

I masselli autobloccanti di calcestruzzo possono essere considerati gli eredi dei materiali tradizionali per pavimentazione, quali la pietra naturale ed i mattoni in cotto. La produzione in Italia ha avuto inizio negli anni 70 ed attualmente questo sistema di pavimentazione si sta confermando come una delle soluzioni migliori sia dal punto di vista tecnico-funzionale che estetico.

La fortuna della diffusione del prodotto è legata al costo contenuto, all'elevata resistenza agli agenti esterni (comprese le sostanze chimiche aggressive), alla stabilità nei confronti delle sollecitazioni prodotte dai carichi del traffico, alla facilità di posa in opera, alla grande varietà di forme e di colori disponibili sul mercato. La semplicità di rimozione e riutilizzo degli elementi in caso di apertura di scavi per l'installazione di sottoservizi e di interventi di riparazione o manutenzione, unitamente alla possibilità di riaprire immediatamente al traffico le superfici a fine lavori costituiscono inoltre motivi di preferenza.

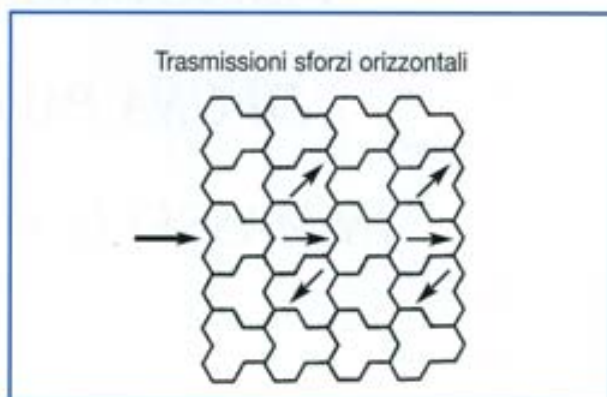
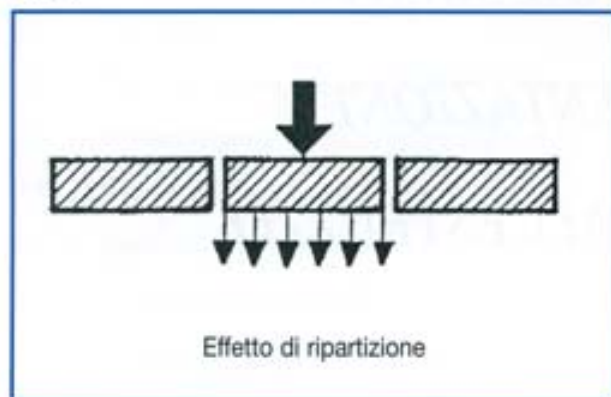
In Italia le pavimentazioni autobloccanti trovano largo impiego in aree industriali, marciapiedi, parcheggi, aree urbane, porti, interporti, stazioni di servizio e strade. Quest'ultima applicazione si sta diffondendo sempre più grazie anche alle esperienze positive mutuate dall'estero. Nel campo dell'ingegneria stradale, l'impiego dei masselli autobloccanti riguarda in genere le pavimentazioni di:

- percorsi pedonali
- parcheggi
- strade residenziali
- strade urbane
- strade extraurbane secondarie
- stazioni di servizio
- corsie preferenziali e zone di sosta per i mezzi pubblici.

In termini generali, le pavimentazioni in masselli presentano un eccellente comportamento nelle situazioni seguenti:

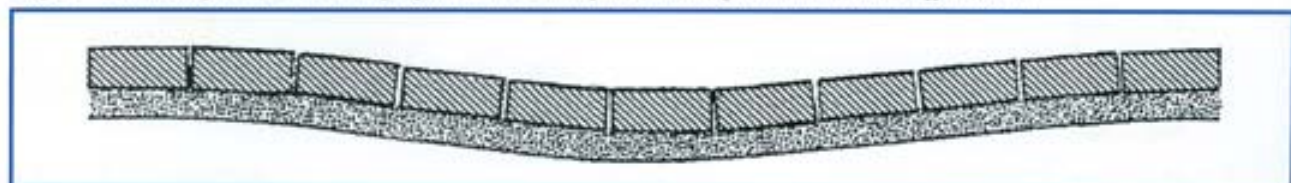
- dove sono presenti carichi pesanti, concentrati, frequenti azioni tangenziali, operazioni di sterzata da fermo con ruote ad alta pressione o di gomma piena (Fig. 1);

Fig. 1



- dove le condizioni di portanza del sottofondo sono scarse o sono prevedibili ingenti assestamenti differenziali (Fig. 2);

Fig. 2 – I masselli possono essere impiegati laddove sono prevedibili ingenti assestamenti differenziali



- nei casi in cui sia necessaria una facile ed immediata accessibilità ai sottoservizi;
- in condizioni di esercizio gravose, quali quelle in cui le pavimentazioni sono soggette a forti sbalzi di temperatura, a temperature di esercizio elevate e a perdita di olii, carburanti e sostanze lubrificanti;
- dove sono richieste specifiche qualità estetiche;
- nelle intersezioni dove sono presenti intense azioni di frenatura e di conseguenza sono richieste elevate caratteristiche di aderenza.

Le pavimentazioni in masselli vengono in genere assimilate a quelle semirigide o flessibili, a parte alcune differenze di comportamento da evidenziare, in quanto il contributo dei masselli più la sabbia di allettamento è equivalente a quello di uno strato di conglomerato bituminoso di spessore definito.

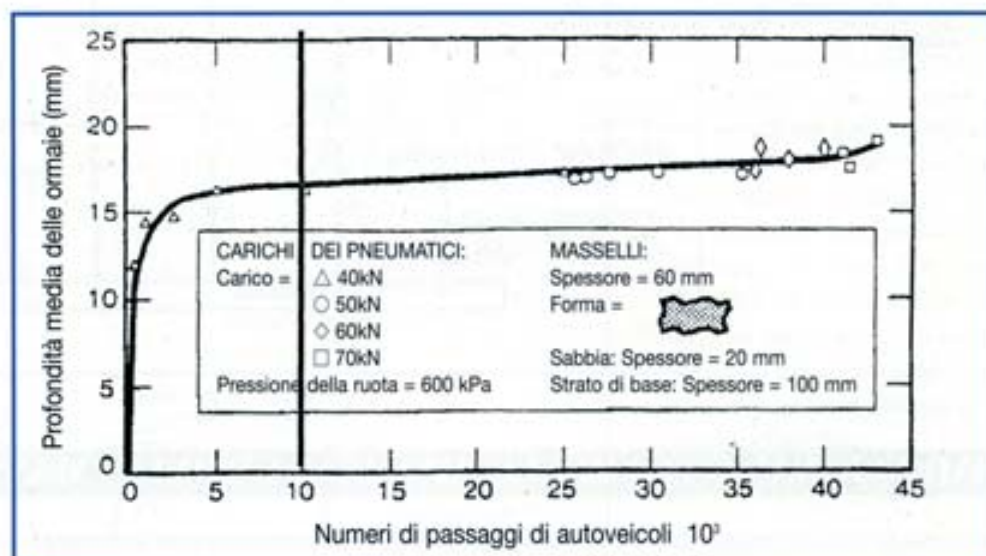
Le pavimentazioni in masselli tendono ad accumulare gradualmente deformazioni verticali e per questo il loro comportamento è del tutto simile a quello delle pavimentazioni flessibili; rispetto a queste ultime però, a parità di spessore considerato, la quantità e l'aumento nel tempo delle deformazioni permanenti sono più contenuti.

Per quanto riguarda la quantità, vengono ammesse deformazioni permanenti dell'ordine di 5-10 mm per strade urbane e 15-20 mm per strade extraurbane ed industriali; mentre per quanto attiene l'andamento nel tempo del fenomeno, è stato riscontrato che le sovrastrutture in masselli tendono ad irrigidirsi sotto l'azione del traffico, a causa del progressivo sviluppo del mutuo incastro tra i masselli.

Tale effetto di irrigidimento si traduce in una riduzione, e talvolta nell'azzeramento, del tasso di crescita delle deformazioni permanenti e in un aumento della capacità portante della pavimentazione.

In pratica nel progetto delle sovrastrutture in masselli si assume che il processo di irrigidimento raggiunga il suo massimo sviluppo dopo 10.000 ripetizioni di carico (Fig. 3). Inoltre l'osservazione del comportamento in opera delle pavimentazioni in masselli ha dimostrato che la deflessione sotto carico sopportata da tali pavimentazioni può raggiungere valori molto maggiori di quelli ammissibili per le pavimentazioni flessibili e rigide. La rete di giunti che caratterizza le pavimentazioni autobloccanti consente di sopportare deflessioni elastiche piuttosto elevate, fino a 2 mm, senza arrivare alla rottura.

Fig. 3



In linea generale i criteri di progetto di una pavimentazione in masselli devono tenere conto dei seguenti parametri:

- controllo dell'accumulo delle deformazioni permanenti mediante la limitazione delle deformazioni unitarie verticali del sottofondo al primo ciclo di carico;
- controllo delle tensioni di trazione che si generano negli eventuali strati di base e/o di fondazione legati a cemento o a bitume, mediante la verifica a fatica.

Esistono diversi metodi di dimensionamento delle pavimentazioni in masselli, quali:

- metodi di dimensionamento per pavimentazioni flessibili modificati;
- metodi empirici o semiempirici;
- metodi razionali (o meccanicistici);
- cataloghi di sovrastrutture (messi a punto prevalentemente in Germania, Belgio, Danimarca, Francia, Giappone e Sud Africa).

Per quanto concerne il metodo a) si ritiene utile riportare il diagramma di Fig. 4, desunto integralmente dalla norma British Standard 7533-1992, che consente di ricavare lo spessore del massello e della sabbia di allettamento in funzione di vari parametri al contorno (numero di assi standard, capacità portante del terreno, ecc.).

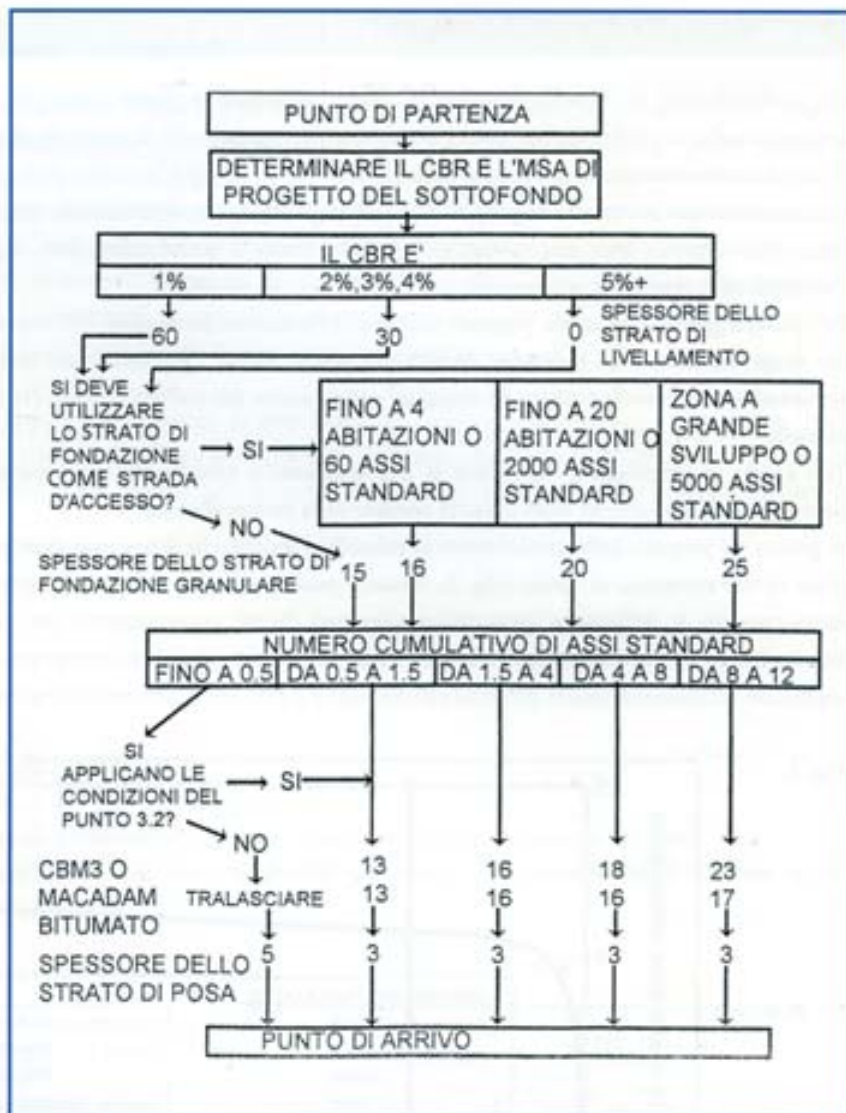
Fig. 4 - Diagramma di flusso per la progettazione

I metodi di cui al punto b) si basano sul calcolo dello spessore di massello in funzione delle deformazioni massime ammissibili.

Ad esempio il metodo australiano messo a punto da B. Shackel stabilisce le seguenti profondità massime delle ormaie:

- 10-15 mm per strade residenziali
- 10 mm per strade extraurbane
- 7-12 mm per strade di collegamento
- 5-10 mm per strade urbane
- 5 mm per le zone di fermata degli autobus.

I metodi razionali o meccanicistici infine, di cui al punto c), considerano i valori del modulo elastico del complesso pavimentazione in masselli + sabbia.



3. DIMENSIONAMENTO DELLE PAVIMENTAZIONI IN MASSELLI

Non esistono limitazioni tecniche all'impiego delle pavimentazioni in masselli di calcestruzzo; è però importante sottolineare che la realizzazione di tale pavimentazione presuppone una progettazione simile a quella di una qualsiasi altra pavimentazione e non può essere eseguita per similitudine con quanto fatto da altri ed in altri siti.

Come per ogni altra struttura anche la progettazione di una pavimentazione in masselli comincia dall'esame dell'ambiente in cui questa si colloca e dalla definizione della destinazione d'uso. La progettazione deve partire quindi dall'analisi:

1 - del sito naturale dal punto di vista geologico, geotecnico e morfologico;

2 - della destinazione d'uso e dei carichi cui verrà sottoposta la pavimentazione.

La scelta del massello, come forma e spessore, condiziona il valore minimo richiesto alle caratteristiche geotecniche del sottofondo, così come quest'ultimo potrà interagire con lo spessore del massello.

È necessario comunque che il sottofondo raggiunga sempre un valore minimo delle sue caratteristiche di portanza e che qualsiasi tipo di massello preveda un minimo di sottofondo o nei casi più fortunati, di un terreno naturale preparato.

Vi sono inoltre altri aspetti che nella pratica realizzazione di una pavimentazione in masselli, soprattutto se a destinazione stradale, devono essere tenuti in debito conto.

Ad esempio:

- il sistema costruttivo della sede viaria (preferibile la tecnica "a volta" o "a schiena d'asino" (Fig. 5), che nel caso dei masselli consente di realizzare una struttura portante in singoli elementi, estremamente stabile, molto di più di una struttura a profilo diritto);

Fig. 5 – Un arco è più stabile di un profilo dritto

- la disposizione dei masselli in funzione del senso di marcia del traffico primario. I carichi dinamici trasmessi dalle ruote degli autoveicoli in corsa agiscono contemporaneamente in diverse direzioni sul massello; i carichi verticali vengono trasmessi sullo strato di allettamento e sugli strati portanti, mentre i carichi orizzontali esercitano uno sforzo di rotazione sul massello e devono essere assorbiti dai lati del medesimo. I masselli posati con gli assi perpendicolari al senso di marcia primario assorbono le sollecitazioni torsionali solo su due lati, mentre i masselli posati diagonalmente al senso di marcia primario (ad esempio con un angolo di inclinazione di 45°) sono in grado di assorbire tali sollecitazioni su tutti e quattro i lati (Fig. 6). La disposizione in diagonale dei masselli presenta dei vantaggi non solo per la stabilità della pavimentazione, ma anche per la riduzione del rumore di rotolamento dei pneumatici;

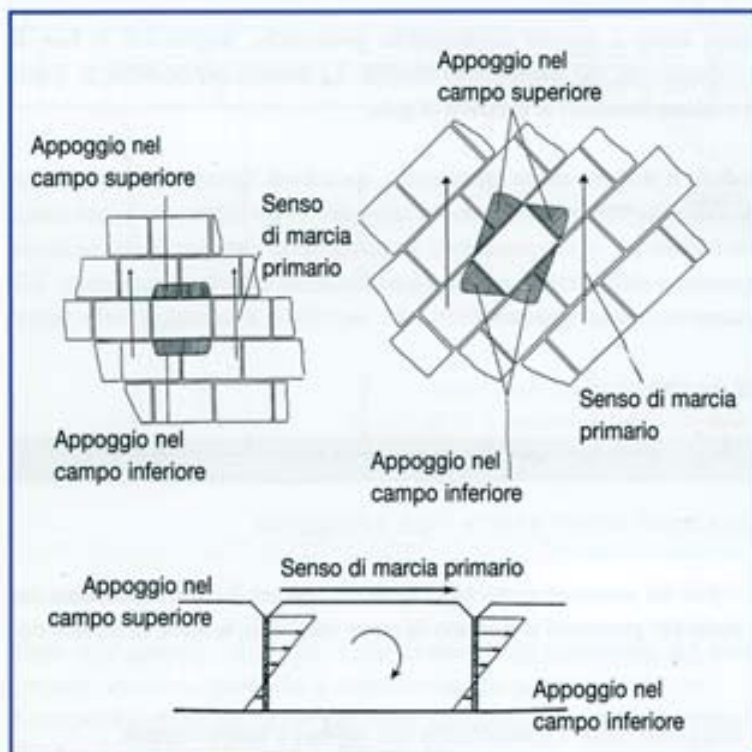
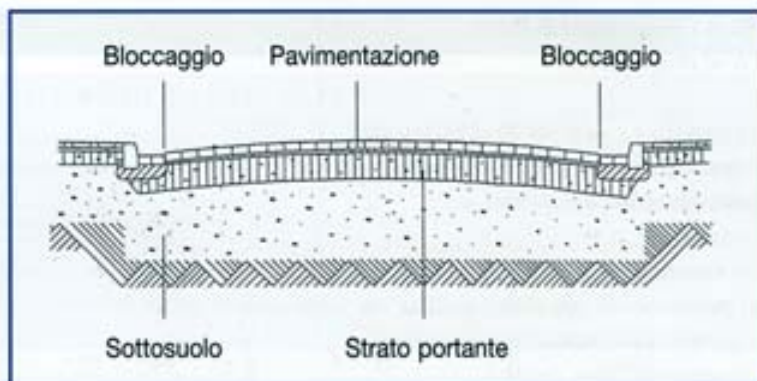
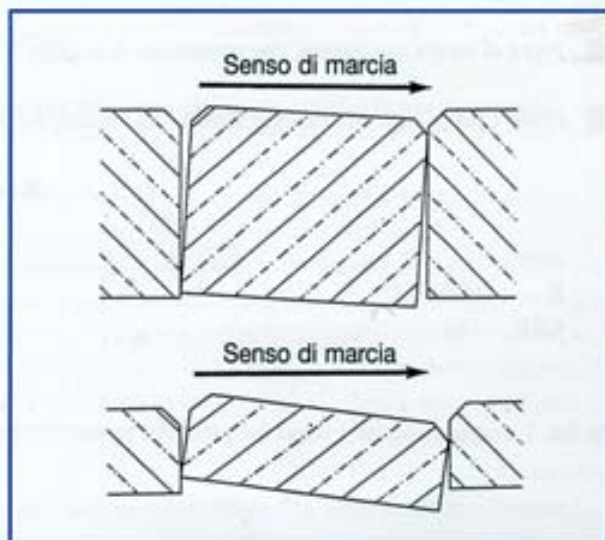


Fig. 7 - Uno spessore adeguato del massello evita deformazioni e rotture

- lo spessore del giunto, che deve essere compreso tra 3 mm e 5 mm, affinché questo possa funzionare da supporto elastico tra un massello e quello adiacente e la pavimentazione possa essere stabile nel tempo. Oltre allo spessore del giunto, va tenuto in considerazione anche il tipo di sabbia da utilizzare per il riempimento.

Fig. 6 – Disposizione dei masselli

- lo spessore del massello, che naturalmente deve scaturire dalla progettazione, ma che più è elevato e meglio contrasta i fenomeni torsionali. Un maggiore spessore infatti comporta una maggiore superficie di appoggio tra gli elementi e pertanto una minore pressione in corrispondenza degli spigoli sul lato inferiore, che non entrano così in coazione con rischio di deformazioni e rotture (Fig. 7). Le pavimentazioni in masselli di spessore ridotto si deformano a causa dei carichi dinamici, formando un profilo dentato sul lato utile. E' evidente questo effetto sui tratti in salita e sulle sezioni di corsia sulle quali si frena e si riparte frequentemente, ad esempio in prossimità delle fermate di autobus;



1ª FASE - ESAME DEL SITO NATURALE

Il primo passo da compiere è quello di verificare la tipologia di terreno sul quale andrà ad insediarsi la pavimentazione. I terreni si suddividono sostanzialmente in:

- a) *rocce lapidee*
 b) *terreni sciolti, più diffusi in Italia, che a loro volta si suddividono in:*
- *incoerenti (ciottoli, ghiaia, sabbia)*
 - *coerenti (limo, argilla)*
 - *organici (torba)*

e presentano naturalmente caratteristiche di portanza differenti. Le rocce hanno caratteristiche meccaniche molto elevate, mentre i terreni organici, paludosi o lacustri, scarsamente diffusi nelle nostre regioni, non sono assolutamente in grado di accogliere direttamente una pavimentazione.

I terreni sciolti incoerenti possono mediamente presentare buone o discrete caratteristiche geotecniche, migliorabili in fase di realizzazione della pavimentazione con operazioni di compattazione che danno buoni risultati. La discreta permeabilità di questi terreni favorisce il drenaggio delle acque meteoriche con evidente beneficio in presenza di gelo.

I terreni sciolti coerenti presentano le maggiori problematiche e debbono essere attentamente considerati. Questi terreni hanno una nulla o scarsa capacità di compattazione, presentano una deformazione continua e molto lunga nel tempo (anche per alcuni anni), anche sotto carichi modesti, che dà origine a situazioni inaccettabili per la pavimentazione. La plasticità dei terreni coerenti che deriva da una loro intrinseca sensibilità all'acqua, può portare inoltre a deformazioni elevate ed a rifluimenti della zona compressa. Tali problematiche infine possono essere amplificate dalla caratteristica di impermeabilità, che impedisce il drenaggio delle acque meteoriche.

2ª FASE - CARATTERIZZAZIONE MECCANICA DEL TERRENO

Una volta verificato il tipo di terreno, occorre definire i valori dei parametri geotecnici che serviranno per il dimensionamento del piano di fondazione (sottofondo) della pavimentazione. I parametri geotecnici si ricavano da prove specifiche, in sito o in laboratorio. Le prove in sito più semplici e diffuse sono:

- **Prove penetrometriche**, attuabili preferibilmente su terreni incoerenti a granulometria fine (sabbie) e terreni coerenti. Consentono di ricavare la capacità portante, l'angolo di attrito interno ed il livello di coesione degli strati di terreno attraversati.
- **Prove di carico con piastra**, che permettono di ricavare il modulo di reazione del terreno ed il modulo di deformazione.
- **Prove CBR (California Bearing Ratio)**, che consentono di ricavare il modulo elastico del terreno attraverso la relazione:

$$E = 100 \text{ CBR}$$

dove:

E [daN/cm²]

CBR [%]

In Tab. 1 vengono riportati i valori dei parametri geotecnici comunemente rilevati in sede di prova.

Tab. 1 - Parametri geotecnici dei terreni naturali in sito

Tipo di terreno	Peso in volume [daN/cm ³]	Angolo di attrito [°]	Grado di coesione [kN/m ²]	Modulo di deformazione elastica su piastra nell'intervallo 1,5-2,5 daN/cm ² [daN/cm ²]
Terreno ghiaioso	18 - 20	35 - 40	0	400
Sabbia sciolta	15 - 17	25 - 30	0	100
Sabbia addensata	17 - 19	32 - 35	0	200
Limo	16 - 17	20 - 28	0 - 1	10
Argilla	15 - 17	20 - 30	0 - 50	50
Terreni organici	14 - 16	20	0	5
		1 daN/cm ² = 1 kg/cm ²		
		1 kN/m ² = 100 kg/m ²		
		1 kN/m ³ = 100 kg/m ³		

Riassumendo l'esame del terreno e la sua parametrizzazione geotecnica possono quindi attuarsi attraverso i seguenti livelli:

1. - *esame visivo da parte del progettista e del geotecnico*
2. - *caratterizzazione con prove geotecniche*
3. - *eventuali sondaggi e indagini specifiche in caso di particolarità*

Dopo aver raccolto i dati relativi alle caratteristiche meccaniche del terreno, vediamo come questi possono essere utilizzati nel progetto, attraverso quella che si definisce capacità portante del terreno.

La capacità portante del terreno può essere relazionata al **modulo di reazione K** del terreno, ossia al rapporto tra la **pressione applicata P** dal carico ed il conseguente **cedimento d** :

$$K = P/d \quad [\text{daN/cm}^3]$$

La capacità portante risulta pertanto definibile dal valore di pressione che induce un cedimento accettabile per la struttura sovrastante.

In Tab. 2 vengono riportati i valori di K per i terreni più comuni.

Fig. 9 - Fondazione a uno strato

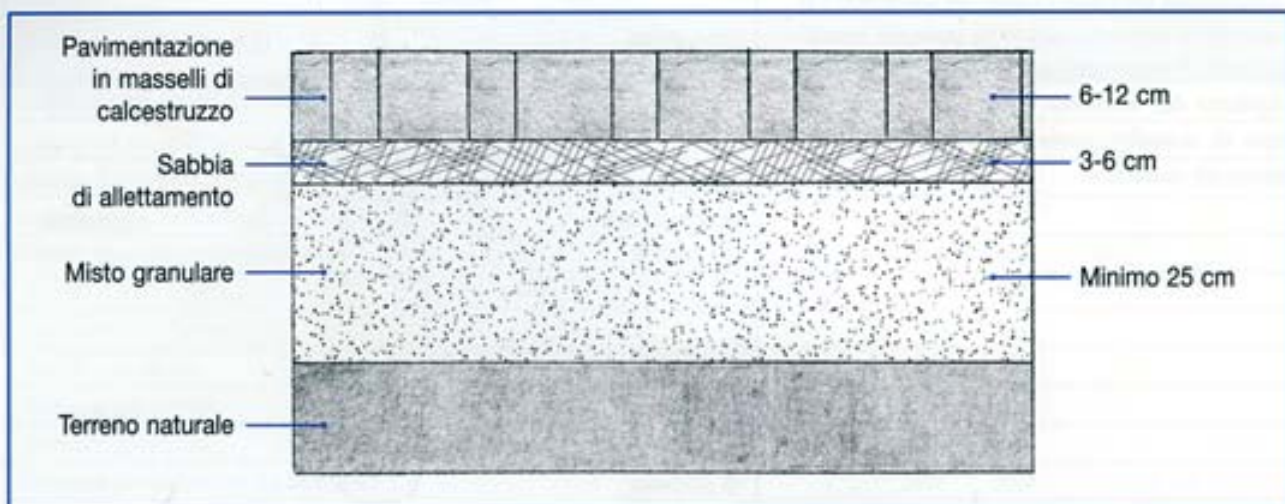
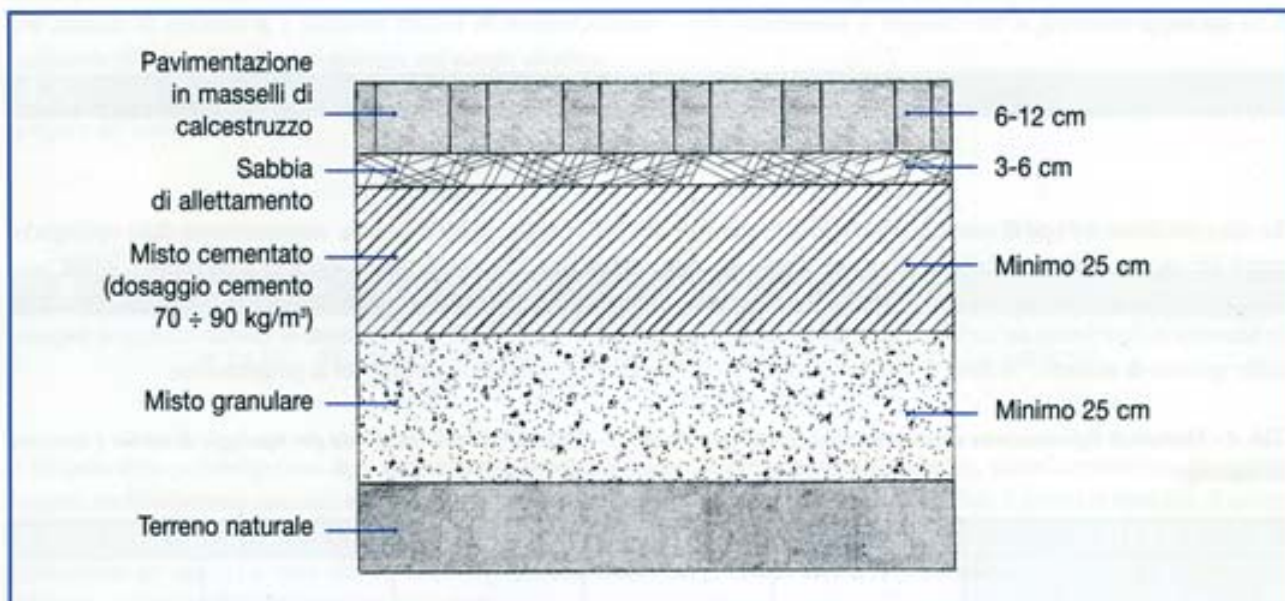


Fig. 10 - Fondazione a due strati



Le caratteristiche, lo spessore e la composizione del sottofondo vanno calcolati in funzione del cedimento ammissibile della pavimentazione (dato di progetto) e della capacità portante del terreno naturale. A titolo informativo si riportano in Tab. 5 i moduli elastici di vari tipi di sottofondo.

Tab. 5 - Moduli elastici di vari tipi di sottofondo

TIPO DI SOTTOFONDO	MODULO ELASTICO [daN/cm ²]
Misto naturale poco compattato	1000 - 2500
Misto naturale mediamente compattato	3000 - 5000
Misto naturale molto compattato	5000 - 10000
Misto cementato steso asciutto (dosaggio cemento 70 ÷ 90 kg/m ³)	25000 - 50000
1 daN/cm ² = 1 kg/cm ²	

5ª FASE - VALUTAZIONE DI MATERIALI GEOTECNICI DI SUPPORTO E PREPARAZIONE DELLA SABBIA DI ALLETTAMENTO E DI SIGILLATURA

Gli strati di sottofondo hanno la funzione di ripartire gli sforzi, ma anche di assolvere ad una funzione di drenaggio. Il raggiungimento delle caratteristiche desiderate può essere facilitato oltre che dalla scelta dei materiali più opportuni anche dall'inserimento di materiali geotecnici specifici, quali i geotessili o tessuti - non tessuti, che assolvono a funzioni drenanti permettendo la raccolta delle acque ed impedendo il trasporto di materiali fini, alla distribuzione delle eventuali pressioni idrostatiche dal sottosuolo e ad una funzione geomeccanica rappresentando un'armatura planare che contrasta le sollecitazioni tangenziali.

Tab. 6 - Caratteristiche del nontessuto geotessile a filo continuo

NONTESSTO GEOTESSILE A FILO CONTINUO		
POSIZIONAMENTO	FUNZIONI	GRAMMATURA [g/m ²]
Tra terreno naturale e sottofondo	<ul style="list-style-type: none"> - contenere i cedimenti e distribuire i carichi - preservare le caratteristiche meccaniche dei sottofondi (separatore - filtro) 	190 - 240
Tra sottofondo e riporto di posa	<ul style="list-style-type: none"> - contenere i cedimenti - contribuire a mantenere efficiente il meccanismo dell'autobloccaggio 	130 - 160

Per quanto riguarda infine la sabbia di allettamento e quella di sigillatura, è opportuno rammentare che la capacità di ripartizione dei carichi svolta dai masselli dipende anche dalle caratteristiche meccaniche di tali sabbie, che sono sollecitate a compressione, trazione e taglio.

In Tab. 7 si riportano le caratteristiche delle sabbie da utilizzarsi per questi impieghi.

Tab. 7 - Caratteristiche delle sabbie per lo strato di allettamento e la sigillatura

RIPORTO DI POSA	
Materiale	<ul style="list-style-type: none"> - Sabbia di origine alluvionale - Sabbia di frantoio derivante da materiali lapidei di elevata resistenza meccanica e non alterabili
Granulometria	<ul style="list-style-type: none"> - Diametri dei granuli non superiore a 8 mm max - Limi e argille non superiori al 3% in peso
Spessore	<ul style="list-style-type: none"> - Spessore uniforme e compreso tra 30 e 60 mm - Spessori elevati per sottofondi rigidi - Spessori più ridotti per sottofondi più elastici

SABBIA DI SIGILLATURA	
Materiale	<ul style="list-style-type: none"> - Sabbia di origine alluvionale - Sabbia lavata da frantumazione di rocce sane e resistenti
Granulometria	<ul style="list-style-type: none"> - Diametri variabili tra 0,8 e 2,0 mm - Sabbia esente da limi, argille o elementi fini

ESEMPIO APPLICATIVO N. 3

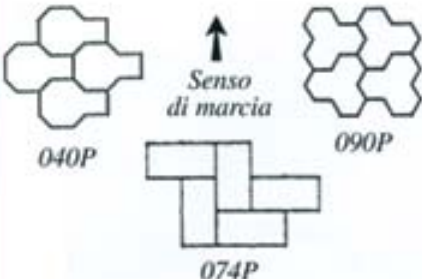
<p>Tipologia della strada</p>	<p><i>Corsia preferenziale per mezzi pubblici</i></p>	
<p>Caratteristiche del traffico</p>	<p><i>Numero di passaggi di veicoli commerciali da 400.000 a 10.000.000</i></p>	
	<p><i>Eventuali limitazioni al traffico: 50 km/h</i></p>	
<p>Portanza richiesta al sottofondo</p>	<p><i>Minimo modulo elastico consigliabile $\cong 240 \text{ daN/cm}^2$</i></p>	
<p>Stratigrafia della pavimentazione</p>	<p><i>Nontessuto geotessile a filo continuo</i></p>	<p><i>CARATTERISTICHE E GRAMMATURA (g/m²)</i></p> <p>250</p>
	<p><i>Strato di allettamento in sabbia</i></p>	<p><i>SPESSORE (cm)</i></p> <p>3 ÷ 5</p>
	<td data-bbox="879 1251 1325 1362"> <p><i>CODICE PAVITALIA</i></p> <p>040P / 074P / 090P</p> </td>	<p><i>CODICE PAVITALIA</i></p> <p>040P / 074P / 090P</p>
	<td data-bbox="879 1362 1325 1473"> <p><i>SPESSORE (cm)</i></p> <p>8 ÷ 10</p> </td>	<p><i>SPESSORE (cm)</i></p> <p>8 ÷ 10</p>
	<p><i>Pavimentazione in masselli di calcestruzzo</i></p>	<p><i>SCHEMA DI POSA</i></p> 

Fig. 27 - Marcatura dei masselli per il taglio



Fig. 29 - Sistemazione dei masselli tagliati negli appositi spazi

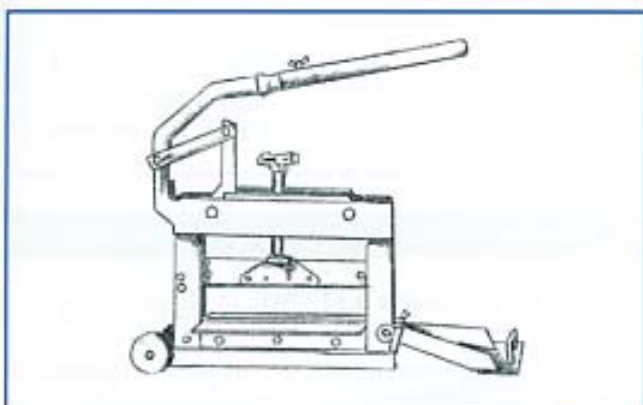


Fig. 28 - Tipica taglierina da calcestruzzo

COMPATTAZIONE

Per compattazione si intende l'azione di assestamento dei masselli nel letto di posa (Fig. 30). Una buona compattazione deve prevedere almeno due passate della piastra vibrante. Prima di effettuare la compattazione bisogna assicurarsi che la superficie del pavimento e la piastra del vibratore siano ben pulite ed asciutte.

Questa operazione viene effettuata dopo la posa dei masselli e la rifilatura dei bordi con l'utilizzo di vibratori a piastra o con rulli meccanici statici o dinamici. L'entità delle forze vibranti ed il peso dei rulli meccanici devono essere proporzionati allo spessore ed alla forma dei masselli, alle caratteristiche del letto di posa nonché dei sottofondi.



Quando è previsto un immediato utilizzo della pavimentazione, si consiglia di spargere sabbia in superficie, prima di compattare.

Nel caso di impiego di masselli con superficie di usura operata o bugnata, o masselli di pregio (colorati, quarzati, ecc.) è comunque consigliabile l'uso di rulliere ricoperte di gomma o piastre vibranti provviste di lastra non metallica. Questo per garantire una maggiore uniformità di vibrazione ed evitare di recare danno estetico ai masselli.

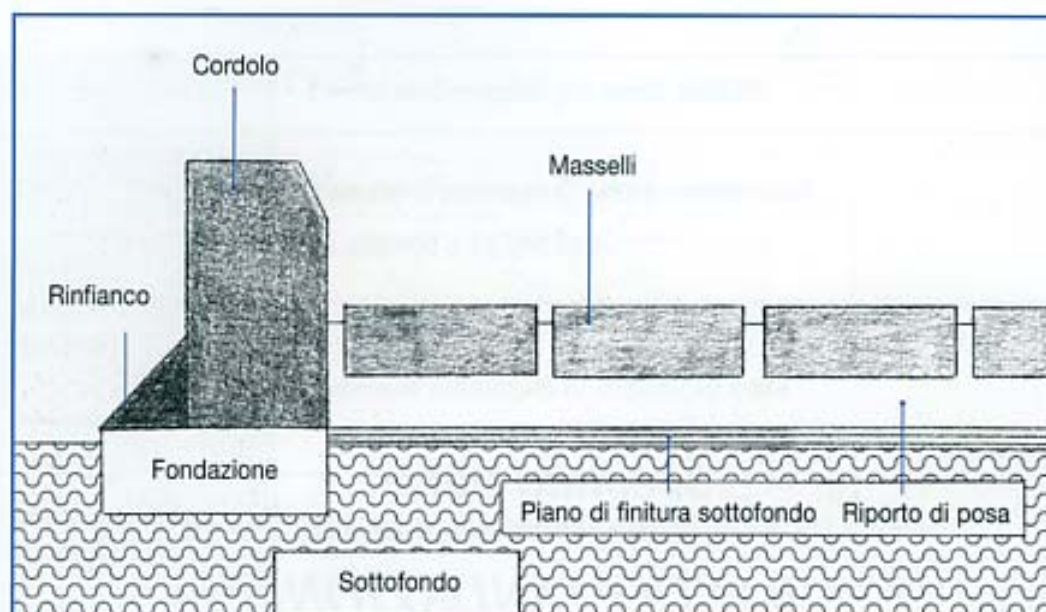
Nel caso infine di superfici inclinate la compattazione deve avvenire in senso trasversale alla pendenza e procedendo dal basso verso l'alto.

Fig. 30 - Compattazione della pavimentazione in masselli

4. DEFINIZIONE DEL PACCHETTO DI PAVIMENTAZIONE

Lo scopo della presente pubblicazione è quello di fornire le corrette modalità di posa di una pavimentazione in masselli di calcestruzzo, fermo restando che questi ultimi rappresentano soltanto uno degli elementi costituenti e caratterizzanti il pacchetto di pavimentazione (Fig. 11).

Fig. 11 - Elementi costituenti e caratterizzanti una pavimentazione in masselli di calcestruzzo



Per ottenere infatti una pavimentazione duratura ed economica, occorre prestare attenzione anche ai seguenti aspetti:

- Carichi di progetto (valutazione del tipo di traffico e della frequenza d'uso dei veicoli)
- Sottofondo adeguato al tipo di destinazione d'uso della pavimentazione e delle caratteristiche del terreno naturale
- Drenaggio adeguato sia per le acque superficiali che per quelle sotterranee, in grado di evitare cedimenti prematuri del sottofondo.

Il pacchetto di pavimentazione di norma comprende i seguenti strati:

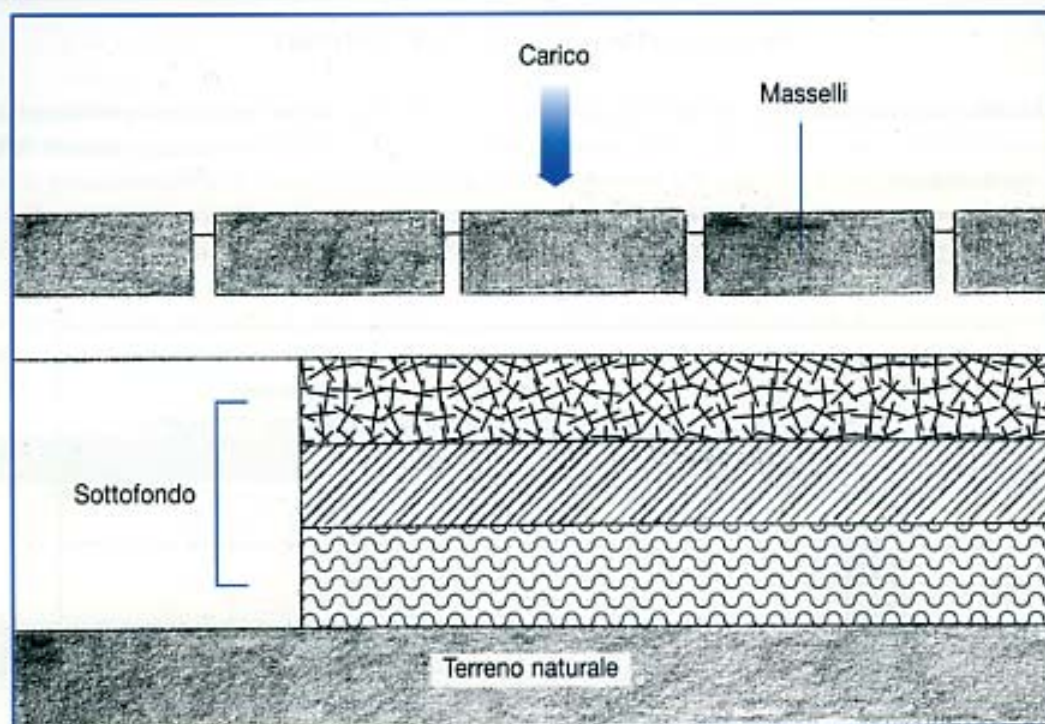
- il sottofondo
- il piano di finitura del sottofondo
- il riporto di posa in sabbia
- il rivestimento in masselli
- i manufatti di finitura e completamento (cordoli, chiusini, pozzetti, ecc.)
- gli accessori (geotessile, sigillanti)

SOTTOFONDO

È il complesso di strati naturali diversi messi in opera a diretto contatto con il terreno naturale (Fig. 12) e che nei riguardi della pavimentazione svolge le seguenti funzioni:

- distribuzione delle pressioni che si generano con i carichi di esercizio e riduzione delle tensioni verticali in modo da essere accettate dal terreno naturale senza apprezzabili cedimenti o con cedimenti compatibili con la pavimentazione;
- drenaggio delle acque (funzione specifica conseguente alla caratteristica di parziale permeabilità delle pavimentazioni discontinue), in particolare per impedire la formazione di ghiaccio.

Fig. 12 - Esempificazione del sottofondo



La realizzazione del sottofondo quindi non può assolutamente prescindere da:

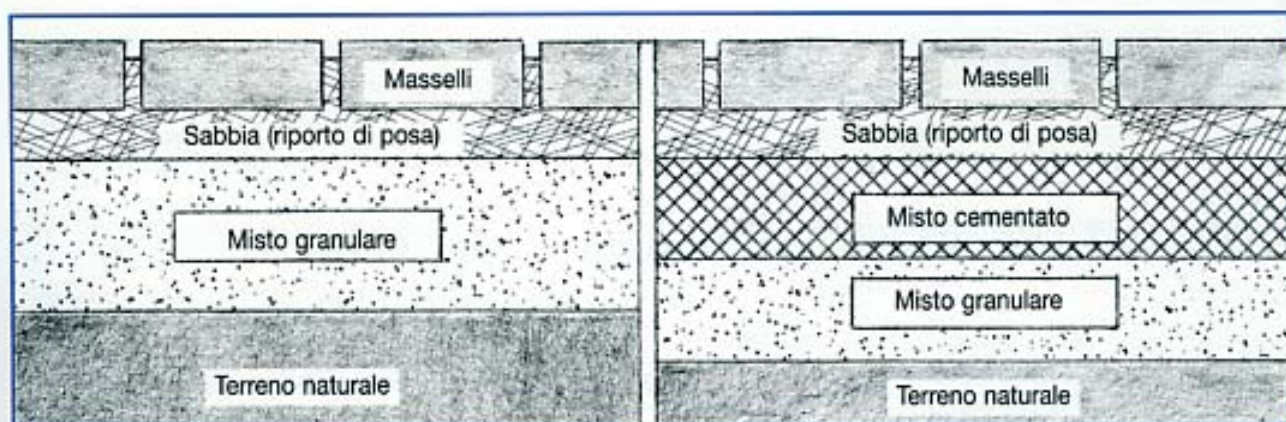
- la valutazione delle caratteristiche geotecniche del terreno naturale del sito;
- una progettazione del sottofondo in funzione delle caratteristiche geotecniche e della destinazione d'uso (carichi). In pratica si tratta di inserire tra la pavimentazione ed il terreno naturale una serie di strati con funzione di ripartizione degli sforzi, drenaggio ed incremento del modulo di reazione del piano d'appoggio.

Il sottofondo può essere realizzato con materiali differenti a seconda che la sua funzione primaria sia quella di assicurare un buon drenaggio oppure di contribuire alla resistenza globale della fondazione.

Nel primo caso si possono utilizzare materiali non legati a granulometria discontinua oppure calcestruzzi porosi, nel secondo caso misti granulari non legati a granulometria continua, misti cementati o calcestruzzi magri (Fig. 13).

Nel caso di soletta di calcestruzzo, perdendo il sottofondo la sua capacità drenante, occorre impiegare uno spessore della sabbia di allettamento di $6 \div 8$ cm ed uno spessore superiore di massello.

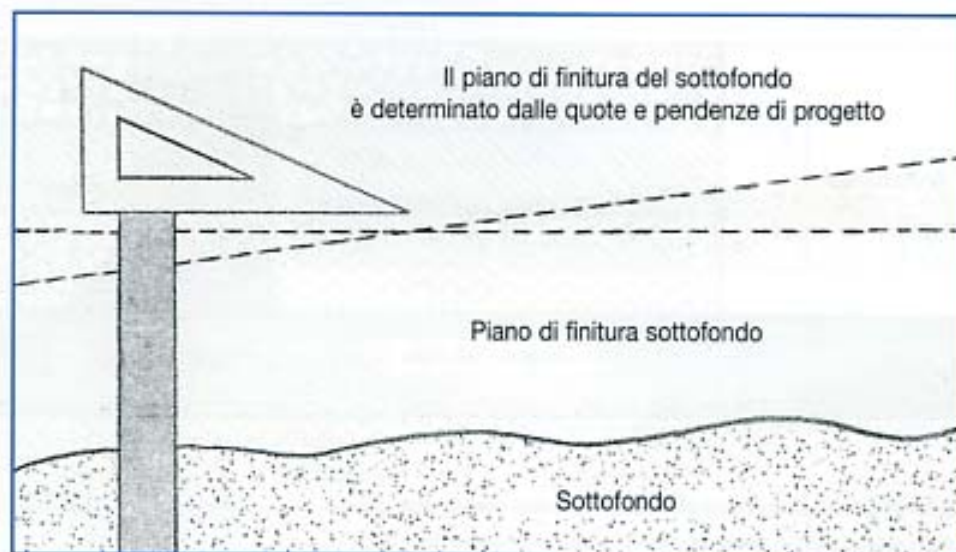
Fig. 13 - Esempi di sottofondi



PIANO DI FINITURA DEL SOTTOFONDO

Rappresenta il livello topografico finale del sottofondo sul quale verrà impostata senza ulteriori modifiche la pavimentazione (Fig. 14) ed è responsabile quindi del rispetto delle quote e delle pendenze, non modificabili attraverso variazioni di spessore della sabbia di allettamento (riporto di posa).

Fig. 14 - Piano di finitura del sottofondo



Deve evidentemente avere caratteristiche geotecniche (portanza, entità dei cedimenti, ecc.) coerenti con la funzione strutturale della pavimentazione.

Sul piano della finitura può essere steso un manto geotessile con molteplici funzioni:

- di diffusione dell'azione drenante delle acque superficiali;
- di trattenimento della sabbia di allettamento;
- di omogeneizzazione del piano di finitura quando questo non presenti uniformità di materiali e di granulometria (funzione di miglioramento geotecnico).

La pendenza del piano di finitura (non inferiore a 1%) deve consentire il corretto smaltimento delle acque superficiali.

RIPORTO DI POSA

Il riporto di posa deve essere formato da sabbia alluvionale o di frantumazione proveniente da materiali alluvionali o da materiali di cava di elevata resistenza geomeccanica.

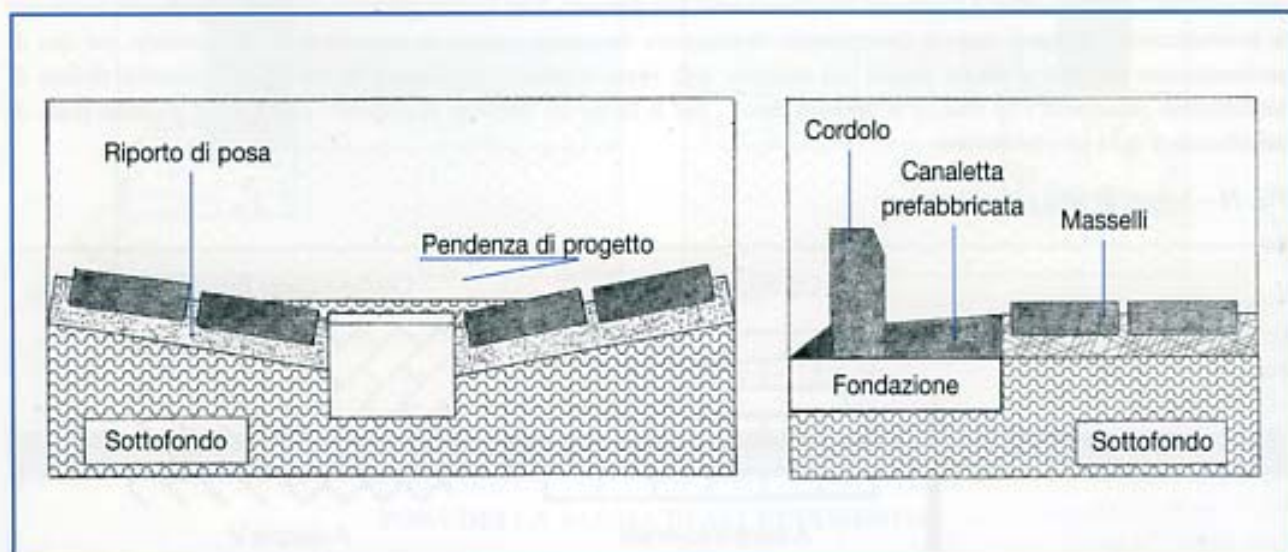
Sotto il profilo granulometrico deve essere costituita da elementi con diametro non superiore a 8 mm e con passante, in peso, non inferiore a 70% al vaglio da 4 mm. Deve inoltre essere esente da limi, argille o residui di frantumazione superiori al 3% in peso.

Il riporto di posa deve avere uno spessore uniforme su tutta la sua superficie. Non può nè deve servire a compensare delle irregolarità dello strato portante!

Le pavimentazioni allettate su riporti di posa di spessore irregolare si deformano già in fase di vibrocompattazione ed anche successivamente a causa dei carichi del traffico.

MANUFATTI DI SERVIZIO E FINITURA

Fig. 15 - Esempi di manufatti di finitura



Per manufatti di servizio si intendono tubazioni, chiusini, pozzetti, caditoie, ecc., mentre i manufatti di finitura sono rappresentati dai cordoli di contenimento e delimitazione, dalle cornici dei pozzetti, dei chiusini o dei servizi in genere, dalle cunette o canalette di convogliamento delle acque superficiali. I primi due tipi di manufatti di finitura hanno la funzione di contenere la spinta verso l'esterno della pavimentazione sottoposta ai carichi di esercizio e di non lasciare disperdere lo strato di sabbia che costituisce il riporto di posa.

In genere vengono realizzati con una sequenza di elementi prefabbricati in calcestruzzo, allettati su getto di calcestruzzo.

Prima di iniziare i lavori di posa della pavimentazione, è buona norma condurre un'ispezione del sito per verificare:

- eventuali discontinuità superficiali del sottofondo
- la presenza delle corrette pendenze per il drenaggio delle acque meteoriche (almeno 1 - 2%)
- la correttezza delle quote per consentire alla pavimentazione di collegarsi agli edifici, agli elementi di finitura (pozzetti, chiusini), ecc.
- il posizionamento dei cordoli di contenimento, se realizzati da terzi.

Sebbene i punti sopra indicati non siano di competenza del posatore della pavimentazione in masselli, è bene che il processo di posa non venga avviato se tali opere non sono state eseguite come richiesto.

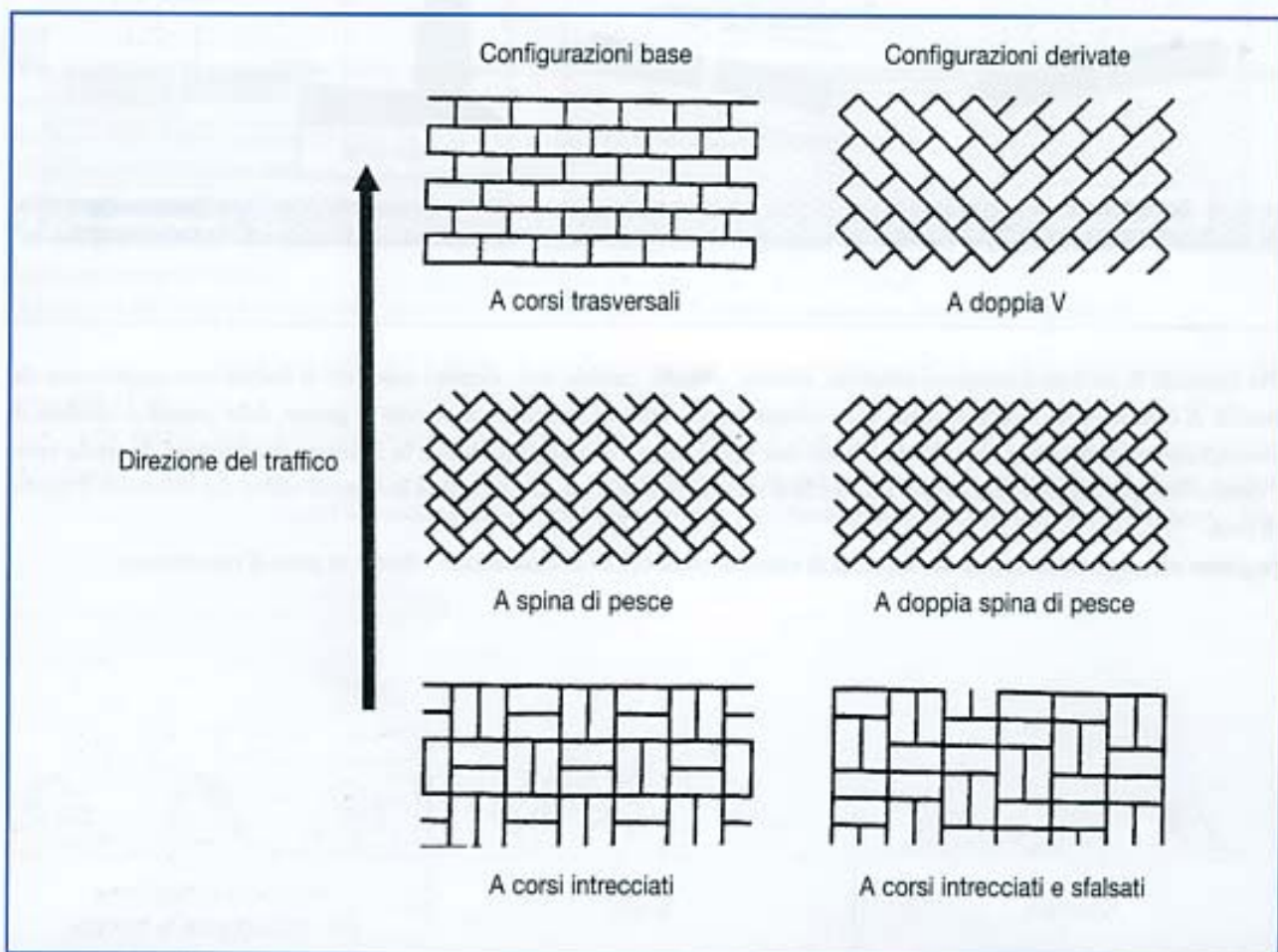
Eventuali problemi o difformità andrebbero segnalati all'affidatario dell'opera, il quale dovrebbe mettere in atto le opportune azioni correttive.

6. POSA DELLA PAVIMENTAZIONE IN MASSELLI

La scelta dello schema di posa dipende dalla tipologia del massello; la Fig. 16 mostra i principali schemi di posa realizzabili con i masselli di forma più comune e ricorrente. Si hanno schemi di posa a "correre", a "spina di pesce", a "parquet", ecc.

Occorre tener presente che sia l'aspetto estetico che il comportamento meccanico della pavimentazione dipendono dallo schema di posa adottato: l'aspetto estetico è di primaria importanza nelle aree pedonali, dove l'utente passeggia ed ha un rapporto più diretto con la pavimentazione. In questo caso le caratteristiche di resistenza meccanica passano in secondo piano. Al contrario, nei casi di pavimentazione soggetta a carichi pesanti (ad esempio, sedi viarie o piazzali industriali), la resistenza meccanica diventa di fondamentale importanza e lo schema a "spina di pesce", ove la forma del massello lo consente, garantisce il massimo grado di autobloccanza della pavimentazione.

Fig. 16 - Schemi di posa più ricorrenti

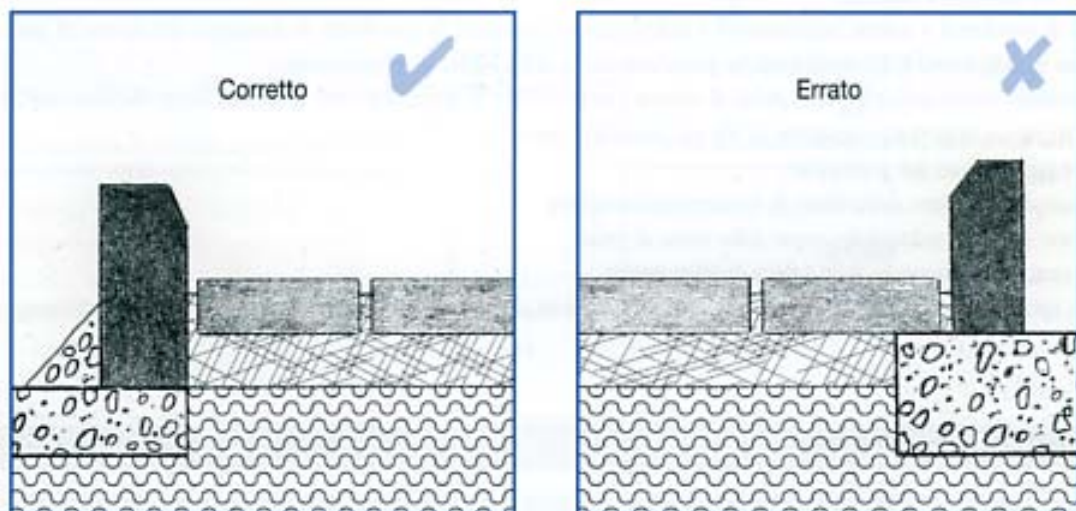


POSA DEI CORDOLI DI CONTENIMENTO

La scelta dei differenti tipi di cordoli dipende dalla funzione, dal traffico di progetto, da fattori estetici, dai requisiti di drenaggio e naturalmente dall'aspetto economico.

I cordoli devono essere posizionati direttamente sul sottofondo prima della posa della sabbia di allettamento, così che possano essere impiegati come elementi di riferimento per le quote e nello stesso tempo per impedire lo spostamento dei masselli. E' importante che essi siano opportunamente annegati in una malta di calcestruzzo che ne assicuri la stabilità prima della posa dei masselli. I cordoli sporgenti vanno verificati per gli urti eventuali delle ruote dei veicoli.

Fig. 17 - Posizionamento del cordolo di contenimento

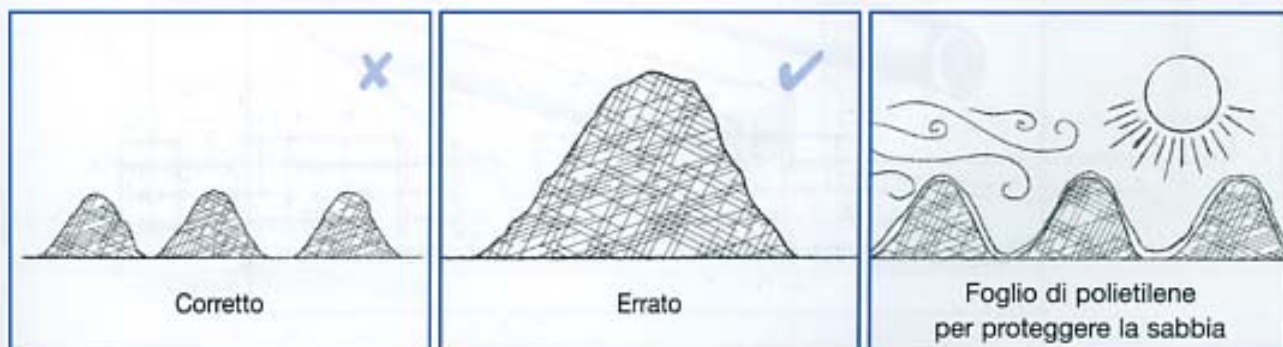


POSA DELLA SABBIA DI ALLETTAMENTO

Le caratteristiche della sabbia costituente il riporto di posa sono quelle indicate al Paragrafo 4.3 - *Riporto di posa*.

La sabbia deve essere protetta sia da un'eccessiva asciugatura che da un'eccessiva umidità in modo da garantire un contenuto omogeneo di umidità in fase di posa (Fig. 18), così che il massello possa essere adeguatamente compattato nella sabbia. Una sabbia troppo umida non permette un'appropriata staggiatura, mentre una sabbia troppo asciutta non consente una compattazione soddisfacente. Un valore ottimale, seppure indicativo, di contenuto di umidità è rappresentato dal 6%.

Fig. 18 - Stoccaggio della sabbia di allettamento



Lo spessore dello strato di allettamento o riporto di posa deve essere compreso tra 30 mm e 60 mm, prima della messa in opera dei masselli. Lo spessore è funzione di due variabili:

- a) rigidità del piano di finitura del sottofondo
- b) necessità di portare, a operazione terminata, il massello alla quota di progetto del piano finito, fermo restando che comunque lo spessore del riporto di posa non deve superare i 60 mm.

Quest'ultimo spessore sarà in ogni caso adottato con piani di sottofondo particolarmente rigidi (ad esempio, su misti cementati o calcestruzzo), mentre spessori inferiori potranno essere adottati su piani finiti di inerti misti granulari.

Per quanto riguarda il ricorso a leganti, quali cemento o similari è assolutamente da evitare l'impiego come spolvero superficiale della sabbia stesa, mentre i leganti possono essere utilizzati in casi particolari miscelati a secco con la sabbia, al fine di ottenere uno strato di allettamento con particolari caratteristiche di rigidità.

In nessun caso le pendenze possono essere realizzate variando lo spessore del riporto di posa. In ogni caso va evitata l'eccessiva inclinazione tra massello e massello.

In presenza di sottofondi o solette impermeabili è indispensabile prevedere la possibilità di drenaggio del riporto di posa senza che intervengano modificazioni delle caratteristiche granulometriche della sabbia di allettamento.

A tal fine possono essere utilizzati inerti dotati di elevate caratteristiche di durezza ovvero miscele a secco ottenute con l'aggiunta di parti fini o leganti in misura non superiore al 5% sul peso degli inerti.

E' sempre suggerito l'uso del geotessile:

- con funzione di protezione dello strato di impermeabilizzazione;
- per facilitare lo smaltimento delle acque dello strato di posa;
- per migliorare il contenimento della sabbia di allettamento.

Qualora gli spessori lo consentano, è possibile l'uso di tubazioni drenanti, microfessurate, oppure rivestite localmente con manti geotessili.

6.3

STAGGIATURA DEL RIPORTO DI POSA

La staggiatura del riporto di posa non dovrà mai essere effettuata a temperature inferiori ad 1°C.

La sabbia viene distribuita per alcuni metri alla volta e stesa, senza alcuna compattazione, utilizzando una staggia a sezione quadrata (ad esempio di dimensioni 25 mm x 25 mm) oppure circolare (ad esempio \varnothing 25 mm), di lunghezza adeguata (Fig. 19). È opportuno evitare di calpestare la sabbia di allettamento una volta staggiata.

Per ottenere una perfetta staggiatura è consigliato effettuare due o tre passaggi, evitando le azioni cosiddette "a sega", che potrebbero portare ad una superficie irregolare (Fig. 20).

Fig. 19 - Esempi di stagge

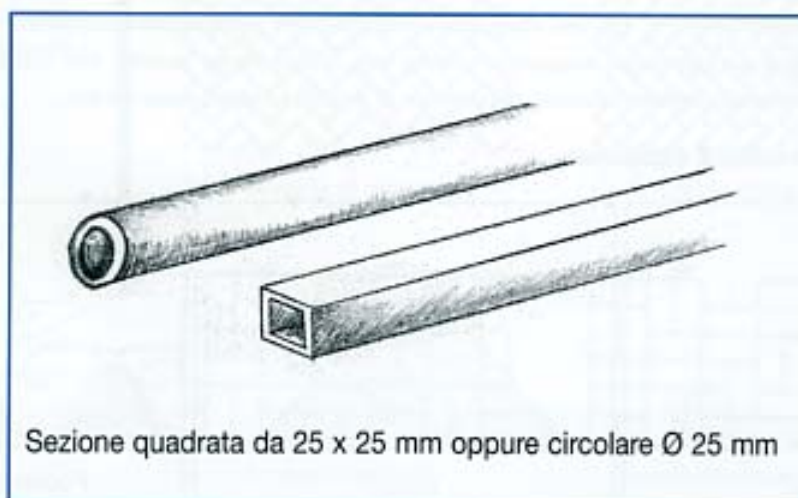
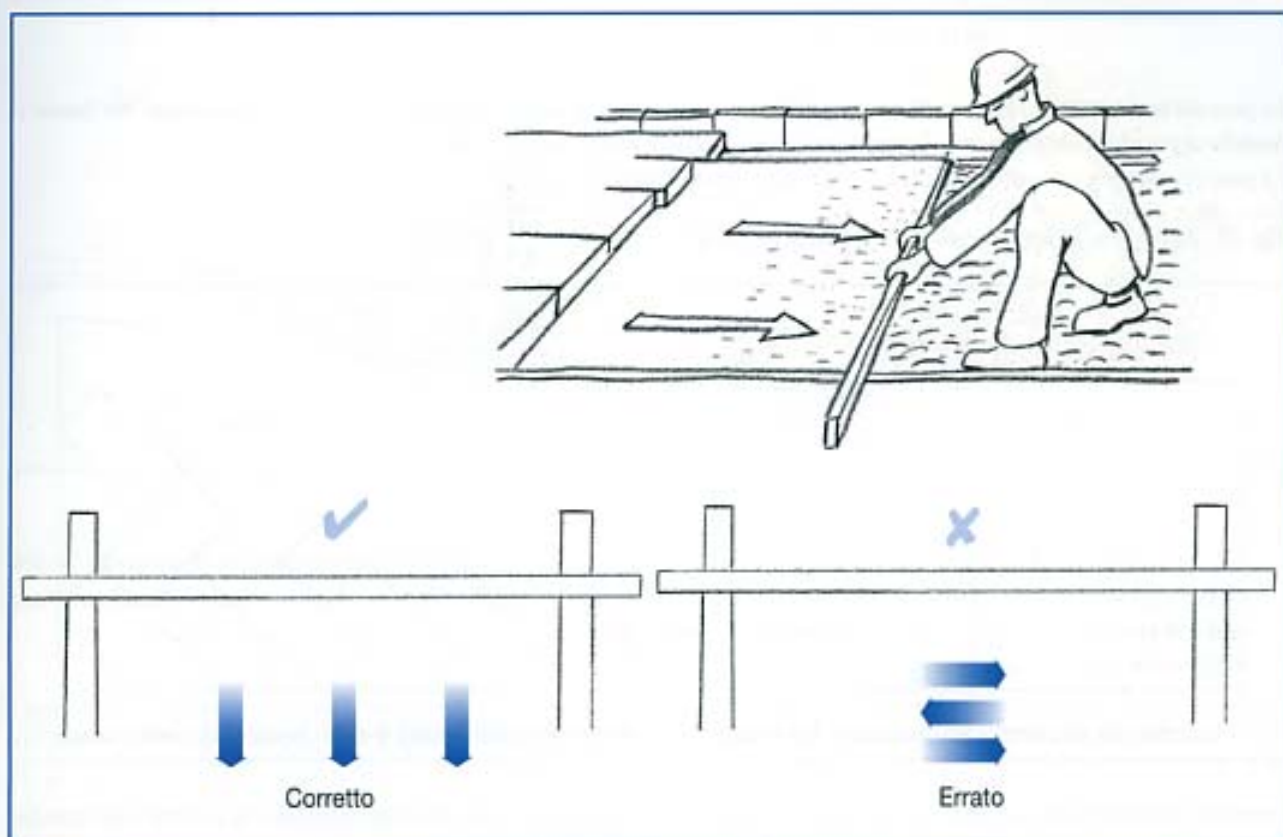


Fig. 20 - Utilizzo della staggia



6.4

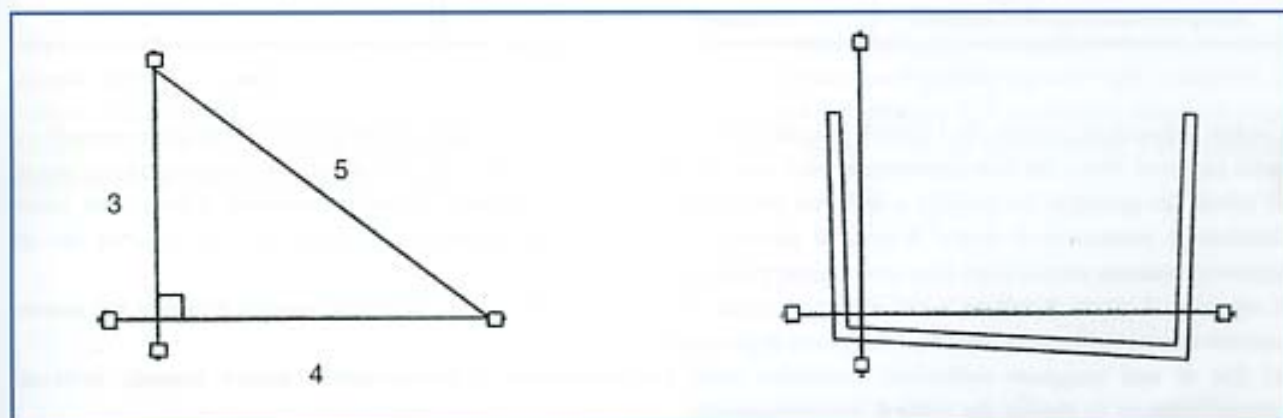
SQUADRATURA DELL'AREA DA PAVIMENTARE

E' importante cominciare la posa soltanto a partire da un punto per poter assicurare uno schema di posa uniforme. Occorre innanzitutto determinare la linea della pavimentazione e allineare la geometria di posa con la direzione della strada o parallela ad una muratura o ad un cordolo perimetrale.

Se il cordolo non può garantire il perfetto allineamento, allora utilizzare due fili tesi posti ad angolo retto (Fig. 21).

Oltre a questi fili andranno tesi tutti i fili di riferimento per l'intera operazione di posa.

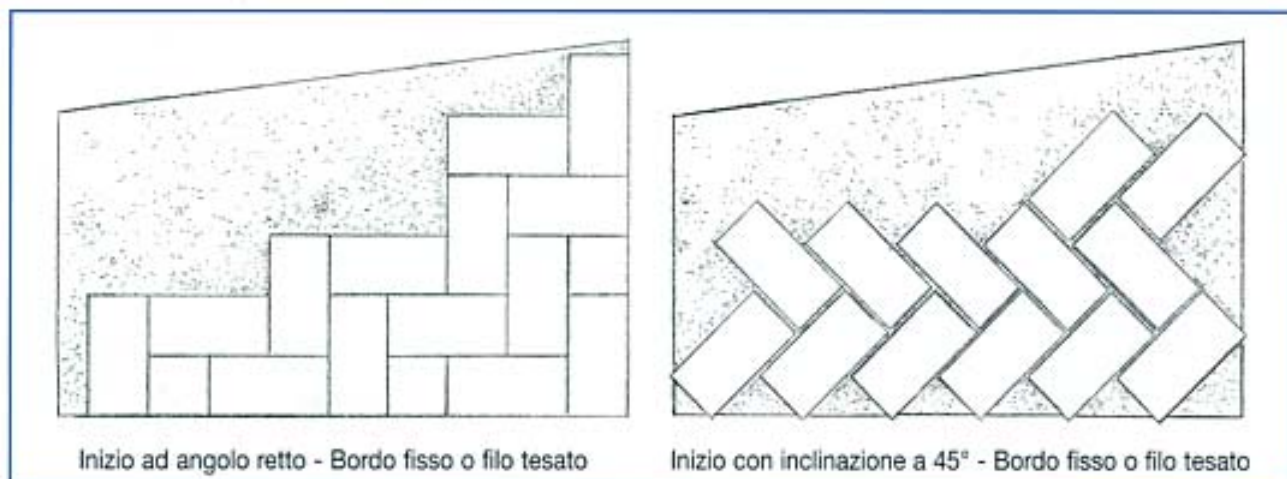
Fig. 21 - Squadratura del sito



POSA MANUALE DEI MASSELLI DI CALCESTRUZZO

La posa dei primi masselli richiede una cura particolare che si rifletterà su tutta la disposizione dei successivi elementi. Per fornire il modello di posa necessario occorre disporre i primi masselli con il giusto angolo contro un bordo fisso di partenza. La posa deve seguire entrambe le direzioni che caratterizzano l'angolo di avvio (Fig. 22).

Fig. 22 - Inizio posa ad angolo retto e con inclinazione di 45°



I masselli debbono essere accostati con interspazio costante ed omogeneo di ~2 mm, per poter assicurare la corretta sigillatura dei giunti (Fig. 23). La presenza di **tacche distanziali** su quasi tutti i masselli con forme ad incastro consente di mantenere costantemente tale interspazio. Ogni massello deve essere posato con attenzione, per non disturbare il massello adiacente e fino a che non si sono posate tre o quattro file non si può procedere a lavorare con ritmo normale.

Fig. 23 - Posa manuale dei masselli

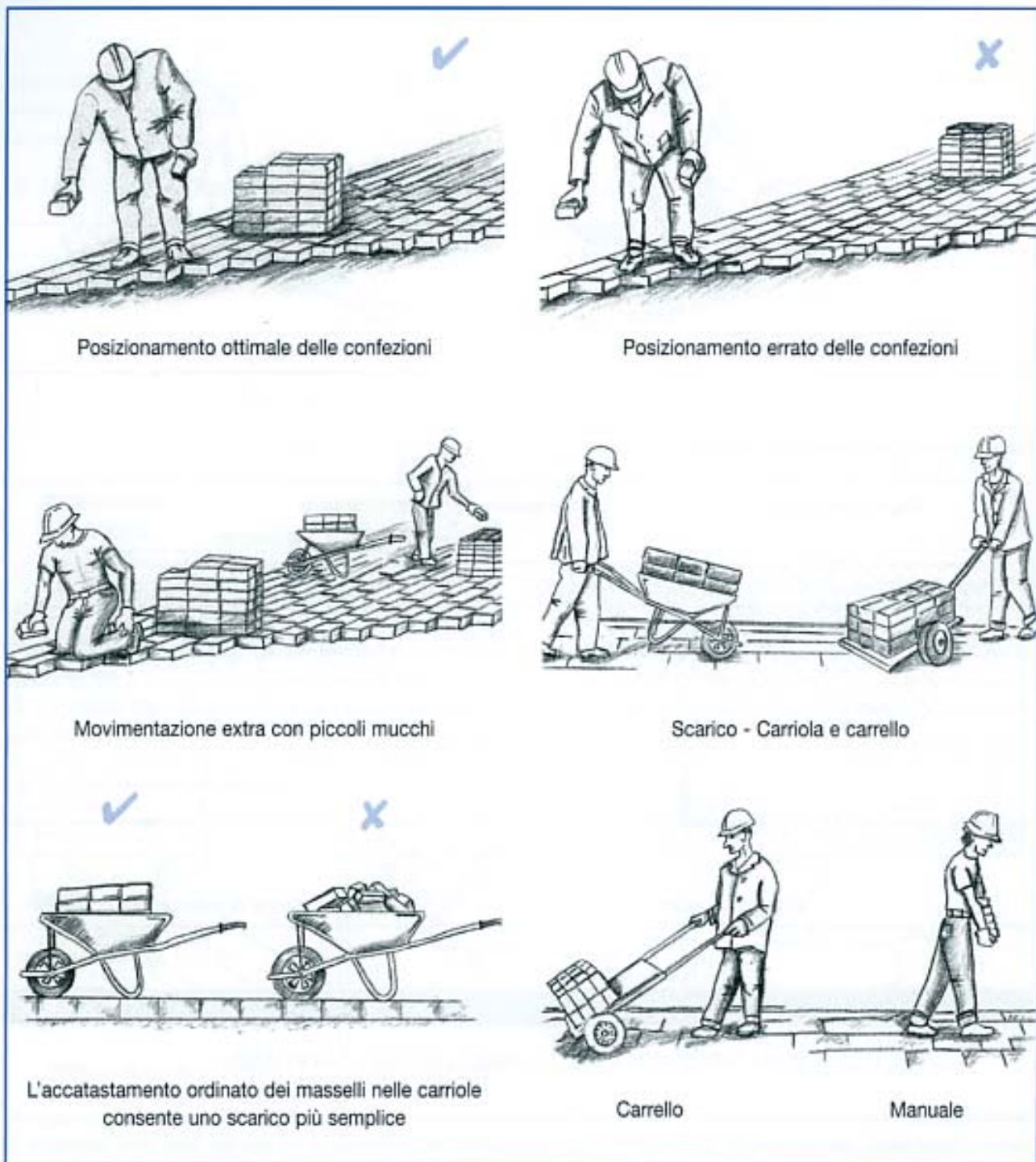


L'ordine di posa deve garantire che i masselli possano essere posati facilmente ed in modo da non dovere mai forzare un massello tra quelli già posati. Fino a che la pavimentazione non è stata compattata mediante vibrazione, non deve essere sottoposta ad altri carichi all'infuori del passaggio del posatore e delle sue attrezzature. Per nessuna ragione, durante le operazioni di posa, deve essere disturbato o manomesso il riporto di posa. Il cantiere deve quindi essere organizzato in modo che sia i posatori che gli approvvigionamenti passino sopra la pavimentazione già posata.

Il sottoporre ai carichi di utilizzo la pavimentazione prima della compattazione e della sigillatura completa dei giunti può causare contrasti tra i masselli con conseguenti scheggiature degli spigoli.

Ai fini di una maggiore uniformità cromatica della pavimentazione, è indispensabile posare masselli prelevati alternativamente da almeno due unità di confezionamento.

Nel caso di posa in pendenza, occorre procedere partendo dal basso per ostacolare l'effetto della forza di gravità ed il movimento dovuto ad un eventuale scorrimento dei masselli già posati (Fig. 24).



TAGLIO E RIFILATURA DEI MASSELLI

Il taglio e la rifilatura dei masselli sono due fasi importanti del processo globale di posa, alle quali è opportuno prestare attenzione onde evitare aperture sulla superficie pavimentata che favorirebbero il passaggio dell'acqua.

Il taglio dei masselli deve sempre avvenire al massimo ad $1/3$ dell'elemento (Fig. 27).

L'accuratezza del taglio deve essere tale per cui la larghezza del giunto tra l'elemento tagliato e quello intero o il bordo di contenimento non risulti maggiore di 5 mm. Il massello deve essere rifilato con una taglierina da calcestruzzo o altre seghe meccaniche eventualmente presenti in cantiere (Fig. 28).

Fig. 24 - Posa in pendenza

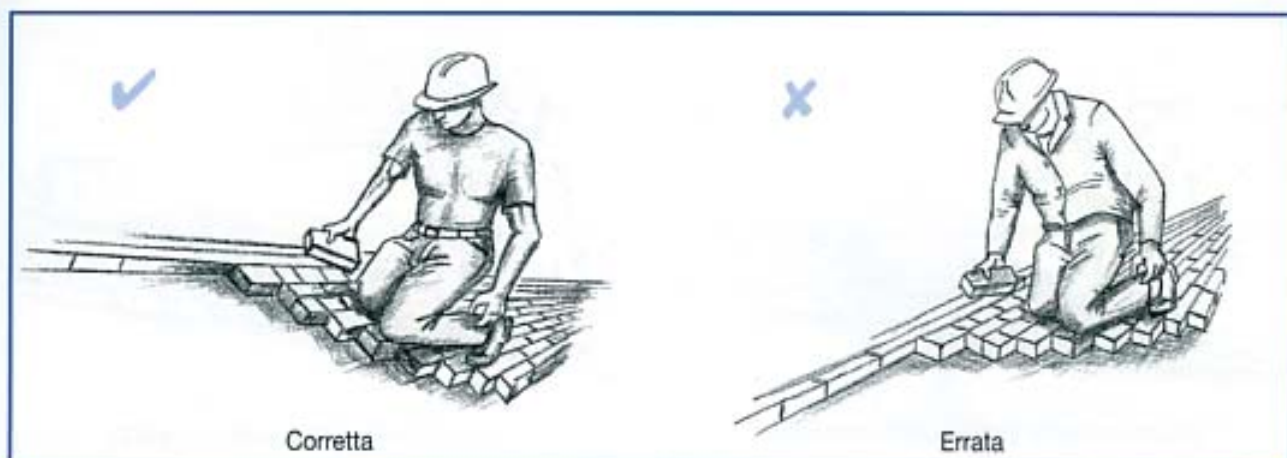
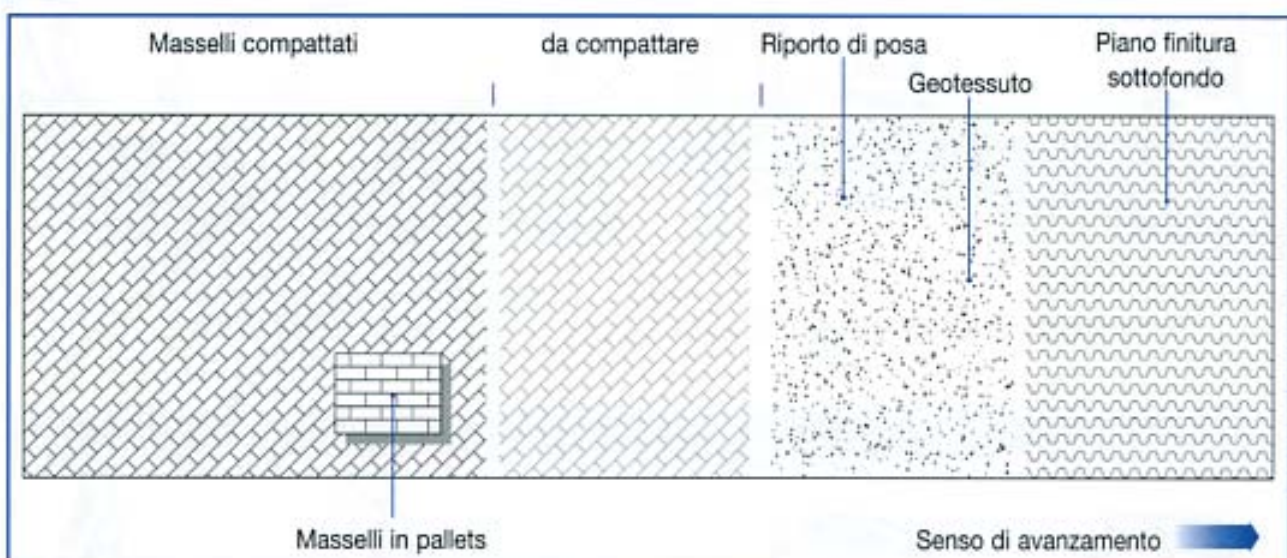


Fig. 25 - Senso di avanzamento del cantiere



POSA MECCANICA DEI MASSELLI DI CALCESTRUZZO

Ove le situazioni di cantiere lo consentano (grandi superfici, spazi di manovra ed omogeneità della colorazione richiesta), i masselli possono essere posati meccanicamente, utilizzando apposite attrezzature che permettono il prelievo per strati dalle confezioni di imballo e la deposizione in opera. In questo caso i masselli devono essere predisposti, al momento della produzione, in modo da poter ottenere il modello di posa richiesto. I masselli inoltre devono essere muniti di tacche distanziali per consentirne l'accostamento, seppur ammortati, con il rispetto dello spessore dei giunti.