9. Cenni sulla posa in opera

Alla posa in opera compete l'ultima fase della filiera lapidea, assolutamente cruciale per quanto concerne la qualità finale del lavoro e la resa in esercizio della/e pietra/e con cui il lavoro stesso viene realizzato. Alcune scelte progettuali hanno una grandissima importanza e non possono - non devono - essere vanificate da una valutazione affrettata o non appropriata dei materiali e/o da una posa in opera non corretta.

Chi impiega la pietra naturale deve sapere che non si può prescindere da precisi vincoli e procedure, l'osservanza delle quali conduce sempre al miglior risultato non solo estetico, ma anche tecnico e funzionale. In particolare, è necessario che l'operatore prescelto per la posa abbia una conoscenza dettagliata dell'intero progetto: disegni esecutivi, tipo di finiture superficiali, quote, allineamenti, natura di supporti e sottofondi, tolleranze di posa, distinte di taglio e lavorazione ecc. In altre parole, non deve essere il "posatore della domenica".

Il contesto normativo nazionale, cui gli operatori di settore non sembrano aver mai rivolto particolare attenzione, pur in mancanza di una normativa-quadro per l'utilizzo della pietra nel settore delle costruzioni, dispone tuttavia di due normative piuttosto recenti che, nell'ambito dei rispettivi campi di applicazione (rivestimenti e pavimentazioni), vantano prerogative di sicuro interesse.

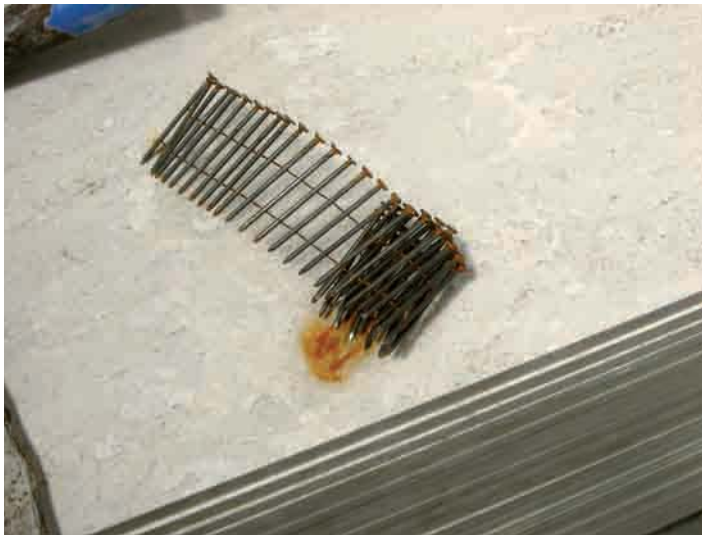
La norma UNI 11018 (2003) *"Rivestimenti e sistemi di ancoraggio per facciate ventilate a montaggio meccanico. Istruzioni per la progettazione, l'esecuzione e la manutenzione. Rivestimenti ceramici e lapidei"*, costituisce un documento all'avanguardia su scala europea, trattando in maniera organica e completa un argomento in deciso sviluppo, come la *facciata ventilata*. La norma fotografa l'attuale stato dell'arte, trattando quelle soluzioni tecniche che l'esperienza pluriennale ha ormai consolidato, e fornisce un codice di pratica che raccoglie quanto è necessario sapere sull'argomento, a livello normativo.

In tema di pavimentazioni, invece, è entrata da poco in vigore la norma UNI 11322 (2008) *"Rivestimenti lapidei per pavimentazioni. Istruzioni per la progettazione, la posa e la manutenzione"*, la quale, eccezion fatta per le pavimentazioni sopraelevate, va finalmente a colmare un'importante lacuna su un elemento edilizio primario.

Il presente capitolo, pur nella sua brevità, sviluppa sostanzialmente due direttrici:

1. richiamare l'attenzione sull'importanza di tutti i fattori che configurano la posa, ivi compresi quelli erroneamente (e spesso), ritenuti collaterali, non significativi o secondari (foto 762, 763).
   Al riguardo, sono stati riservati alcuni cenni alle numerose interazioni tra il lapideo e tutti gli altri elementi di progetto: strut-

• Foto 762
Un esempio di scelta tecnica errata: collocazione nei giunti di un sigillante siliconico a base oleosa, inidoneo per il tipo di applicazione, e l'assorbimento del quale da parte della pietra (due graniti) ha generato un evidente degrado estetico



• Foto 763
Incuria e trascuratezza in cantiere: macchiatura da ossido di ferro causata dall'abbandono di chiodi su lastre di marmo

turali, climatici, edilizi, architettonici, funzionali, di cantiere ecc. Oggi, infatti, non è più sufficiente posare *genericamente* "a regola d'arte", e occorre conoscere in dettaglio ogni singola situazione affinché il risultato sia sempre ottimale.

2. descrivere sinteticamente i principali sistemi di posa, con riferimento ai due ambiti applicativi di maggior diffusione: i pavimenti e i rivestimenti, confezionati con elementi lapidei lastriformi (*).

(*) sono stati descritti solamente i sistemi di posa con elementi lastriformi, tralasciando quelli relativi ad elementi non derivanti da lastre, come cubetti o cordoli.

Limitatamente alle pavimentazioni, vengono fornite anche delle indicazioni di carattere pratico sull'esecuzione della posa stessa; ciò non risulta possibile, in pari misura, per i rivestimenti, soprattutto per quelli esterni, posati "a secco". Con essi, infatti, le specificità di ogni singola opera e l'elevato numero dei parametri da considerare limitano i suggerimenti che possano avere una validità del tutto generale. Basti pensare che, molto spesso, sottostrutture, ancoraggi, staffe ed altri elementi di connessione sono espressamente progettati e realizzati per ogni singola opera. La trattazione è stata pertanto limitata alla sola descrizione dei principali sistemi e metodi adottati.

9.1 Operazioni preliminari alla posa

Preliminarmente alla posa vera e propria, è necessario condurre un'analisi approfondita di tutti i parametri che concorrono all'opera

da realizzare, nonché definire alcuni elementi relativi ai materiali lapidei.
Ecco quei parametri che, più di altri, rivestono particolare importanza e che, a vario titolo, intervengono in ogni progetto, tanto sul costruito quanto per nuove realizzazioni:
a) LA DESTINAZIONE D'USO;
b) IL SUBSTRATO;
c) LA SCELTA DEL MATERIALE / LA SCELTA DELLE FINITURE;
d) LE TIPOLOGIE COMPOSITIVE;
e) IL NUMERO, IL FORMATO E GLI SPESSORI DEI MATERIALI IMPIEGATI;
f) I METODI, I SISTEMI E LE TECNOLOGIE DI POSA.

a) LA DESTINAZIONE D'USO
la destinazione d'uso rappresenta il primo fattore di differenziazione; essa definisce automaticamente una serie di elementi, tra cui spiccano la *localizzazione*, il *tipo di costruzione*, *l'intensità nell'uso*, i *requisiti*. Con la *localizzazione* - esterna o interna - si definiscono l'orientamento ai punti cardinali e la correlata influenza degli agenti atmosferici (foto 764). La conoscenza del tipo, entità e ciclicità degli atmosferili (pioggia, vento, neve, grandine, insolazione, nebbia ecc.), fornisce una prima indicazione di scelta sui materiali più idonei.

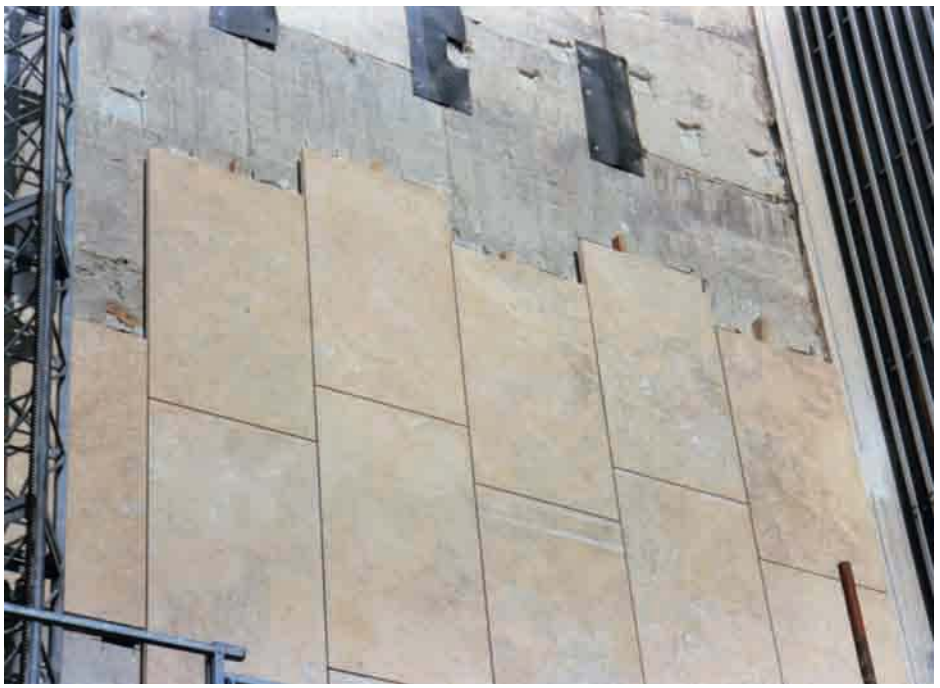
Il *tipo di costruzione* (es.: pubblica, privata, commerciale, residenziale, industriale ecc.), in stretta correlazione con l'*intensità nell'uso*, consente di valutare tutte le possibili sollecitazioni che la pietra si troverà a subire, come carichi (permanenti, statici, dinamici, accidentali, transitori ecc.), traffico (pedonale leggero o pesante; veicolare; misto), urti, aggressioni chimiche, azione di biodeteriogeni e agenti organici (muschi, licheni, organismi vari ecc.).
Il sistema di *requisiti* che il lapideo deve soddisfare per rispondere alle esigenze dell'utenza (con relative specifiche di prestazione) scaturisce sostanzialmente dai parametri sopracitati. Definite in fase di progettazione e/o convenute con la committenza le *esigenze dell'utenza* (per i pavimenti, si veda la norma UNI 8289 – Esigenze dell'utenza finale. Classificazioni), si stabilirà il sistema dei requisiti dell'opera. A tal riguardo, per un inquadramento più dettagliato, oltre alle due norme citate in precedenza (UNI 11322; UNI 11018) sono di supporto le seguenti normative nazionali, cui si rimanda: UNI 8380 (Stra-

• Foto 764
Nei prospetti esposti a Nord (nel nostro emisfero e alle nostre latitudini) l'insolazione è ridotta. L'evaporazione è quindi più lenta, favorendo la permanenza delle acque meteoriche e dell'umidità nei rivestimenti, soprattutto quando il materiale mostra elevati valori di porosità aperta

ti del supporto di pavimentazione. Analisi dei requisiti), UNI 8381 (Strati del supporto di pavimentazione. Istruzioni per la progettazione e l'esecuzione), UNI 9379 (Pavimenti lapidei. Terminologia e classificazione), UNI 7999 (Pavimentazioni. Analisi dei requisiti), UNI 7959 (Requisiti dei rivestimenti per facciate), UNI EN 13116 (Prestazioni strutturali delle facciate continue).
Va da sé che il pieno soddisfacimento dei requisiti è una prerogativa fondamentale. A titolo di esempio, una pavimentazione interna di un supermercato dovrà garantire, tra le altre cose, sicurezza, resistenza meccanica, resistenza all'impatto, durevolezza, antiscivolosità, riparabilità, pulibilità, attitudine all'integrazione impiantistica, resistenza agli aggressivi chimici ecc.

b) IL SUBSTRATO
nella realizzazione di un pavimento o di un rivestimento è fondamentale avere una perfetta conoscenza della struttura, orizzontale o verticale, da rivestire. Tale struttura, sia essa rappresentata dal solo supporto (il supporto strutturale vero e proprio), o da un supporto + strati di diversa natura, costituisce il *substrato*, ed ha, in ogni caso, una profonda influenza sul comportamento del pavimento/rivestimento, ovvero sui possibili (futuri) inconvenienti e problemi. L'analisi del substrato dovrebbe consentire di conoscere tipologia ed epoca di realizzazione, caratteristiche meccaniche, stabilità, deformabilità, umidità, consistenza, regolarità delle superfici, pulizia, pendenze ecc. Per le pavimentazioni, le prime distinzioni da operare concernono la tipologia (interne, esterne, stradali, pertinenti ad edifici ecc.) e il supporto (es.: su suolo, su solaio). Ad esempio, dovendo intervenire sul costruito, nel caso di un pavimento esterno, è indispensabile sapere se l'opera graverà su terreno di riporto, dalle proprietà meccaniche scadenti, o su semplice pietrisco (battuto o meno), e se tale pietrisco è stato unito a dei leganti (possibilità di rilascio di fluidi). Oppure - ancora - se sono disponibili delle fondazioni massicce, con buone caratteristiche di portanza. Per i pavimenti interni è indispensabile accertare la natura dei solai, delle strutture portanti ovvero l'esistenza (o la mancanza) di quello che si chiama il *"pacchetto" di pavimentazione*, dove il lapideo è solamente l'ultimo di una serie di strati, ognuno con un proprio ruolo. Analogamente, per il substrato dei rivestimenti (parietali, verticali) (foto 765), siano essi "a umido", o "a secco" (vedi § 9.4), occorre accertarsi dell'età e condizioni di

• Foto 765
La dettagliata conoscenza del tipo e delle condizioni del substrato è una premessa fondamentale per la bontà e la qualità della posa in opera. Va da sé, poi, che in verticale, soluzioni postume di problemi inizialmente sottovalutati possono risultare assai difficoltose, se non impossibili



esercizio, stabilità della struttura, tipo di materiale, planarità (fuori-piombo, fuori-livello), stato di fessurazione ed ammaloramento del (eventuale) calcestruzzo, armatura, ecc.

Ci si può trovare - infatti - a dover realizzare il nuovo rivestimento su una muratura, su un intonaco, su gesso, su mattoni, su acciaio, o su una parete di conci di pietra; ognuna di queste situazioni presenta aspetti tecnici ben diversi ed è opportuno, al fine di operare le scelte più appropriate, conoscerne le caratteristiche. Nel caso di realizzazioni nuove, il criterio di approccio sarà analogo, tenendo ovviamente conto che non si tratta di analizzare l'esistente bensì di definire la *soluzione progettuale* più razionale e tecnicamente più idonea.

c) LA SCELTA DEL MATERIALE / LA SCELTA DELLE FINITURE
dato per scontato che la scelta del lapideo è legata al suo valore estetico, alla durevolezza, alla facilità di manutenzione e, in generale, all'alto livello qualitativo ottenibile, la scelta del materiale/scelta delle finiture (foto 766) è un processo che coinvolge la durata di un intero progetto e che, spesso, vede "mutare le carte in tavola" più volte prima dell'esecuzione finale.

Al di là dei motivi di opportunità "politica", strategica e di budget, che non sono considerati in questa sede, si vuole sottolineare il ruolo della *disponibilità commerciale di un materiale* di cui un progettista ha deciso l'utilizzo. I fattori che determinano la disponibilità commerciale sono sostanzialmente quattro:

- i *quantitativi effettivamente disponibili*, cioè sicuramente escavabili, o stoccati;
- le *caratteristiche dei blocchi*, per i quali è indispensabile un monitoraggio continuo della/e cava/e e/o dell'impianto di produzione;
- la *costanza delle proprietà*, sia qualitative che tecniche (entro le tolleranze concordate), verificabile attraverso ispezioni costanti e tests di laboratorio;
- i *tempi di consegna*, definibili solamente con il/i fornitore/i.

Sotto questo profilo l'intera produzione sarda si colloca ai vertici, laddove molti altri materiali, pur fortemente pubblicizzati, non sono ancora in grado di garantire la soddisfazione dei sopracitati requisiti.

d) LE TIPOLOGIE COMPOSITIVE
definiscono l'insieme dei *disegni* e delle *geometrie di posa*, i quali vanno ben al di là della semplice scelta di dimensioni e forma dei pezzi. Da esse dipendono infatti svariati elementi: il disegno finale ottenibile, la ricreazione di una tridimensionalità, la ricerca di simmetrie, l'opzione di usare elementi seriali

• Foto 766
Esposizione a pavimento di campionature di materiali selezionati per varietà tipologiche e cromatiche. La selezione del materiale è una delle componenti fondamentali all'interno di un progetto

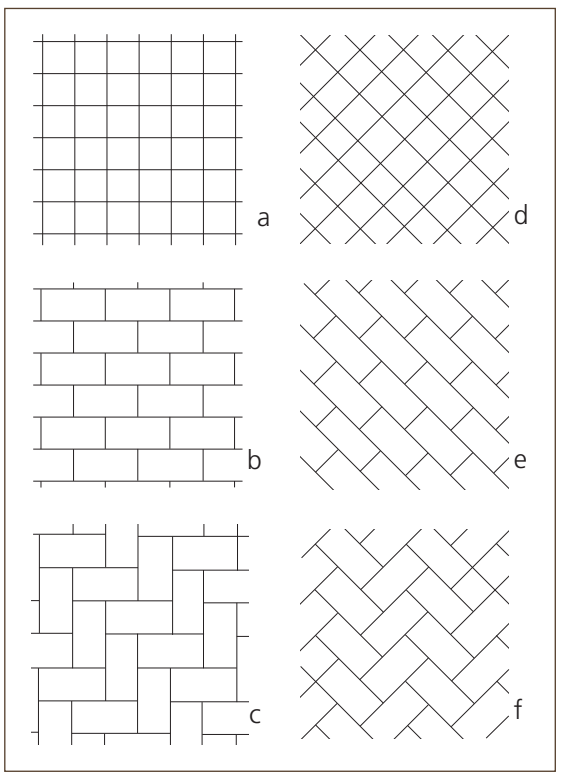
o tagliati su misura (o entrambi), e quindi, in definitiva, la possibilità di derivare molte altre scelte tecniche. Poiché i metodi e i sistemi di posa non possono prescindere dal tipo di pavimento e/o rivestimento cui saranno applicati e dalle geometrie che essi compongono, si rende necessario un seppur telegrafico richiamo alle più comuni tipologie compositive (*).

Si possono definire i seguenti tipi:
- opus incertum o bollettonato
- opus romanum o mosaico romano
- modulare
- a casellario
- intarsio
- seminato
- mosaico

opus incertum o bollettonato (anche opera incerta): si ha quando gli elementi non hanno né forma, né dimensione, né spessore (ottenuto per spacco) regolari (si veda anche [21]), e sono collocati in opera con una buona dose di casualità, senza alcun ordine geometrico. La superficie a vista è quasi sempre grezza. È tipico di tutti quei materiali che sono disponibili già lastrificati in natura come filladi (si veda il § 8.), gneiss, quarziti, ardesie, alcuni porfidi, ma è realizzabile anche con rocce che consentono una buona spaccabilità (come il basalto di Sardegna).

opus romanum o mosaico romano - gli elementi compositivi, ottenuti da lastre con spessore regolare, presentano forma geometrica (rettangolare, quadrata o poligonale), e sono disposti in un modo preciso, talora anche ripetitivo (vedi figura 12, § 4.1.7.2). La finitura superficiale può variare secondo le scelte di progetto, ma anche - e soprattutto - se trattasi di pavimenti (assai più frequenti) o rivestimenti.

modulare - connota gli elementi compositivi aventi una forma e una dimensione regolari, del tutto indipendenti dall'ambiente di posa, e disposti secondo geometrie semplici (figura 30 - foto 767). Detti elementi si ottengono dal taglio di lastre/filagne a spessore costante.



• Foto 767
Pavimentazione interna realizzata con elementi standard, a formato unico, quadrato

Figura 30
Tipologie compositive modulari posate secondo schemi geometrici differenti: a) a giunto allineato (detta anche "a reticolo"); b) a cassero regolare; c) a spina di pesce; d) a giunto allineato, in diagonale e) a cassero, in diagonale; f) a spina di pesce, in diagonale;

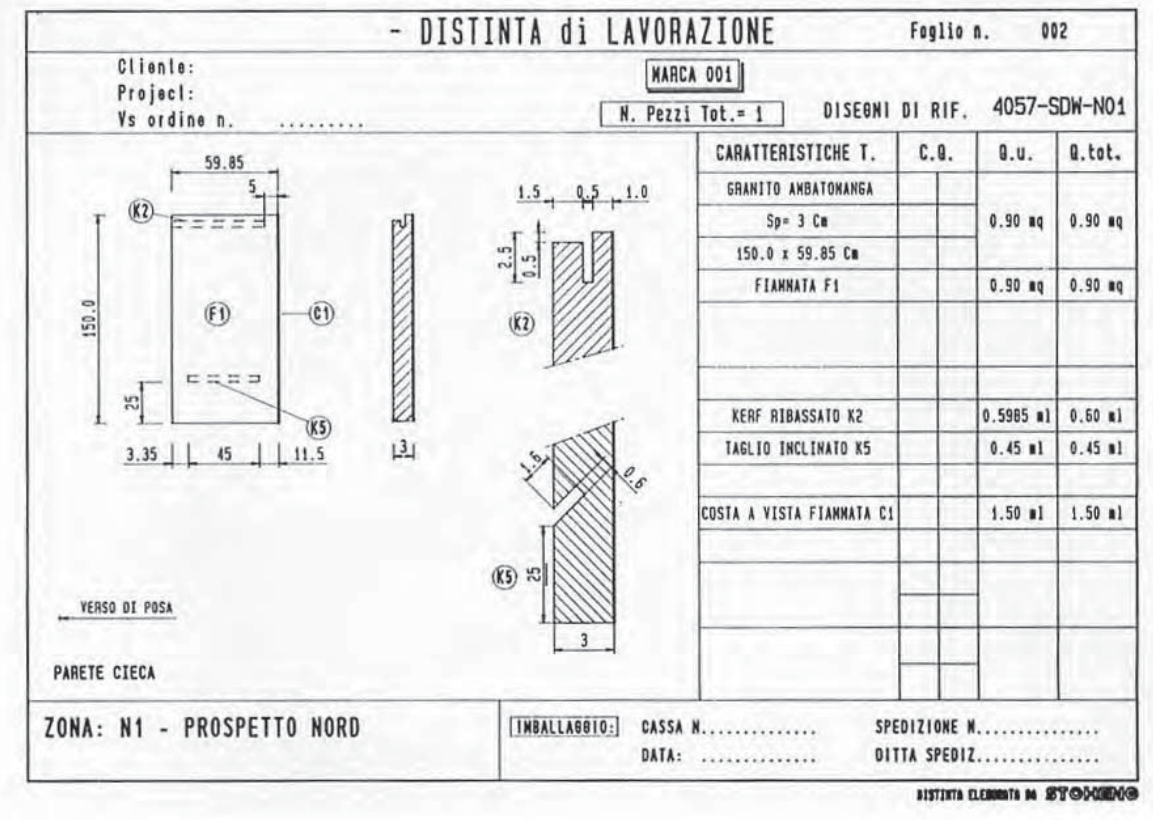
(*) vengono qui descritte solamente le tipologie con elementi lastriformi, tralasciando quelle relative ad elementi non derivanti da lastre, come cubetti o cordoli.

La modulare è la tipologia più semplice, realizzata con prodotti di formato standardizzato (es.: cm 30x30, 40x40, 40x60, 30x60), caratterizzati da elevate velocità di produzione e un'apprezzabile semplicità della posa in opera. Il materiale può essere finito in laboratorio ma anche direttamente in opera.

a casellario - insieme all'intarsio (vedi oltre), è la tipologia nella quale si ha la massima variabilità nella forma degli elementi. Si possono avere forme geometriche di ogni tipo, contorni curvi, concavità e convessità senza limiti. Il casellario è sempre realizzato su progetto: richiede pertanto dei disegni esecutivi, una distinta di lavorazione dei pezzi (figura 31), l'applicazione agli stessi di un numero progressivo, per ricomporre in opera il disegno progettato (marcatura), e una pre-posa simulativa in laboratorio (mock-up).

Nel casellario gli elementi provengono sempre da lastre, con spessori variabili in funzione della destinazione d'uso. Di particolare effetto le composizioni "a libro" e "a macchia aperta" cui si è già accennato nei capitoli precedenti.

intarsio - si ha quando gli elementi compositivi sono costituiti da una lastra di materiale lapideo di base che viene scavata o forata per poi inserirvi elementi tagliati secondo il disegno complementare; operazioni queste da eseguirsi in laboratorio con lastre di va-



CARATTERISTICHE T.	C.Q.		Q.u.	Q.tot.
GRANITO AMBATONANGA				
Sp= 3 Cm			0.90 mq	0.90 mq
150.0 x 59.85 Cm				
FIAMMATA F1			0.90 mq	0.90 mq
KERF RIBASSATO K2			0.5985 ml	0.60 ml
TAGLIO INCLINATO K5			0.45 ml	0.45 ml
COSTA A VISTA FIAMMATA C1			1.50 ml	1.50 ml

Figura 31
Esempio di distinta di lavorazione. Il documento contiene, oltre ai dati di identificazione del lavoro (cliente, progetto, estremi dell'ordinativo, numeri di riferimento del disegno, estremi dell'imballaggio ecc.) tutto quanto è necessario ad un laboratorio per realizzare correttamente il pezzo: il nome del materiale, lo spessore, le dimensioni, le quantità unitarie e complessive, le eventuali lavorazioni accessorie (kerf ribassato; taglio inclinato), le finiture superficiali (fiammatura sulla costa) ecc.

rio spessore. Rappresenta una tipologia di pregio (foto 768), capace, in alcuni casi di raggiungere espressioni altissime dal punto di vista della decorazione e dell'estetica.

seminato - storicamente appannaggio dei pavimenti, si ha quando gli elementi compositivi sono frammenti lapidei di dimensioni molto piccole (5÷50 mm), senza una forma geometrica precisa, mischiati e gettati casualmente, ma in proporzioni prestabilite, all'interno di un legante cementizio. Talora la casualità della dispersione dei frammenti lascia il posto a una disposizione della graniglia secondo disegni ben precisi, eventualmente anche geometrici (foto 769). L'opera è completata da levigatura, lucidatura, realizzate *in situ*.

mosaico - in questa tipologia gli elementi sono di piccola dimensione (tessere), con forma prossima a un poligono regolare, di diversi colori e posati mediante affiancamento, in modo da realizzare disegni prefissati (foto 770).
Storicamente caratterizzato da una posa su una superficie sottostante, tramite il supporto di un letto di calce, stucco, gesso o cemento, il mosaico ha oggi cambiato fortemente i propri connotati, arrivando ad includere composizioni ottenute mediante macchine automatiche per il taglio, assemblaggio ed incollaggio dei pezzi su supporti di vario tipo (fibra, carta ecc.).

e) IL NUMERO, IL FORMATO E GLI SPESSORI DEI MATERIALI IMPIEGATI
sono strettamente correlati alle tipologie compositive di cui al punto d). Il *numero* coinvolge aspetti di tipo soprattutto tecnico-produttivo (disponibilità dei materiali; compatibilità delle loro proprietà tecniche), ed estetico (finiture, accostamenti). *Formato* e *spessore* influiscono anche sulla *quantità* di elementi necessari, sui *pesi*, sulla tipologia e dimensionamento degli *ancoraggi* adottabili (nei rivestimenti posati "a secco") e su tutto quanto ad essi correlato. Ad esempio, in un rivestimento verticale esterno con ancoraggi meccanici (vedi § 9.4), l'impiego del formato cm 50x70 anziché cm 120x60 costringe a un numero di pezzi (e, spesso, anche di ancoraggi) pressoché doppio. Per una superficie di 1.000 m^2 da rivestire, un formato cm 50x70 anziché cm 120x60 richiederà la posa di 2.860 elementi anziché 1.390, e conseguente numero di ancoraggi. Di converso, una lastra - supponiamo di granito grigio - di cm 120x60x3 pesa quasi 60 kg, mentre una di cm 50x70x3 ne pesa quasi 28 kg; facile

• Foto 768
Intarsio parietale e pavimentale con creazione di suggestivi motivi decorativi presso uno stand in una manifestazione fieristica

intuire come cambino tutti i parametri al contorno: distribuzione dei carichi in facciata, tipo di ancoraggi/sottostrutture da adottare, perforazioni in parete, stati di sollecitazione, numero dei giunti, quantità di un (ove impiegato) sigillante per i giunti ecc. Infine, pensando alle operazioni di taglio in laboratorio, non è superfluo far notare come da una lastra (a titolo di esempio) cm 260x145 si possono ottenere, al lordo delle possibili selezioni, 4 elementi di cm 120x60, con uno sfrido del 23,5 % oppure 10 elementi cm 50x70, con uno sfrido del 7,1 %. Tornando al succitato rivestimento di 1.000 m^2, nel primo caso si renderebbero necessarie 347 lastre, mentre nel secondo 286, con le correlate differenze di costi per l'acquisto dei blocchi, di rese produttive, di sfridi generati, di budget.

• Foto 769
Dettaglio di una pavimentazione in seminato a motivi geometrici, con dimensione medio-grande dei frammenti

• Foto 770
Targa di ingresso ad un laboratorio-scuola di mosaico

f) I METODI, I SISTEMI E LE TECNOLOGIE DI POSA finalmente, dopo aver definito la destinazione d'uso e i requisiti dell'opera, esaminato il substrato, scelto il materiale con relative finiture, selezionato la tipologia compositiva, e verificato i parametri numerici del materiale, si dovrà infine stabilire anche il più opportuno sistema di posa; cioè "*come*" posare e "*con cosa*" posare. Si dovrà cioè decidere se impiegare una malta cementizia (e di quale tipo), oppure un adesivo, se affiancare ad una malta per rivestimenti anche delle zanche o meno, se adottare il giunto chiuso o aperto, se ancorare direttamente a parete o tramite una sottostruttura, e via dicendo.

Nella realtà operativa, i diversi fattori da a) ad f) non seguono rigorosamente questa successione dato che essi si influenzano vicendevolmente. Se siamo nell'ambito, ad esempio, di un rivestimento esterno con ancoraggi meccanici diretti, ed il substrato possiede scadenti proprietà meccaniche, si dovrà necessariamente ricorrere all'uso di tasselli chimici. Analogamente, se si intende posare delle piastrelle standard cm 30x30 su un preesistente pavimento di marmo (non demolibile), o vi è la necessità di una pedonabilità pressoché immediata (caso di aeroporti, centri commerciali ecc.), occorrerà ricorrere alla posa con adesivo, e non con malta tradizionale.

9.2 Pavimentazioni interne

Previa definizione accurata del "pacchetto di pavimentazione", cioè della successione di strati che rispondono alle caratteristiche di progetto e stratigrafia sottostante all'elemento di pavimentazione vero e proprio (vedi norma UNI 11322), i metodi di posa sono sostanzialmente riconducibili a due:

- su strato legante: allettamento con malta cementizia (metodo "tradizionale");
- su strato collante: allettamento con sostanze adesive (metodo con strato sottile).

posa su strato legante: la posa con strato legante viene eseguita collocando le lastre del materiale lapideo su uno strato di malta cementizia avente spessore medio compreso tra i 3 e i 6 cm. Questo sistema, pur in progressiva riduzione, è ancora adottato quando si rende necessario rialzare significativamente, o livellare, il substrato, e quando si devono posare pavimenti a disegno o su progetto (a casellario), con elementi di spessore medio-elevato (≥ 2 cm). Nel secondo caso gli elementi sono forniti non finiti e la finitura viene eseguita in un secondo momento, ad installazione avvenuta. Assai più raro invece che lo si scelga per pavimenti con elementi seriali standard, tipo modulmarmo-modulgranito.

Non è mai troppo ripetitivo sottolineare la necessità che il substrato sia solido e ben stagionato, onde evitare possibili cedimenti o future lesioni; si calcoli, a questo riguardo, un tempo di almeno una settimana per ogni centimetro di spessore.

Questo sistema:

- è adatto per compensare dislivelli esistenti nelle superfici sottostanti;
- implica tempi di posa abbastanza lunghi (giornate);
- richiede mano d'opera specializzata sia per la preparazione dell'impasto, sia per l'esecuzione dell'allettamento, sia per la corretta scelta delle lastre da posare.

Per la confezione della malta sono necessari:

- un inerte, costituito da sabbia con adeguate caratteristiche granulometriche (attorno agli 0,5 mm), ed esente da sali, sostanze organiche, ossidi (soprattutto di ferro) e frazioni argillose. Si privilegi sabbia di fiume e/o di cava (frantumato fine);
- acqua, priva di sostanze organiche, ossidi di ferro, sali e minerali in percentuali elevate, che potrebbero essere causa di macchie ed efflorescenze;
- cemento Portland (normalmente del tipo 32,5), da miscelare con acqua fino a consistenza di una terra umida;

Le proporzioni di confezionamento sono usualmente 250÷400 kg di cemento Portland per ogni metro cubo di sabbia; lo spessore del letto di malta, che si attesta sui 3÷6 cm, è sufficientemente elevato per compensare eventuali irregolarità (ma non eccessive) sia del sottofondo, sia degli elementi lapidei. Particolare attenzione va rivolta al dosaggio dell'acqua: un suo eccesso può infatti favorire il distacco degli elementi e/o un eventuale incurvamento; in questo caso la malta dovrà essere cosparsa in superficie da uno spolvero di cemento (foto 771) in maniera tale da assorbire l'eccesso di acqua libera.

Prima della stesura della malta è spesso consigliabile bagnare la superficie sottostante con acqua pulita, evitando però ogni rista-

• Foto 771
L'operazione di "spolvero" con cemento sulla sottostante malta è una operazione frequente, soprattutto quando l'acqua di costituzione della malta stessa è in leggero eccesso

gno. Per la posa delle lastre si appoggia una prima volta l'elemento lapideo sullo strato di allettamento e se ne determina quindi la sede definitiva, battendolo fino a ottenere un'adesione completa allo strato di malta; si deve poi rimuovere la lastra, cospargerne la faccia inferiore di boiacca di cemento, e, infine, ricollocarla nella sede previamente creata. È consigliabile bagnare la faccia a tergo delle lastre; questo facilita l'attivazione delle proprietà leganti del cemento, agevola la (successiva) battitura e impedisce alle lastre (già sature) di assorbire l'acqua di malta che evaporerà a posa avvenuta. La stesura della malta sul supporto deve essere effettuata contemporaneamente al posizionamento delle lastre: di regola si procede per campi di dimensioni ridotte, generalmente un corso di lastre per volta. Nel caso di opus incertum, o comunque di lastre poligonali, la stesura della malta di allettamento rispecchia la casualità della posa che avviene senza alcun ordine geometrico.
In un secondo momento - dopo almeno un giorno ma non oltre i tre - può essere effettuata la sigillatura dei giunti. Due le possibili procedure:
- miscelando parti uguali di sabbia fine, cemento di classe di resistenza 32,5, ed acqua, si prepara una boiacca di cemento da versare all'interno dei giunti con l'ausilio di appositi strumenti, e facendola leggermente traboccare. Una volta iniziata la presa, si elimina dalla superficie del rivestimento la boiacca in eccesso;
- oppure si stende sull'intera superficie la boiacca di cemento con l'ausilio di spatole gommate e la si distribuisce in modo che riempia tutti i giunti (foto 772).

Quando la boiacca comincia a fare presa, si procede al lavaggio della pavimentazione con getto d'acqua a pioggia. Si stende quindi uniformemente della segatura bagnata e, previa sua raccolta, si ripete l'operazione fino a completa asportazione dei residui di boiacca. Si sconsiglia l'utilizzo di segature che possano rilasciare sostanze coloranti (es.: legni scuri contenenti tannino).

La posa a malta comporta notoriamente dei tempi di rispetto per il sottofondo, per la posa stessa, e per la fase della finitura, la quale può essere realizzata solo dopo un po' di tempo. Se non è prevista una lucidatura, è mediamente possibile calpestare il pavimento ed arredare l'ambiente entro 7÷10 giorni, ma per un'eventuale levigatura±lucidatura si suggerisce di attendere almeno due settimane, meglio se 20 giorni.
Questi tempi sono indicativi e vanno evidentemente calibrati con le condizioni climatiche ambientali. Si rammenta comunque che la lucidatura potrà essere eseguita anche molto tempo dopo che la posa è stata ultimata; questo ridurrà al minimo il rischio che il pavimento possa essere graffiato dal transito delle maestranze e dalle inevitabili mal-

• Foto 772
Stesura della boiacca cementizia nei giunti della pavimentazione

destrie di cantiere. Infine - ma questo può verificarsi anche nel caso della posa su strato collante (vedi), purché lo spessore dei lapidei sia sufficiente - sarà possibile procedere a un ripristino della lucidatura in opera anche dopo molti anni.

posa su strato collante: nella posa con strato collante si fa uso di prodotti *adesivi* (cementi-lattice; cementi-colla; adesivi speciali a base di polimeri vinilici o acrilici; adesivi bicomponenti a base di resine poliuretaniche o epossidiche ecc.), stesi con spatola sulla superficie di posa (foto 773) con uno spessore di pochi millimetri, normalmente dai 3 ai 10 mm.

Le sostanze adesive sono classificate in base alla normativa UNI EN 12004: 2001 in tre categorie: adesivi cementizi ("C"), adesivi a dispersione ("D"), e adesivi a resine reattive ("R"). Queste categorie, a loro volta, comprendono dei sottogruppi, in funzione del possesso, o meno, di caratteristiche particolari. Vengono distinti adesivi normali, migliorati, a presa rapida, resistenti allo scivolamento (o a scivolamento "controllato") e a "tempo aperto" allungato. È di somma importanza selezionare l'adesivo appropriato in funzione dei requisiti specifici di ogni singola opera e, a tal riguardo, è opportuno familiarizzare con le classificazioni di cui sopra e con le sigle riportate sulle confezioni dei prodotti. A titolo di esempio, un adesivo con marcatura **CE** secondo le normative EN, e siglato "**C2FTES2**", identifica un adesivo con le seguenti caratteristiche:

C = adesivo cementizio; 2 = prestazioni migliorate, o elevate; F = a indurimento rapido; T = resistenza al distacco; E = tempo aperto prolungato; S2 = elevata elasticità.

• Foto 773
Pavimentazione in marmette standard posata su strato collante. Si noti la tipica zigrinatura lasciata sull'adesivo dall'utilizzo della spatola dentata

Le modalità di messa in opera con l'impiego di adesivi sono differenti rispetto alla malta: l'esiguo spessore del prodotto, la conseguente capacità limitata di compensare dislivelli e irregolarità, e la frequente adozione di questa tecnica con gli elementi pre-lucidati a basso spessore (marmette standard), impongono una maggior precisione globale fin dalla preparazione del sottofondo; non risulta infatti possibile compensare importanti irregolarità ed asperità intervenendo sullo spessore dello strato, né su quello degli elementi, né in fase di finitura (normalmente da non eseguire). Occorre inoltre tener conto delle differenti prescrizioni dei vari produttori per

• Foto 774
Posa su strato collante di lastre di marmo di grandi dimensioni

i loro adesivi. Globalmente parlando, infatti, gli adesivi consentono un miglior controllo di qualità, tuttavia le loro prestazioni dipendono molto dal *know-how* del fabbricante, da quanto dichiarato sulle confezioni, nonché da strategie di *marketing* dell'azienda produttrice (ciò avviene in misura minore con la malta cementizia, che deve essere preparata ogni volta).
La posa con adesivo ha tempi di presa inferiori rispetto a quelli della malta, limita l'eventualità di macchie ed efflorescenze, e semplifica drasticamente le operazioni, soprattutto quando si deve limitare lo spessore del pavimento (lastre fino a 10÷15 mm), oppure quando si deve posare su un pavimento preesistente, senza per questo rimuoverlo. Rappresenta l'opzione dominante con le marmette e con i prodotti standardizzati a basso spessore ma è, di fatto, adottata in pressoché tutte le situazioni (foto 774); è poi particolarmente consigliabile con i materiali fortemente sensibili all'acqua (instabilità dimensionale), componente di cui gli adesivi sono meno ricchi rispetto alle malte, fino a non contenerne affatto.

Operativamente, occorre stendere una quantità di prodotto sufficiente ad evitare la formazione di vuoti e cavità tra elemento e sottofondo, ed esercitare una leggera pressione sulla faccia esterna dell'elemento stesso. L'operazione di spalmatura deve essere eseguita mediante spatola dentata; detta spatola deve essere scelta in base alla planarità del sottofondo, alle dimensioni delle lastre e alle condizioni di esercizio dei locali: per locali a traffico leggero la dentatura dovrà consentire la bagnatura del rovescio delle lastre per almeno il 65÷70% della superficie; per locali a traffico pesante, o all'esterno, la bagnatura dovrà essere del 100%.
Due sono i metodi di possibile posa:

a. applicazione *a spalmatura semplice*: l'adesivo è applicato solo sulla superficie di posa. La posa delle lastre/marmette avviene senza inumidirne la parte retrostante;
b. applicazione *con doppia spalmatura*: l'adesivo è applicato sia sulla superficie di posa che sul retro delle lastre. Tale procedura consente la completa bagnatura del retro delle lastre, evitando la formazione di vuoti nello strato di adesivo, e deve essere utilizzata nel caso in cui il pavimento sia soggetto ad elevate sollecitazioni.

La procedura di posa per entrambi i metodi è la seguente:

- preparare e miscelare (se richiesto) l'adesivo seguendo le istruzioni del fabbricante (foto 775);

• Foto 775
Preparazione di un adesivo in cantiere immediatamente prima della posa in opera di una pavimentazione

- applicare uno strato di imprimitura, se necessario e/o previsto;
- stendere uno strato sottile e uniforme di adesivo sulla superficie di posa utilizzando la parte liscia della spatola. Applicare quindi l'adesivo nello spessore desiderato utilizzando il profilo zigrinato. L'area della superficie sulla quale si procede alla stesura del prodotto deve essere tale da consentire la posa entro il cosiddetto "tempo aperto" dell'adesivo. Secondo il metodo scelto, inoltre, l'adesivo deve essere distribuito solo sul supporto o anche sul retro della lastra/marmetta, seguendo la medesima procedura;
- posizionare la lastra/marmetta sull'adesivo, esercitando un'adeguata pressione per assicurarne la bagnatura. Se al termine di questa operazione la lastra non è alla quota desiderata, essa deve essere distaccata dal letto, modificando lo spessore dello strato di adesivo, asportando o apportando materiale, e quindi riposizionata;
- procedere per l'intera pavimentazione verificando il corretto posizionamento delle lastre/marmette ed effettuando eventuali aggiustamenti entro il tempo di registrabilità dell'adesivo;
- mantenere le prescritte ampiezze dei giunti, tenendo conto delle tolleranze dimensionali delle singole lastre. Eventuali macchie di adesivo presenti sulle lastre devono essere rimosse prima dell'indurimento del prodotto;
- evitare il passaggio sulla pavimentazione finché non è asciutta (il tempo di pedonabilità è riportato nelle specifiche dell'adesivo impiegato).

La sigillatura dei giunti può essere realizzata pressoché subito con prodotti sintetici compatibili con l'adesivo utilizzato e con l'uso previsto per la pavimentazione.
Laddove sia necessaria una finitura in opera, si raccomanda di seguire i tempi previsti dal fabbricante prima dell'esecuzione.
Nel caso di elementi pre-lucidati, il metodo consente una calpestabilità pressoché immediata, dopo circa 3 ore, e una completa pedonabilità già a 24 ore dalla fine delle operazioni; questo sistema evita pertanto il lungo tempo morto post-posa che è necessario attendere con il metodo a malta, prima della lucidatura.
Tra i vantaggi, si annoverano la velocità di posa molto maggiore rispetto alla malta, la buona capacità adesiva su supporti diversi, l'impermeabilità e il comportamento elastoplastico dei prodotti, la quantità limitata (se non nulla) di acqua per la presa, e l'assenza di spargimento di liquidi sul pavimento, con conseguente rimozione dei fanghi prodotti.
Tra gli aspetti più sfavorevoli, invece, un (generale) maggior costo degli adesivi rispetto alla malta, l'accuratezza necessaria in fase di preparazione, il limitato intervallo di tempo utile per l'applicazione (che comporta miscelazioni frequenti e ripetute di quantità limitate di prodotto) e l'impossibilità pratica di assorbire le eventuali irregolarità del piano di posa a causa della sottigliezza dello strato.
Nella posa di pavimenti sottili è quasi sempre da escludere, inoltre, la possibilità di provvedere alla rilucidatura in opera, operazione che, sia pure a lunghi intervalli, deve essere prevista, specie per pavimentazioni soggette a transito intenso (banche, uffici, aeroporti, stazioni e locali pubblici).

9.3 Pavimentazioni esterne

Analogamente a quelle per interni, anche le pavimentazioni per esterni rispondono alla logica del "pacchetto di pavimentazione", un insieme cioè di strati necessari e funzionali all'ottenimento delle prestazioni richieste. Le attuali tecniche di realizzazione e di posa rappresentano sostanzialmente un'evoluzione e un affinamento di quanto lungamente sperimentato in passato, senza l'intervento di elementi particolarmente innovativi. Previa analisi dettagliata del substrato e della fondazione, i metodi di posa sono sostanzialmente riconducibili a quattro:

a. su sabbia;
b. su malta di sabbia+cemento;
c. su malta cementizia;
d. su strato collante.

a) la posa su sabbia (figure 32, 33) è normalmente utilizzata ogniqualvolta si posano elementi di elevato spessore ma di dimensioni comunque variabili.

Lo spessore del letto di sabbia, che si curerà essere quanto più costante possibile per non generare avvallamenti e cedimenti, non supera generalmente i 10÷12 cm e la sua granulometria deve essere grossa, ben assortita e priva di impurità. Da escludere categoricamente l'uso di sabbia marina.

Gli elementi del pavimento vengono collocati ben a filo l'uno all'altro, intervenendo, se necessario, anche con uno scalpello, in modo da rifinire i lati e gli spigoli che non combaciano perfettamente. A posa eseguita la pavimentazione viene cosparsa abbondantemente con sabbia, bagnata e distribuita uniformemente con una scopa; l'operazione viene spesso coadiuvata da una battitura sul piano eseguita con mazzaranghe o con piatti vibratori meccanici.

Tra gli aspetti principali della posa su sabbia, sono da ricordare:

- è di semplice esecuzione;
- consente una rapida rimozione degli elementi, nonché un loro eventuale riutilizzo;

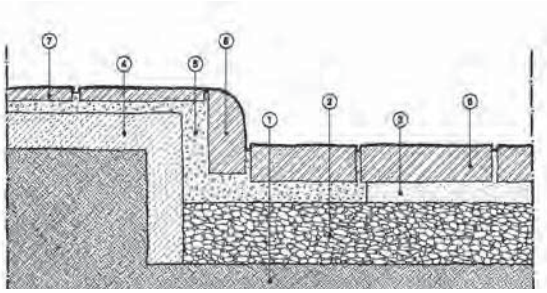


Figura 32
Schema di pavimentazione esterna in lastre posata su sabbia e sottostante massicciata (sezione in corrispondenza di un cordolo di marciapiede).
Legenda: *1) Terreno in situ, naturale o di riporto; 2) massicciata; 3) sabbia; 4) massetto; 5) malta di allettamento; 6) lastre lapidee (carrabile); 7) lastre lapidee (pedonale); 8) cordolo*

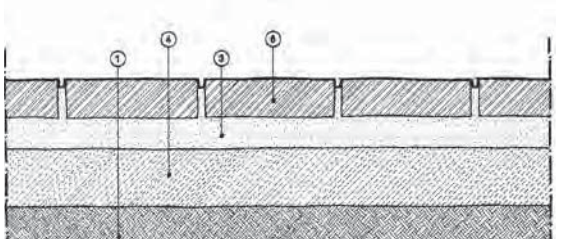


Figura 33
Schema di pavimentazione esterna in lastre posata su sabbia e sottostante massetto in calcestruzzo.
Legenda: *1) Terreno in situ, naturale o di riporto; 3) sabbia; 4) massetto 6) lastre lapidee*

- garantisce una maggior elasticità complessiva, assorbendo uniformemente le sollecitazioni del traffico, gli assestamenti e le variazioni di temperatura, senza generare microfratture;
- offre un'eccellente permeabilità di superficie;
- permette una messa in servizio del pavimento pressoché immediata.

b) la posa su malta di sabbia e cemento si differenzia dalla precedente solo per l'aggiunta di cemento alla sabbia in ragione di circa 100÷250 kg/m^3. La miscela viene assemblata a secco e distribuita con modalità del tutto analoghe a quanto visto poc'anzi.

c) la posa su malta cementizia (figura 34) è consigliata nei seguenti casi:
- per pavimentazioni soggette a transito veicolare pesante;
- quando il terreno *in situ* possiede proprietà meccaniche scadenti (bassa portanza; cedevolezza);
- laddove si debbano compensare ripetuti dislivelli altimetrici di tracciato.

Con questo tipo di posa (foto 776), che impone la realizzazione di una fondazione rigida (massetto di calcestruzzo), lo strato di allettamento è generalmente composto di comune malta di sabbia e cemento (cemento tipo 32,5, in ragione di 250÷400 kg per m^3 di sabbia), con uno spessore di 4÷5 cm, spinto talvolta fino ai 10 cm, in rapporto allo spessore delle lastre. Prima della collocazione degli elementi la malta va spolverata con cemento (minimo 6 kg/m^2).

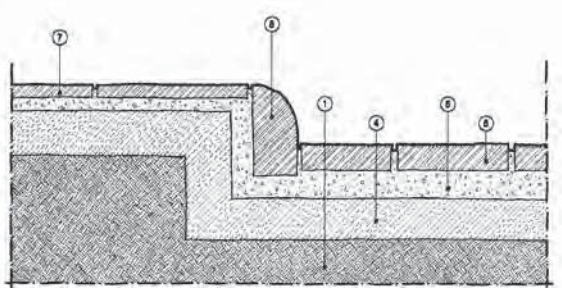


Figura 34
Schema di pavimentazione esterna in lastre posata su malta e sottostante massetto in calcestruzzo (sezione in corrispondenza di un cordolo di marciapiede).
Legenda: *1) Terreno in situ, naturale o di riporto; 4) massetto; 5) malta di allettamento; 6) lastre lapidee (carrabile); 7) lastre lapidee (pedonale); 8) cordolo*

Particolare importanza rivestono i giunti la cui larghezza minima deve essere di 1 cm e l'assenza dei quali (o un errato dimensionamento) può occasionare severi problemi di stabilità; l'eventuale sigillatura deve essere fatta a pavimentazione consolidata e mai prima di 30 giorni dall'eventuale traffico previsto. A pulizia finale ultimata è buona

• Foto 776
Controlli tecnici mediante staggia su una pavimentazione posata con malta cementizia

regola lasciar "riposare" la pavimentazione per almeno due giorni.

d) per la posa su strato collante, infine (foto 777, 778), non vi sono differenze procedurali rispetto a quanto descritto per la posa di pavimenti in interni. Si rimanda pertanto al § 9.2 per la descrizione del metodo.

9.4 Rivestimenti esterni

In tema di rivestimenti (quanto riportato in questo paragrafo si riferisce ai rivestimenti di facciate in lastre, tralasciando pertanto i vari sistemi ad elementi prefabbricati, pannellature ecc.), possono essere presi in considerazione i seguenti sistemi di posa:

- sistemi di posa "a umido":
  - posa con imbottitura di malta;
  - posa per incollaggio con adesivo;
- sistemi di posa "a secco":
  - posa con ancoraggi meccanici.

sistemi di posa "a umido" - posa con imbottitura di malta: con questo sistema (noto anche come sistema tradizionale) il fissaggio delle lastre a una parete di supporto è affidato alle proprietà adesive della malta, stesa tra i due a formare un'imbottitura completa, o anche solo parziale. A questo sistema si ricorre quando si eseguono rivestimenti non molto estesi in altezza (anche se, in passato, sono stati rivestiti edifici di altezze rilevanti) o si opera su manufatti con strutture anelastiche, come quelle a murature portanti o miste. Le lastre aderiscono al substrato mediante il riempimento con malta dello spazio esistente tra rivestimento e substrato.
Dovendo contrastare anche la forza di gravità, è spesso opportuno prevedere un sostegno addizionale rispetto alla sola malta, garantito da dispositivi meccanici specifici, come *grappe* e *zanche*, da predisporre nel substrato (foto 779 → 781).

Questi ancoraggi possono svolgere sia un ruolo di ritegno (solo trattenimento e impedimento del ribaltamento), sia di supporto (ruolo di sostegno, cioè portante), o entrambi. La loro adozione implica ovviamente una preventiva lavorazione degli elementi lapidei, sui quali sono praticati fori, scanalature, incavi e tasche (APPENDICE

• Foto 777, 778
Posa in opera di una pavimentazione esterna in marmo su strato collante

• Foto 779 → 781
Rivestimento in granito grigio della porzione inferiore di un edificio mediante imbottitura di malta, integrata da zanche. A destra: dettaglio della zanca affogata nella muratura posteriore e connessa alla lastra di granito mediante un piolo inserito in foro sulla costa.

V). Il mercato offre una gamma amplissima di grappe e zanche la scelta delle quali deve essere eseguita sulla base dei dati di ogni singolo progetto.

Nel caso di zanche non portanti, nell'intercapedine lastra-parete viene realizzata l'imbottitura, con una colata di malta cementizia; con zanche portanti l'impiego di malta, comunque consigliato, può anche non essere previsto. In quest'ultimo caso, la posa diventa praticamente una posa a secco (vedi poco oltre), ancorché realizzata con modalità e dispositivi di ancoraggio di tipo semplice, validi ed accettabili solamente per opere di importanza relativa.

La posa con imbottitura di malta non offre particolari garanzie di tenuta e di resistenza nel tempo, vuoi per la grande variabilità delle malte, vuoi per la loro progressiva degradazione, vuoi (spesso) per l'adozione del giunto chiuso, una soluzione tecnica (qui non ulteriormente dettagliata) che può generare numerosi inconvenienti al rivestimento (sbeccature, rotture, sfiancature, distacchi, facciate con profilo "a soffietto"). Essa, tuttavia, ha ancora larga diffusione e trova in genere applicazione nei seguenti casi:

- quando vi è la necessità di compensare dei "fuori-piombo" del supporto e/o su pareti non "a squadra";
- con elementi lapidei di medio formato;
- quando gli elementi lapidei mostrano am-

pie tolleranze nello spessore (per cattiva segagione; per scarsa precisione nel taglio secondario ecc.);
- in rivestimenti o parti di essi soggette ad urti (soprattutto nel primo metro di altezza) dovuti a carrelli e/o mezzi meccanici (es.: interno capannoni industriali);
- con rocce aventi un grado di porosità medio-alto, come ad esempio numerosi calcari poco compatti, i tufi, le arenarie ecc., le quali sviluppano una maggiore aderenza alla malta;
- in generale, nelle soluzioni costruttive in economia.

Nonostante le scarse prestazioni termo-energetiche - l'azione del sole arriva direttamente sulla parete - e la possibilità di macchie ed efflorescenze nella pietra a causa dell'interazione con la malta o di un'eccessiva sensibilità all'acqua, questo sistema è ancora usato in svariati contesti edilizi. Con esso, occorre tener sempre debito conto, tra le altre cose, dei seguenti aspetti:
- il supporto murario deve essere compatto e quanto più possibile "a piombo"; nel caso si intervenga su edifici esistenti e intonacati, si rivela spesso utile una scarificazione;
- le superfici devono essere esenti da olii, grassi, detriti, sporcizia di vario genere e qualunque sostanza che possa ridurre sensibilmente l'aderenza della malta al substrato. La presenza di residui di altri materiali (ma questo vale per qualunque sistema di posa a umido) avrà un'influenza determinante nel comportamento finale del rivestimento. Prima della stesura della malta inumidire bene la superficie con acqua pulita;
- le zanche trovano il loro miglior ancoraggio nel substrato mediante sigillatura con sabbia e cemento; tuttavia, per ridurre i tempi di posa, vengono spesso utilizzati vari tipi di cemento a presa rapida, che in realtà sono da sconsigliare;
- la scelta del tipo di malta ha comunque importanza anche in relazione alla possibile formazione di macchie sul rivestimento; normalmente viene utilizzata malta di cemento ad alta resistenza (350÷500 kg di cemento tipo R 32,5, e 150 litri di acqua ogni metro cubo di sabbia);
- per ridurre al minimo l'assorbimento dell'acqua di malta da parte delle lastre, ovvero evitarlo, con conseguente allentamento della presa e possibilità di formazione di macchie, è consigliabile imbibire previamente le lastre stesse, fino a saturazione, e mantenerle in questo stato per qualche tempo anche dopo la posa. L'acqua di malta in eccesso, trovando un ambiente saturo, sarà costretta ad evacuare senza attraversare direttamente le lastre;
- operare, nei limiti del possibile, fuori dalle stagioni più calda e più fredda; questo limiterà l'entità delle contrazioni e delle dilatazioni nelle lastre. Prevedere comunque sempre un giunto di almeno 1,5 mm quando i pannelli hanno una dimensione media;
- come più volte ribadito, i materiali per la posa devono essere altamente selezionati. Acqua e sabbia, in particolare, richiedono grande attenzione. La sabbia deve essere esente da sali, residui organici, sostanze argillose e ossidi metallici (soprattutto quelli di ferro), ed avere una granulometria accuratamente cernita; le sostanze argil-

lose gonfiano fortemente in presenza di acqua, gli ossidi (presenti sia nell'acqua, sia nella sabbia, sia nella pietra) possono essere causa di macchie quando migrano e si depositano all'interno delle porosità delle lastre. L'acqua deve essere pulita, anch'essa priva di sostanze organiche e di sali minerali in concentrazioni anomale (da bandire assolutamente le acque salmastre o di pozzi nelle zone costiere !).

sistemi di posa "a umido" - posa per incollaggio con adesivo: la tecnica dell'incollaggio si basa sul principio dell'aderenza della lastra al supporto, garantita dall'uso di adesivi speciali. Gli adesivi, per i quali mantiene validità quanto riportato nel precedente § 9.2, conservano a lungo le caratteristiche di elasticità, impermeabilità e resistenza agli sbalzi termici, e danno buoni risultati nelle prove di resistenza allo strappo. Per questo tipo di impiego si devono selezionare adesivi chimicamente compatibili con il tipo di supporto (muratura, intonaco, calcestruzzo, laterizio ecc.), facilmente lavorabili, che durante l'applicazione non colino, che impediscano lo scivolamento delle lastre e che induriscano senza ritiri. Il ridotto spessore dell'adesivo non permette correzioni ad eventuali irregolarità del supporto, per cui è necessario disporre di un substrato estremamente regolare e preciso. Tale substrato non deve essere umido, né soggetto a risalite capillari, deve essere meccanicamente stabile e resistente, privo di parti friabili, esente da ruggine, grassi, olii ecc. Come per il massetto nelle pavimentazioni, i supporti cementizi (calcestruzzo e intonaco) devono essere pervenuti a maturazione e stagionati per non subire ritiri dopo la posa delle lastre. Questa si effettua normalmente mediante doppia spalmatura del prodotto adesivo, sul retrolastra e sul supporto, ed esercitando una modesta pressione sulle lastre affinché si realizzi un contatto uniforme (e non per punti) della faccia da incollare. Le lastre devono essere posate a giunto aperto, controllate e registrate nella regolarità di posa in tempo utile rispetto al tempo di presa dell'adesivo, dichiarato dal produttore. Avvenuto l'indurimento dell'adesivo, i giunti fra le lastre vengono sigillati con prodotti di adeguate caratteristiche di elasticità.

Tra i vantaggi del sistema per incollaggio, sono da menzionare:

- la possibilità di utilizzare lastre di rivestimento con spessore sottile. Fattori climatici e strutturali limitano non poco l'adozione di spessori sottili in esterno, tuttavia il fattore-peso resta di grandissima importanza in qualsiasi rivestimento;
- una movimentazione facilitata, grazie alla succitata riduzione di peso del materiale da posare;
- l'assenza di lavorazioni sulle coste degli elementi, fattori di indebolimento (soprattutto quando sono realizzate con scarsa precisione) e di annidamento dei fattori di degrado (acqua, sporcizia ecc.);
- aumento della rapidità di posa. Questo fattore è tuttavia presente se non sono richieste opere collaterali di un certo impegno (ad esempio, una regolarizzazione del supporto).

Tra i fattori di criticità, due sembrano prevalere sugli altri:

- lo spessore dell'adesivo è così limitato da non permettere alcuna compensazione

delle (inevitabili) irregolarità strutturali. Le strutture murarie devono essere sostanzialmente perfette in fatto di planarità e verticalità;
- operando in esterni, lastre a spessori (molto) sottili sono scarsamente frequenti. Se adottati, essi limitano il formato delle lastre, sia per oggettiva criticità nell'ottenimento, sia per difficoltà di trasporto e movimentazione, sia per la riduzione di alcune *performances* meccaniche. Non possono essere quindi impiegati formati molto grandi. Ciò si ripercuote sul disegno di insieme e sull'estetica della facciata, attraversata dal fitto reticolo dei giunti che "spezzano" continuamente la percezione visiva dell'intero rivestimento.

• Foto 782
Esempio di posa a secco, mediante ancoraggio meccanico. In questo sistema, gli elementi del rivestimento sono sempre distanziati dal supporto

sistemi di posa "a secco" - posa con ancoraggi meccanici: la posa a secco prevede un distacco completo del rivestimento lapideo dal sottostante substrato; gli elementi del rivestimento risultano fissati alla struttura per mezzo di connessioni ed ancoraggi di tipo meccanico, e nello spazio (foto 782) tra rivestimento e supporto può esservi un'intercapedine d'aria, una intercapedine+un isolante ("cappotto"), o solamente un isolante.
La denominazione "a secco" è dovuta proprio al fatto che, con l'utilizzo di ancoraggi meccanici, non sono previste sostanze umide, come è invece nel caso dei sistemi a malta e/o adesivo. Ciò rende la qualità finale del lavoro indipendente dalle condizioni atmosferiche che, in cantiere (con i sistemi a umido), influiscono anche sensibilmente sulla preparazione degli impasti, sul comportamento reologico dei materiali usati, sull'adesione e sui meccanismi di presa e indurimento dei prodotti.
Il sistema di posa a secco è da preferire quando si devono rivestire superfici di estensione media e medio-grande su manufatti con struttura elastica, anche se sono sempre più frequenti rivestimenti a secco aventi un'estensione abbastanza limitata.
Con la posa a secco la definizione del sistema di fissaggio è fortemente collegata alla raccolta ed elaborazione di dati e informazioni legati al rivestimento stesso, al luogo dove sorge l'opera e alla tipologia strutturale dell'edificio da rivestire. La figura 35 riporta una rassegna dei più comuni sistemi di fissaggio; ancorché non esaustiva, essa fornisce un'idea di quanto sia articolata la gamma delle possibilità e, conseguentemente, delle difficoltà di darne adeguato conto in un breve capitolo.
Un rivestimento può essere realizzato in forma diretta, ancorando cioè direttamente le lastre di pietra alla parete, oppure indiretta, attraverso la presenza di *sottostrutture*, interposte tra le lastre e la parete. La funzione di una sottostruttura è quella di trasmettere gli sforzi e le sollecitazioni agenti sul rivestimento al supporto dell'edifico al quale viene ancorata. L'opzione dell'ancoraggio indiretto trova nella facciata ventilata (vedi anche [18]) la sua espressione più moderna e tecnologicamente più avanzata.