratorio ufficiale, di cui all'art. 59 del D.P.R. 380/2001.

Valutazioni empiriche e sommarie, senza l'uso di strumentazione adeguata, non sono ammesse per formulare contestazioni.

15.3 Spessore della pavimentazione

Le tolleranze della variabilità dello spessore della pavimentazione sono indicate nelle "Istruzioni per la progettazione, la realizzazione ed il controllo delle pavimentazioni di calcestruzzo CNR DT 211", in accordo con la UNI EN 13877-2. Tali tolleranze devono essere sempre definite progettualmente in funzione delle prestazioni richieste dal committente.

La determinazione dello spessore totale della pavimentazione può essere effettuata mediante rilievo diretto su carote (UNI EN 13863-3). Una tecnica di facile realizzazione è quella di eseguire fori di piccolo diametro e di verificare lo spessore, in casi particolari con un'ispezione endoscopica. Il numero dei sondaggi dovrà essere adeguato alle superfici ispezionate per essere statisticamente significativo e dovrà essere correlato, ove possibile, alla verifica dei DDT del calcestruzzo.

Esistono inoltre altre tecniche di controllo non distruttive (UNI EN 13863-1, ASTM D4748, ASTM 1383) da valutare nel caso di specifiche situazioni.

La norma UNI EN 13877-2 classifica le tolleranze dello spessore delle pavimentazioni come riportato in Tab. 8.

Tabella 8 - Tolleranze per lo spessore delle pavimentazioni.

Categoria di tolleranza	Riduzione massima dello spessore nominale della pavimentazione per ogni singolo prelievo (mm)
T1	< 25
T2	< 20
T3	< 15
T4	< 10
T5	< 5

Nota

La media aritmetica delle misurazioni non dovrà essere inferiore allo spessore di progetto.

In assenza di specifiche progettuali, causa negligenza del Progettista e del Direttore Lavori, ogni singola misura rilevata non deve essere inferiore allo spessore di progetto ridotta della quantità indicata in tabella in relazione alla categoria di tolleranza, né superiore a 15 mm rispetto allo spessore di progetto.

Tali misurazioni possono essere eseguite solo da un laboratorio ufficiale, di cui all'art. 59 del D.P.R. 380/2001.

Nota: fare molta attenzione alle zone in cui si prevede di fare le verifiche dello spessore, poiché va considerato che le soglie di portoni e di locali attigui sono vincolanti per la quota del piano finito; quindi, lo spessore va verificato ad una congrua distanza da tali punti singolari.

Valutazioni empiriche e sommarie, senza l'uso di strumentazione adeguata, non sono ammesse per formulare contestazioni.

15.4 Prove per la localizzazione delle armature

Lo strumento che può essere utilizzato anche per localizzare l'armatura, la posizione, ecc. è il pacometro. Inoltre, risulta molto utile per individuare i punti più idonei per il carotaggio evitando l'armatura.

15.5 Movimenti mutui verticali tra massicciata e pavimentazione

Ponendo a cavallo di un giunto e su ciascuna piastra, rilevando i movimenti con un livello laser, si faccia transitare un carrello (anche vuoto). Si avrà la netta percezione del movimento verticale su quel giunto e per le due piastre.

Non esiste comunque un giunto sbrecciato senza movimenti verticali delle lastre. Inoltre, chi consiglia di realizzare il cosiddetto travetto a ridosso di due lastre senza prima aver eliminato i movimenti verticali, commette un errore tecnico. Valutazioni empiriche e sommarie, senza l'uso di strumentazione adeguata, non sono ammesse per formulare contestazioni.

La tecnica di localizzazione e quantificazione delle cavità al di sotto dei pavimenti in calcestruzzo è resa possibile da una tecnica geofisica denominata Ground Probing Radar (GPR) in italiano Georadar.

Lo strumento consente di rilevare la presenza di cavità misurando la riflessione di onde elettromagnetiche.

Con rapidità e senza interrompere l'attività svolta nell'ambiente, si produce una mappa dei vuoti con una valutazione dello spessore e dunque del volume.

Si tracciano delle linee rette sulla pavimentazione, lungo le quali, a velocità costante, si trascina il Georadar.

Un sistema computerizzato restituisce immediatamente il rilievo altimetrico della linea con marcati gli intervalli di misura prestabiliti.

L'impiego del georadar consente inoltre di poter valutare la natura e la struttura del sottofondo con precisione e senza distruggere parte del pavimento.

Valutazioni empiriche e sommarie, senza l'uso di strumentazione adeguata, non sono ammesse per formulare contestazioni.

16. Note generali di accettazione e raccomandazione

a) Con la presenza di pozzetti, griglie e altri elementi quali guide per porte, portoni, finestre, compreso l'utilizzo di materiali idonei per il fissaggio, ecc., si ricorda che la superficie adiacente a tali elementi avrà sicuramente delle problematiche di degrado, per il normale utilizzo e passaggio di mezzi e/o ruote di vario tipo: il tutto provocherà la nascita di sbrecciature superficiali. Il Committente dovrà provvedere al costante monitoraggio e manutenzione di tali zone. L'intervento consigliato per mitigare il fenomeno è la realizzazione del perimetro di tali elementi con travetto in resina, in fase preliminare all'entrata in servizio della pavimentazione o come intervento di manutenzione programmata.

b) Va accettato che la pavimentazione di calcestruzzo presenterà quasi sicuramente fessurazioni, di ampiezza superiore a 0,30 mm, fessurazioni nate da elementi e strutture esistenti e, quindi, tale vizio non potrà mai essere oggetto di contestazione. Considerare accettabile che sulla superficie della pavimentazione siano presenti cavillature superficiali, caratteristica intrinseca dei materiali a base cementizia (come previsto ai paragrafi 11.3 - 11.3.1 - 11.3.2 delle "Istruzioni per la progettazione, per l'esecuzione ed il controllo delle pavimentazioni di calcestruzzo - CNR-DT 211"). Se l'aspetto visivo risultante da questo fenomeno non è accettabile per ragioni estetiche, è fondamentale che tale requisito sia definito dal committente e deve essere considerato durante la fase di progettazione. L'eliminazione è possibile solo attraverso interventi successivi che comportano l'applicazione di strati aggiuntivi sulla superficie.

c) Le pavimentazioni di calcestruzzo possono essere soggette a deformazioni endogene tipiche del calcestruzzo, determinate dalle peculiari caratteristiche del materiale richiesto in capitolato e che non costituiscono vizi o difetti del manufatto realizzato. Caratteristiche note sono l'imbarcamento dei bordi delle piastre di calcestruzzo e la fessurazione per contrazioni contrastate. Sulla scorta di queste precisazioni, la conformità dell'opera finita deve essere valutata secondo le "Istruzioni per la progettazione, per l'esecuzione ed il controllo delle pavimentazioni di calcestruzzo - CNR-DT 211", mentre di seguito verranno elencate alcune fessure che potrebbero svilupparsi indipendentemente dalla cura dell'esecutore ma per caratteristica naturale dei materiali utilizzati, o da errato utilizzo della pavimentazione (carichi non previsti in fase di progettazione e/o utilizzo prematuro ecc.), che si possono, con opportuni accorgimenti, mitigare ma non eliminare completamente:

- Fessure per contrazioni contrastate ovvero quelle fessure che si innescano a 45° dagli spigoli degli spiccati in elevazione, chiusini e soglie.
- Fessure da superamento di carico previsto progettualmente ovvero quelle fessure che si manifestano quando la pavimentazione è sottodimensionata per carichi d'esercizio inclusi quelli necessari per il montaggio delle attrezzature e/o scaffalature.
- Fessure che si sviluppano dalla creazione di punti di ancoraggio delle attrezzature e/o scaffalature (fori per innesto viti prigioniere).
- Fessure da transito prematuro ovvero le fessure che si manifestano nel caso il pavimento venga transitato prima che abbia raggiunto le resistenze di progetto.
- Deformazione da imbarcamento o curling: deformazione tipica di tutte le piastre di calcestruzzo dovuta alle contrazioni differenziali tra le superfici superiore e inferiore della piastra a causa della diversa velocità di evaporazione dell'acqua sulle due superfici. La deformazione si manifesta come un incurvamento concavo bidirezionale della piastra e sollevamento degli spigoli.
- Fessure dovute alla realizzazione della pavimentazione derivanti dalla natura del supporto, come su impalcato con travi prefabbricate, poiché la pavimentazione non può seguire fedelmente i movimenti e/o deformazioni e/o spostamenti del supporto.

d) Si avrà la presenza, e sarà accettata, di gibbosità dovute alla particolare lavorazione della frattazzatura meccanica. Eventuali esigenze particolari che necessitano la loro "diminuzione", qualora fossero necessarie, saranno realizzate con lavorazioni successive alla frattazzatura, prescritte in fase di progetto architettonico.

17. Attrezzature per la realizzazione delle pavimentazioni

17.1 Attrezzi per la stesura e lo spandimento

La mole di lavoro manuale dipende da come è possibile gettare il calcestruzzo in prossimità del lavoro. Si possono utilizzare:

- Pale manuali
- Rastrelli dentati o lisci
- Pale motorizzate

17.2 Stagge laser

- Sono montate su veicoli moventi dotati di braccio telescopico;
- La precisione della staggatura dipende dalla frequenza di impulsi dei dispositivi di livellamento in relazione alla velocità di posa;
- Alcuni veicoli possono muoversi con comando remoto;
- Difficoltà di creare piani inclinati.

17.3 Stagge manuali

- Consentono di creare a mano il profilo definitivo;
- Sono generalmente delle liste di legno o metallo leggero lunghe fino a 6 m;
- Possono essere impiegate da uno o due operatori (alle due estremità);
- Quelle più corte possono essere dotate di manici centrali per facilitare l'impiego da parte di un unico operatore.

17.4 Vibratori e compattatori

La vibrazione rimuove l'aria intrappolata. Possono essere:

- Vibratori ad ago
- Vibratori di superficie, stagge a traliccio
- Stagge vibranti a motore
- Stagge rotanti e vibranti
- Stagge laser vibranti

17.5 Attrezzi per frattazzatura immediata

- Bullfloat:
 - fa sprofondare gli inerti grossi;
 - superficie di più facile frattazzatura.
- Straightedge (staggia con manico lungo)
 - aumenta la planarità e l'orizzontalità;
 - usata su superficie appena staggiata, appena frattazzata o su pastina appena applicata.
- Darbies:
 - frattazzo manuale lungo.

17.5.1 Attrezzi per realizzare bordure e giunti

- Bordure:
 - attrezzo manuale (nasello) per "raccordare" (stondatura) i bordi;
 - diverse forme - manuale;
- Per creare giunti contrazione/controllo:
 - attrezzo a pinna rovescia che produce una incisione nel getto;
 - aiuta a guidare le fessurazioni;
 - la profondità deve essere almeno $\frac{1}{4}$ dello spessore.

17.6 Frattazzi e cazzuole manuali

- Frattazzi manuali:
 - usati per rimuovere piccole imperfezioni, produrre profili particolari (piccole rampe, soglie, ecc.), spianare la superficie, preparare la superficie per la lisciatura. Sono di legno, di lega di alluminio e plastica. Il legno è usato per calcestruzzi non aerati e fluidi. L'alluminio (magnesio) è usato per calcestruzzi aerati e con aggregati leggeri.
- Cazzuole manuali acciaio (americane):
 - usate dopo la frattazzatura per creare una superficie densa e favorire la durezza finale.
- Fresno trowel:
 - una variante più larga dotata di manico di diverse dimensioni può essere usata per rifinire velocemente le superfici, ma producono superfici dense e favoriscono la durezza finale.

17.7 Frattazzatrici meccaniche a motore

Esistono molteplici tipologie:

- a passo d'uomo;
- con uomo a bordo;
- a frattazzi;
- a pale combinate;
- a pale da finitura;
- a dischi.

17.8 Seghe tagliagiunti

Taglio a secco e a umido con disco abrasivo o diamantato.

17.8.1 Taglio a secco

Le attrezzature sono più leggere delle seghe a umido e consentono di tagliare la pavimentazione entro quattro ore dalla finitura.

17.8.2 Taglio a umido

Le attrezzature consentono di tagliare la pavimentazione in modo più profondo e i tagli vanno realizzati dopo quattro ore dalla finitura.

18. Procedure di finitura

Nelle operazioni di finitura si dovrà fare attenzione a metodologie, tempistiche e attrezzature. Il tutto verrà elencato di seguito:

- Staggiatura del calcestruzzo;
- Prima frattazzatura manuale;
- Straightedge;
- Tempo di attesa;
- Bordure e tagli dei giunti in opera;
- Frattazzatura meccanica;
- Finitura a scopa;
- Taratura e finitura a pale combinate;
- Direzione e schema di frattazzatura e taratura meccanica;
- Sequenza frattazzatura-taratura;
- Finitura con tempi di presa variabili da una betoniera all'altra;
- Frattazzatura dei bordi;
- Regole basilari delle macchine a passo d'uomo;
- Frattazzatura e finitura manuale;
- Inclinazione delle lame.

Tabella 9 - Procedure di finitura, strumenti ed equipaggiamenti

Procedura	Scopo	Attrezzatura
Staggiatura	Realizzazione del profilo alla quota stabilita.	<ul style="list-style-type: none"> • Staggia manuale • Staggia a traliccio • Staggia rotante • Laser screed • Slipform
Bull float	Frattazza la superficie facendo scendere/ schiacciare gli inerti grossi.	<ul style="list-style-type: none"> • Bull float in legno o in lega da 1,2 m a 3 m • Frattazzo lungo.
Straightedge	Raddrizza (spiana) la superficie per migliorare la planarità.	Straightedge.
Periodo di attesa	Permette al calcestruzzo di essudare e iniziare la fase di indurimento/presa.	
Frattazzatura	Incorpora gli inerti grossi sotto la malta superficiale; rimuove imperfezioni superficiali; realizza una superficie planare e livellata; compatta la superficie preparandola per la successiva finitura.	<ul style="list-style-type: none"> • Frattazzi manuali • Frattazzatrici meccaniche a passo d'uomo o uomo a bordo con frattazzi o dischi

Finitura protratta	Realizza una superficie dura, densa e liscia.	<ul style="list-style-type: none"> • Cazzuole manuali • Frattazzatrici meccaniche a passo d'uomo o uomo a bordo con pale combinate o da finitura
Bordi	Raccordo (Stondatura) bordi per ridurre la sbrecciatura.	<ul style="list-style-type: none"> • Nasello
Giunti in opera	Giunti in opera per guidare le fessurazioni diminuendo la sezione resistente nel punto dove si vuol far "innescare" la fessura.	<ul style="list-style-type: none"> • "Ferro" per giunti
Finitura a scopa	Aumenta il grip delle superfici.	<ul style="list-style-type: none"> • Scopa

Tabella 10 - Procedure di finitura, impieghi e aspettativa di planarità

Procedura	Impiego	Planarità	Gradiente di pendenza
<ul style="list-style-type: none"> • Staggiatura • Bull float • Scopatura 	Parcheggi, garages, camminamenti, per calcestruzzo aerato o non aerato.	Grossolana, imprecisa	Per lunghezza falda inferiore a 2 m $\geq 2\%$ Per lunghezza falda superiore a 2 m $\geq 1,5\%$
<ul style="list-style-type: none"> • Staggiatura • Bull float • Bordi/giunti • Scopatura 	Pavimentazioni esterne con calcestruzzo aerato o non aerato	Grossolana, imprecisa	Per lunghezza falda inferiore a 2 m $\geq 2\%$ Per lunghezza falda superiore a 2 m $\geq 1,5\%$
<ul style="list-style-type: none"> • Staggiatura • Bull float/straightedge • Periodo di attesa • Frattazzatura e finitura meccanica 	Pavimenti industriali commerciali, pubblici esterni con calcestruzzo non aerato.	Controllata, precisa	Per pavimentazioni esterne $\geq 1,5\%$.
<ul style="list-style-type: none"> • Staggiatura • Bull float/straightedge • Periodo di attesa • Frattazzatura e finitura meccanica 	Pavimenti industriali interni.	Controllata, precisa	0%

19. Casistiche di posa pavimentazioni in calcestruzzo: numero di addetti in base alla tipologia e quantità di pavimentazione da realizzare

Le unità di posa devono essere formate da almeno tre operatori per ogni lotto di pavimentazione. In occasione di unità formate anche da più di tre operatori è necessaria, comunque, la presenza di almeno un caposquadra e di un posatore certificati ogni sei operatori.

In ogni caso la determinazione del numero di operatori è sotto la responsabilità del capo squadra e del responsabile di commessa.

In caso di presenza di più capi squadra dovrà essere definito a priori un unico responsabile. Con temperature di getto superiori a 25°C le quantità di seguito previste andranno ridotte del 20%.

Ogni operatore deve osservare i turni di riposo imposti dalle legislature nel merito della salute e sicurezza nei luoghi di lavoro.

Le variabili decisionali sono rappresentate da:

- difficoltà operative (pendenze, continuità delle superfici, ostacoli alla posa, rete-doppia rete);
- tipologia di posa (manuale, laser screed);
- tipo di trattamento superficiale (spolvero, pastina);
- tipologia di getto (a canale, pompato con tubazione a terra);
- tipologia di opera (industriale, di finitura, antiscivolo, grado estetico);
- temperature di getto.

Definizione di "Superficie continua"

A parità di superficie totale da realizzare si definisce continua una superficie non interrotta e non determinata dalla somma di più superfici fisicamente staccate fra loro o su più livelli.

Definizione di "Ostacoli alla posa"

Si definiscono come ostacoli il perimetro della superficie, i contenimenti, gli spiccati in elevazione, i perimetri di pozzetti, grigliati, pilastri, etc. compresi nel pavimento.

19.1 Caso di posa manuale, frattazzatura e finitura del pavimento in calcestruzzo

Le unità di posa devono essere formate da almeno tre operatori per ogni lotto di pavimentazione. In occasione di unità formate anche da più di tre operatori è necessaria, comunque, la presenza di almeno un caposquadra e di un posatore certificati ogni sei operatori.

In ogni caso la determinazione del numero di operatori è sotto la responsabilità del capo squadra e del responsabile di commessa.

In caso di presenza di più capi squadra dovrà essere definito a priori un unico responsabile. Con temperature di getto superiori a 25°C le quantità di seguito previste andranno ridotte del 20%.

Ogni operatore deve osservare i turni di riposo imposti dalle legislature nel merito della salute e sicurezza nei luoghi di lavoro.

Con unità formate da tre operatori è necessario considerare che:

- nella stessa giornata deputata al getto la squadra NON deve eseguire altre operazioni propedeutiche al getto stesso (posa armature, cassature, posa giunti, opere di preparazione varie, etc.) fatta eccezione per il controllo delle quote del piano finito;
- le operazioni di getto e livellatura manuale non devono durare più di tre ore. Per una unità di operatori riposati tre ore è il tempo necessario massimo nel quale è probabile che prestazione fisico-mentale e concentrazione rimangano contemporaneamente ai massimi livelli.
- per superficie continua, piana o con pendenze inferiori al 2%, il getto deve essere continuo e non deve estendersi per più di 300 m². Inoltre, può essere caratterizzato da un massimo di 80 m di ostacoli che richiedono finitura manuale. Qualora la finitura richieda l'applicazione di pastina, la produzione deve essere ridotta del 40%;
- per una superficie superiore a 300 m² o caratterizzata dalla presenza di oltre 80 m di ostacoli che richiedono finitura manuale, il numero di operatori deve aumentare di 1 operatore ogni 100 m² in più o per ogni 20 m di ostacoli in più. Per getti pompati con tubazione a terra la produzione sopra indicata deve essere ridotta del 30%;
- qualora le operazioni di realizzazione dello strato d'usura e finitura richiedessero l'impiego di frattazzatrici meccaniche, devono iniziare dopo 4 ore dalla posa e terminare entro le 8 ore successive (tempo di frattazzabilità);
- rampe o superfici con pendenza superiore al 2%, pavimentazioni architettoniche e/o con finiture estetiche di pregio (Stampati, spolveri colorati, aggregato esposto, interni di pregio) non fanno parte del presente documento.

19.2 Caso di posa con Laser Screed, fratazzatura e finitura del pavimento in calcestruzzo

19.2.1 Caso di posa con laser-screed senza armatura tradizionale in barre o rete

Esempio 1 - per una superficie fino a 1000 m² è opportuno considerare:

- un operatore per Laser-Screed specializzato;
- cinque addetti alla stesura dello strato di scorrimento, del calcestruzzo e delle operazioni di finitura fra i quali, deve essere presente, il corretto numero di personale certificato;
- le operazioni di getto e livellatura non devono durare più di quattro ore. Il tempo massimo di getto sarà calcolato in base ad una frequenza di consegna del calcestruzzo non inferiore a 50 m³/h. Per spessori di pavimentazioni superiori a 18 cm la frequenza di consegna dovrà essere ragionevolmente aumentata;
- per superfici superiori a 1000 m² il numero di operatori deve aumentare di un operatore ogni 200 m² in più. Qualora le operazioni di getto dovessero protrarsi per più di quattro ore sarà opportuno valutare il numero di operatori al fine di non interrompere il getto e provvedere alle operazioni di fratazzatura e finitura che, nel frattempo, si rendono necessarie.

Le operazioni di finitura devono iniziare dopo 4 ore dalla posa e terminare entro le 8 ore successive. (Tempo di fratazzabilità)

Esempio 2 - per una superficie fino a 2000 m² è opportuno considerare:

- un operatore Laser-Screed specializzato;
- dieci addetti alla stesura dello strato di scorrimento, del calcestruzzo e delle operazioni di finitura fra i quali, deve essere presente, il corretto numero di personale certificato;
- per operazioni di stesura che si protraggono per otto ore e oltre è importante considerare cicli di riposo e cambio del laserista.

Le operazioni di finitura devono iniziare dopo 4 ore dalla posa e terminare entro le 8 ore successive (Tempo di frattazzabilità).

19.2.2 Caso di posa con laser-screed con un livello di armatura tradizionale in barre o rete

Esempio 1 - per una superficie fino a 1000 m² è opportuno considerare:

- un operatore Laser-Screed specializzato;
- sette addetti alla stesura dello strato di scorrimento, di un foglio di rete, del calcestruzzo e delle operazioni di finitura fra i quali, deve essere presente, il corretto numero di personale certificato;
- le operazioni di getto e livellatura non devono durare più di quattro ore. Il tempo massimo di getto sarà calcolato in base ad una frequenza di consegna del calcestruzzo non inferiore a 50 m³/h. Per sezioni del pavimento superiori a 18 cm la frequenza di consegna dovrà essere ragionevolmente aumentata;
- per superfici superiori a 1000 m² il numero di operatori deve aumentare di 1 operatore ogni 150 m² in più. Qualora le operazioni getto dovessero protrarsi per più di quattro ore sarà opportuno valutare il numero di operatori al fine di non interrompere il getto e provvedere alle operazioni di frattazzatura e finitura che, nel frattempo, si rendono necessarie.

Esempio 2 - per una superficie fino a 2000 m² è opportuno considerare:

- un operatore Laser-Screed specializzato;
- quattordici addetti alla stesura dello strato di scorrimento, dell'armatura, del calcestruzzo e delle operazioni di finitura fra i quali, deve essere presente, il corretto numero di personale certificato;
- per operazioni di stesura che si protraggono per otto ore e oltre è importante considerare cicli di riposo e cambio del laserista.

Le operazioni di finitura devono iniziare dopo 4 ore dalla posa e terminare entro le 8 ore successive.

19.2.3 Caso di posa Laser-screed con doppio livello di armatura tradizionale in barre o rete

Esempio 1 - Per una superficie fino a 1000 m² è opportuno considerare:

- un operatore Laser-Screed specializzato;
- otto addetti alla stesura dello strato di scorrimento, dell'armatura, del calcestruzzo e delle operazioni di finitura fra i quali, deve essere presente, il corretto numero di personale certificato;
- le operazioni di getto e livellatura non devono durare più di quattro ore. Il tempo massimo di getto sarà calcolato in base ad una frequenza di consegna del calcestruzzo non inferiore a 50 m³/h. Per spessori di pavimentazione superiori a 18 cm la frequenza di consegna dovrà essere ragionevolmente aumentata;
- per superfici superiori a 1000 m² il numero di operatori deve aumentare di 1 operatore ogni 125 m² in più. Qualora le operazioni di getto dovessero protrarsi per più di quattro ore sarà opportuno valutare il numero di operatori al fine di non interrompere il getto e provvedere alle operazioni di frattazzatura e finitura che, nel frattempo, si rendono necessarie.

Esempio 2 - per una superficie fino a 2000 m² è opportuno considerare:

- un operatore Laser-Screed specializzato;
- sedici addetti alla stesura dello strato di scorrimento, dell'armatura, del calcestruzzo e delle operazioni di finitura fra i quali, deve essere presente, il corretto numero di personale certificato;
- per operazioni di stesura che si protraggono per otto ore e oltre è importante considerare cicli di riposo e cambio del laserista.

Le operazioni di finitura devono iniziare dopo 4 ore dalla posa e terminare entro le 8 ore successive.

Nota:

Con temperature di getto superiori a 25°C, anche per posa con Laser-Screed, le quantità di seguito descritte andranno ridotte del 20%.

20. Piano di uso e manutenzione

Il piano di manutenzione delle strutture e nello specifico delle pavimentazioni di calcestruzzo è il documento di completamento del progetto che ne prevede, pianifica e programma, tenendo conto del progetto, l'attività di manutenzione, al fine di mantenerne nel tempo la funzionalità, le caratteristiche di qualità, l'efficienza ed il valore economico dell'opera.

I manuali d'uso e di manutenzione rappresentano gli strumenti con cui l'utente si rapporta con l'immobile: in maniera diretta evitando utilizzi anomali che possano danneggiarne o comprometterne la durabilità e le caratteristiche o indirettamente attraverso i manutentori che dovranno utilizzare le metodologie più confacenti ad una gestione che coniughi economicità e durabilità del bene.

A tal fine, i manuali definiscono le procedure di raccolta e di registrazione dell'informazione nonché le azioni necessarie per impostare il piano di manutenzione e per organizzare in modo efficiente, sia sul piano tecnico che su quello economico, il servizio di manutenzione.

Il manuale d'uso mette a punto una metodica di ispezione dei manufatti che individua, sulla base dei requisiti fissati dal progettista in fase di redazione del progetto, la serie di ammaloramenti che possono influenzare la durabilità del bene e per i quali un intervento manutentivo potrebbe rappresentare un allungamento della vita utile e un mantenimento del valore patrimoniale.

Il manuale di manutenzione, invece, rappresenta lo strumento con cui l'esperto si rapporta con il bene in fase di gestione di un contratto di manutenzione programmata.

Il solo responsabile della manutenzione è il Committente.

Il programma infine è lo strumento con cui, chi ha il compito di gestire il bene, riesce ad organizzare le attività in riferimento alla previsione del complesso di interventi inerenti alla manutenzione di cui si presumono la frequenza, gli indici di costo orientativi e le strategie di attuazione nel medio e nel lungo periodo.

Il piano di manutenzione è organizzato in tre strumenti ovvero:

1. il manuale d'uso;
2. il manuale di manutenzione;
3. il programma di manutenzione, che comprende:
 - il sottoprogramma delle prestazioni, che prende in considerazione, per classe di requisito, le prestazioni fornite dal bene e dalle sue parti nel corso del suo ciclo di vita;
 - il sottoprogramma dei controlli, che definisce il programma delle verifiche e dei controlli al fine di rilevare il livello prestazionale (qualitativo e quantitativo) nei successivi momenti della vita del bene, individuando la dinamica della caduta delle prestazioni aventi come estremi il valore di collaudo e quello minimo di norma;
 - il sottoprogramma degli interventi di manutenzione che riporta in ordine temporale i differenti interventi di manutenzione, al fine di fornire le informazioni per una corretta conservazione del bene.

Tali strumenti devono essere predisposti possibilmente in accordo con quanto previsto dalla norma "UNI 10874 - Criteri di stesura dei manuali d'uso e di manutenzione".

20.1 Obiettivi tecnico - funzionali

Gli obiettivi tecnico-funzionali di un piano di manutenzione di una pavimentazione sono generalmente:

- istituire un sistema di raccolta delle “informazioni di base” e di aggiornamento con le “informazioni di ritorno” a seguito degli interventi che consenta, attraverso l’implementazione e il costante aggiornamento del “sistema informativo”, di conoscere e mantenere correttamente l’immobile e le sue parti;
- consentire l’individuazione delle strategie di manutenzione più adeguate in relazione alle caratteristiche del bene immobile ed alla più generale politica di gestione del patrimonio immobiliare;
- istruire gli operatori tecnici sugli interventi di ispezione e manutenzione da eseguire, favorendo la corretta ed efficiente esecuzione degli interventi;
- istruire gli utenti sul corretto uso dell’immobile e delle sue parti, su eventuali interventi di piccola manutenzione che possono eseguire direttamente; sulla corretta interpretazione degli indicatori di uno stato di ammaloramento o di malfunzionamento e sulle procedure per la sua segnalazione alle competenti strutture di manutenzione;
- definire le istruzioni e le procedure per controllare la qualità del servizio di manutenzione.

20.2 Obiettivi economici

Gli obiettivi economici di una pavimentazione di un piano di manutenzione di una pavimentazione sono generalmente:

- ottimizzare l’utilizzo del bene immobile e prolungarne il ciclo di vita con l’effettuazione d’interventi manutentivi mirati;
- conseguire il risparmio di gestione sia con il contenimento dei consumi energetici o di altra natura, sia con la riduzione degli ammaloramenti e del tempo di non utilizzazione del bene immobile;
- consentire la pianificazione e l’organizzazione più efficiente ed economica del servizio di manutenzione.

20.3 Consigli utili

Per la redazione del “Piano di uso e manutenzione”, il Progettista, si deve basare su quanto riportato nelle “Istruzioni per la progettazione, l’esecuzione ed il controllo delle pavimentazioni di calcestruzzo - CNR-DT 211”.

Si riportano nel seguito alcune indicazioni per un corretto uso della pavimentazione:

- **Ruote dei carrelli** - Le ruote dei carrelli sollecitano particolarmente la pavimentazione soprattutto ad abrasione, a trazione e a taglio. Devono essere pertanto verificate e, se deteriorate, dovranno essere sostituite.
- **Carico dei carrelli** - Il carico dei carrelli non deve superare quello massimo previsto dal fabbricante. Vanno evitati i disallineamenti del carico o la movimentazione dello stesso con altezze eccessive.
- **Prodotti per la pulizia** - Devono essere utilizzati prodotti neutri o leggermente basici, con mezzi adeguati e cicli opportuni (lavaggio, risciacquo).
- **Rimozione di liquidi** - Alcuni prodotti presenti sulla pavimentazione possono presentare una azione aggressiva nei confronti dello strato di finitura e pertanto devono essere rimossi il prima possibile.
- **Agenti disgelanti** - L’impiego di agenti disgelanti produce azioni aggressive nei confronti delle pavimentazioni che possono portare a fenomeni di rottura e distacco dello strato finale della stessa. Pertanto, l’uso di agenti disgelanti dovrà essere evitato con opportuni accorgimenti progettuali o limitato a interventi eccezionali di particolare gravità.
- **Gelo/disgelo** - Al fine di limitare i cicli di gelo/disgelo si dovranno evitare i cumuli di neve o la permanenza di ristagni d’acqua.

Nota:

La "Manutenzione ordinaria", da eseguire durante la vita nominale della pavimentazione, sarà prescritta dal Progettista in concerto con il Committente e si suddivide in:

- pulitura, prodotti detergenti, utensili etc. e cicli temporali di esecuzione;
- ripristino puntuale della sigillatura dei giunti;
- ripristino localizzato dell'eventuale trattamento superficiale e dello strato di finitura;
- ripristino puntuale del giunto di costruzione, di espansione e di contrazione in presenza di patologie di degrado evidenti;
- controllo e verifica delle prestazioni dipendenti dall'andamento del profilo altimetrico come, ad esempio, la planarità e l'orizzontalità;
- controllo e verifica dello stato fessurativo e della sua evoluzione, in presenza di patologie di degrado particolarmente pronunciate;
- verifica delle patologie di degrado funzioni delle deformazioni spontanee della piastra.

Uno degli elementi costruttivi più sollecitati, durante la vita di servizio, è il giunto di costruzione (e/o dilatazione).

21. Norme di riferimento per pavimentazioni di calcestruzzo

Per conoscere le norme UNI EN in vigore al momento della lettura di questo documento si consiglia di **collegarsi al catalogo norme presente sul sito dell'UNI**, a questo LINK:

<https://store.uni.com/advanced-search>

e nel riquadro in basso "**Commissioni tecniche**" scegliere come opzione "Cemento, malte, calcestruzzi e cemento armato". Il sito renderà disponibile tutte le norme UNI e UNI EN e UNI EN ISO in vigore nel settore di pertinenza di questo Codice di Buona Pratica.

Per quanto riguarda le norme relative ai sistemi resinosi, di impermeabilizzazione, ai massetti e ai vari componenti per edilizia e costruzioni, sempre nella stessa pagina fare riferimento alla Commissione Tecnica "**Prodotti, processi e sistemi per l'organismo edilizio**".

21.1 Pavimentazioni

D.M. 236 - 14 giugno 1989

"Prescrizioni tecniche necessarie a garantire l'accessibilità, l'adattabilità e la visitabilità degli edifici privati e di edilizia residenziale pubblica sovvenzionata e agevolata, ai fini del superamento e dell'eliminazione delle barriere architettoniche"

CNR-DT 211

Istruzioni per la progettazione, l'esecuzione ed il controllo delle pavimentazioni di calcestruzzo

UNI 10329

Massetti per pavimentazioni - Metodi di misurazione dell'umidità

UNI 11146

Pavimenti di calcestruzzo ad uso industriale - Criteri per la progettazione, la costruzione ed il collaudo

UNI EN 13791

Valutazione della resistenza a compressione in sito nelle strutture e nei componenti prefabbricati di calcestruzzo

UNI EN 13863-1

Pavimentazioni di calcestruzzo - Metodo di prova per la determinazione dello spessore di una pavimentazione di calcestruzzo mediante controllo delle quote

UNI EN 13863-3

Pavimentazioni di calcestruzzo - Parte 3: Metodo di prova per la determinazione dello spessore di una pavimentazione di calcestruzzo a partire dall'utilizzo di carote

UNI EN 13877-1

Pavimentazioni a base di calcestruzzo - Parte 1: Materiali

UNI EN 13877-2

Pavimentazioni a base di calcestruzzo - Parte 2: Requisiti funzionali per pavimentazioni a base di calcestruzzo

UNI EN 13877-3

Pavimentazioni a base di calcestruzzo - Parte 3: Specifiche per elementi di collegamento da utilizzare nelle pavimentazioni a base di calcestruzzo

ASTM C1383

Standard Test Method for Measuring the P-Wave Speed and the Thickness of Concrete Plates Using the Impact-Echo Method

ASTM C1740

Standard Practice for Evaluating the Condition of Concrete Plates Using the Impulse-Response Method

ASTM D4748

Standard Test Method for Determining the Thickness of Bound Pavement Layers Using Short-Pulse Radar

BS 1881-120

Testing Concrete - Part 120: Method for Determination of the Compressive Strength of Concrete Cores

DIN 18202

Tolerances in building construction - Buildings

The Concrete Society Technical Report n. 34 "Concrete industrial ground floors: A guide to design and construction"

21.2 Riferimenti normativi per rilevati (massicciata di sottofondo)

UNI EN 13242

Aggregati per materiali non legati e legati con leganti idraulici per l'impiego in opere di ingegneria civile e nella costruzione di strade

UNI EN 13285

Miscele non legate - Specifiche

UNI EN 13286-2

Miscele non legate e legate con leganti idraulici - Parte 2: Metodi di prova per la determinazione della massa volumica e del contenuto di acqua di riferimento di laboratorio - Costipamento Proctor

UNI EN ISO 14688-1

Indagini e prove geotecniche - Identificazione e classificazione dei terreni - Parte 1: Identificazione e descrizione

UNI EN ISO 17892-12

Indagini e prove geotecniche - Prove di laboratorio sui terreni - Parte 12: Determinazione dei limiti liquidi e plastici

CNR B.U. N. 22

Peso specifico apparente di una terra in sito

CNR B.U. N. 29

Norme sui misti cementati

CNR B.U. N. 36

Stabilizzazione delle terre con calce

CNR B.U. N. 69

Norme sui materiali stradali. Prova di costipamento di una terra

CNR B.U. N. 92

Determinazione del modulo di reazione "k" dei sottofondi e delle fondazioni in misto granulare

CNR B.U. N. 139

Norme sugli aggregati: criteri e requisiti di accettazione degli aggregati impiegati nelle sovrastrutture stradali

CNR B.U. N. 146

Determinazione dei moduli di deformazione Md e Md' mediante prova di carico a doppio ciclo con piastra circolare

ASTM D422

Standard Test Method for Particle-Size Analysis of Soils

ASTM D1883

Standard Test Method for California Bearing Ratio (CBR) of Laboratory-Compacted Soils

21.3 Calcestruzzo

D.M. 1086/71 - 9 gennaio 1996

"Norme tecniche per il calcolo, l'esecuzione ed il collaudo delle strutture in cemento armato, normale e precompresso e per le strutture metalliche"

UNI 7087

Calcestruzzo - Determinazione della resistenza al degrado per cicli di gelo e disgelo

UNI 7122

Prova sul calcestruzzo fresco - Determinazione della quantità d'acqua d'impasto essudata

UNI 7123

Calcestruzzo. Determinazione dei tempi di inizio e fine presa mediante la misura della resistenza alla penetrazione

UNI 11104

Calcestruzzo - Specificazione, prestazione, produzione e conformità - Specificazioni complementari per l'applicazione della EN 206

UNI EN 206

Calcestruzzo - Specificazione, prestazione, produzione e conformità

UNI EN 1008

Acqua d'impasto per il calcestruzzo - Specifiche di campionamento, di prova e di valutazione dell'idoneità dell'acqua, incluse le acque di ricupero dei processi dell'industria del calcestruzzo, come acqua d'impasto del calcestruzzo

UNI EN 1504-2

Prodotti e sistemi per la protezione e la riparazione delle strutture di calcestruzzo - Definizioni, requisiti, controllo di qualità e valutazione della conformità - Parte 2: Sistemi di protezione della superficie di calcestruzzo

UNI EN 12350-1

Prova sul calcestruzzo fresco - Parte 1: Campionamento e apparecchiatura comune

UNI EN 12350-2

Prova sul calcestruzzo fresco - Parte 2: Prova di abbassamento al cono

UNI EN 12350-3

Prova sul calcestruzzo fresco - Parte 3: Prova Vébé

UNI EN 12350-4

Prova sul calcestruzzo fresco - Parte 4: Indice di compattabilità

UNI EN 12350-5

Prova sul calcestruzzo fresco - Parte 5: Prova di spandimento alla tavola a scosse

UNI EN 12350-6

Prova sul calcestruzzo - Parte 6: Massa volumica

UNI EN 12350-7

Prova sul calcestruzzo fresco - Parte 7: Contenuto d'aria - Metodo per pressione

UNI EN 12390-1

Prova sul calcestruzzo indurito - Parte 1: Forma, dimensioni ed altri requisiti per provini e per casseforme

UNI EN 12390-2

Prove sul calcestruzzo indurito - Parte 2: Confezione e stagionatura dei provini per prove di resistenza

UNI EN 12390-3

Prove sul calcestruzzo indurito - Parte 3: Resistenza alla compressione dei provini

UNI EN 12390-5

Prove sul calcestruzzo indurito - Parte 5: Resistenza a flessione dei provini

UNI EN 12390-6

Prove sul calcestruzzo indurito - Parte 6: Resistenza a trazione indiretta dei provini

UNI EN 12390-7

Prove sul calcestruzzo indurito - Parte 7: Massa volumica del calcestruzzo indurito

UNI EN 12390-8

Prove sul calcestruzzo indurito - Parte 8: Profondità di penetrazione dell'acqua sotto pressione

UNI CEN/TS 12390-9

Prova sul calcestruzzo indurito - Parte 9: Resistenza al gelo-disgelo con sali disgelanti - Scagliatura

UNI EN 12390-16

Prova sul calcestruzzo indurito - Parte 16: Determinazione del ritiro del calcestruzzo

UNI EN 12504-1

Prove sul calcestruzzo nelle strutture - Parte 1: Carote - Prelievo, esame e prova di compressione

UNI EN 12504-2

Prove sul calcestruzzo nelle strutture - Parte 2: Prove non distruttive - Determinazione dell'indice sclerometrico

UNI EN 12504-3

Prove sul calcestruzzo nelle strutture - Parte 3: Determinazione della forza di estrazione

UNI EN 12504-4

Prove sul calcestruzzo nelle strutture - Parte 4: Determinazione della velocità di propagazione degli impulsi ultrasonici

UNI EN 13529

Prodotti e sistemi per la protezione e la riparazione delle strutture di calcestruzzo - Metodi di prova - Resistenza agli attacchi chimici severi

UNI EN 13670

Esecuzione di strutture di calcestruzzo

UNI EN 13687-2

Prodotti e sistemi per la protezione e la riparazione delle strutture di calcestruzzo - Metodi di prova - Determinazione della compatibilità termica - Cicli temporaleschi (shock termico)

UNI EN 14651

Metodo di prova per calcestruzzo con fibre metalliche - Misurazione della resistenza a trazione per flessione [limite di proporzionalità (LOP), resistenza residua]

UNI CEN/TR 15177

Prova di resistenza al gelo-disgelo del calcestruzzo - Deterioramento interno strutturale

Linea guida per l'identificazione, la qualificazione, la certificazione di valutazione tecnica ed il controllo di accettazione dei calcestruzzi fibrorinforzati FRC (Fiber Reinforced Concrete)

21.4 Cementi

D.M. 12 luglio 1999 n° 314

(G.U. n. 214 del D.M. 12 luglio 1999 n° 314 (G.U. n. 214 del settembre 1999))

UNI 9156

Cementi resistenti ai solfati - Classificazioni e composizione

UNI 9606

Cementi resistenti al dilavamento della calce - Classificazione e composizione

UNI EN 197-1

Cemento - Parte 1: Composizione, specificazioni e criteri di conformità per cementi comuni

UNI EN 197-2

Cemento - Parte 2: Valutazione e verifica della costanza della prestazione

UNI EN 15167-1

Loppa d'altoforno granulata macinata per calcestruzzo, malta e malta per iniezione - Parte 1: Definizioni, specifiche e criteri di conformità

21.5 Aggregati

UNI 8520-1

Aggregati per calcestruzzo - Istruzioni complementari per l'applicazione della EN 12620 - Parte 1: Designazione e criteri di conformità

UNI 8520-2

Aggregati per calcestruzzo - Istruzioni complementari per l'applicazione della EN 12620 - Parte 2: Requisiti

UNI 8520-21

Aggregati per confezione di calcestruzzi - Parte 21: Confronto in calcestruzzo con aggregati di caratteristiche note

UNI 8520-22

Aggregati per calcestruzzo - Parte 22: Metodologia di valutazione della potenziale reattività alcali-silice degli aggregati

UNI 11504

Reazione alcali-aggregato in calcestruzzo - Determinazione della potenziale reattività agli alcali degli aggregati per calcestruzzo - Prova di espansione accelerata di barre di malta

UNI EN 1097-6

Prove per determinare le proprietà meccaniche e fisiche degli aggregati - Parte 6: Determinazione della massa volumica dei granuli e dell'assorbimento d'acqua

UNI EN 1367-1

Prove per determinare le proprietà termiche e la degradabilità degli aggregati - Parte 1: Determinazione della resistenza al gelo e disgelo

UNI EN 1367-2

Prove per determinare le proprietà termiche e la degradabilità degli aggregati - Parte 2: Prova al solfato di magnesio

UNI EN 12620

Aggregati per calcestruzzo

21.6 Additivi

UNI EN 480-1

Additivi per calcestruzzo, malta e malta per iniezione - Metodi di prova - Parte 1: Calcestruzzo e malta di riferimento per le prove

UNI EN 480-2

Additivi per calcestruzzo, malta e malta per iniezione - Metodi di prova - Parte 2: Determinazione del tempo di presa

UNI EN 480-4

Additivi per calcestruzzo, malta e malta per iniezione - Metodi di prova - Parte 4: Determinazione della quantità di acqua essudata del calcestruzzo

UNI EN 480-5

Additivi per calcestruzzo, malta e malta per iniezione - Metodi di prova - Parte 5: Determinazione dell'assorbimento capillare

UNI EN 480-6

Additivi per calcestruzzo, malta e malta per iniezione - Metodi di prova - Parte 6: Analisi all'infrarosso

UNI EN 480-8

Additivi per calcestruzzo, malta e malta per iniezione - Metodi di prova - Parte 8: Determinazione del tenore di sostanza secca convenzionale

UNI EN 480-10

Additivi per calcestruzzo, malta e malta per iniezione - Metodi di prova - Parte 10: Determinazione del tenore di cloruri solubili in acqua

UNI EN 480-11

Additivi per calcestruzzo, malta e malta per iniezione - Metodi di prova - Parte 11: Determinazione delle caratteristiche dei vuoti di aria nel calcestruzzo indurito

UNI EN 480-12

Additivi per calcestruzzo, malta e malta per iniezione - Metodi di prova - Parte 12: Determinazione del contenuto di alcali negli additivi

UNI EN 480-13

Additivi per calcestruzzo, malta e malta per iniezione - Metodi di prova - Parte 13: Malta da muratura di riferimento per le prove sugli additivi per malta

UNI EN 480-14

Additivi per calcestruzzo, malta e malta per iniezione - Metodi di prova - Parte 14: Determinazione dell'effetto sulla tendenza alla corrosione dell'acciaio di armatura mediante prova elettrochimica potenziostatica

UNI EN 480-15

Additivi per calcestruzzo, malta e malta per iniezione - Metodi di prova - Parte 15: Calcestruzzo di riferimento e metodi di prova di additivi per la modifica della viscosità

UNI EN 934- 2

Additivi per calcestruzzo, malta e malta per iniezione - Parte 2: Additivi per calcestruzzo - Definizioni, requisiti, conformità, marcatura ed etichettatura

21.7 Aggiunte

UNI EN 450-1

Ceneri volanti per calcestruzzo - Parte 1: Definizione, specificazioni e criteri di conformità

UNI EN 450-2

Ceneri volanti per calcestruzzo - Parte 2: Valutazione della conformità

UNI EN 13263-1

Fumi di silice per calcestruzzo - Parte 1: Definizioni, requisiti e criteri di conformità

UNI EN 13263-2

Fumi di silice per calcestruzzo - Parte 2: Valutazione della conformità

21.7.1 Agenti espansivi

UNI 8146

Agenti espansivi non metallici per impasti cementizi - Idoneità e relativi metodi di controllo

UNI 8147

Agenti espansivi non metallici per impasti cementizi - Determinazione dell'espansione contrastata della malta

UNI 8148

Agenti espansivi non metallici per impasti cementizi - Determinazione dell'espansione contrastata del calcestruzzo

21.8 Barre, reti, fibre

UNI EN 10080

Acciaio d'armatura per calcestruzzo - Acciaio d'armatura saldabile - Generalità

UNI EN 14889-1

Fibre per calcestruzzo - Parte 1: Fibre di acciaio - Definizioni, specificazioni e conformità

UNI EN 14889-2

Fibre per calcestruzzo - Parte 2: Fibre polimeriche - Definizioni, specificazioni e conformità

21.9 Strato di usura / superficiale

UNI EN 13036-4

Caratteristiche superficiali delle pavimentazioni stradali ed aeroportuali - Metodi di prova - Parte 4: Metodo per la misurazione della resistenza allo slittamento/derapaggio di una superficie: Metodo del pendolo

UNI EN 13318

Massetti e materiali per massetti - Definizioni

UNI EN 13813

Massetti e materiali per massetti - Materiali per massetti - Proprietà e requisiti

UNI EN 13892-1

Metodi di prova dei materiali per massetti - Parte 1: Campionamento, confezionamento e maturazione dei provini

UNI EN 13892-2

Metodi di prova dei materiali per massetti - Parte 2: Determinazione della resistenza a flessione e a compressione

UNI EN 13892-3

Metodi di prova per materiali per massetti - Parte 3: Determinazione della resistenza all'usura con il metodo Böhme

UNI EN 13892-4

Metodi di prova dei materiali per massetti - Parte 4: Determinazione della resistenza all'usura BCA

UNI EN 13892-5

Metodi di prova dei materiali per massetti - Parte 5: Determinazione della resistenza all'usura dovuta alle ruote orientabili dei materiali per massetti per lo strato di usura

UNI EN 13892-8

Metodi di prova dei materiali per massetti - Parte 8: Determinazione della forza di adesione

UNI EN 14158

Metodi di prova per pietre naturali - Determinazione dell'energia di rottura

UNI EN 14231

Metodi di prova per pietre naturali - Determinazione della resistenza allo scivolamento tramite l'apparecchiatura di prova a pendolo

DIN 18560-2

Floor screeds in building construction - Part 2: Floor screeds and heating floor screeds on insulation layers

DIN 1100-1

Hard aggregates for screed materials according to DIN EN 13813 - Part 1: Requirements and test methods

DIN 1100-2

Hard aggregates for screed materials according to DIN EN 13813 - Part 2: Conformity assessment

21.10 Sigillanti e boiacche

21.10.1 Sigillanti siliconici

UNI ISO 11600

Edilizia - Sigillanti - Classificazione e requisiti

UNI EN 13888-1

Sigillanti per piastrelle di ceramica - Parte 1: Requisiti, classificazione, designazione, marcatura ed etichettatura

UNI EN 13888-2

Sigillanti per piastrelle di ceramica - Parte 2: Metodi di prova

21.10.2 Boiacche

UNI EN 447

Boiacca per cavi di precompressione - Requisiti di base

21.11 Membrane per impermeabilizzazioni

21.11.1 Per strato di tenuta

UNI EN 13707

Membrane flessibili per impermeabilizzazione - Membrane bituminose armate per l'impermeabilizzazione di coperture - Definizioni e caratteristiche

UNI EN 13859-2

Membrane flessibili per impermeabilizzazione - Definizioni e caratteristiche dei sottostrati - Parte 2: Sottostrati murari

UNI EN 13956

Membrane flessibili per impermeabilizzazione - Membrane di materiale plastico e di gomma per l'impermeabilizzazione delle coperture - Definizioni e caratteristiche

21.11.2 Per altri strati

UNI EN 13967

Membrane flessibili per impermeabilizzazione - Membrane di materiale plastico e di gomma impermeabili all'umidità incluse membrane di materiale plastico e di gomma destinate ad impedire la risalita di umidità dal suolo - Definizioni e caratteristiche

UNI EN 13969

Membrane flessibili per impermeabilizzazione - Membrane bituminose destinate a impedire la risalita di umidità dal suolo - Definizioni e caratteristiche

UNI EN 13970

Membrane flessibili per impermeabilizzazione - Strati bituminosi per il controllo del vapore d'acqua - Definizioni e caratteristiche

UNI EN 13984

Membrane flessibili per impermeabilizzazione - Strati di plastica e di gomma per il controllo del vapore - Definizioni e caratteristiche

21.12 Norme ed istruzioni di riferimento sulla progettazione

UNI EN 1991-1-1

Eurocodice 1 - Azioni sulle strutture - Parte 1-1: Azioni in generale - Pesì per unità di volume, pesì propri e sovraccarichi per gli edifici

UNI EN 1991-3

Eurocodice 1 - Azioni sulle strutture - Parte 3: Azioni indotte da gru e da macchinari

UNI EN 1992-1-1

Eurocodice 2 - Progettazione delle strutture di calcestruzzo - Parte 1-1: Regole generali e regole per gli edifici

NOTA BENE: Gli Eurocodici citati vanno sempre intesi nella forma comprensiva delle Appendici Nazionali (Gazzetta Ufficiale n.73 del 27-3-2013)

CNR-DT 204

Istruzioni per la progettazione, l'esecuzione ed il controllo di strutture di calcestruzzo fibrorinforzato

Linee guida per la progettazione, messa in opera, controllo e collaudo di elementi strutturali in calcestruzzo fibrorinforzato con fibre di acciaio o polimeriche

D. M. 17/01/2018 Ministero delle infrastrutture e trasporti

(G.U. n. 42 del 20 febbraio 2018 - Suppl. Ord. n. 8)

"Aggiornamento delle Norme tecniche per le Costruzioni".

Circolare 21/01/2019, n. 7 Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici

(G.U. n. 35 del 11 febbraio 2019 - Suppl. Ord. n. 5)

Istruzioni per l'applicazione dell'«Aggiornamento delle "Norme tecniche per le costruzioni"» di cui al decreto ministeriale 17 gennaio 2018



#NoiSiamoConpaviper

Ente Nazionale Conpaviper
Via delle Rose, 72 - 35037 Teolo (PD) - P.IVA/C.F. 03879530966
www.conpaviper.org