

La sicurezza delle infrastrutture in vista dei cambiamenti climatici

Influence of climatic changes on infrastructure construction



RIASSUNTO

Le infrastrutture del nostro e di altri Paesi sono state programmate e progettate per resistere a tipologie estreme di eventi meteo che non sono quelle dovute al clima attuale. Quando si costruisce una strada, o altra infrastruttura prevista per durare decenni, si deve prevedere quali saranno le condizioni con le quali tale struttura dovrà convivere nel futuro. Nel presente articolo si prendono in considerazione le infrastrutture stradali, in particolare le pavimentazioni in conglomerato bituminoso e il sottostante corpo stradale. Si esaminano le criticità, presenti e future, del manto stradale asfaltato e del relativo corpo stradale, che richiede anche considerazioni di tipo geotecnico. La parte più vulnerabile del conglomerato bituminoso di superficie è il bitume: una ricerca recente prevede quali dovranno essere i PG grade per il bitume nel futuro in Europa. Nel progettare un sottofondo stradale (e opere collegate), ora più che mai si deve prestare attenzione al comportamento e alla saturazione del terreno, e quindi all'equilibrio della umidità relativa.

SUMMARY

In Italy and other countries the infrastructure facilities have been designed and built to withstand extreme climatic conditions, far from those of the present time. When we project a road or other infrastructure works that have to last many decades we must forecast the climatic conditions that it will face in the future. In this article we will consider the road infrastructures, in particular those made with asphalt mixes. The road foundation is considered as well from a geotechnical point of view. The most vulnerable component of the road surface is the asphalt mix, which contains variable percentages of bitumen. A recent research has analyzed the foreseeable whether variations in Europe, influencing the choice of bitumen binders related to the next 30-40 years, in terms of PG grade. It is also important to understand that when designing a road foundation we must consider the soil water saturation, that is the soil humidity equilibrium.

1. Premessa

Tutte le infrastrutture del nostro Paese (e non solo del nostro) sono state programmate e progettate per resistere a tipologie estreme di eventi meteo che non sono quelli dovuti al clima attuale, ma quelli basati su una statistica che è ferma da 20-30 anni. Negli ultimi anni si è verificata una accelerazione verso un previsto e apprezzabile cambiamento di clima, del quale l'uomo è forse in parte responsabile, ma contro il quale poco o nulla può fare. Eventi una volta ritenuti eccezionali, come piogge torrenziali e violente, trombe d'aria, smottamenti, temperature torride e siccità, sono ormai una consuetudine anche nelle zone temperate. È quindi ovvio che quando si progetta e costruisce una strada, o qualsivoglia altra infrastruttura prevista per durare decenni, si debba prevedere

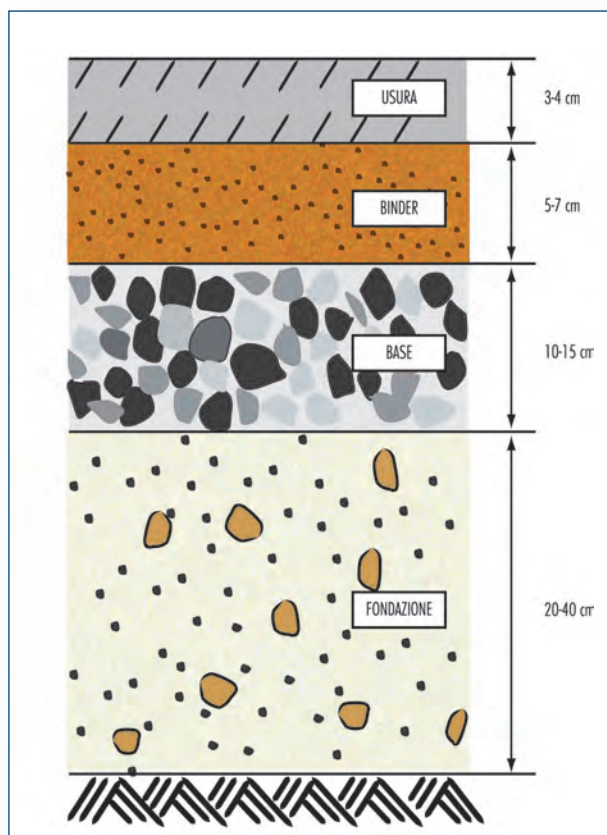


Fig. 1 Struttura tradizionale di una pavimentazione

quali saranno le condizioni, medie ed estreme, con le quali tale struttura dovrà convivere nel futuro. Consideriamo in particolare le costruzioni e manutenzioni stradali.

2. La pavimentazione

La prima cosa che si vede in una strada è il cosiddetto “asfalto” (conglomerato bituminoso), componente fondamentale del “pacchetto” stradale di superficie. Come noto, negli strati superficiali di una pavimentazione (Fig. 1) il bitume costituisce il legante, presente in differenti quantità nei vari strati. Il bitume influenza il comportamento meccanico dei conglomerati in dipendenza della sua viscosità, che a sua volta dipende fortemente dalla temperatura. Il manto di usura, cioè lo strato più superficiale, che ha un contenuto in bitume maggiore (ca. 5%) degli strati sottostanti, è direttamente sottoposto all'irraggiamento solare e nelle ore diurne può facilmente raggiungere temperature molto elevate, alle quali la viscosità diminuisce sensibilmente. Gli strati inferiori subiscono evidentemente escursioni termiche minori, ma nell'insieme il comportamento meccanico del conglomerato che costituisce la sovrastruttura può divenire inadatto a svolgere la propria funzione.

Da quanto sopra detto si evince che la parte più vulnerabile del conglomerato è il bitume. Di ciò si è occupata una ricerca della Esso France presentata al Congresso Eurasphalt & Eurobitume del 2021 (paper 322) e riassunta in una nota comparsa sulla Rassegna del Bitume n° 99, a nome C. Giavarini. La citata ricerca ha prodotto, con riferimento ai *performance grade (PG) SHRP-Superpave*, una mappatura climatica dell'Europa occidentale (soprattutto Francia), alla luce dei futuri cambiamenti climatici. Come noto, il PG si basa sull'idea che le proprietà del legante per il conglomerato devono essere correlate alle condizioni nelle quali viene impiegato. Così ad esempio, un bitume con PG 58-22 si può impiegare per temperature mas-

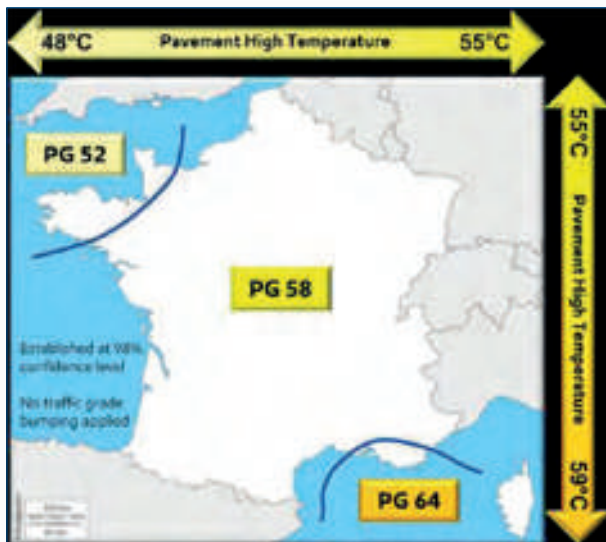
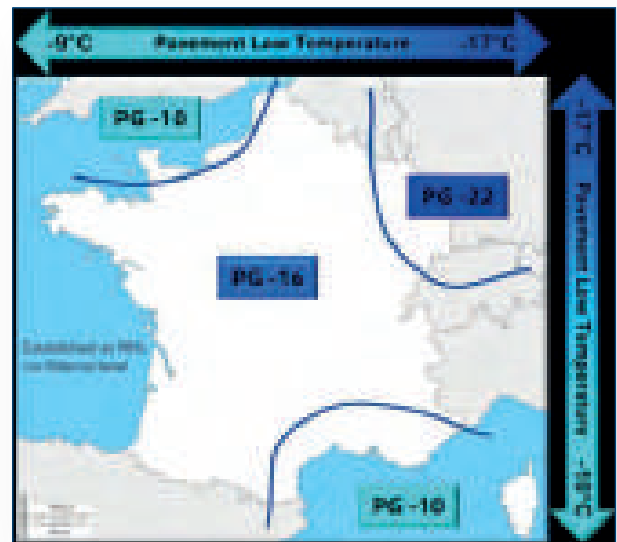


Fig. 2-3 Mappatura dei PG in Francia, riferita al 2017

sime della pavimentazione di 58 °C e per temperature minime di meno 22 °C; da notare che queste sono temperature della pavimentazione e non dell'aria. La variazione delle condizioni climatiche comporta inevitabilmente una variazione dei PG che, a loro volta, condizionano la scelta del tipo di legante bituminoso. Di ciò si deve tener conto costruendo una pavimenta-



zione che dovrebbe durare almeno 30 anni. A titolo di esempio, le Fig. 2 e 3, riferite alla Francia, mostrano una mappatura dei PG riferita al 2017; le Fig. 4 e 5 indicano la stessa mappatura riferita al 2057 (temperature massime e minime, rispettivamente). È evidente lo spostamento delle aree di un dato PG (es. 6 - 10) sempre più verso nord; ciò implica l'impiego, in una

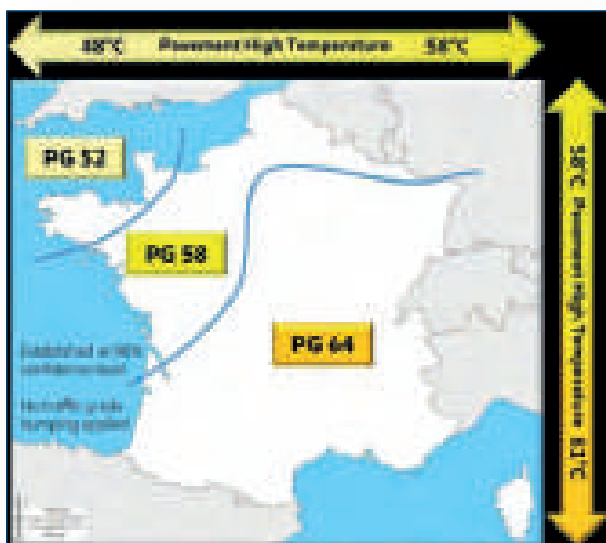
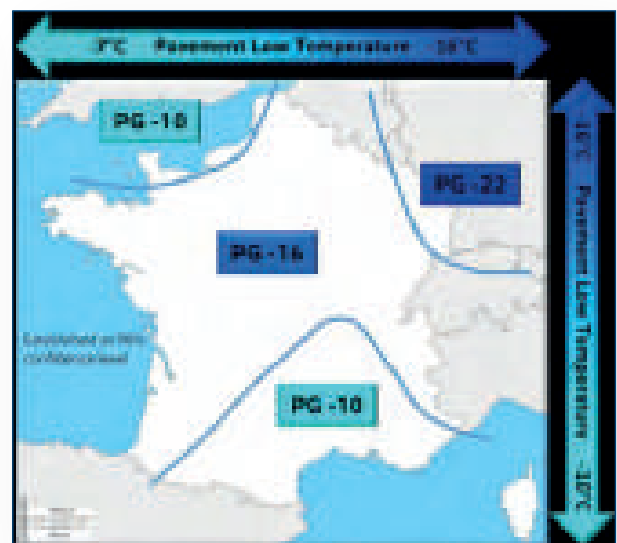


Fig. 4-5 Mappatura dei PG in Francia, riferita al 2057



data zona, di leganti (bitumi e bitumi modificati) meno suscettibili alle temperature.

Un altro aspetto legato all'innalzamento delle temperature riguarda l'aderenza (CAT) degli pneumatici all'asfalto. Sembra infatti che la normale riapertura al traffico dopo la stesa, causa l'aumentata temperatura dell'aria, risenta del mancato totale indurimento del conglomerato con progressivo affondamento degli aggregati più grossi e il conseguente riflusso in superficie del bitume e del filler. Ciò rende la superficie stradale più liscia e non conforme ai valori di CAT attesi, con conseguenti effetti sulla sicurezza stradale. La riapertura al traffico dopo la stesa, soprattutto in estate, va quindi controllata.

Riguardo la preoccupazione di garantire in futuro le previste condizioni di sicurezza delle strade, nell'ipotesi di evoluzione delle condizioni climatiche secondo l'attuale tendenza, occorre considerare che il manto superficiale (che, come detto, è la parte della sovrastruttura più influenzata dalle alte temperature) è anche la parte che ha una previsione di vita più breve a causa del normale deterioramento prodotto dal traffico; è quindi comune prassi prevederne la sostituzione in un tempo che forse non comporta una previsione di

mutamenti climatici significativi.

3. Il corpo stradale

Il corpo stradale, fondazione e sottofondo, rilevato o suolo naturale, scarpate di riporto e trincee, è sempre costituito di terra; il comportamento meccanico delle terre dipende sempre (in minor o maggior misura, secondo la sua natura fisica e composizione granulometrica) dall'acqua presente negli spazi intergranulari. Nel progettare un sottofondo stradale (e opere collegate), ora più che mai si deve prestare attenzione al comportamento e alla saturazione del terreno, e quindi all'equilibrio della umidità relativa; un terreno si dice saturo quando i vuoti sono completamente riempiti di acqua, anziché di acqua e aria (o di sola aria come nel terreno secco) (Fig. 6). Nelle strade moderne il suolo di appoggio della pavimentazione, per uno spessore sufficiente a distribuire sul sottosuolo i carichi trasmessi dal transito dei veicoli, è sempre costituito da terre granulari, cioè non coesive, selezionate per soddisfare precisi limiti normativi. Queste terre, costipate con mezzi meccanici per raggiungere un prescritto stato di addensamento con uno specifico valore di umidità e di saturazione, sono poco sensibili al varia-



Fig. 6 Concetto di saturazione

re dell'umidità determinato dalle condizioni ambientali, quali sommersione per intense precipitazioni, o essiccamento per elevate temperatura e prolungata siccità. Non si considerano evidentemente gli effetti di catastrofiche alluvioni che provochino trasciamento di corpi di terra e intense correnti superficiali. Il terreno naturale che racchiude il corpo stradale in trincea, o semplicemente lo sostiene, risente invece delle condizioni ambientali e delle loro variazioni, in modo diverso secondo la sua natura. La Geotecnica, o più precisamente la Meccanica delle Terre, è la disciplina dell'Ingegneria Civile che studia le proprietà fisico-meccaniche dei materiali che formano la parte superficiale del globo terrestre, e l'interazione terreno-strutture. Alcuni concetti fondamentali della materia possono essere utili per comprendere l'influenza dei fenomeni meteorici sul comportamento dei terreni che interagiscono con il corpo stradale e per valutare qualitativamente gli effetti delle loro variazioni.

I terreni a grana grossa, ghiaiosi e sabbiosi, detti comunemente granulari, in quanto i granuli sono distinguibili alla vista e privi di parti fini, sono incoerenti: il loro comportamento meccanico è governato solo dall'attrito tra le singole particelle, proporzionale allo sforzo applicato, al netto della pressione del fluido (aria o acqua) che occupa gli spazi intergranulari. Nelle costruzioni stradali, i terreni granulari presenti in fondazione, o al disotto, sono sollecitati dal peso delle masse sovrastanti; un aumento della pressione interstiziale, come quello indotto dalla sommersione del corpo stradale per una alluvione, non determina in genere una significativa riduzione della sua capacità portante. È invece diversa la condizione della scarpata di una trincea in terreno incoerente: nella zona superficiale l'attrito interparticellare è debole perché tale è lo sforzo indotto dal peso proprio; un'intensa precipitazione che superi la capacità di assorbimento del terreno può produrre ruscellamento ed erosione. In questi casi il materiale distaccato dalla scarpata

può invadere la sede stradale, inducendo una situazione di rischio per la circolazione. La protezione delle scarpate dal rischio di erosione ha trovato recentemente una risposta naturale ed ecologica nella tecnica di inerbimento con essenze erbacee a radicamento profondo (*"Terra Armata"*).

Nei terreni a grana fine le caratteristiche fisico-meccaniche dipendono da entità e caratteristiche della frazione argillosa. Convenzionalmente si considerano argillosi i granuli di dimensione inferiore a 2 micron e limosi quelli compresi tra 2 e 60 micron; i primi (*minerali fillosilicatici*) hanno capacità di interagire fisicamente tra loro e con l'acqua da cui derivano; nelle terre argillose i comportamenti meccanici sono molto complessi. Semplificando e limitandosi ai problemi che interessano il comportamento del corpo stradale, è necessario sottolineare che nel comportamento meccanico dei terreni argillosi la resistenza è di natura coesiva e fortemente dipendente dal contenuto in acqua; questo a sua volta dipende sia dallo stato tensionale presente, sia da quelli passati. Con il contenuto in acqua varia il volume, molto lentamente perché la permeabilità è estremamente bassa. In conseguenza, gli strati superficiali dei terreni argillosi nei periodi siccitosi si contraggono volumetricamente e si fessurano, mentre la resistenza aumenta; in tempi piovosi, invece, si rigonfiano perdendo resistenza. Questi fenomeni influenzano il comportamento delle scarpate delle trincee stradali; si cerca perciò di proteggere in vario modo la loro superficie dalle vicende atmosferiche, i cui effetti però potrebbero amplificarsi con i cambiamenti climatici temuti.

4. Problemi esecutivi nell'esperienza di un imprenditore

Abbiamo sentito il parere di Mauro Bacchi, sempre molto attivo in ambito SITEB e titolare di una impresa del settore stradale. Attualmente si lavora soprattutto sulle manutenzioni in quanto mancano i progetti per

i lavori del PNRR. La prima preoccupazione di chi fa strade è il bitume; cominciano a vedersi problemi sia a livello stradale che delle pavimentazioni aeroportuali, messe a dura prova dalla passata torrida (e lunga) estate: non infrequenti le grandi ormaie sulle strade e gli aerei che affondano nell'asfalto e devono fermarsi. Le nottate non sono più sufficienti a raffreddare l'asfalto, che quindi aumenta continuamente la sua temperatura. Già si è abbandonato il bitume a penetrazione 50-70 per passare al 30-50, cosa impensabile nel Nord fino a qualche anno fa. Anche la modifica e l'additivazione dei leganti stradali sarà sempre più necessaria. Gli orari di lavoro, soprattutto in estate, vanno cambiati: si opera di notte o/e molto presto la mattina. Relativamente al cemento, sono più frequenti le fessurazioni in superficie delle lastre esposte al sole. Si deve cambiare il rapporto acqua/cemento, con impasti molto lavorabili e prestazionali. Il calcestruzzo (opportunitamente additivato) deve maturare più in fretta per evitare la perdita di acqua: non si può più aspettare giorni per raggiungere le necessarie proprietà meccaniche.

A conferma di quanto sopra detto, i terreni su cui eseguire i lavori sono diventati un problema in quanto non c'è più la costanza dell'umidità: si passa velocemente dal secco al bagnato; la pioggia entra nelle crepe e fa smottare i terreni, soprattutto nelle zone collinari. An-



Fig. 7 Moderno rullo compattatore

che sulle strade si formano avvallamenti e cedimenti. Quando si considerano gli stabilizzatori, si deve irrorare molto di più le superfici perché è aumentata l'emissione di polveri, moleste soprattutto (ma non solo) nei lavori urbani.

5. Le macchine e gli impianti

Negli ultimi anni c'è stata una notevole evoluzione nello sviluppo di nuove macchine stradali e nuovi impianti per il conglomerato. Per questi ultimi l'evoluzione ha soprattutto riguardato il riutilizzo del fresato e le emissioni di polveri e aeriformi, mentre per le macchine si è curato il confort degli operatori, creando apposite cabine a tenuta e climatizzate (**Fig. 7**). Anche la gestione a distanza ha fatto passi da gigante, permettendo di controllare buona parte dei lavori da remoto. Si ritiene che su queste linee l'evoluzione proseguirà: sempre maggior confort per gli operatori e sempre più gestione remota. Questi sviluppi servono anche ad attrarre i giovani per lavori che fino a qualche anno fa si svolgevano in condizioni ambientali non ottimali. Relativamente al conglomerato, l'obiettivo principale è orientato verso la riduzione delle temperature di confezionamento delle miscele, attraverso l'impiego delle migliori tecnologie disponibili, come ad esempio la "schiumatura" del legante bituminoso. Come noto, queste soluzioni permettono di abbassare le temperature, sia in impianto sia in fase di stesa, dai tradizionali circa 160 °C fino a 120 °C. Si deve quindi sviluppare, anche da parte delle Società produttrici di impianti, una serie di azioni concrete che partono dalla corretta divulgazione tecnico-scientifica, fino ad una serie di proposte che già oggi permettono di ottenere rilevanti benefici sotto il profilo sia ambientale che della qualità delle miscele stesse.

Il Direttore Prof. Giavarini ringrazia il collega e amico Prof. G. Calabresi per la collaborazione relativa alla parte Geotecnica.