

ALMA MATER STUDIORUM - UNIVERSITÀ DI BOLOGNA

SCUOLA DI INGEGNERIA E ARCHITETTURA

DIPARTIMENTO DI ARCHITETTURA

CORSO DI LAUREA IN INGEGNERIA EDILE / ARCHITETTURA

TESI DI LAUREA

in

Costruzioni di strade, ferrovie ed aeroporti

**STUDIO DEGLI INTERVENTI DI RIFACIMENTO DELLA
PAVIMENTAZIONE DEL CIRCUITO AUTOMOBILISTICO
DI VALLELUNGA**

CANDIDATO:
Federico Luccarini

RELATORE:
Chiar.mo Prof. Ing. Giulio Dondi

CORRELATORI:
Dott. Ing. Cesare Sangiorgi
Dott. Ing. Marco Alvisè Bragadin

Anno Accademico 2013/2014

Sessione III

PAROLE CHIAVE

Circuito di Vallelunga - Campagnano di Roma

Pavimentazioni bituminose

Progettazione con ALIZE-LCPC

Riciclaggio a freddo in sito

Project Management

INDICE

| | |
|---|-----------|
| Indice..... | I |
| Introduzione | 4 |
| Capitolo 1: Storia del circuito..... | 5 |
| 1.1 Introduzione | 5 |
| 1.2 Anni '50 e '60 | 5 |
| 1.3 Anni '70 e '80 | 7 |
| 1.4 Anni '90 e '00 | 9 |
| Capitolo 2: Sovrastruttura e stato delle pavimentazioni..... | 13 |
| 2.1 Introduzione | 13 |
| 2.2 Tratto A-B..... | 14 |
| 2.2.1 Caratteristiche della sovrastruttura..... | 14 |
| 2.2.2 Stato della pavimentazione | 15 |
| 2.3 Tratto B-C | 15 |
| 2.3.1 Caratteristiche della sovrastruttura..... | 15 |
| 2.3.2 Stato della pavimentazione | 17 |
| 2.4 Tratto C-D | 18 |
| 2.4.1 Caratteristiche della sovrastruttura..... | 18 |
| 2.4.2 Stato della pavimentazione | 20 |
| 2.5 Tratto D-A..... | 20 |
| 2.5.1 Caratteristiche della sovrastruttura..... | 20 |
| 2.5.2 Stato della pavimentazione | 22 |
| Capitolo 3: Progetto della sovrastruttura..... | 23 |
| 3.1 Introduzione | 23 |
| 3.2 Lotto 1 | 24 |
| 3.2.1 Materiali utilizzati nella nuova pavimentazione | 24 |
| 3.2.1.1 Tappeto di usura | 24 |
| 3.2.1.2 Conglomerato Bituminoso Binder..... | 27 |
| 3.2.1.3 Conglomerato Bituminoso di Base Riciclato a Freddo | 28 |

| | |
|--|-----------|
| 3.2.2 Lavorazioni e Macchinari | 30 |
| 3.2.3 Progetto della sovrastruttura con software ALIZE-LCPC..... | 31 |
| 3.2.3.1 Inserimento dei dati e condizioni di carico | 32 |
| 3.2.3.2 Risultati e tabelle | 33 |
| 3.2.3.3 Verifiche | 36 |
| 3.2.3.4 Grafici..... | 37 |
| 3.3 Lotto 2 | 41 |
| 3.3.1 Materiali utilizzati nella nuova pavimentazione | 41 |
| 3.3.1.1 Tappeto di usura | 41 |
| 3.3.2 Lavorazioni e Macchinari | 44 |
| Capitolo 4: Cantierizzazione delle opere | 46 |
| 4.1 Introduzione | 46 |
| 4.2 Lotto 1 | 47 |
| 4.2.1 Fasi di lavorazione | 48 |
| 4.2.1.1 Scarifica..... | 48 |
| 4.2.1.2 Riciclo a freddo con emulsione bituminosa | 50 |
| 4.2.1.3 Posa del binder | 52 |
| 4.2.1.4 Posa del tappeto di usura | 54 |
| 4.3 Lotto 2 | 56 |
| 4.3.1 Fasi di lavorazione | 57 |
| 4.3.1.1 Scarifica..... | 57 |
| 4.3.1.2 Posa del tappeto di usura | 59 |
| Capitolo 5: Accantieramento | 61 |
| 5.1 Introduzione | 61 |
| 5.2 Layout di cantiere..... | 62 |
| 5.3 Work breakdown structure..... | 67 |
| 5.4 Schema della produzione | 70 |
| 5.5 Diagramma di Gantt..... | 73 |
| 5.6 Precedence diagramming method | 74 |
| 5.7 Piano di emergenza | 75 |

Conclusioni76

Bibliografia e sitografia80

Introduzione

I circuiti automobilistici rappresentano il naturale connubio tra tecnica e sport, unendo l'evoluzione tecnologica alla passione di piloti e tifosi. Questi luoghi sono studiati per consentire lo svolgimento di sport motoristici in condizioni di sicurezza, in modo da garantire l'incolumità dei piloti, degli addetti e del pubblico. A riguardo, infatti, vi sono norme nazionali ed internazionali da rispettare per la progettazione delle piste, degli spazi e delle strutture, soprattutto per i dispositivi di sicurezza. Oltre alle precedenti prescrizioni, lo svolgimento delle attività motoristiche deve poter seguire i tempi e le regole imposte dalle federazioni e dal circuito stesso, in modo da salvaguardare lo spettacolo, senza però trascurare la sicurezza dentro e fuori la pista.

Il buon stato della pavimentazione, periodicamente controllato, è quindi condizione necessaria per il regolare utilizzo della pista: il piano viabile deve essere omogeneo e regolare, in modo da evitare la presenza di ristagni d'acqua in caso di pioggia, oltre a non risultare troppo usurante per le gomme.

Il clima e gli agenti atmosferici sono le principali cause del degrado della pavimentazione: vengono quindi studiati interventi di ripristino, più o meno profondi, a seconda del tipo di ammaloramento e delle risorse economiche a disposizione.

L'Autodromo di Vallelunga "Piero Taruffi", ovvero uno dei più importanti circuiti automobilistici e motociclistici italiani, situato nel comune di Campagnano di Roma, è l'oggetto di studio: oltre all'analisi dello stato attuale della sovrastruttura, vengono studiati e pianificati alcuni interventi di rifacimento della pavimentazione. Lo scopo finale del progetto è quello di ottenere, oltre al prolungamento della vita utile dell'opera, una decisa continuità ed omogeneità del piano viabile, attualmente assente a causa del degrado subito dalla pavimentazione dei lotti meno recenti. Lo studio di questi due interventi, preceduto dall'analisi delle caratteristiche della pavimentazione esistente e dall'individuazione dei relativi ammaloramenti presenti su di essa, comprende il progetto della sovrastruttura, diverso per ogni lotto, la verifica del nuovo pacchetto stradale e la conseguente cantierizzazione delle opere, che tiene conto delle aree di intervento, dei macchinari utilizzati e delle fasi di lavorazione. Infine, l'accantieramento, ovvero la fase che prevede la definizione del layout di cantiere e la redazione del Project Management, costituito dalla WBS, dallo schema della produzione, dal diagramma di Gantt, dal Precedence Diagramming Method e dal piano di emergenza.

Capitolo 1: Storia del circuito

1.1 Introduzione

L'Autodromo di Vallelunga "Piero Taruffi", situato 30 chilometri a nord di Roma, nel comune di Campagnano di Roma, è uno dei più importanti circuiti automobilistici e motociclistici italiani. Il tracciato, grazie alle innumerevoli modifiche subite nel corso degli anni, ha ospitato le più svariate competizioni sportive a due e quattro ruote. L'Autodromo, grazie alla recente realizzazione di diverse strutture per la ricettività congressuale e di un impianto per la Guida Sicura, è diventato un moderno complesso polifunzionale, pronto ad accogliere migliaia di visitatori all'anno.

1.2 Anni '50 e '60

L'Autodromo di Vallelunga nacque nel 1951 dalla trasformazione di un ippodromo voluto e realizzato pochi anni prima da Raniero Pesci, noto imprenditore romano appassionato di cavalli [1]. Il 9 dicembre del 1951, dopo una prima serie di eventi motociclistici, si svolse la prima gara automobilistica su una pista di sabbia. Protagoniste di queste gare che si svolgevano nella stessa giornata con varie formule, compreso l'handicap e l'americana, con tanto di totalizzatore per il pubblico, erano le piccole vetture sport, al volante delle quali si cimentavano i vari Berardo Taraschi, Sesto Leonardi, Roberto Lippi, Adriano Faranda e molti altri. Alle gare per auto (Figura 1) si affiancarono anche quelle per le due ruote, tra cui lo speedway (Figura 2) e il motocross [2].



Figura 1: gara automobilistica svoltasi nel 1951



Figura 2: gara di speedway svoltasi nel 1951

Il passaggio definitivo al mondo dei motori avvenne nel 1957, anno in cui le corse su strada in Italia vennero definitivamente vietate per la loro pericolosità: da allora, la prima embrionale struttura ricavata da un ippodromo, venne trasformata in un vero e proprio impianto sportivo con le caratteristiche proprie di un autodromo [1]. Il progetto della pista in asfalto, finanziata dall'Automobile Club Roma e dalla Federazione Motociclistica Italiana, venne sviluppato da Piero Taruffi [2], noto campione automobilistico ed ingegnere che proprio in quell'anno si aggiudicò l'ultima edizione della Mille Miglia, dopo aver conquistato una lunga serie di successi e di primati sulle strade e circuiti di tutto il mondo su due e quattro ruote [1]. Piero Taruffi fu coinvolto nel progetto di rilancio dell'autodromo dall'allora presidente della FIM Emanuele Bianchi, oltre ad essere idealmente sostenuto da Giovanni Canestrini e Ferruccio Colucci, i quali condividevano con Taruffi l'idea di un grande autodromo di livello mondiale che potesse ospitare le gare più importanti dei programmi delle federazioni internazionali di automobilismo e motociclismo [1].

Il primo allungamento del circuito avvenne grazie all'inclusione della parte di tracciato in direzione dei "Cimini". I lavori per la pista corta "club", lunga 1.746 metri e larga 10, iniziarono nell'estate del 1957 e vennero portati rapidamente a termine [1], tanto che, già a dicembre dello stesso anno, iniziò l'attività agonistica ufficiale con la disputa della "6 Ore Esso", alla quale parteciparono piloti del calibro di Ludovico Scarfiotti, Alfonso Thiele, Ada Pace e Nino Vaccarella [3].

A Vallelunga, tra la fine del 1957 e l'inizio del 1958, venne creata la prima Scuola di Pilotaggio in Italia per volontà dell'Automobile Club Roma, Attilio Giannini e Luigi Musso. La direzione della scuola fu affidata a Nino Farina, primo Campione del Mondo di Formula 1 al volante dell'Alfa Romeo 158 [2].

Nel 1961 Società Vallelunga, ancora di proprietà della famiglia Pesci, stipula un accordo con il Comune di Campagnano per raddoppiare la lunghezza del tracciato. I lavori portarono alla realizzazione del circuito lungo "internazionale", della lunghezza complessiva di 3.222 metri (Figura 3), il quale venne inaugurato il 19 maggio del 1963 con il GP Roma di Formula 1 (Figura 4). Grazie a questa sua nuova dimensione, fra il 1964 e 1966, Vallelunga e Monza si spartirono gran parte delle gare in programma in Italia. Su questo nuovo tracciato diedero spettacolo piloti del calibro di Clay Regazzoni, Ignazio Giunti (il cui busto di bronzo si trova nel viale delle tribune), Jochen Rindt, i fratelli Brambilla e Arturo Merzario [1].



Figura 3: circuito di Vallelunga nel 1963



Figura 4: Gran Premio di Roma 1963

Nel 1967 l'autodromo diventò proprietà dell'ACI che, per l'occasione, costituì l'EGAV (Ente Gestione Autodromo Vallelunga) e successivamente la "Vallelunga Spa" raccogliendo l'eredità di Raniero Pesci. Il testimone passò quindi nelle mani del primo Direttore dell'autodromo, Luciano De Luca, che si mise subito al lavoro accogliendo la scuola di pilotaggio di Henry Morrogh [1].

1.3 Anni '70 e '80

Gli anni 70 furono un periodo d'oro per l'attività dell'autodromo sotto molti punti di vista: oltre ad ospitare numerose gare motociclistiche con i modelli derivati dalla produzione di serie, dove si rivelò, tra gli altri, anche il grande campione Franco Uncini [4], vennero anche migliorati i collegamenti con il circuito grazie alla costruzione della Cassia Bis, dimezzando così i tempi di percorrenza da Roma [1].

Nell'aprile del 1970 venne invertito il senso di marcia da antiorario ad orario e vennero demolite le strutture ormai inutilizzabili [4], come per esempio le vecchie scuderie, per fare posto ai nuovi box e ad una nuova palazzina per la direzione gara e la sala stampa (Figura 5). Sempre nel 1970 venne inoltre realizzata una nuova tribuna capace di ospitare diecimila spettatori [1]. Nella primavera del 1971, dopo una lunga sospensione causata dai lavori, si poté finalmente riprendere l'attività sportiva [1]. Per garantire il futuro del circuito si costituì il "Comitato per lo Sviluppo dell'Autodromo di Vallelunga" e i nuovi lavori furono firmati dall'architetto Franco Melotti. Anche in quegli anni, seppur in forma più distaccata a seguito dei nuovi incarichi acquisiti per la progettazione di alcuni circuiti in Giappone e quello di Misano Adriatico, Piero Taruffi continuava ad ispirare i cambiamenti dell'impianto di Vallelunga [1].



Figura 5: i nuovi box e la nuova palazzina per la direzione gara e la sala stampa realizzati nel 1970

Le nuove risorse disponibili e l'evoluzione delle moderne strutture realizzate consentirono di ospitare corse di altissimo livello, fra le quali una "Sei Ore" valevole per il Campionato Mondiale Marche (Figura 6), corse di F.1 (Figura 7), F.2, F.3000 e F.3. Vennero inoltre svolte tante altre competizioni valevoli per campionati internazionali e nazionali di auto e moto, oltre ai test delle più importanti squadre di F.1 e Sport, come per esempio l'Alfa Romeo [4]. Il 1975 fu un anno caratterizzato da nuovi lavori con importanti soluzioni a vantaggio della sicurezza, la quale divenne finalmente uno dei temi centrali dell'automobilismo moderno [1].

Gli anni '80 furono ricchi di grandi eventi legati al Motorsport e alla Superbike, con al via grandi campioni come Pierfrancesco Chili, Luca Cadalora, Fred Merkel e Raymond Roche [4]. Nel 1982 venne fondata la Scuola di Pilotaggio Federale CSAI con lo scopo di addestrare le nuove leve dell'automobilismo agonistico [1].



Figura 6: Campionato Mondiale Marche



Figura 7: Formula 1 a Vallelunga

1.4 Anni '90 e '00

Gli anni '90 si aprirono con una grande varietà di avvenimenti motoristici, tra cui il Superturismo che vide protagonista, tra gli altri campioni presenti, Rinaldo "Dindo" Capello [5]. Fra le tantissime manifestazioni svoltesi a Vallelunga negli anni '90, meritano una particolare citazione le finali Ferrari del 1999 che registrarono il tutto esaurito, con una partecipazione di pubblico mai vista prima [1]. A questa manifestazione parteciparono anche Michael Schumacher, Mika Salo e Luca Badoer, i quali diedero vita ad un'esibizione al volante della F399, ovvero la monoposto che consentì agli uomini di Maranello di conquistare il Campionato Costruttori, titolo che mancava alla Ferrari dal 1983 (Figura 8).

Dall'inizio del 2004 il fiore all'occhiello dell'impianto è diventato il "Centro di Guida Sicura ACI-SARA", nato sulla traccia di strutture già operanti con notevole successo nel nord Europa. Questa struttura si pone all'avanguardia per le attrezzature disponibili e per la didattica, tanto da essere la più avanzata sul territorio nazionale. Nel Centro vengono insegnate le tecniche per migliorare la guida non solo di vetture, ma anche di motociclette, camion, caravan e camper: le attrezzature, fra le quali una pista di aquaplaning (Figura 9), sono mirate e differenziate per vari tipi di veicoli [1]. Il Centro di Guida Sicura, inoltre, rappresenta una punta di eccellenza nell'ambito del perseguimento di politiche di gestione improntate alla sostenibilità e all'attenzione per l'ambiente: l'acqua utilizzata per lo svolgimento delle esercitazioni viene recuperata e riutilizzata. Si svolgono, inoltre, corsi di "eco-drive" durante i quali vengono trasmessi gli accorgimenti per una guida più economica ed ecologica [6].



Figura 8: Finali Ferrari del 1999



Figura 9: pista di aquaplaning nel CGS

Nell'estate del 2005 si sono conclusi alcuni importanti lavori di ristrutturazione ed ampliamento del circuito: è stata eretta una nuova torre direzionale in grado di ospitare i cronometristi e la direzione gara, è stata realizzata una nuova sala stampa in locali più ampi e meglio attrezzati ed è stata ampliata la terrazza dove è situato il podio per le premiazioni. Il nuovo edificio direzionale che sorge sopra 15 ampi box, è inoltre dotato di uffici moderni, sale di rappresentanza e di un salone per conferenze di 300 mq. Inoltre, per quanto riguarda la pista, sono state ampliate le vie di fuga in corrispondenza del "Curvone" e delle curve "Cimini", "Esse" e "Roma", si è provveduto alla realizzazione di un attrezzato centro medico sanitario e all'installazione di un sofisticato impianto TV a circuito chiuso con 15 telecamere a colori che coprono completamente tutto il tracciato. Infine, è stato aggiunto un chilometro di pista (Figura 10), raggiungendo così la lunghezza totale di 4,085 km per le auto e 4,110 km per le moto [1]: dall'uscita della curva "Cimini 2" non si prosegue più dritto ma si piega in salita procedendo per un breve rettilineo, quindi si curva a destra nella curva "Campagnano" e si affronta un breve rettilineo che tramite la curva "Soratte" si riallaccia al vecchio circuito all'altezza della "Trincea".

L'Autodromo di Vallelunga, grazie alla nuova configurazione del tracciato che nel 2004 ha ricevuto l'omologazione FIA per i test di F1, è stato scelto negli ultimi anni come sede per i test di diverse scuderie tra cui Team Ferrari F1 (Figura 11), Minardi F1, Williams F1, Toyota F1 Team e BAR-Honda. Il circuito ospita le gare di molte altre categorie, tra cui il FIA WTCC, il FIA GT e Le Mans Series [7]. Degna di nota è anche l'annuale manifestazione di endurance, chiamata "6 Ore di Vallelunga".



Figura 10: foto aerea durante ampliamento 2005



Figura 11: test Scuderia Ferrari nel 2012

Oltre alle modifiche sul tracciato asfaltato, sono state realizzate due piste di terra: una della lunghezza di 1,2 km destinata principalmente alle attività della Scuola Federale Rally (Figura 12) ed una specifica per i SUV. Nel settembre del 2006 sono stati costruiti nove box situati all'uscita della curva Roma, portando il totale a 24 unità [1]. Il 12 ottobre 2006, in occasione del centenario della nascita di Piero Taruffi, pilota, ingegnere e progettista del tracciato di Vallelunga, l'ACI decise di dedicargli l'Autodromo con una cerimonia presieduta dall'allora Presidente Franco Lucchesi [1]. Nel 2007 e nel 2008 l'autodromo ha ospitato una tappa del Campionato Mondiale Superbike: per questa occasione sono stati ampliati il rettilineo di partenza e la sala stampa, e sono state realizzate nuove tribune. Queste due edizioni, grazie alla presenza di campionissimi della specialità come Max Biaggi e Troy Bayliss, hanno fatto registrare un incredibile successo in termini di pubblico [5]. Negli ultimi anni, il Campionato Italiano Velocità (CIV) ha acquistato sempre più popolarità, diventando uno degli eventi più importanti che l'autodromo può offrire al pubblico. Questo campionato, la cui formula è stata rinnovata nel 2001, è suddiviso in quattro categorie principali: Superbike, Supersport, Superstock 600 e Moto3. Dal 2010 l'autodromo è alimentato da un impianto fotovoltaico che rende l'intero complesso energeticamente ad impatto zero: i pannelli, posizionati su una collina all'interno del circuito (Figura 13), sono in grado di produrre oltre 1,2 milioni di kWh in un anno, circa il 30% in più rispetto al consumo totale dell'autodromo. L'installazione dell'impianto fotovoltaico evita così l'emissione nell'atmosfera di 625 tonnellate di CO₂ su base annua [8].



Figura 12: Supercorso Federale Aci Csai 2013



Figura 13: impianto fotovoltaico di Vallelunga

L'Autodromo di Vallelunga intitolato a "Piero Taruffi" è ormai diventato un complesso polifunzionale dotato di uno straordinario impianto per la Guida Sicura e, grazie al nuovo Centro Congressi Vallelunga (Figura 14) realizzato nel 2010 [9], di strutture capaci di offrire svariate soluzioni per la ricettività congressuale, per iniziative promozionali, presentazioni ed eventi [1].

All'interno del complesso, oltre alle strutture legate alle attività sportive, è possibile visitare un importante sito archeologico con una strada romana in perfetto stato di conservazione (Figura 15): si tratta di un tratto di quasi 500 metri di un "diverticolo" romano, ovvero di una strada di raccordo che univa le strade consolari Cassia e Flaminia, caratterizzato dal suo inconfondibile lastricato e dalle opere di contenimento delle scarpate; inoltre, sono venute alla luce una piccola stazione di ristoro relativa alla strada, una villa rustica romana, un piccolo villaggio di età repubblicana e una necropoli di età ellenistica [1].



Figura 14: Centro Congressi Vallelunga



Figura 15: sito archeologico con strada romana

Capitolo 2: Sovrastruttura e stato delle pavimentazioni

2.1 Introduzione

L'Autodromo di Vallelunga "Piero Taruffi" è caratterizzato da una pavimentazione non omogenea, a causa dei ripetuti interventi sulla pista effettuati nel corso degli ultimi decenni. L'analisi dello stato della pavimentazione ha permesso di riconoscerne due diverse tipologie, ben distinguibili tra di loro, realizzate in periodi differenti.

Per comodità si è quindi diviso il circuito in cinque tratti (Figura 16), analizzando puntualmente, per ognuno di essi, le caratteristiche di ciascun tratto della sovrastruttura e le condizioni del tappeto d'usura.

Il tratto A-B, il cui tappeto d'usura è stato rifatto nel 2011, comprende l'ultima parte del rettilineo in corrispondenza dell'uscita dai box. Il tratto B-C, la cui pavimentazione risale al 1997, comprende il Curvone e i Cimini. I lavori di allungamento del circuito, effettuati tra il 2004 e il 2005, hanno portato alla realizzazione di una nuova parte di pista, costituita dalle curve Campagnano e Soratte, e il conseguente rifacimento del tratto compreso tra la curva Trincea e il Tornantino. Quest'ultimo tratto, denominato C-D, è affiancato dal rettilineo E-E' che in passato collegava l'uscita dei Cimini all'ingresso della Curva Trincea. Infine, il tratto D-A, la cui pavimentazione risale al 1997, comprende la curva Esse, la curva Roma e il rettilineo dei box, ricollegandosi al tratto A-B.



Figura 16: quadro generale del tracciato e divisione in tratti

2.2 Tratto A-B

Il tratto A-B, il cui tappeto d'usura è stato rifatto nel 2011, comprende l'ultima parte del rettilineo in corrispondenza dell'uscita dai box.

2.2.1 Caratteristiche della sovrastruttura

La sovrastruttura nel tratto A-B è costituita da uno strato di usura di spessore 4 cm, uno strato di binder di 7 cm ed uno di base di 9 cm. Questi primi tre strati sono stati realizzati con diverse tipologie di conglomerati bituminosi, a seconda della funzione che ciascuno di essi deve svolgere.

Il tappeto d'usura, costituito da una miscela di aggregati fini e bitume, è la parte superficiale della sovrastruttura stradale, con il compito di assorbire i carichi concentrati e trasmetterli agli strati sottostanti. La sua funzione, inoltre, è quella di resistere all'usura, al degrado causato da agenti chimico-fisici, alle dilatazioni termiche, garantendo l'impermeabilità ed una perfetta aderenza agli pneumatici dei veicoli. Per il tappeto di usura nel tratto A-B, il cui rifacimento risale al 2011, è stato quindi utilizzato un bitume modificato con SBS (stirene-butadiene-stirene), ovvero un polimero, generalmente sotto forma di scaglie, palline o polvere, che viene addizionato al bitume caldo, il quale penetra nelle molecole di SBS, gonfiandole e quindi fluidificandole. La modifica del bitume con l'aggiunta di questo polimero rende il prodotto più elastico e duraturo nel tempo, offrendo una maggiore stabilità alle alte e basse temperature. Il conglomerato bituminoso scelto ha una pezzatura di 0/12 mm e il 5,5% ÷ 6,5% di bitume modificato.

Lo strato di binder è costituito da una miscela di aggregati, con diametro maggiore rispetto a quelli dello strato di usura, e bitume. Il binder ha la funzione di trasferire i carichi verticali dallo strato superficiale allo strato di base sottostante, oltre a limitare le deformazioni permanenti della pavimentazione. Per lo strato di binder è stato quindi utilizzato un conglomerato bituminoso avente le seguenti caratteristiche: rigidità Marshall fra 300 e 450 kg/mm e stabilità Marshall > 1000 kg.

Lo strato di base, costituito da un conglomerato bituminoso a struttura aperta, ha funzione di supporto della pavimentazione e ha il compito di assorbire la maggior parte delle azioni flessionali causate dal passaggio dei veicoli. Per lo strato di base è stato quindi utilizzato un conglomerato bituminoso avente le seguenti caratteristiche: rigidità Marshall > 250 kg/mm e stabilità Marshall > 800 kg.

Il primo strato della sottostruttura stradale, di spessore 10 cm, è stato realizzato in scaglie di selce, mentre il secondo strato, di spessore variabile, è costituito da pezzame di tufo, ovvero una roccia abbastanza resistente, leggera e lavorabile, prodotto dell'antica attività del distretto vulcanico sabatino. Entrambi gli strati sono quindi composti da materiali sciolti provenienti da scavi pregressi, cave o alvei del territorio, adeguatamente compattati, mentre la granulometria è assortita. Gli spessori e le caratteristiche della pavimentazione sono stati ricavati a seguito di un carotaggio (Figura 17) effettuato in epoca recente.

2.2.2 Stato della pavimentazione

Il tappeto di usura nel tratto A-B è caratterizzato da giunti longitudinali in buono stato e film bituminoso integro. Inoltre, si nota una riflessione delle fessure trasversali con evidente corrispondenza con le preesistenti, i cui bordi non sono spallati. Per quanto riguarda le fessure longitudinali (Figura 18), non ci sono bordi apprezzabili. La tessitura è omogenea, senza la presenza di ravelling, ovvero il fenomeno che causa una perdita di aggregati dagli strati superficiali, o debonding, ovvero scollamenti di aderenza, con conseguenti microfratture nella pavimentazione.

2.3 Tratto B-C

Il tratto B-C, la cui pavimentazione risale al 1997, comprende il Curvone e i Cimini.

2.3.1 Caratteristiche della sovrastruttura

La sovrastruttura nel tratto B-C è costituita da uno strato di usura di spessore variabile dai 4 cm ai 4,5 cm, uno strato di binder variabile dai 6 cm agli 8 cm ed uno di base che varia dagli 8 cm ai 12,5 cm.



Figura 17: carotaggio tratto A-B



Figura 18: fessura longitudinale tratto A-B

Questi primi tre strati sono stati realizzati con diverse tipologie di conglomerati bituminosi, a seconda della funzione che ciascuno di essi deve svolgere.

Il tappeto d'usura, costituito da una miscela di aggregati fini e bitume, è la parte superficiale della sovrastruttura stradale, con il compito di assorbire i carichi concentrati e trasmetterli agli strati sottostanti. La sua funzione, inoltre, è quella di resistere all'usura, al degrado causato da agenti chimico-fisici, alle dilatazioni termiche, garantendo l'impermeabilità ed una perfetta aderenza agli pneumatici dei veicoli. Per il tappeto di usura nel tratto B-C, il cui rifacimento risale al 1997, è stato quindi utilizzato un conglomerato bituminoso confezionato con bitume Styrelf, le cui caratteristiche sono descritte nella seguente tabella:

| Specifiche tecniche | Unità di misura | Valori | Metodi di prova |
|-------------------------------|--------------------|------------|-----------------|
| Penetrazione a 25 °C | 0,1 mm | 40 - 65 | NF T 66004 |
| Infiammabilità | °C | 200 (mini) | IP 303 |
| Punto di rottura (FRAASS) | °C | -18 (maxi) | IP 80 |
| Punto di rammollimento | °C | 65 - 73 | NF T 66008 |
| Trazione a 20 °C - 500 mm/min | | | Pressa Instron |
| Sollecitazione alla soglia | 10 ⁵ Pa | 5 (maxi) | |
| Sollecitazione alla rottura | 10 ⁵ Pa | 0,7 (mini) | |
| Allungamento alla rottura | % | 900 (mini) | |
| Trazione a 5 °C - 500 mm/min | | | Pressa Instron |
| Sollecitazione alla soglia | 10 ⁵ Pa | 30 (maxi) | |
| Sollecitazione alla rottura | 10 ⁵ Pa | 4 (mini) | |
| Allungamento alla rottura | % | 400 (mini) | |

Figura 19: tabella caratteristiche Styrelf 15

Lo Styrelf 15 permette la realizzazione di manti d'usura speciali ad altissime prestazioni, drenanti, fonoassorbenti, anti-ormae ed anti-fessure.

Il conglomerato bituminoso chiuso con cui è stato realizzato il tappeto d'usura ha una pezzatura di 0/15 mm e il 5,5% ÷ 6,5% di bitume Styrelf riferito al peso totale degli aggregati, con volume dei vuoti residui non superiore al 5%. Questo conglomerato bituminoso, di tipo modificato, è inoltre costituito da graniglie e pietrischetti della prima categoria norme CNR, sabbia ed additivi, con l'aggiunta, dal 15% al 20% in peso, di pietrischetti m/m 10/15 e, dal 35% al 40% in peso, di graniglie m/m 5/10 di natura basaltica. Il manto d'usura, oltre a resistere bene agli sforzi di torsione e a quelli tangenziali, è stato studiato per non essere troppo rugoso, in modo da non rendere troppo rapida l'usura degli pneumatici dei veicoli da corsa.

Lo strato di binder è costituito da una miscela di aggregati, con diametro maggiore rispetto a quelli dello strato di usura, e bitume. Il binder ha la funzione di trasferire i carichi verticali dallo strato superficiale allo strato di base sottostante, oltre a limitare le deformazioni permanenti della pavimentazione. Per lo strato di binder è stato quindi utilizzato un conglomerato bituminoso avente le seguenti caratteristiche: rigidità Marshall fra 300 e 450 kg/mm e stabilità Marshall > 1000 kg.

Lo strato di base, costituito da un conglomerato bituminoso a struttura aperta, ha funzione di supporto della pavimentazione e ha il compito di assorbire la maggior parte delle azioni flessionali causate dal passaggio dei veicoli. Per lo strato di base è stato quindi utilizzato un conglomerato bituminoso avente le seguenti caratteristiche: rigidità Marshall > 250 kg/mm e stabilità Marshall > 800 kg.

Il primo strato della sottostruttura stradale, che varia dai 10 cm ai 20 cm, è stato realizzato in scaglie di selce, mentre il secondo strato, di spessore variabile, è costituito da pezzame di tufo, ovvero una roccia abbastanza resistente, leggera e lavorabile, prodotto dell'antica attività del distretto vulcanico sabatino. Entrambi gli strati sono quindi composti da materiali sciolti provenienti da scavi pregressi, cave o alvei del territorio, adeguatamente compattati, mentre la granulometria è assortita. Gli spessori e le caratteristiche della pavimentazione sono stati ricavati a seguito di carotaggi (Figura 20) e sondaggi (Figura 21) effettuati in epoca recente.

2.3.2 Stato della pavimentazione

Il tappeto di usura nel tratto B-C è caratterizzato da fessurazioni trasversali diffuse, probabilmente passanti, e fessurazioni longitudinali di giunto e intermedie (Figura 22). Si notano inoltre ramificazioni ed intersezioni di fessure a blocchi. Si segnala la presenza di una ragnatela di larga maglia localizzata in uscita alla prima variante moto e un giunto fessurato su tutto il tratto delle curve Cimini. Sono presenti interventi di sigillatura con boiaccia di cemento localizzati ed interventi di sigillatura a bitume diffusi (Figura 23). La tessitura è aperta, con bitume invecchiato e film esfoliato.



Figura 20: carotaggio tratto B-C



Figura 21: sondaggio tratto B-C



Figura 22: fessurazioni tratto B-C



Figura 23: intervento di sigillatura a bitume

2.4 Tratto C-D

Il tratto C-D, la cui pavimentazione risale al 2005, comprende il rettilineo in uscita dai Cimini, le curve Campagnano, Soratte, Trincea e Semaforo, terminando appena dopo la curva Tornantino.

2.4.1 Caratteristiche della sovrastruttura

La sovrastruttura nel tratto C-D è costituita da uno strato di usura di spessore 4 cm, uno strato di binder di 7 cm ed uno di base di 9 cm. Questi primi tre strati sono stati realizzati con diverse tipologie di conglomerati bituminosi, a seconda della funzione che ciascuno di essi deve svolgere.

Il tappeto d'usura, costituito da una miscela di aggregati fini e bitume, è la parte superficiale della sovrastruttura stradale, con il compito di assorbire i carichi concentrati e trasmetterli agli strati sottostanti. La sua funzione, inoltre, è quella di resistere all'usura, al degrado causato da agenti chimico-fisici, alle dilatazioni termiche, garantendo l'impermeabilità ed una perfetta aderenza agli pneumatici dei veicoli. Per il tappeto di usura nel tratto C-D, il cui rifacimento risale al 2005, è stato quindi utilizzato un bitume modificato con SBS (stirene-butadiene-stirene), ovvero un polimero, generalmente sotto forma di scaglie, palline o polvere, che viene addizionato al bitume caldo, il quale penetra nelle molecole di SBS, gonfiandole e quindi fluidificandole. La modifica del bitume con l'aggiunta di questo polimero rende il prodotto più elastico e duraturo nel tempo, offrendo una maggiore stabilità alle alte e basse temperature. Il conglomerato bituminoso scelto ha una pezzatura di 0/12 mm e il 5,5% ÷ 6,5% di bitume modificato.

Lo strato di binder è costituito da una miscela di aggregati, con diametro maggiore rispetto a quelli dello strato di usura, e bitume. Il binder ha la funzione di trasferire i carichi verticali dallo strato superficiale allo strato di base sottostante, oltre a limitare le deformazioni permanenti della pavimentazione. Per lo strato di binder è stato quindi utilizzato un conglomerato bituminoso avente le seguenti caratteristiche: rigidità Marshall fra 300 e 450 kg/mm e stabilità Marshall > 1000 kg.

Lo strato di base, costituito da un conglomerato bituminoso a struttura aperta, ha funzione di supporto della pavimentazione e ha il compito di assorbire la maggior parte delle azioni flessionali causate dal passaggio dei veicoli. Per lo strato di base è stato quindi utilizzato un conglomerato bituminoso avente le seguenti caratteristiche: rigidità Marshall > 250 kg/mm e stabilità Marshall > 800 kg.

Il primo strato della sottostruttura stradale, di spessore 35 cm, è stato realizzato in lapillo, ovvero un materiale non legato, proveniente da cava locale, di pezzatura 0/25 mm. Il secondo strato, di spessore variabile, è invece costituito da pezzame di tufo, ovvero una roccia abbastanza resistente, leggera e lavorabile, prodotto dell'antica attività del distretto vulcanico sabatino. Quest'ultimo strato è quindi composto da materiale sciolto proveniente da scavi pregressi, cave o alvei del territorio, adeguatamente compattato, con granulometria assortita.

Gli spessori e le caratteristiche della pavimentazione sono stati ricavati esaminando gli elaborati riguardanti i lavori di allungamento del circuito (Figura 24), effettuati tra il 2004 e il 2005.



Figura 24: lavori di allungamento del circuito

2.4.2 Stato della pavimentazione

Il tappeto di usura nel tratto C-D è caratterizzato da giunti longitudinali visibili (Figura 25), ma con bordo abbastanza integro. Non sono presenti fessure trasversali evidenti, mentre nelle curve sono visibili diffuse unghiate per caduta (Figura 26). La tessitura è omogenea chiusa, con film bituminoso integro, senza la presenza di ravelling, ovvero il fenomeno che causa una perdita di aggregati dagli strati superficiali, o debonding, ovvero scollamenti di aderenza, con conseguenti microfratture nella pavimentazione.

2.5 Tratto D-A

Il tratto D-A, la cui pavimentazione risale al 1997, comprende la curva Esse, la curva Roma e il rettilineo dei box.

2.5.1 Caratteristiche della sovrastruttura

La sovrastruttura nel tratto D-A è costituita da uno strato di usura di spessore 4 cm, uno strato di binder variabile dai 5 cm ai 7 cm ed uno di base che varia dai 7 cm ai 9 cm. Questi primi tre strati sono stati realizzati con diverse tipologie di conglomerati bituminosi, a seconda della funzione che ciascuno di essi deve svolgere.

Il tappeto d'usura, costituito da una miscela di aggregati fini e bitume, è la parte superficiale della sovrastruttura stradale, con il compito di assorbire i carichi concentrati e trasmetterli agli strati sottostanti. La sua funzione, inoltre, è quella di resistere all'usura, al degrado causato da agenti chimico-fisici, alle dilatazioni termiche, garantendo l'impermeabilità ed una perfetta aderenza agli pneumatici dei veicoli.



Figura 25: giunti longitudinali tratto C-D

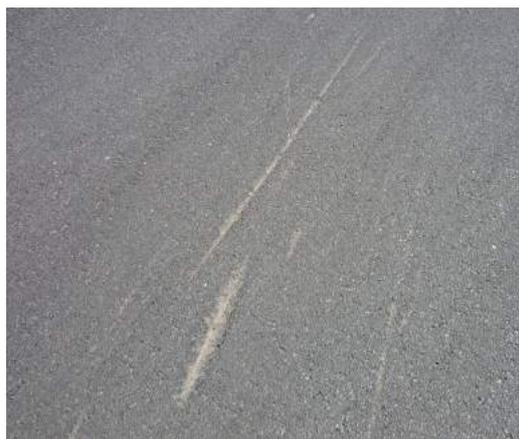


Figura 26: unghiate per caduta tratto C-D

Per il tappeto di usura nel tratto D-A, il cui rifacimento risale al 1997, è stato quindi utilizzato un conglomerato bituminoso confezionato con bitume Styrelf, le cui caratteristiche sono descritte nella seguente tabella:

| Specifiche tecniche | Unità di misura | Valori | Metodi di prova |
|-------------------------------|--------------------|------------|-----------------|
| Penetrazione a 25 °C | 0,1 mm | 40 - 65 | NF T 66004 |
| Infiammabilità | °C | 200 (mini) | IP 303 |
| Punto di rottura (FRAASS) | °C | -18 (maxi) | IP 80 |
| Punto di rammollimento | °C | 65 - 73 | NF T 66008 |
| Trazione a 20 °C - 500 mm/min | | | Pressa Instron |
| Sollecitazione alla soglia | 10 ⁵ Pa | 5 (maxi) | |
| Sollecitazione alla rottura | 10 ⁵ Pa | 0,7 (mini) | |
| Allungamento alla rottura | % | 900 (mini) | |
| Trazione a 5 °C - 500 mm/min | | | Pressa Instron |
| Sollecitazione alla soglia | 10 ⁵ Pa | 30 (maxi) | |
| Sollecitazione alla rottura | 10 ⁵ Pa | 4 (mini) | |
| Allungamento alla rottura | % | 400 (mini) | |

Figura 27: tabella caratteristiche Styrelf 15

Lo Styrelf 15 permette la realizzazione di manti d'usura speciali ad altissime prestazioni, drenanti, fonoassorbenti, anti-ormae ed anti-fessure.

Il conglomerato bituminoso chiuso con cui è stato realizzato il tappeto d'usura ha una pezzatura di 0/15 mm e il 5,5% ÷ 6,5% di bitume Styrelf riferito al peso totale degli aggregati, con volume dei vuoti residui non superiore al 5%. Questo conglomerato bituminoso, di tipo modificato, è inoltre costituito da graniglie e pietrischetti della prima categoria norme CNR, sabbia ed additivi, con l'aggiunta, dal 15% al 20% in peso, di pietrischetti m/m 10/15 e, dal 35% al 40% in peso, di graniglie m/m 5/10 di natura basaltica. Il manto d'usura, oltre a resistere bene agli sforzi di torsione e a quelli tangenziali, è stato studiato per non essere troppo rugoso, in modo da non rendere troppo rapida l'usura degli pneumatici dei veicoli da corsa.

Lo strato di binder è costituito da una miscela di aggregati, con diametro maggiore rispetto a quelli dello strato di usura, e bitume. Il binder ha la funzione di trasferire i carichi verticali dallo strato superficiale allo strato di base sottostante, oltre a limitare le deformazioni permanenti della pavimentazione. Per lo strato di binder è stato quindi utilizzato un conglomerato bituminoso avente le seguenti caratteristiche: rigidità Marshall fra 300 e 450 kg/mm e stabilità Marshall > 1000 kg.

Lo strato di base, costituito da un conglomerato bituminoso a struttura aperta, ha funzione di supporto della pavimentazione e ha il compito di assorbire la maggior parte delle azioni flessionali causate dal passaggio dei veicoli. Per lo strato di base è stato quindi utilizzato un conglomerato bituminoso avente le seguenti caratteristiche: rigidità Marshall > 250 kg/mm e stabilità Marshall > 800 kg.

Il primo strato della sottostruttura stradale, di spessore 10 cm, è stato realizzato in scaglie di selce, mentre il secondo strato, di spessore variabile, è costituito da pezzame di tufo, ovvero una roccia abbastanza resistente, leggera e lavorabile, prodotto dell'antica attività del distretto vulcanico sabatino. Entrambi gli strati sono quindi composti da materiali sciolti provenienti da scavi pregressi, cave o alvei del territorio, adeguatamente compattati, mentre la granulometria è assortita. Gli spessori e le caratteristiche della pavimentazione sono stati ricavati a seguito di carotaggi (Figura 28) effettuati in epoca recente.

2.5.2 Stato della pavimentazione

Il tappeto di usura nel tratto D-A è caratterizzato dalla presenza di alcuni interventi di sigillatura con emulsione bituminosa e sabbia (Figura 29), nei quali i punti sigillati sono abbastanza integri. Sono presenti alcune unghiate, oltre a zone particolarmente gommate, in corrispondenza della curva Roma e del rettilineo di partenza. La tessitura è aperta, con bitume invecchiato e film esfoliato.



Figura 28: carotaggio tratto D-A



Figura 29: interventi di sigillatura a bitume

Capitolo 3: Progetto della sovrastruttura

3.1 Introduzione

Il progetto della sovrastruttura consiste nel determinare un pacchetto stradale altamente prestazionale, idoneo ad un circuito automobilistico, in sostituzione di quello esistente. La nuova pavimentazione dovrà rispettare una serie di requisiti, che verranno puntualmente controllati e verificati al termine del progetto, oltre a dover essere il più possibile omogenea a quella presente nel resto del circuito. Infatti, non tutta la pista sarà oggetto di intervento, ma solamente due tratti la cui pavimentazione risale al 1997 (Figura 30): il primo, che chiameremo Lotto 1 (tratto B-C) comprende il Curvone e termina in uscita dai Cimini, mentre il secondo, denominato Lotto 2 (Tratto D-A) va dalla curva Esse al rettilineo dei box. L'intervento nel tratto B-C consiste nella scarifica dei primi 10 cm di pavimentazione, che comprendono tappeto di usura e binder, nel conseguente riciclo a freddo con emulsione bituminosa dello strato di base e nella posa del binder e del nuovo tappeto di usura, che verranno adeguatamente compattati. L'intervento nel tratto D-A consiste nella scarifica dei primi 4 cm del tappeto di usura e nella conseguente posa del nuovo manto viabile in conglomerato bituminoso modificato, adeguatamente compattato. Gli interventi verranno effettuati tenendo conto dell'impatto ambientale, grazie alla tecnica del riciclo a freddo per quanto riguarda lo strato di base, mentre gli asfalti fresati per i primi centimetri delle pavimentazioni verranno riutilizzati all'interno del circuito.



Figura 30: quadro generale del tracciato, divisione in tratti ed individuazione dei lotti di intervento

3.2 Lotto 1

Il Lotto 1 (tratto B-C), la cui pavimentazione risale al 1997, comprende il Curvone e termina in uscita dai Cimini, appena prima del nuovo tratto realizzato nel 2005. L'intervento consiste nella scarifica dei primi 10 cm di pavimentazione, che comprendono tappeto di usura e binder, nel conseguente riciclo a freddo con emulsione bituminosa dello strato di base e nella posa del binder e del nuovo tappeto di usura, che verranno adeguatamente compattati.

3.2.1 Materiali utilizzati nella nuova pavimentazione

3.2.1.1 Tappeto di usura

Per il tappeto di usura viene utilizzato lo Stone Mastic Asphalt 0/10, ovvero un conglomerato bituminoso che garantisce un'ottima resistenza alle deformazioni permanenti ed è costituito da materiali durevoli nel tempo. Esso ha un alto contenuto di aggregato grossolano tale da formare uno scheletro litico resistente. Lo scheletro litico viene riempito con un mastice di bitume e filler, le cui fibre forniscono un'adeguata stabilità al bitume ed evitano il drenaggio del legante durante il trasporto e la posa. Precisamente, la composizione tipica dello Stone Mastic Asphalt prevede: 70–80% di aggregato grossolano, 8–12% di filler, 6–7% di legante e 0,3% di fibre. Le proprietà di questo materiale, con caratteristiche meccaniche superiori ai conglomerati tradizionali, lo rendono più durevole ed economico rispetto alla pavimentazione drenante. Lo Stone Mastic Asphalt 0/10 è caratterizzato da una ridotta percentuale di vuoti, da una bassa presenza di sabbia, compensata da un'elevata percentuale di filler e fibre. Vengono impiegati bitumi modificati e pezzature grosse degli aggregati. L'aggregato grossolano è composto da frammenti di roccia naturale dura, esenti da polveri, argille o materiali vegetali. Le sue caratteristiche sono definite dalla seguente tabella:

| | |
|---|------|
| Resistenza alla levigabilità (PSV) - UNI EN 1097-8 | ≥ 60 |
| Resistenza alla frammentazione (LA) - UNI EN 1097-2 | ≤ 20 |
| Assorbimento di acqua (%WA) - UNI EN 1097-6 | ≤ 1 |
| Contenuto di polvere (%m) - <0,063 mm | ≤ 1 |
| Adesività al bitume - ASTM D1664 | ≥ 95 |
| Indice di appiattimento (%m) - UNI EN 933-3 | ≤ 15 |

Figura 31: tabella caratteristiche aggregato grossolano

L'aggregato fine (< 2,0 mm) è invece ottenuto selezionandolo dai frammenti di altri aggregati. Non può essere costituito da materie plastiche e deve essere controllato in modo tale da evitare la presenza di argilla, terriccio o altro materiale organico. L'aggregato fine deve quindi essere lavato o essiccato per diminuire il contenuto di polveri. Le sue caratteristiche sono definite dalla seguente tabella:

| | |
|--|------|
| Resistenza alla levigabilità (PSV) - UNI EN 1097-8 | ≥ 60 |
| Assorbimento di acqua (%WA) - UNI EN 1097-6 | ≤ 1 |
| Contenuto di polvere (%m) - <0,063 mm | ≤ 5 |
| Equivalente in sabbia (SE) - UNI EN 933-8 | ≥ 75 |

Figura 32: tabella caratteristiche aggregato fine

Il filler è costituito da calcare polverizzato e calcare idrato (1,5%m assoluto). Il calcare polverizzato deve contenere almeno il 90%m di carbonato di calcio. Le sue caratteristiche sono definite dalla seguente tabella:

| | |
|--------------------------|--------|
| Solubilità in acqua (%m) | ≤ 10 |
| <0,063 mm (%m) | ≥ 70 |
| 0,063 mm - 0,125 mm (%m) | 85-100 |
| <2 mm (%m) | 100 |

Figura 33: tabella caratteristiche filler

Il bitume utilizzato viene modificato aggiungendo materiali polimerici (Stirene-Butadiene-Stirene ≥ 2,5%m), rendendo il prodotto più elastico a basse temperature e più resistente alle deformazioni alle alte temperature. Il bitume modificato garantisce una maggiore adesività tra bitume e aggregato, oltre che un incremento della resistenza all'ormaiamento ed un minor invecchiamento. Le sue caratteristiche sono definite dalla seguente tabella:

| | |
|--------------------------------------|-------|
| Penetrazione (pen) - UNI EN 1426 | 30/60 |
| Punto di rammollimento - UNI EN 1427 | 66-71 |
| Duttilità - DIN 52013 | ≥ 40 |
| Ritorno elastico - UNI EN 13398 | ≥ 50 |

Figura 34: tabella caratteristiche bitume

Queste caratteristiche garantiscono quindi un'elevata aderenza in presenza di acqua, una buona impermeabilizzazione della struttura e una significativa riduzione del rumore. Alcune delle proprietà dello Stone Mastic Asphalt 0/10 sono riassunte nella seguente tabella:

| Proprietà | Stone Mastic Asphalt 0/10 |
|--|---------------------------|
| Diametro setaccio (mm) | Passante cumulativo (%) |
| 20 | 100 |
| 16 | 100 |
| 14 | 100 |
| 12 | 100 |
| 10 | 90-100 |
| 8 | 50-65 |
| 6 | 35-45 |
| 2 | 20-30 |
| 0,063 | 8-12 |
| Contenuto di legante (%m) | ≥ 6,6 |
| Fibre (%m) | 0,5-1,0 |
| Percentuale dei vuoti (%v) - Prova Marshall (50 colpi) | 3,0-3,5 |
| Grado di riempimento dei vuoti VFB (%) - Prova Marshall (50 colpi) | 75-82 |
| Stabilità (kN) - Prova Marshall (50 colpi) | ≥ 12 |
| Scorrimento (mm) - Prova Marshall (50 colpi) | 2-4 |
| Profondità della tessitura (mm) | 1 ± 0,22 |

Figura 35: tabella riassuntiva proprietà Stone Mastic Asphalt 0/10

Il fuso granulometrico del conglomerato bituminoso di usura è il seguente:

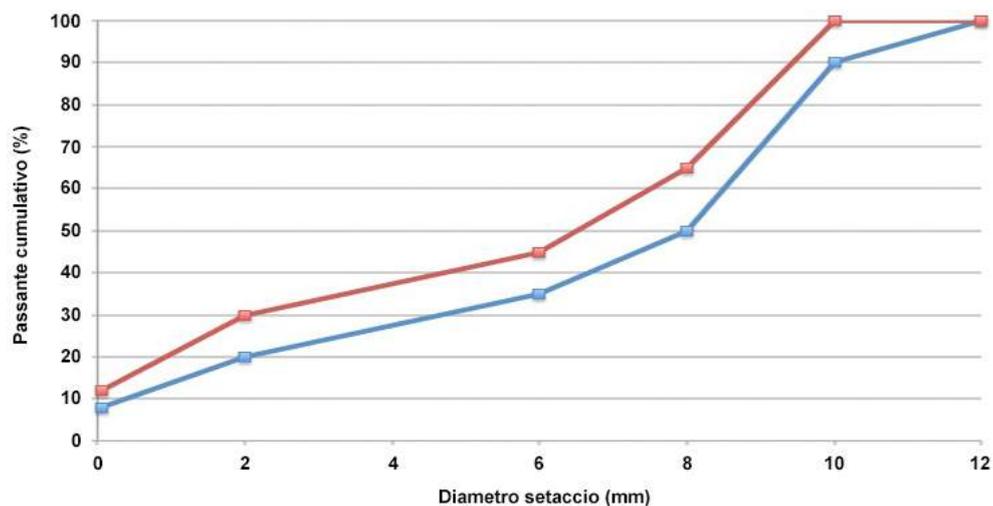


Figura 36: fuso granulometrico Stone Mastic Asphalt 0/10

3.2.1.2 Conglomerato Bituminoso Binder

Lo strato di collegamento (binder) ha la funzione di collegare lo strato di usura a quello di base, trasmettendo l'azione verticale dei carichi, senza deformazioni permanenti. Il binder a caldo con bitume modificato è un conglomerato bituminoso costituito da aggregati lapidei di primo impiego, conglomerato di recupero (fresato), bitume modificato con polimeri e additivi. La mano d'attacco può essere realizzata con emulsione di bitume modificato, spruzzata con apposita spanditrice. Alcune delle proprietà del conglomerato bituminoso binder sono riassunte nella seguente tabella:

| Proprietà | Conglomerato Bituminoso Binder |
|---|--------------------------------|
| Diametro setaccio (mm) | Passante cumulativo (%) |
| 32 | 100 |
| 20 | 90-100 |
| 10 | 56-68 |
| 4 | 37-48 |
| 2 | 23-33 |
| 0,5 | 11-17 |
| 0,25 | 6-12 |
| 0,063 | 4-7 |
| Stabilità (kN) - Prova Marshall (75 colpi) | 10 |
| Rigidezza (kN/mm) - Prova Marshall (75 colpi) | 3,0-4,5 |
| Vuoti residui (%) - Prova Marshall (75 colpi) | 3,0-6,0 |

Figura 37: tabella riassuntiva proprietà conglomerato bituminoso binder

Il fuso granulometrico del conglomerato bituminoso di usura è il seguente:

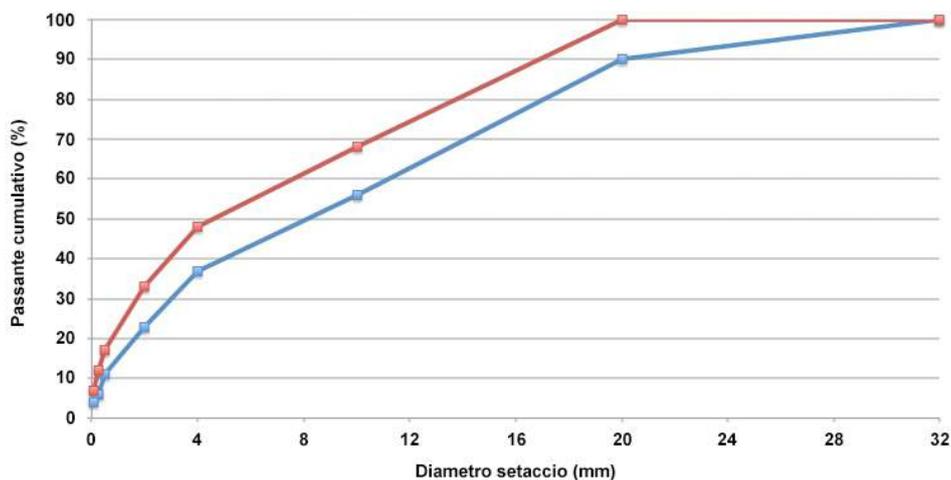


Figura 38: fuso granulometrico conglomerato bituminoso binder

3.2.1.3 Conglomerato Bituminoso di Base Riciclato a Freddo

Lo strato di base ha il compito di resistere ai carichi verticali ripartendoli sugli strati sottostanti con funzione portante. Il conglomerato bituminoso riciclato a freddo si ottiene miscelando il materiale fresato, eventualmente integrato con aggregati vergini (15-20%) per la correzione della curva granulometrica, con emulsione bituminosa e cemento. Il legante finale è costituito dal bitume presente nel conglomerato riciclato, integrato con quello proveniente dall'emulsione, mentre il cemento è da considerarsi come un additivo catalizzatore di processo, importante per regolare i tempi di rottura dell'emulsione. Si utilizza cemento Portland, d'altoforno o pozzolanico (tipo I, III o IV) con classe di resistenza 325. L'acqua impiegata deve essere pura e priva di sostanze organiche.

Il confezionamento delle miscele avviene direttamente in situ tramite un treno di macchine composto da riciclatrice, botte dell'acqua e botte dell'emulsione (Figura 39). Precedentemente avverrà la stesa del cemento con spanditori di legante equipaggiati con sistema di proporzionamento elettronico e distribuzione tale da assicurare omogeneità al variare della consistenza, conformazione dell'asfalto e velocità di stesa. L'impasto sarà poi livellato con l'impiego di un'apposita macchina livellatrice. La miscela stesa deve essere immediatamente compattata mediante l'impiego di un rullo vibrante metallico di peso maggiore di 20 ton con controllo di frequenza e di ampiezza di vibrazione e di un rullo gommato di carico statico maggiore di 20 ton (Figura 40). Il riciclaggio a freddo deve essere momentaneamente sospeso con temperatura dell'aria inferiore ai 5°C o quando le condizioni meteorologiche generali possono pregiudicare la perfetta riuscita del lavoro.



Figura 39: riciclatrice, botte acqua ed emulsione



Figura 40: compattatori

Il riciclaggio in sito offre diversi vantaggi ambientali, come per esempio la riduzione del materiale di rifiuto, soprattutto fresato di asfalto, e conseguente mancato conferimento a discarica. Questa tecnica permette anche una drastica diminuzione dei trasporti, che sono limitati alla sola fornitura di aggregati di correzione e leganti, con conseguente riduzione dell'inquinamento, del rumore e del traffico stradale, oltre ad una riduzione del consumo energetico data dal mancato riscaldamento dei materiali. Inoltre, per quanto riguarda i vantaggi economici, si ha una riduzione dei costi come conseguenza del risparmio energetico, del riutilizzo del materiale fresato e della diminuzione dei trasporti. Il riciclaggio in sito, dal punto di vista tecnico, permette di ottenere una base bituminosa con prestazioni equivalenti ad una base a caldo. Alcune delle proprietà del conglomerato bituminoso di base riciclato a freddo sono riassunte nella seguente tabella:

| Parametro | Valori |
|---|---------------|
| Contenuto di acqua (%) - CNR 101/84 | 40 ±1 |
| Contenuto di legante (%) - CNR 100/84 | 60 ±1 |
| Contenuto di bitume (%) - CNR 100/84 | > 59 |
| Contenuto flussante (%) - CNR 100/84 | 0 |
| Demulsività - ASTM D244 | 0-40 |
| Omogeneità (%) - ASTM D244 | < 0,2 |
| Viscosità Engler a 20 °C (°E) - CNR 102/84 | 5-10 |
| Sedimentazione a 5 g (%) - CNR 124/88 | < 10 |
| PH (grado di acidità) | 2-4 |
| Indice di rottura - NF-T 66-017 | > 140 |
| Residuo bituminoso | |
| Penetrazione a 25 °C (Dmm) - CNR 24/71 | 50-70 |
| Punto di rammollimento (°C) - CNR 35/73 | > 60 |
| Punto di rottura (Frass) (°C) - CNR 43/74 | < -13 |
| Ritorno elastico a 25 °C (%) - UNI EN 13398 | ≥ 50 |

Figura 41: tabella riassuntiva proprietà conglomerato bituminoso di base

3.2.2 Lavorazioni e Macchinari

La prima fase di lavorazione prevede la scarifica dei primi 10 cm di pavimentazione che comprendono lo strato di binder e il tappeto d'usura esistente. Il materiale fresato dalla scarificatrice viene raccolto in un autocarro che precede il macchinario, come mostrato nella seguente immagine:

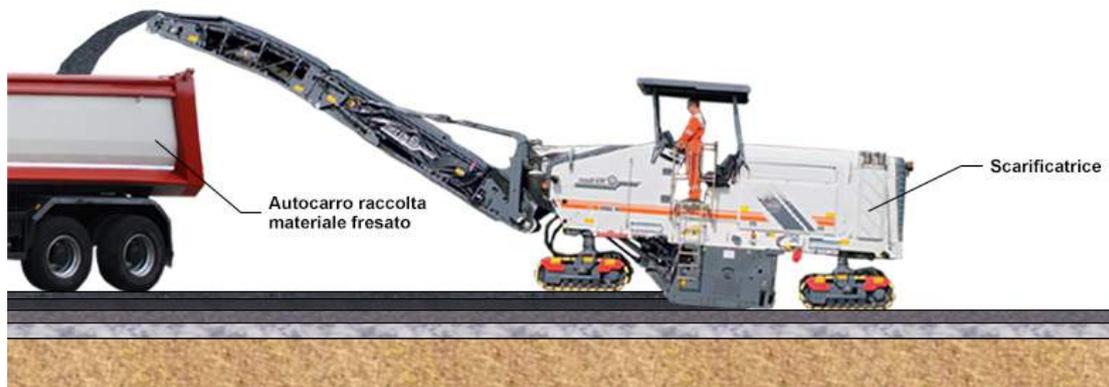


Figura 42: scarifica e raccolta del materiale fresato

Viene poi effettuata la stesa del cemento con spanditori di legante equipaggiati con sistema di proporzionamento elettronico e distribuzione tale da assicurare omogeneità al variare della consistenza, conformazione dell'asfalto e velocità di stesa. In seguito si procederà al riciclaggio a freddo tramite un treno di macchine composto da riciclatrice, botte dell'acqua e botte dell'emulsione, come nella seguente immagine:

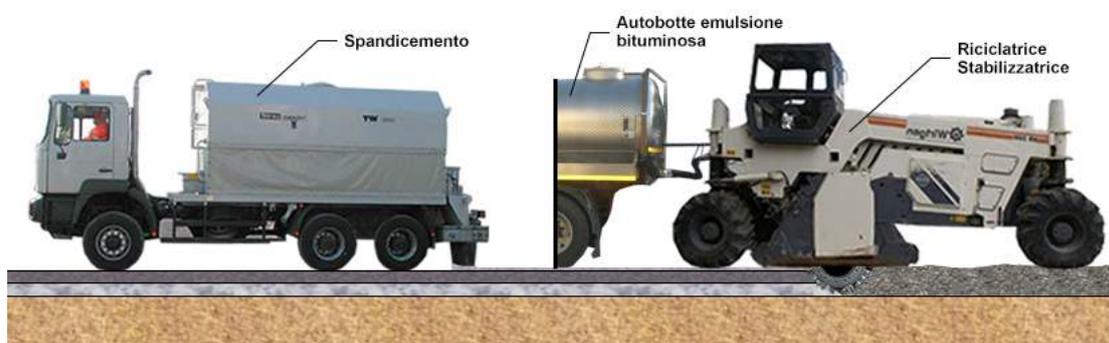


Figura 43: posa del cemento e riciclaggio a freddo con emulsione bituminosa

Si procede con il livellamento del conglomerato bituminoso di base riciclato a freddo, utilizzando un motograder e se ne effettua la compattazione tramite un compattatore ferro-gomma. Viene poi stesa una mano di ancoraggio-protezione in emulsione bituminosa con spruzzatrice, terminando questa fase di lavorazione con la posa di 6 cm di binder con vibrofinitrice.

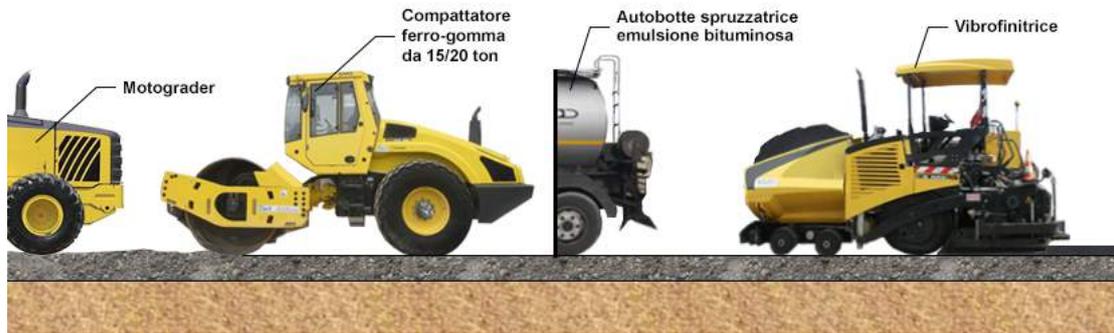


Figura 44: compattazione del conglomerato bituminoso di base riciclato e posa del binder

Si compatta lo strato di binder con compattatore ferro-ferro e si procede con la posa di 4 cm di tappeto d'usura con vibrofinitrice. Quest'ultimo strato viene poi compattato con compattatore ferro-ferro e compattatore gommato, come nella seguente figura:

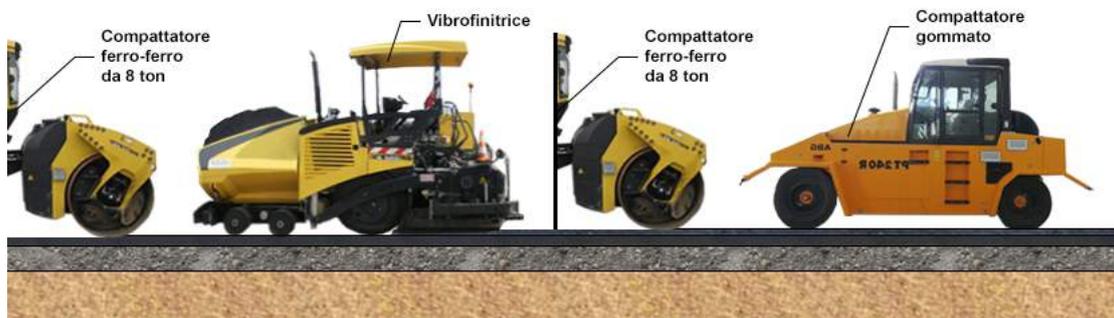


Figura 45: compattazione del binder, posa del tappeto di usura e conseguente compattazione

3.2.3 Progetto della sovrastruttura con software ALIZE-LCPC

Il progetto del nuovo pacchetto viene redatto utilizzando ALIZE - LCPC, ovvero un software per l'analisi e la progettazione di pavimentazioni, utilizzato sia per la realizzazione di nuove sovrastrutture sia per interventi di riqualificazione. ALIZE - LCPC implementa il metodo razionale utilizzato per la progettazione meccanica delle sovrastrutture, sviluppato da IFSTTAR (ex LCPC) e Setra, ovvero le autorità francesi per strade e ponti. Questo software propone agli ingegneri una piattaforma aperta dove ogni parametro (carico, traffico, materiali) può essere facilmente regolato in base alle regole di progettazione locali. ALIZE - LCPC fornisce le tensioni e le deformazioni delle fibre superiori ed inferiori per ciascun strato della pavimentazione, offrendo un riepilogo attraverso tabelle e grafici 2D o 3D. In particolare, ci permette di definire la struttura stradale e la relativa soluzione iniziale, calcolando i valori ammissibili e la conseguente risposta strutturale sotto carico. La verifica dei risultati ottenuti per ogni strato determina l'accettazione o il rifiuto della soluzione.

3.2.3.1 Inserimento dei dati e condizioni di carico

La prima fase di progetto consiste nell'inserimento dei materiali presenti nei vari strati della pavimentazione, indicando le relative caratteristiche fisiche e gli spessori. Inoltre, bisogna specificare che gli strati sono perfettamente collegati tra di loro, selezionando la proprietà "bonded".

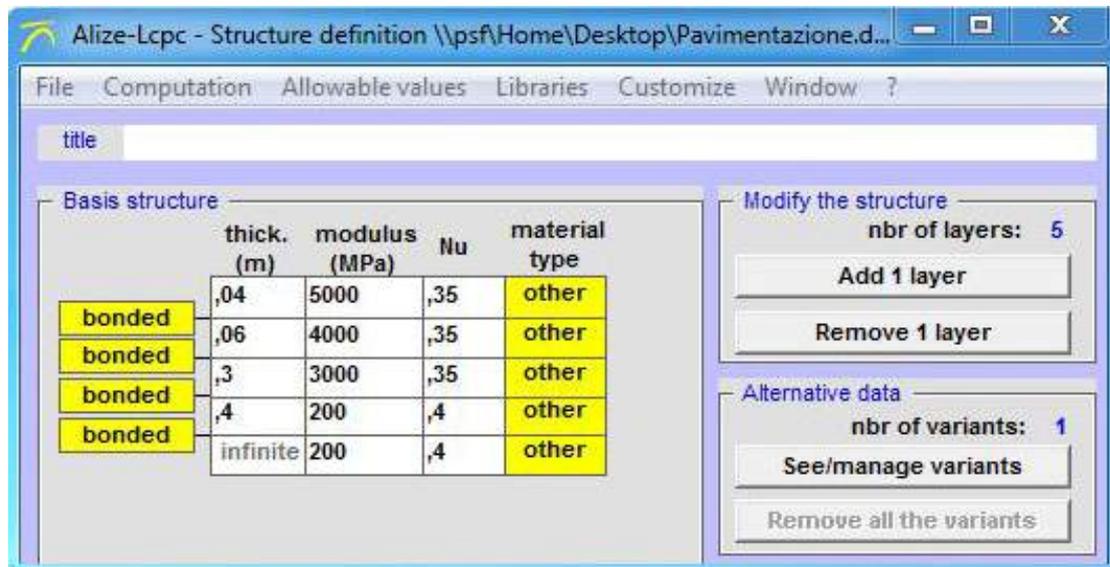


Figura 46: inserimento dei dati relativi ai materiali nell'apposita form

In seguito, si definisce la condizione di carico: in questo caso si sceglie la French Standard Dual-Wheel, caratterizzata da un'impronta delle ruote sulla pavimentazione di raggio 0,125 m, da un peso applicato di 0,0325 MN e una pressione di 0,662 MPa. La distanza tra gli assi delle due ruote gemellate è pari a 0,375 m.

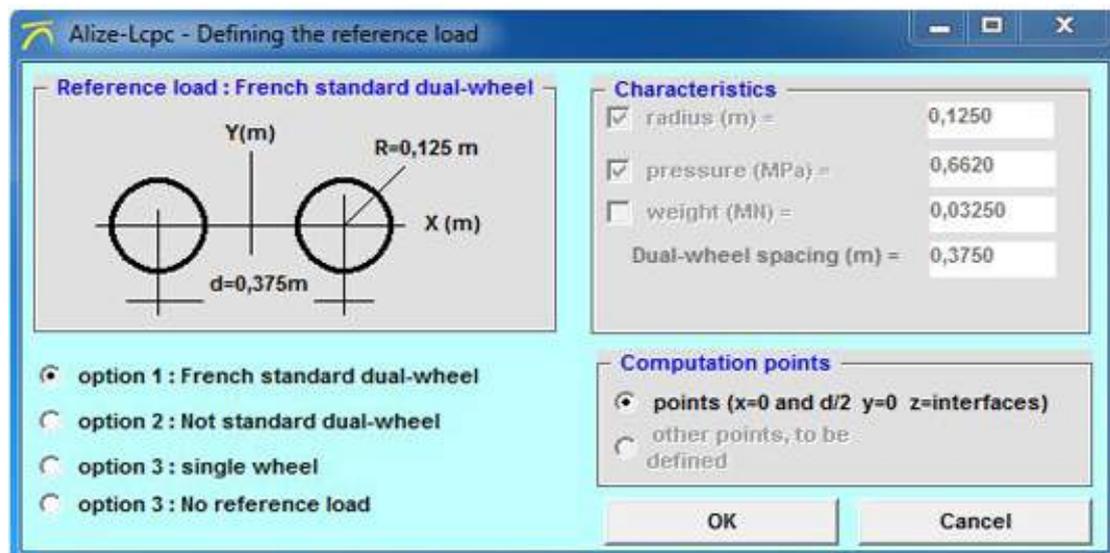


Figura 47: definizione della condizione di carico e dei relativi parametri

Si specificano poi i punti di controllo in corrispondenza dei quali si registrano le tensioni e le deformazioni. L'opzione "Dual-Wheel Axis" consente di valutare i risultati in corrispondenza dell'asse passante tra le due ruote gemellate, mentre invece, selezionando "Wheel Axis" si valutano le tensioni e le deformazioni nei punti di contatto tra le singole gomme e la pavimentazione.

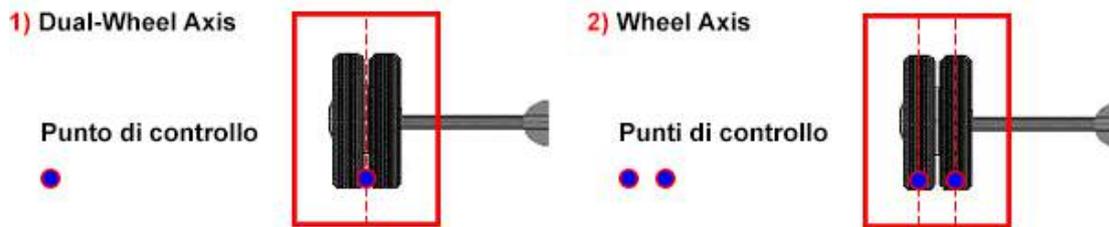


Figura 48: punti di controllo

3.2.3.2 Risultati e tabelle

Si considera quindi la deflessione superficiale, le tensioni σ_x e σ_y presenti nello strato di binder inferiore, ovvero quello a contatto con lo strato di base, e ϵ_z nel sottofondo.

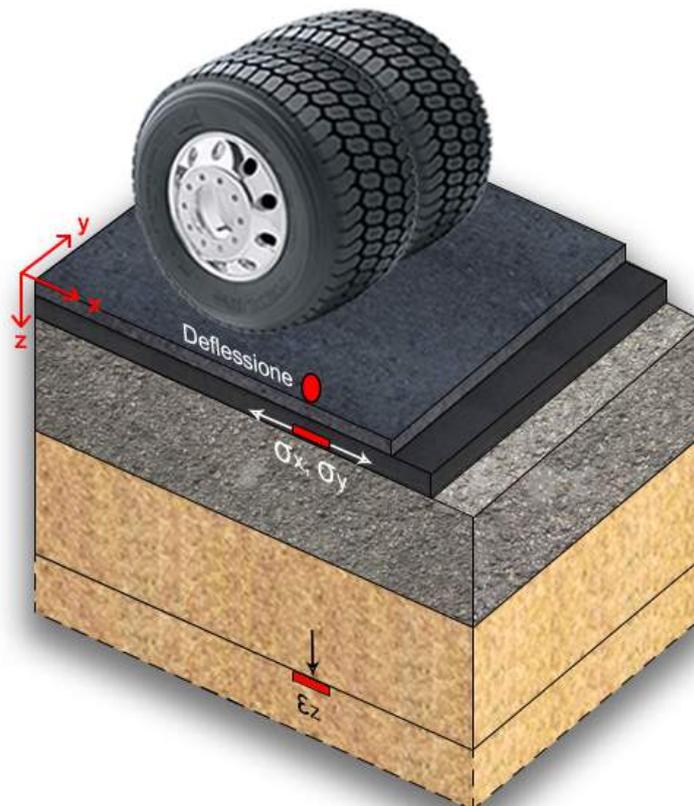


Figura 49: punti in cui calcolo la deflessione, le tensioni e la deformazione

Il software ALIZE - LCPC, una volta definite le condizioni di carico, produce una serie di tabelle contenenti i risultati. La seguente tabella mostra le deformazioni e la deflessione in modalità “Dual-Wheel Axis”:

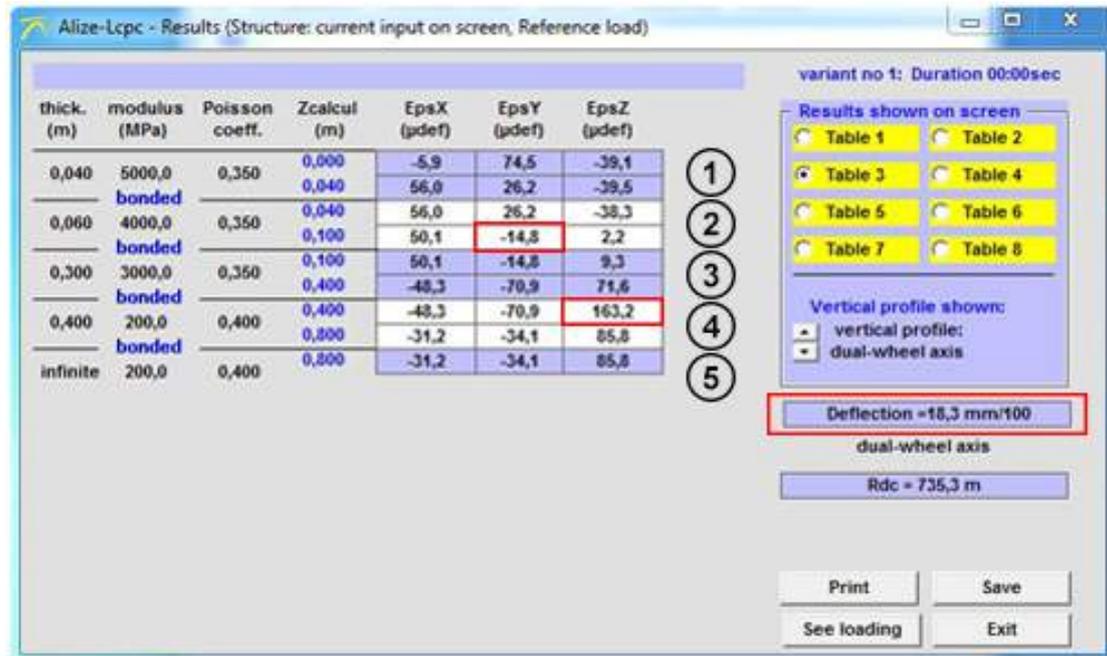


Figura 50: deflessione e deformazioni in modalità “Dual-Wheel Axis”

Si considerano i seguenti valori:

$$\epsilon_y = -14,8 \mu\text{def}; \epsilon_z = 163,2 \mu\text{def}; \text{Deflessione} = 18,3 \text{ mm}/100.$$

Questa tabella mostra le tensioni in modalità “Dual-Wheel Axis”:

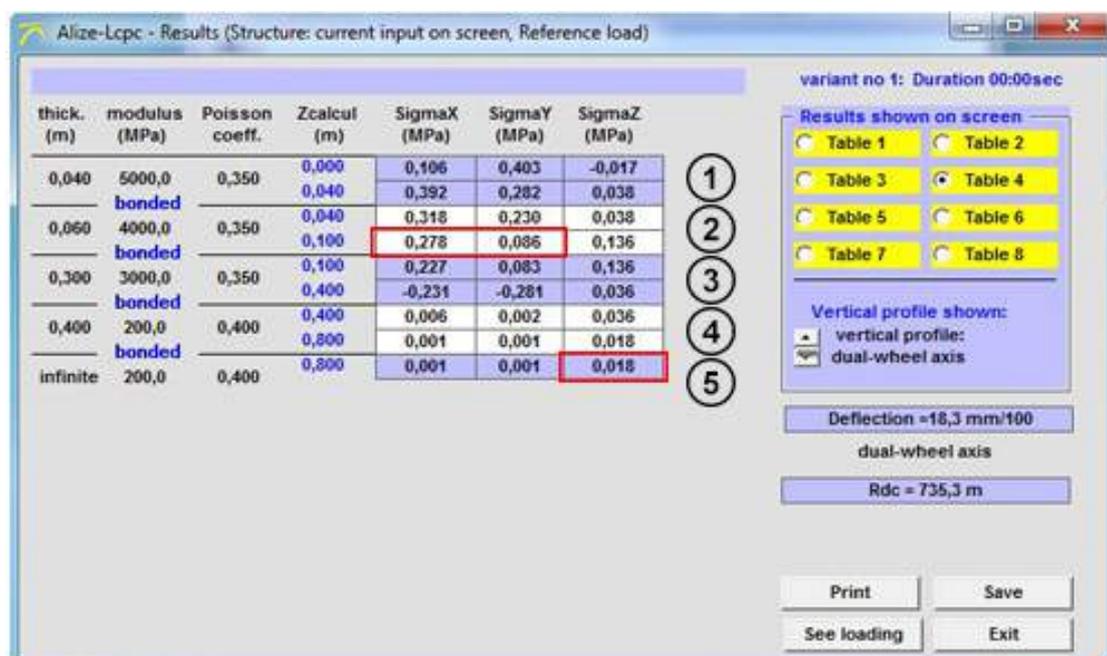


Figura 51: tensioni in modalità “Dual-Wheel Axis”

Si considerano i seguenti valori:

$$\sigma_x = 0,278 \text{ MPa}; \sigma_y = 0,086 \text{ MPa}; \sigma_z = 0,018 \text{ MPa}$$

Questa tabella mostra le deformazioni e la deflessione in modalità “Wheel Axis”:

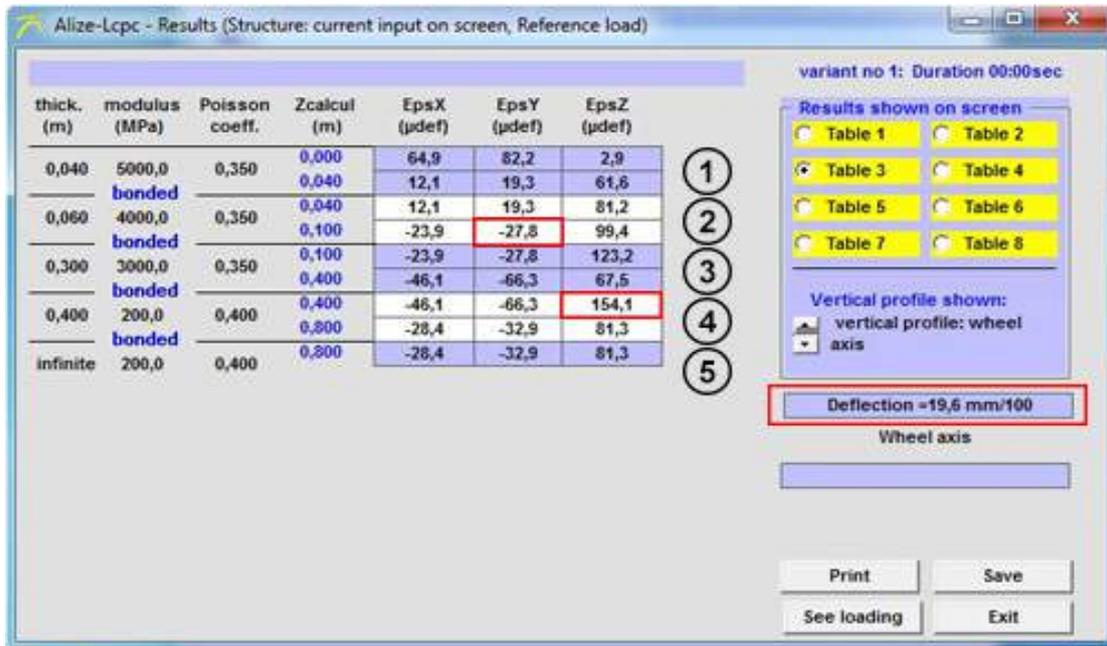


Figura 52: deflessione e deformazioni in modalità “Wheel Axis”

Si considerano i seguenti valori:

$$\epsilon_y = -27,8 \text{ µdef}; \epsilon_z = 154,1 \text{ µdef}; \text{Deflessione} = 19,6 \text{ mm/100.}$$

Questa tabella mostra le tensioni in modalità “Wheel Axis”:

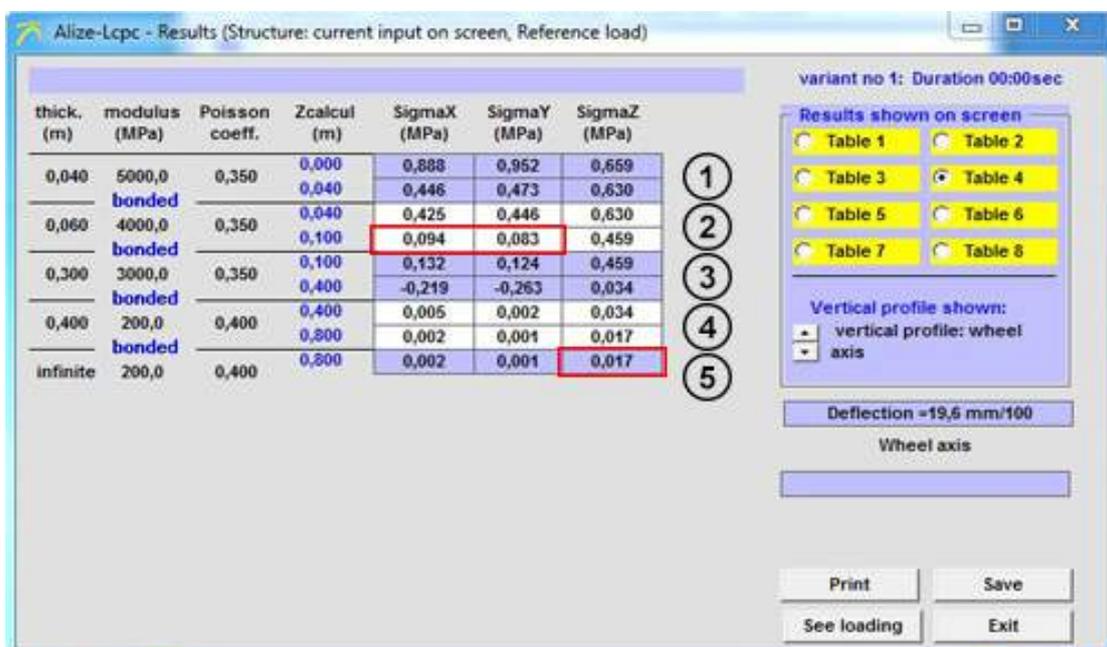


Figura 53: tensioni in modalità “Wheel Axis”

Si considerano i seguenti valori:

$$\sigma_x = 0,094 \text{ MPa}; \sigma_y = 0,083 \text{ MPa}; \sigma_z = 0,017 \text{ MPa}$$

3.2.3.3 Verifiche

Per le verifiche a fatica nel lembo inferiore del pacchetto degli strati bituminosi si assume la legge proposta da Verstraeten:

$$\epsilon_y = 47,4 \cdot 10^{-4} \cdot N^{-0,234}$$

dove ϵ_y è la deformazione unitaria orizzontale alla rottura per trazione, mentre N è il numero di applicazioni di carico espresso in assi da 120 kN.

Inserendo nella formula il valore di $\epsilon_y = -27,8 \mu\text{def}$ indicato nelle tabelle, si calcola $N = 3,45 \cdot 10^9$.

Al fine comunque di avere una soddisfacente resistenza a fatica, le stesse deformazioni unitarie di trazione debbono risultare tali per cui:

$$\epsilon_y < 300 \mu\text{def}$$

La condizione risulta verificata dato che $\epsilon_y = -27,8 \mu\text{def} < 300 \mu\text{def}$

I valori delle sigma di trazione alla base degli strati bituminosi, devono essere inferiori a 1 MPa per i conglomerati tradizionali e 0,7 MPa per la base riciclata.

I valori ottenuti sono: $\sigma_x = 0,278 \text{ MPa}$ e $\sigma_y = 0,086 \text{ MPa}$.

La condizione è quindi soddisfatta, dato che non si verificano trazioni.

É dunque possibile calcolare il numero di ripetizioni di carico ammissibili per limitare le deformazioni permanenti (ormai) della pavimentazione, mediante la formulazione della Shell Bitumen, la quale lega la deformazione unitaria verticale ϵ_z sul piano di posa con il numero di applicazioni di carico N di assi da 80 kN:

$$N_{80\text{kN}} = 10^6 \cdot (\epsilon_z / 569)^4$$

Inserendo nella formula il valore di $\epsilon_z = 163,2 \mu\text{def}$ indicato nelle tabelle, si calcola $N_{80\text{kN}} = 147763936$.

Il valore ESA da 130 kN si calcola moltiplicando $N_{80\text{kN}}$ per il fattore di equivalenza, che in questo caso è pari a 7,9. Si ottiene quindi $N_{130\text{kN}} = 1167335094$.

3.2.3.4 Grafici

Il software ALIZE - LCPC, una volta definite le condizioni di carico, permette di realizzare i grafici delle deformazioni, delle tensioni e della deflessione, relativi a determinate quote della sovrastruttura.

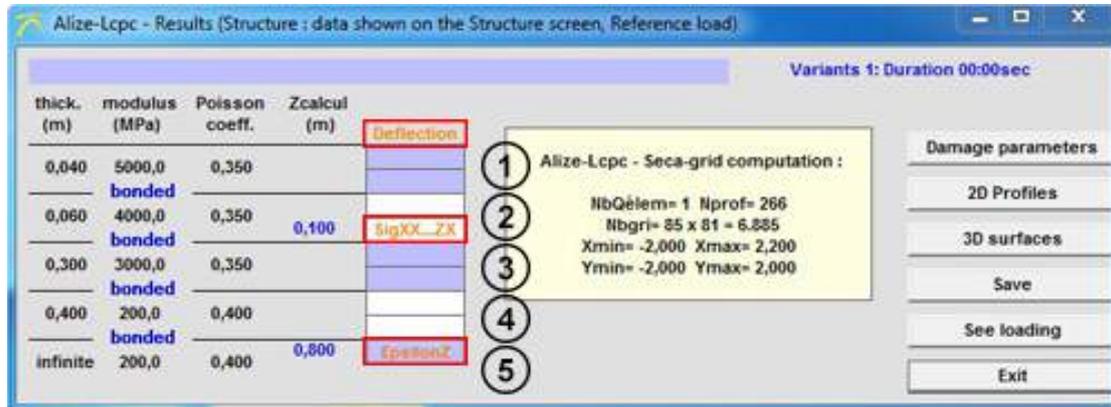


Figura 54: variabili di cui si vogliono ottenere i grafici

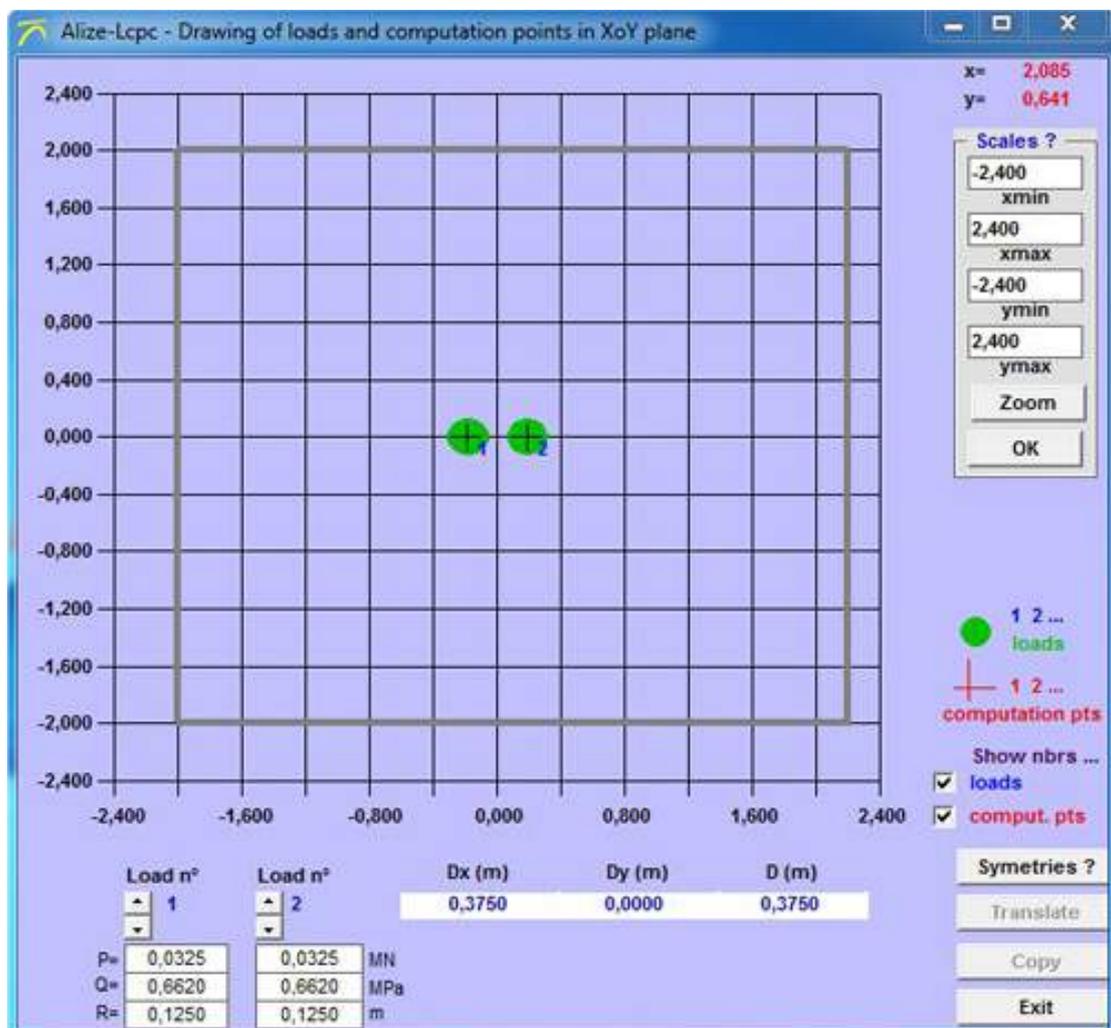


Figura 55: carichi e punti di computazione

Grafico della deflessione superficiale alla quota $z = 0$:

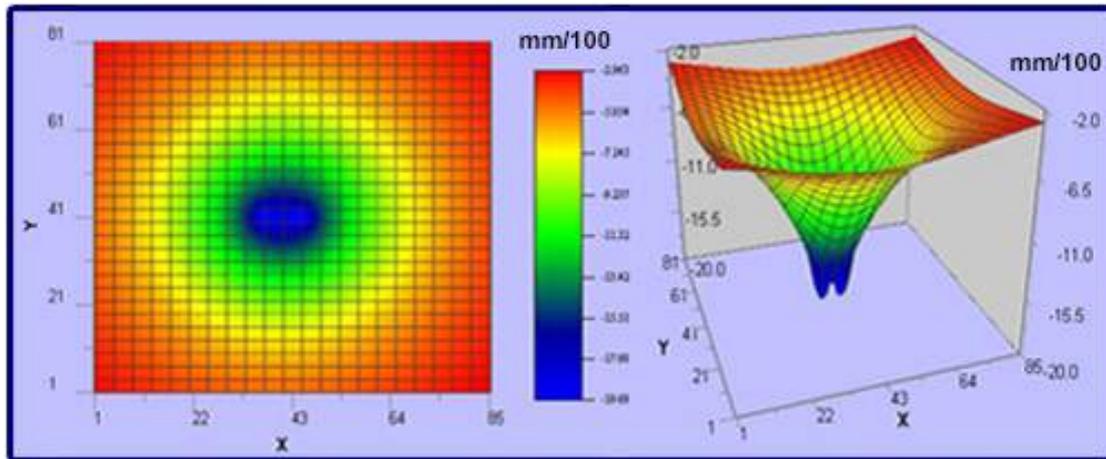


Figura 56: grafico della deflessione superficiale alla quota $z = 0$.

Grafico della tensione σ_x alla quota $z = 0,1$ m:

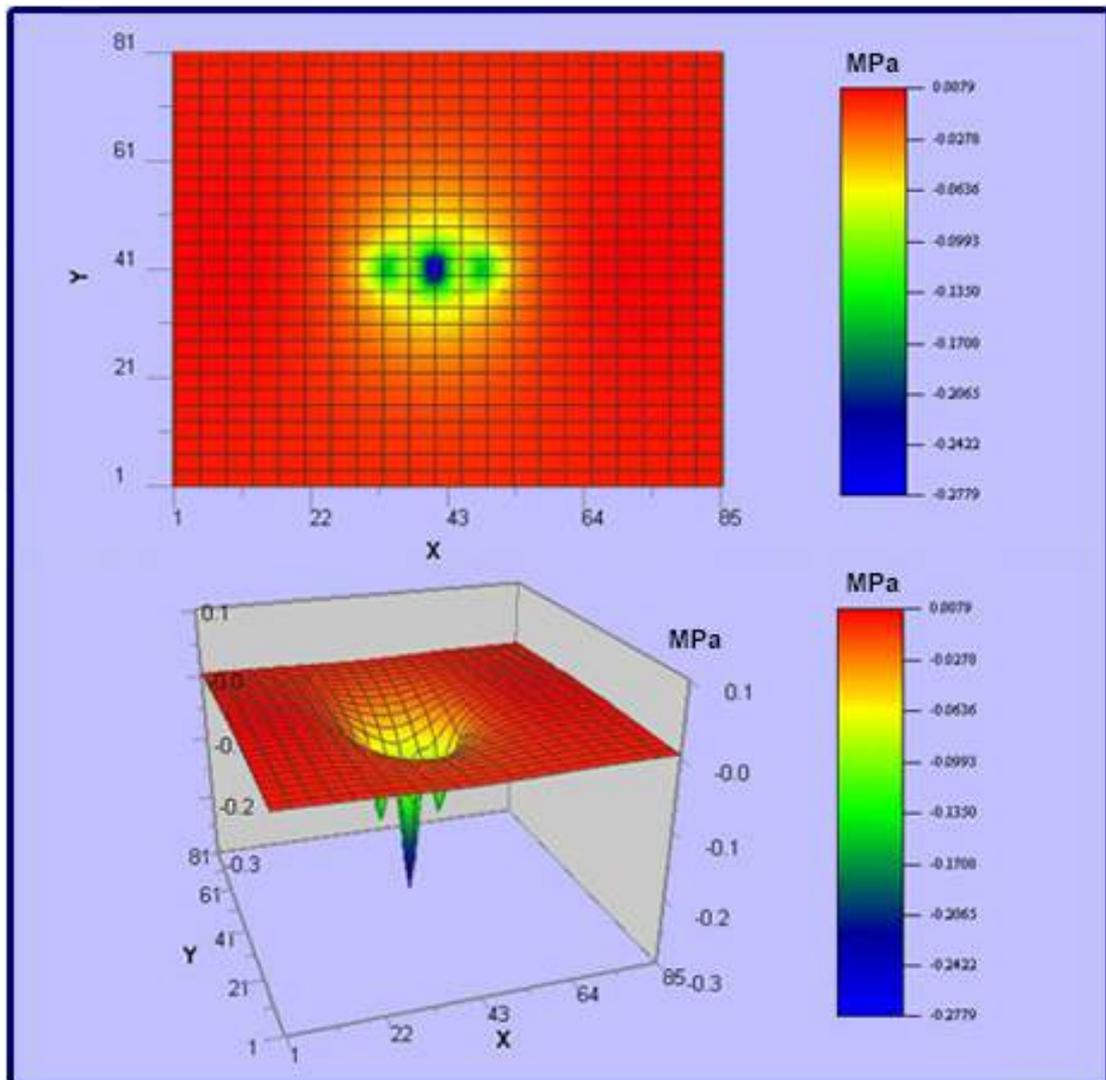


Figura 57: grafico della tensione σ_x alla quota $z = 0,1$ m.

Grafico della tensione σ_y alla quota $z = 0,1$ m:

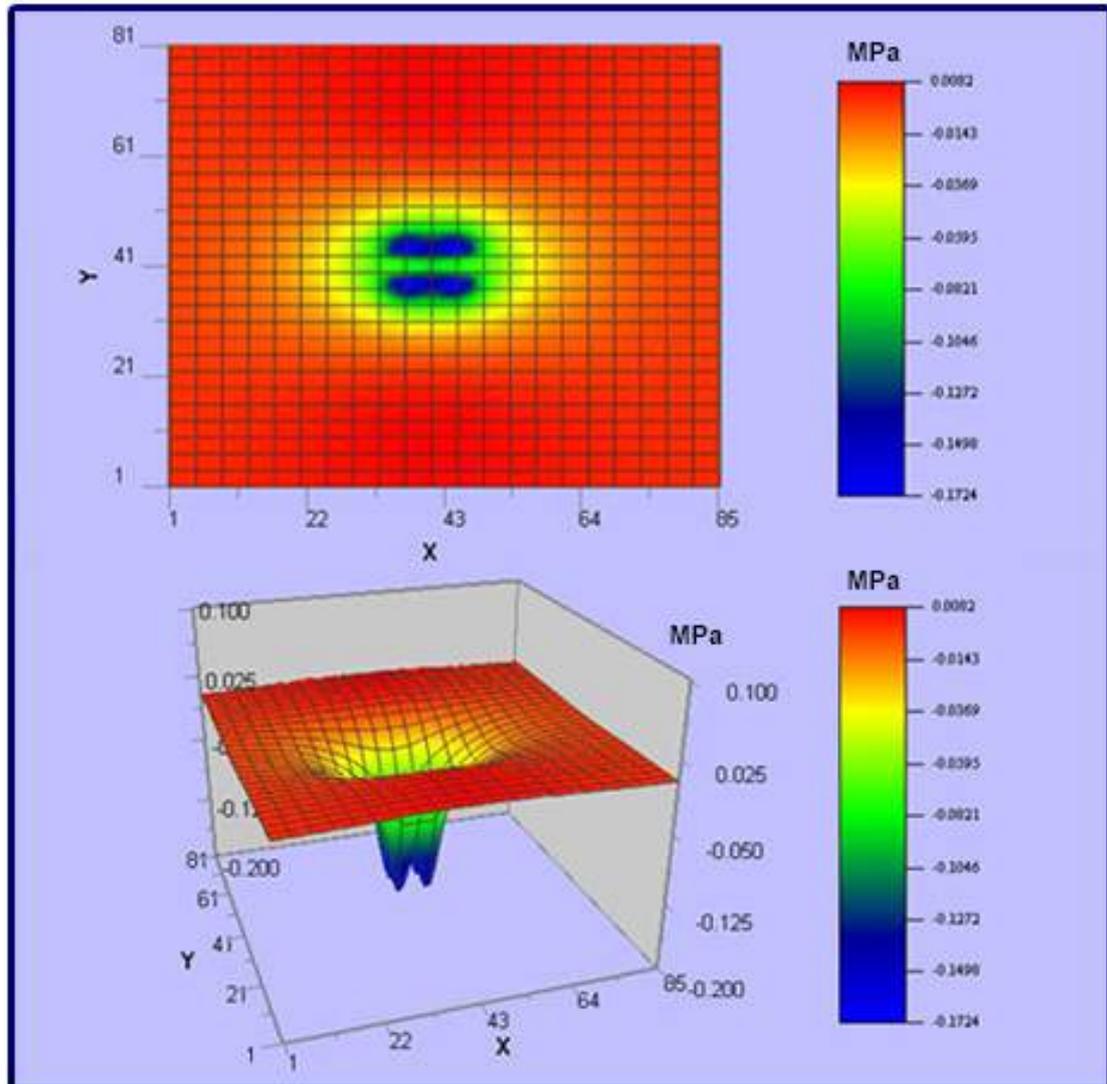


Figura 58: grafico della tensione σ_y alla quota $z = 0,1$ m.

Grafico della deformazione ϵ_z alla quota $z = 0,8$ m:

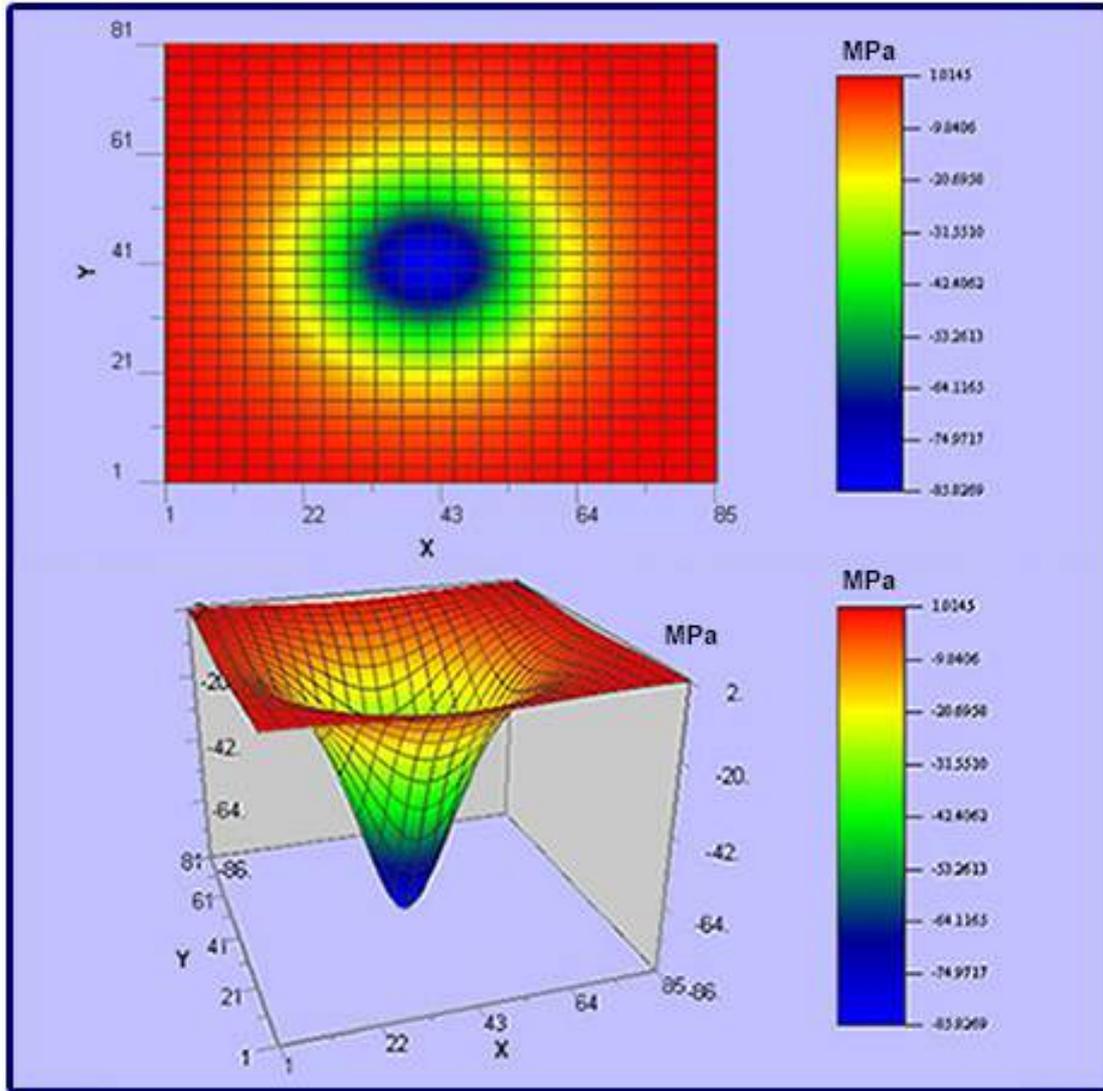


Figura 59: grafico della deformazione ϵ_z alla quota $z = 0,8$ m.

3.3 Lotto 2

Il Lotto 2 (Tratto D-A), la cui pavimentazione risale al 1997, comprende la curva Esse, la curva Roma e il rettilineo dei box. L'intervento consiste nella scarifica dei primi 4 cm di pavimentazione e nella posa del nuovo tappeto di usura, che verrà adeguatamente compattato.

3.3.1 Materiali utilizzati nella nuova pavimentazione

3.3.1.1 Tappeto di usura

Per il tappeto di usura viene utilizzato lo Stone Mastic Asphalt 0/10, ovvero un conglomerato bituminoso che garantisce un'ottima resistenza alle deformazioni permanenti ed è costituito da materiali durevoli nel tempo. Esso ha un alto contenuto di aggregato grossolano tale da formare uno scheletro litico resistente. Lo scheletro litico viene riempito con un mastice di bitume e filler, le cui fibre forniscono un'adeguata stabilità al bitume ed evitano il drenaggio del legante durante il trasporto e la posa. Precisamente, la composizione tipica dello Stone Mastic Asphalt prevede: 70–80% di aggregato grossolano, 8–12% di filler, 6–7% di legante e 0,3% di fibre. Le proprietà di questo materiale, con caratteristiche meccaniche superiori ai conglomerati tradizionali, lo rendono più durevole ed economico rispetto alla pavimentazione drenante. Lo Stone Mastic Asphalt 0/10 è caratterizzato da una ridotta percentuale di vuoti, da una bassa presenza di sabbia, compensata da un'elevata percentuale di filler e fibre. Vengono impiegati bitumi modificati e pezzature grosse degli aggregati. L'aggregato grossolano è composto da frammenti di roccia naturale dura, esenti da polveri, argille o materiali vegetali. Le sue caratteristiche sono definite dalla seguente tabella:

| | |
|---|------|
| Resistenza alla levigabilità (PSV) - UNI EN 1097-8 | ≥ 60 |
| Resistenza alla frammentazione (LA) - UNI EN 1097-2 | ≤ 20 |
| Assorbimento di acqua (%WA) - UNI EN 1097-6 | ≤ 1 |
| Contenuto di polvere (%m) - <0,063 mm | ≤ 1 |
| Adesività al bitume - ASTM D1664 | ≥ 95 |
| Indice di appiattimento (%m) - UNI EN 933-3 | ≤ 15 |

Figura 60: tabella caratteristiche aggregato grossolano

L'aggregato fine (< 2,0 mm) è invece ottenuto selezionandolo dai frammenti di altri aggregati. Non può essere costituito da materie plastiche e deve essere controllato in modo tale da evitare la presenza di argilla, terriccio o altro materiale organico. L'aggregato fine deve quindi essere lavato o essiccato per diminuire il contenuto di polveri. Le sue caratteristiche sono definite dalla seguente tabella:

| | |
|--|------|
| Resistenza alla levigabilità (PSV) - UNI EN 1097-8 | ≥ 60 |
| Assorbimento di acqua (%WA) - UNI EN 1097-6 | ≤ 1 |
| Contenuto di polvere (%m) - <0,063 mm | ≤ 5 |
| Equivalenti in sabbia (SE) - UNI EN 933-8 | ≥ 75 |

Figura 61: tabella caratteristiche aggregato fine

Il filler è costituito da calcare polverizzato e calcare idrato (1,5% assoluto). Il calcare polverizzato deve contenere almeno il 90% di carbonato di calcio. Le sue caratteristiche sono definite dalla seguente tabella:

| | |
|--------------------------|--------|
| Solubilità in acqua (%m) | ≤ 10 |
| <0,063 mm (%m) | ≥ 70 |
| 0,063 mm - 0,125 mm (%m) | 85-100 |
| <2 mm (%m) | 100 |

Figura 62: tabella caratteristiche filler

Il bitume utilizzato viene modificato aggiungendo materiali polimerici (Stirene-Butadiene-Stirene ≥ 2,5% m), rendendo il prodotto più elastico a basse temperature e più resistente alle deformazioni alle alte temperature. Il bitume modificato garantisce una maggiore adesività tra bitume e aggregato, oltre che un incremento della resistenza all'ormaiamento ed un minor invecchiamento. Le sue caratteristiche sono definite dalla seguente tabella:

| | |
|--------------------------------------|-------|
| Penetrazione (pen) - UNI EN 1426 | 30/60 |
| Punto di rammollimento - UNI EN 1427 | 66-71 |
| Duttilità - DIN 52013 | ≥ 40 |
| Ritorno elastico - UNI EN 13398 | ≥ 50 |

Figura 63: tabella caratteristiche bitume

Queste caratteristiche garantiscono quindi un'elevata aderenza in presenza di acqua, una buona impermeabilizzazione della struttura e una significativa riduzione del rumore. Alcune delle proprietà dello Stone Mastic Asphalt 0/10 sono riassunte nella seguente tabella:

| Proprietà | Stone Mastic Asphalt 0/10 |
|--|---------------------------|
| Diametro setaccio (mm) | Passante cumulativo (%) |
| 20 | 100 |
| 16 | 100 |
| 14 | 100 |
| 12 | 100 |
| 10 | 90-100 |
| 8 | 50-65 |
| 6 | 35-45 |
| 2 | 20-30 |
| 0,063 | 8-12 |
| Contenuto di legante (%m) | ≥ 6,6 |
| Fibre (%m) | 0,5-1,0 |
| Percentuale dei vuoti (%v) - Prova Marshall (50 colpi) | 3,0-3,5 |
| Grado di riempimento dei vuoti VFB (%) - Prova Marshall (50 colpi) | 75-82 |
| Stabilità (kN) - Prova Marshall (50 colpi) | ≥ 12 |
| Scorrimento (mm) - Prova Marshall (50 colpi) | 2-4 |
| Profondità della tessitura (mm) | 1 ± 0,22 |

Figura 64: tabella riassuntiva proprietà Stone Mastic Asphalt 0/10

Il fuso granulometrico del conglomerato bituminoso di usura è il seguente:

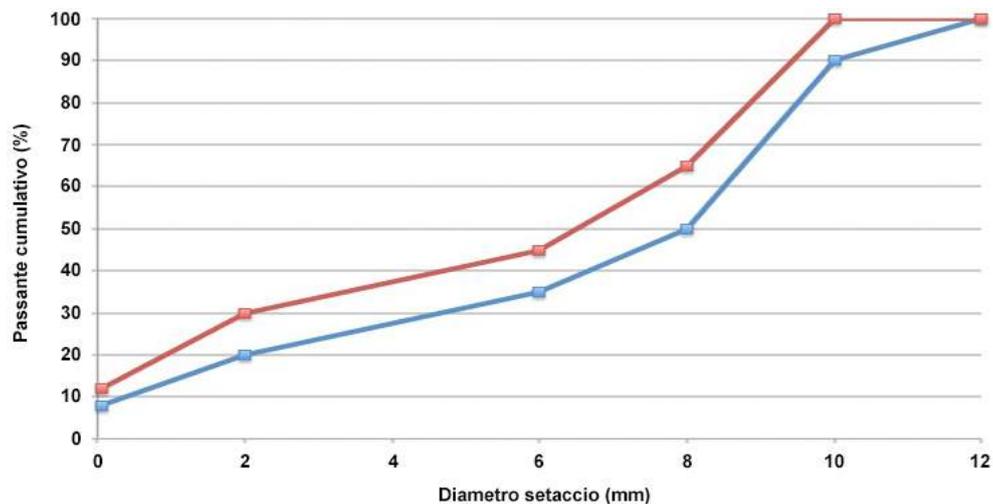


Figura 65: fuso granulometrico Stone Mastic Asphalt 0/10

3.3.2 Lavorazioni e Macchinari

La prima fase di lavorazione prevede la scarifica dei primi 4 cm di pavimentazione che comprendono il tappeto d'usura esistente. Il materiale fresato dalla scarificatrice viene raccolto in un autocarro che precede il macchinario, come nella seguente figura:



Figura 66: scarifica e raccolta del materiale fresato

Viene poi effettuata la pulizia utilizzando una motospazzatrice, prima di stendere una mano d'attacco in emulsione bituminosa con spruzzatrice, come nella seguente figura:



Figura 67: pulizia con motospazzatrice e stesa di una mano d'attacco in emulsione bituminosa

Si procede poi con la posa di 4 cm di tappeto d'usura con vibrofinitrice, come mostrato nella seguente immagine:



Figura 68: posa di 4 cm di tappeto d'usura con vibrofinitrice

Infine, si compatta il tappeto d'usura con compattatore ferro-ferro e compattatore gommato, come nella seguente figura:

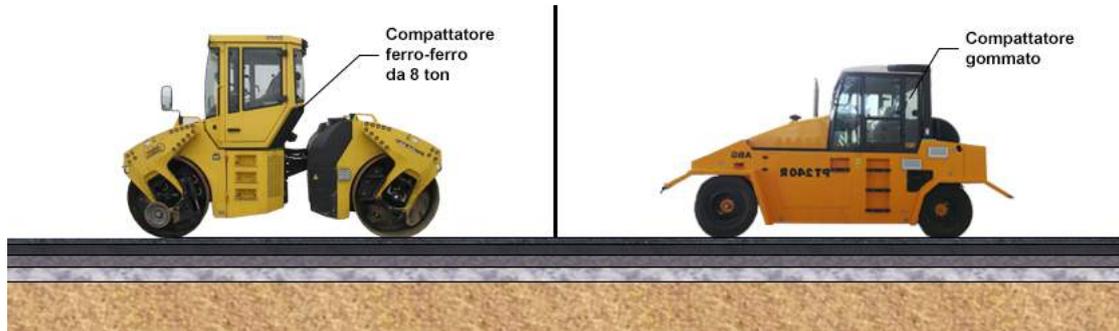


Figura 69: compattazione del tappeto d'usura con compattatore ferro-ferro e compattatore gommato

Capitolo 4: Cantierizzazione delle opere

4.1 Introduzione

La cantierizzazione delle opere consiste nella definizione delle modalità con le quali vengono eseguite le lavorazioni, determinando l'organizzazione e la mobilità di macchinari ed operatori all'interno del circuito. Questa fase progettuale deve tenere conto delle varie fasi di lavorazione, eliminando possibili sovrapposizioni degli interventi eseguiti all'interno della pista, promuovendo inoltre un'ottimale organizzazione del lavoro e garantendo la sicurezza della manovalanza all'interno del cantiere. Ogni fase di lavorazione viene analizzata in dettaglio: le modalità con cui vengono eseguiti gli interventi sono rappresentate graficamente mediante una tavola riassuntiva dove vengono specificati i macchinari utilizzati, le aree di intervento, la larghezza della pista e il conseguente numero di "strisciate" da effettuare.

Oltre alle zone del circuito dove vengono effettivamente svolti i lavori di rifacimento della pavimentazione, ovvero il tratto B-C, che comprende il Curvone e termina in uscita dai Cimini, e il tratto D-A, che va dalla curva Esse al rettilineo dei box, viene definita anche una terza zona esterna alla pista dedicata al personale e al transito dei mezzi d'opera: quest'area, definita "campo base", viene situata nel Paddock 13 (Figura 71), solitamente utilizzato come parcheggio durante i grandi eventi sportivi che ogni anno si tengono a Vallelunga.



Figura 70: individuazione del paddock 13 e dei lotti di intervento



Figura 71: individuazione del paddock 13

4.2 Lotto 1

Il Lotto 1 (tratto B-C), la cui pavimentazione risale al 1997, comprende il Curvone e termina in uscita dai Cimini, appena prima del nuovo tratto realizzato nel 2005. L'intervento consiste nella scarifica dei primi 10 cm di pavimentazione, che comprendono tappeto di usura e binder, nel conseguente riciclo a freddo con emulsione bituminosa dello strato di base e nella posa del binder e del nuovo tappeto di usura, che verranno adeguatamente compattati.

I mezzi d'opera entrano nel circuito transitando per il Paddock 13 (Figura 72), ovvero la zona del cantiere dedicata al personale e al deposito di macchinari e materiali, per poi entrare in pista, percorrendola nello stesso senso di marcia dei veicoli, e posizionarsi nel punto C, appena prima del tratto C-D.



Figura 72: individuazione del cantiere e del lotto 1

I mezzi d'opera escono dalla pista utilizzando i due varchi già esistenti che collegano il tracciato al Paddock 13. Il primo varco (Figura 73) è utilizzato sia come ingresso sia come uscita per tutti i mezzi, fino a quando le lavorazioni terminano in sua prossimità. Il secondo varco (Figura 74), invece, viene utilizzato per l'uscita dei mezzi che, per poter terminare le lavorazioni, vanno oltre il varco precedente. I mezzi che sfruttano questa seconda uscita devono percorrere un tratto sull'erba che affianca la pista, per non rovinare la pavimentazione del tratto A-B, la quale non è stata progettata per assorbire carichi elevati come quelli prodotti dai macchinari e dagli autocarri pieni di materiale.

4.2.1 Fasi di lavorazione

4.2.1.1 Scarifica

Con scarifica o scarificazione si intende l'operazione di rottura superficiale della pavimentazione. Il materiale fresato dalla scarificatrice viene raccolto in un autocarro che precede il macchinario, per poi essere trasportato nel deposito all'interno del Paddock 13, in attesa di essere riutilizzato all'interno del circuito per le pavimentazioni delle strade di servizio. Le scarificatrici utilizzate, denominate "fresce a carico frontale", sono dotate di cingoli, di un rullo fresante collocato al centro e di un sistema di carico del fresato montato a sbalzo sul lato anteriore della macchina. Il nastro di scarico è girevole e regolabile in altezza, semplificando così l'operazione di carico e scarico del materiale: può infatti ruotare di 45° rispetto all'asse longitudinale del macchinario, alzandosi e abbassandosi, fino a raggiungere un'altezza massima di 4,725 m e minima di 3 m rispetto alla superficie della pavimentazione.

Nel Lotto 1 vengono scarificati i primi 10 cm di pavimentazione che comprendono lo strato di binder e il tappeto d'usura esistente (Figura 75).



Figura 73: ingresso/uscita paddock 13



Figura 74: uscita paddock 13

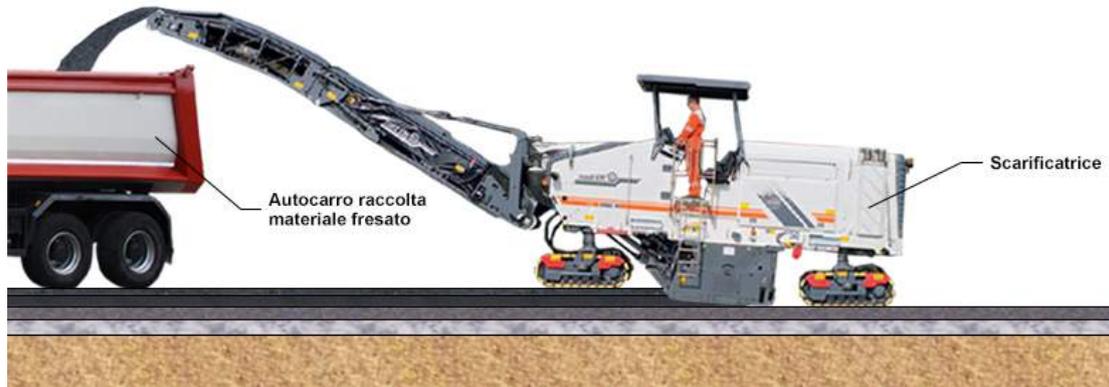


Figura 75: scarifica e raccolta del materiale freato

La scarifica viene effettuata con continuità su tutto il tratto B-C: dato che in questo tratto la larghezza della pista varia dagli 11 ai 12 metri e la larghezza della scarificatrice è di 2 m, vengono effettuate 6 strisciate. All'inizio e alla fine del Lotto 1 bisogna effettuare una scarifica trasversale, creando un angolo retto tra la pavimentazione del tratto B-C e quella dei tratti sui quali non si interviene, al fine di creare un buon collegamento tra di esse e non avere differenze di spessore nei nuovi strati. Questa scarifica trasversale, che ha una larghezza di 2 m, viene effettuata posizionando la scarificatrice ortogonalmente rispetto al senso di percorrenza della pista. Una volta effettuata questa prima operazione, si procede con la scarifica longitudinale della pavimentazione, percorrendo il tratto di circuito in senso opposto a quello di marcia dei veicoli e partendo sempre dalla parte più esterna della pista. In queste immagini vengono rappresentate le singole strisciate di larghezza 2 m:



Figura 76: scarifica del primo tratto del lotto 1



Figura 77: scarifica del secondo tratto del lotto 1

La scarifica della pavimentazione in corrispondenza della “variante moto” viene effettuata in 5 strisciate, dato che la larghezza della pista in quel punto è di 10 m.

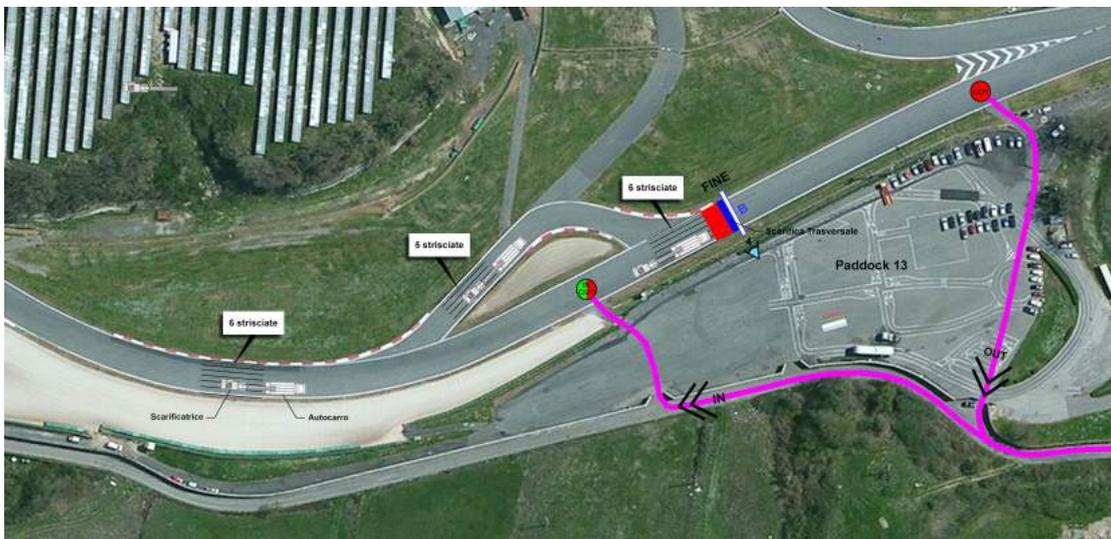


Figura 78: scarifica del terzo tratto del lotto 1

4.2.1.2 Riciclo a freddo con emulsione bituminosa

Il riciclo a freddo con emulsione bituminosa avviene direttamente in situ tramite un treno di macchine composto da riciclatrice, botte dell’acqua e botte dell’emulsione, preceduto da spanditori di legante per la stesa del cemento. L’impasto viene livellato da un motograder e compattato da un rullo vibrante metallico e da un rullo gommato. Nel Lotto 1 vengono riciclati i primi 25-30 cm di pavimentazione al di sotto del tappeto di usura, che comprendono lo strato di binder e di base (Figura 79).

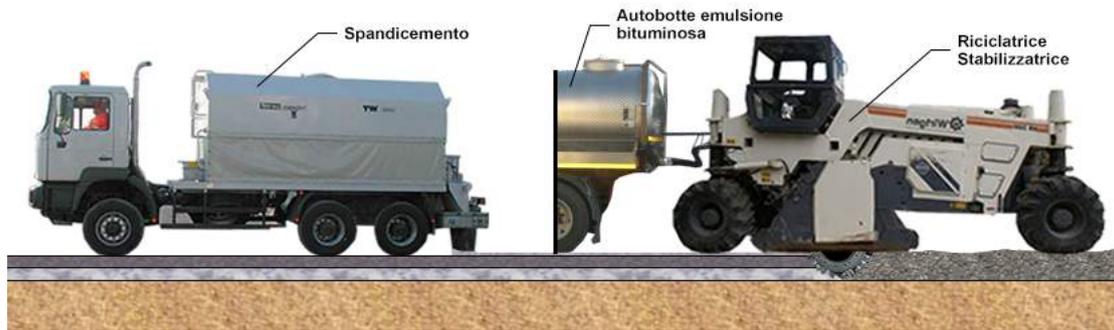


Figura 79: posa del cemento e riciclaggio a freddo con emulsione bituminosa

Il riciclo viene eseguito in tre sezioni: dato che in questo tratto la larghezza della pista varia dagli 11 ai 12 metri e la larghezza della riciclatrice è di 2 m, vengono effettuate 6 strisciate. Questo intervento viene effettuato percorrendo il tratto di circuito in senso opposto a quello di marcia dei veicoli e partendo sempre dalla parte più esterna della pista. In queste immagini vengono rappresentate le singole strisciate di larghezza 2 m:



Figura 80: riciclo del primo tratto del lotto 1



Figura 81: riciclo del secondo tratto del lotto 1

Il riciclo della pavimentazione in corrispondenza della “variante moto” viene effettuato in 5 strisciate, dato che la larghezza della pista in quel punto è di 10 m.

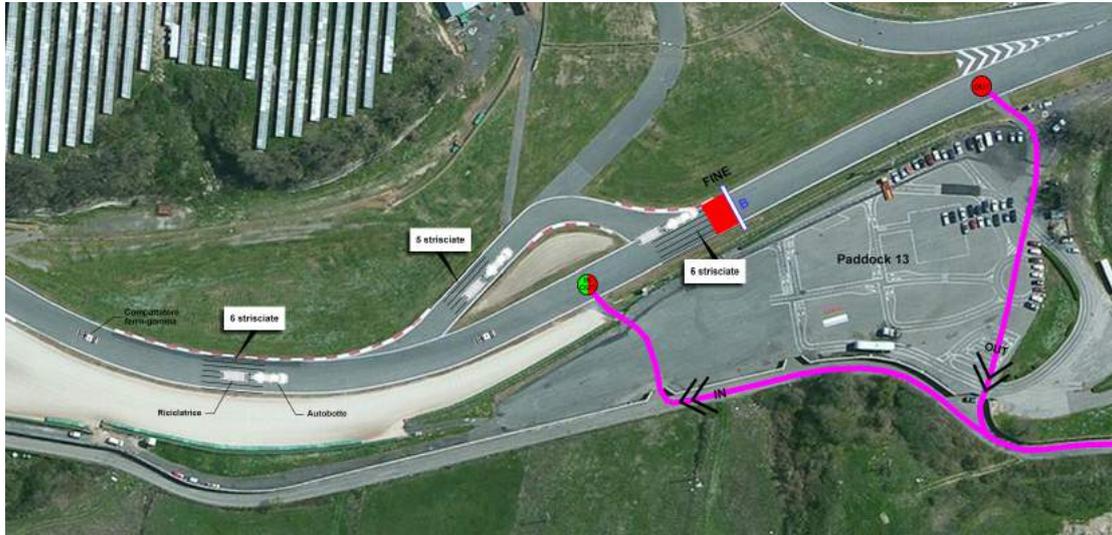


Figura 82: riciclo del terzo tratto del lotto 1

4.2.1.3 Posa del binder

La posa di 6 cm di binder con vibrofinitrice viene preceduta dalla stesa di una mano di ancoraggio-protezione in emulsione bituminosa con spruzzatrice (Figura 83). Il conglomerato bituminoso che deve essere posato è contenuto all'interno di un autocarro che precede la vibrofinitrice. In seguito, si compatta lo strato di binder utilizzando un compattatore ferro-ferro.

La posa del binder viene eseguita in tre sezioni: dato che in questo tratto la larghezza della pista varia dagli 11 ai 12 metri e si vogliono effettuare 2 strisciate, il banco vibrante deve avere un'apertura massima di 6,5 m nella parte esterna della pista e 5,5 m in quella interna. La scelta di avere due aperture differenti serve per evitare una sovrapposizione tra il giunto longitudinale del binder e quello del tappeto di usura.

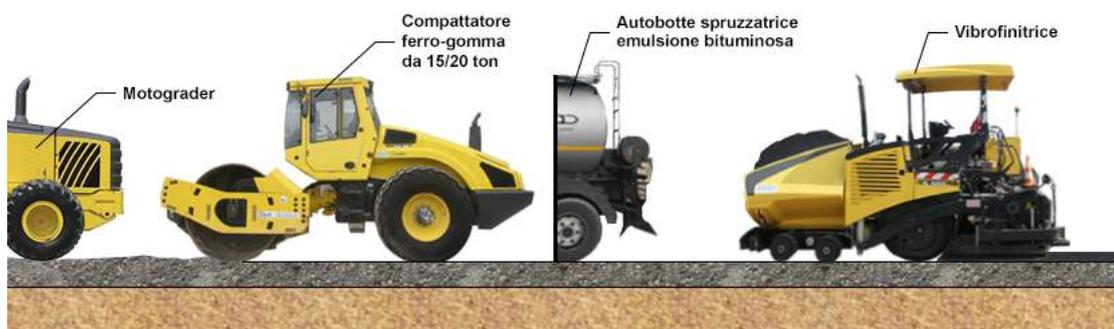


Figura 83: posa del binder

Questo intervento viene effettuato percorrendo il tratto di circuito in senso opposto a quello di marcia dei veicoli e partendo sempre dalla parte più esterna della pista. In queste immagini vengono rappresentate le singole strisciate di 6,5 m e 5,5 m:



Figura 84: posa del binder nel primo tratto del lotto 1



Figura 85: posa del binder nel secondo tratto del lotto 1

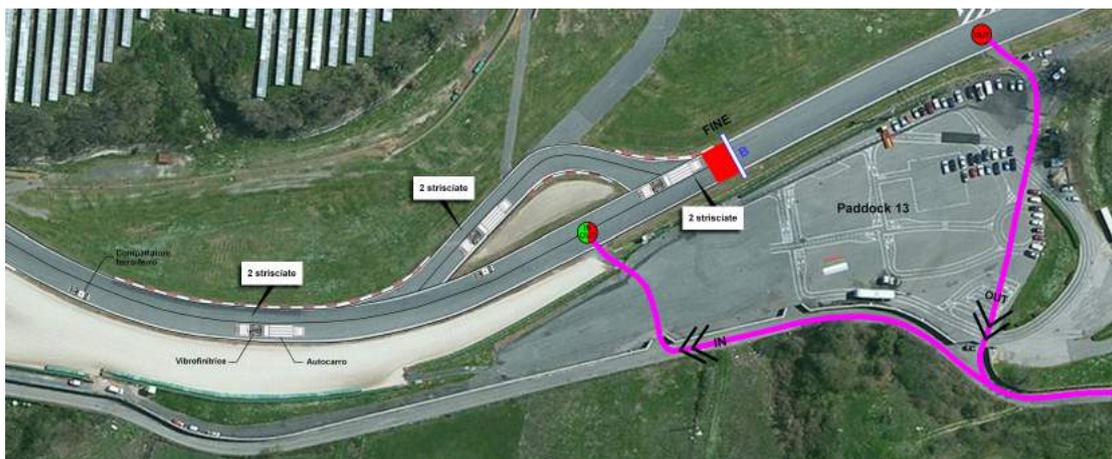


Figura 86: posa del binder nel terzo tratto del lotto 1

4.2.1.4 Posa del tappeto di usura

La posa di 4 cm di tappeto d'usura viene effettuata utilizzando una vibrofinitrice (Figura 87). Il conglomerato bituminoso che deve essere posato è contenuto all'interno di un autocarro che precede la vibrofinitrice. In seguito, si compatta il tappeto di usura utilizzando un compattatore ferro-ferro e un compattatore gommato.

Per il tappeto di usura viene utilizzato lo Stone Mastic Asphalt 0/10, ovvero un conglomerato bituminoso che garantisce un'ottima resistenza alle deformazioni permanenti ed è costituito da materiali durevoli nel tempo. Esso ha un alto contenuto di aggregato grossolano tale da formare uno scheletro litico resistente, che viene riempito con un mastice di bitume e filler, le cui fibre forniscono un'adeguata stabilità al bitume ed evitano il drenaggio del legante durante il trasporto e la posa.

La posa del tappeto di usura viene eseguita in tre sezioni: dato che in questo tratto la larghezza della pista varia dagli 11 ai 12 metri e si vogliono effettuare 2 strisciate, il banco vibrante deve avere un'apertura massima di 6 m sia nella parte esterna della pista sia in quella interna. La scelta di mantenere la stessa apertura del banco vibrante serve per evitare una sovrapposizione tra il giunto longitudinale del tappeto di usura e quello del binder, che viene invece realizzato con due diverse aperture: 6,5 m nella parte esterna della pista e 5,5 m in quella interna.

Questo intervento viene effettuato percorrendo il tratto di circuito in senso opposto a quello di marcia dei veicoli e partendo sempre dalla parte più esterna della pista. Quest'ultimo è un accorgimento per evitare che la presenza di un eventuale "scalino", dato da una maggiore altezza della parte esterna, in corrispondenza del giunto longitudinale, possa danneggiare la prestazione degli autoveicoli o dei motoveicoli che vi transitano, diventando, soprattutto per i secondi, un pericolo che potrebbe causare delle cadute.

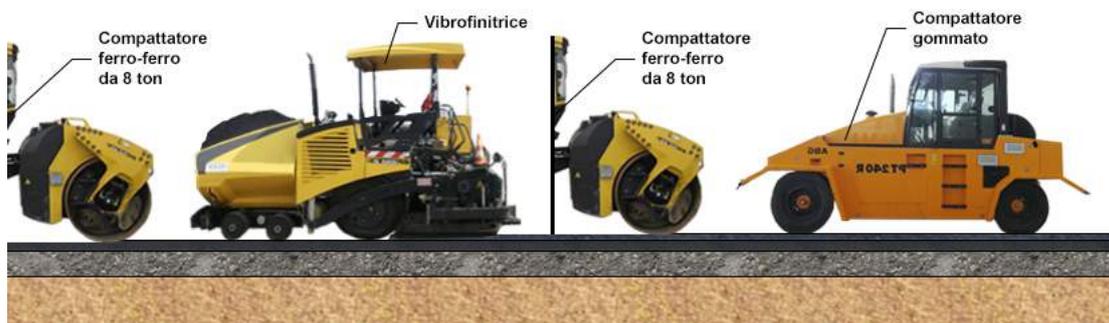


Figura 87: posa di 4 cm di tappeto d'usura con vibrofinitrice

In queste immagini vengono rappresentate le singole strisciate di larghezza 6 m:



Figura 88: posa del tappeto di usura nel primo tratto del lotto 1



Figura 89: posa del tappeto di usura nel secondo tratto del lotto 1



Figura 90: posa del tappeto di usura nel terzo tratto del lotto 1

4.3 Lotto 2

Il Lotto 2 (Tratto D-A), la cui pavimentazione risale al 1997, comprende la curva Esse, la curva Roma e il rettilineo dei box. L'intervento consiste nella scarifica dei primi 4 cm di pavimentazione e nella posa del nuovo tappeto di usura, che verrà adeguatamente compattato.

I mezzi d'opera transitando per il Paddock 1, per poi entrare in pista sfruttando un varco esistente all'altezza del sovrappasso pedonale sul rettilineo dei box (Figura 91), percorrendola in senso opposto a quello di marcia dei veicoli e posizionandosi nel punto D, appena prima del tratto C-D.



Figura 91: individuazione del cantiere e del lotto 2

I mezzi d'opera escono dalla pista utilizzando lo stesso varco precedentemente descritto fino a quando le lavorazioni terminano in sua prossimità (Figura 92). Quando i mezzi superano il primo varco, avanzando sul rettilineo dei box, vengono fatti uscire da un secondo varco esistente che collega il tracciato al Paddock 13, ovvero la zona del cantiere dedicata al personale e al deposito di macchinari e materiali. Questa seconda uscita (Figura 93) viene utilizzata dai mezzi che, per poter terminare le lavorazioni, vanno oltre il varco precedente. I mezzi che sfruttano questo secondo accesso devono percorrere un tratto sull'erba che affianca la pista, per non rovinare la pavimentazione del tratto A-B, la quale non è stata progettata per assorbire carichi elevati come quelli prodotti dai macchinari e dagli autocarri pieni di materiale.



Figura 92: ingresso/uscita paddock 1



Figura 93: uscita paddock 13

4.3.1 Fasi di lavorazione

4.3.1.1 Scarifica

Con scarifica o scarificazione si intende l'operazione di rottura superficiale della pavimentazione. Il materiale fresato dalla scarificatrice viene raccolto in un autocarro che precede il macchinario, per poi essere trasportato nel deposito all'interno del Paddock 13, in attesa di essere riutilizzato all'interno del circuito per le pavimentazioni delle strade di servizio. Le scarificatrici utilizzate, denominate "fresche a carico frontale", sono dotate di cingoli, di un rullo fresante collocato al centro e di un sistema di carico del fresato montato a sbalzo sul lato anteriore della macchina. Il nastro di scarico è girevole e regolabile in altezza, semplificando così l'operazione di carico e scarico del materiale: può infatti ruotare di 45° rispetto all'asse longitudinale del macchinario, alzandosi e abbassandosi, fino a raggiungere un'altezza massima di 4,725 m e minima di 3 m rispetto alla superficie della pavimentazione.

Nel Lotto 2 vengono scarificati i primi 4 cm di pavimentazione che comprendono il tappeto d'usura esistente (Figura 94).



Figura 94: scarifica e raccolta del materiale fresato

La scarifica viene effettuata con continuità su tutto il tratto D-A: dato che in questo tratto la larghezza della pista varia dagli 11 ai 12 metri e la larghezza della scarificatrice è di 2 m, vengono effettuate 6 strisciate. All'inizio e alla fine del Lotto 2 bisogna effettuare una scarifica trasversale, creando un angolo retto tra la pavimentazione del tratto D-A e quella dei tratti sui quali non si interviene, al fine di creare un buon collegamento tra di esse e non avere differenze di spessore nei nuovi strati. Questa scarifica trasversale, che ha una larghezza di 2 m, viene effettuata posizionando la scarificatrice ortogonalmente rispetto al senso di percorrenza della pista. Una volta effettuata questa prima operazione, si procede con la scarifica longitudinale della pavimentazione, percorrendo il tratto di circuito nello stesso senso di marcia dei veicoli e partendo sempre dalla parte più esterna della pista. In queste immagini vengono rappresentate le singole strisciate di larghezza 2 m:

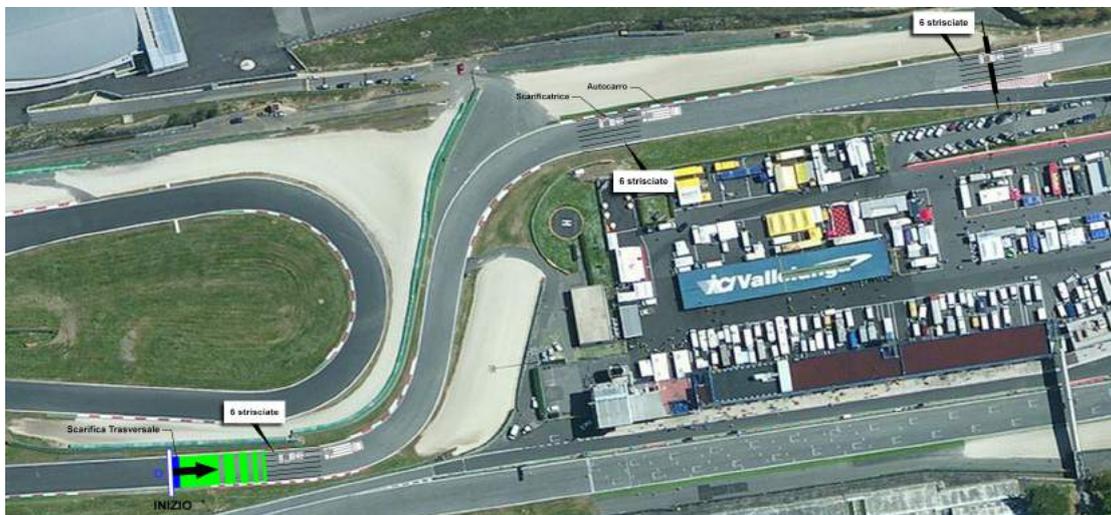


Figura 95: scarifica del primo tratto del lotto 2

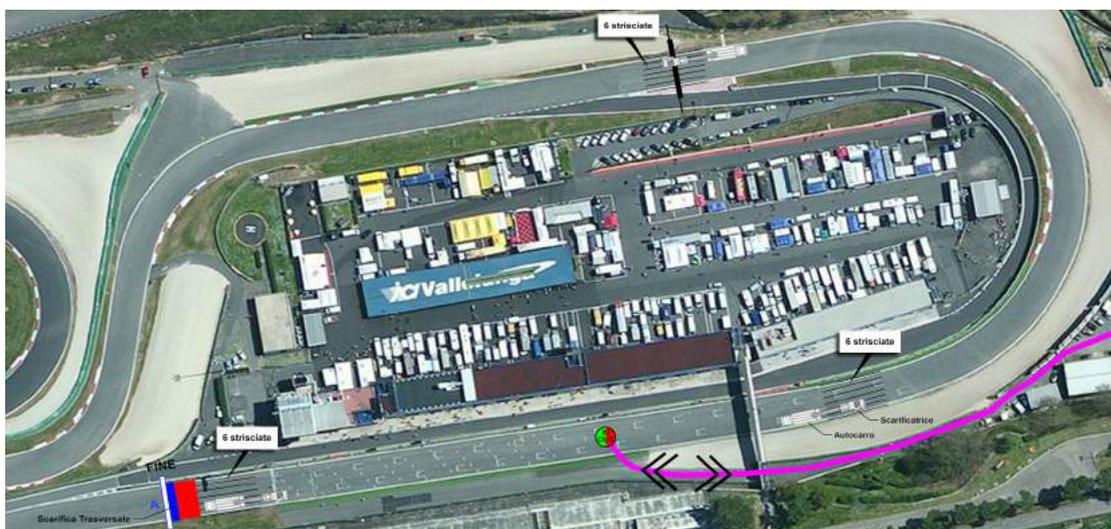


Figura 96: scarifica del secondo tratto del lotto 2

4.3.1.2 Posa del tappeto di usura

La posa di 4 cm di tappeto d'usura viene effettuata utilizzando una vibrofinitrice. Il conglomerato bituminoso che deve essere posato è contenuto all'interno di un autocarro che precede la vibrofinitrice (Figura 97). In seguito, si compatta il tappeto di usura utilizzando un compattatore ferro-ferro e un compattatore gommato.

Per il tappeto di usura viene utilizzato lo Stone Mastic Asphalt 0/10, ovvero un conglomerato bituminoso che garantisce un'ottima resistenza alle deformazioni permanenti ed è costituito da materiali durevoli nel tempo. Esso ha un alto contenuto di aggregato grossolano tale da formare uno scheletro litico resistente, che viene riempito con un mastice di bitume e filler, le cui fibre forniscono un'adeguata stabilità al bitume ed evitano il drenaggio del legante durante il trasporto e la posa.

La posa del tappeto di usura viene eseguita in due sezioni: dato che in questo tratto la larghezza della pista varia dagli 11 ai 12 metri e si vogliono effettuare 2 strisciate, il banco vibrante deve avere un'apertura massima di 6 m sia nella parte esterna della pista sia in quella interna. La scelta di mantenere la stessa apertura del banco vibrante serve per evitare una sovrapposizione tra il giunto longitudinale del tappeto di usura e quello del binder, che viene invece realizzato con due diverse aperture: 6,5 m nella parte esterna della pista e 5,5 m in quella interna.

Questo intervento viene effettuato percorrendo il tratto di circuito nello stesso senso di marcia dei veicoli e partendo sempre dalla parte più esterna della pista. Quest'ultimo è un accorgimento per evitare che la presenza di un eventuale "scalino", dato da una maggiore altezza della parte esterna, in corrispondenza del giunto longitudinale, possa danneggiare la prestazione degli autoveicoli o dei motoveicoli che vi transitano, diventando, soprattutto per i secondi, un pericolo che potrebbe causare delle cadute.



Figura 97: posa di 4 cm di tappeto d'usura con vibrofinitrice

In queste immagini vengono rappresentate le singole strisciate di larghezza 6 m:

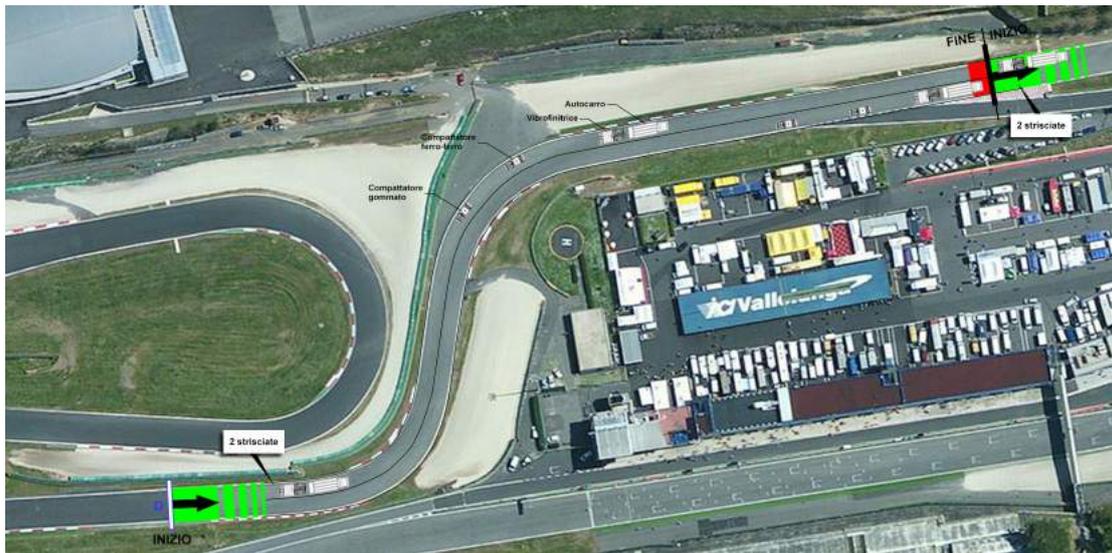


Figura 98: posa del tappeto di usura nel primo tratto del lotto 2



Figura 99: posa del tappeto di usura nel secondo tratto del lotto 2

Capitolo 5: Accantieramento

5.1 Introduzione

La fase di accantieramento prevede la definizione del layout di cantiere e la redazione di un elaborato dove vengono indicate le aree di intervento e tutte le informazioni relative alla sicurezza e al soccorso degli operatori in caso di incidente durante le lavorazioni.

Il Project Management, parallelamente agli elaborati e ai documenti elencati in precedenza, permette di analizzare l'insieme delle attività volte alla realizzazione degli obiettivi del progetto, considerandone i principali vincoli, come costo e tempo, controllandone la qualità ed ottimizzando l'allocazione delle risorse. In particolare, ci si concentra su quattro attività del Project Management: la Work Breakdown Structure (WBS), ovvero l'elenco di tutte le attività di un progetto, lo schema della produzione, dove vengono indicate le quantità di materiale movimentato, la produzione oraria di ogni macchinario e le durate delle singole lavorazioni, il Diagramma di Gantt, utile per la rappresentazione dell'arco temporale totale del progetto, e il Precedence Diagramming Method (PDM), ovvero una particolare tipologia di diagramma reticolare dove le singole lavorazioni, indicate precedentemente nella WBS, vengono collegate fra di loro ed ordinate cronologicamente. Gli elaborati e i documenti prodotti in questa fase servono per definire ed ottimizzare i tempi, i costi e le modalità con le quali vengono eseguite le lavorazioni, eliminando possibili sovrapposizioni degli interventi eseguiti all'interno della pista.

In questa fase, oltre ai due tratti di pista la cui pavimentazione risale al 1997, denominati Lotto 1 (tratto B-C) e Lotto 2 (Tratto D-A), dove vengono effettivamente svolti i lavori, vengono considerate altre tre aree: la prima, definita “zona 1” e situata nel Paddock 13, è dedicata al personale, oltre che al transito e al deposito dei mezzi d’opera, mentre le altre due, denominate “zona 2” e zona 3”, ospitano i servizi dedicati ai soli operatori. Queste ultime due aree, a differenza della “zona 1”, non sono temporanee: infatti, al loro interno, sono presenti alcune strutture fisse, tra cui un’infermeria, due eliporti e un edificio dove sono ubicati i servizi igienici.



Figura 100: individuazione delle aree di cantiere

5.2 Layout di cantiere

Nel rispetto del Decreto Legislativo n° 81 del 9 aprile 2008, è stato definito il layout di cantiere per tutte le aree definite in precedenza.

Per quanto riguarda la “zona 1” (Figura 101), una volta definita l’area di cantiere da recintare con rete metallica, sono stati indicati gli ingressi e le uscite che collegano il Paddock 13 alla pista e alle strade pubbliche adiacenti. Inoltre, al suo interno, sono state definite diverse aree dedicate ai baraccamenti temporanei (Figura 102), al parcheggio dei mezzi d’opera e al deposito del fresato, ed è stata definita la viabilità pedonale e carrabile.

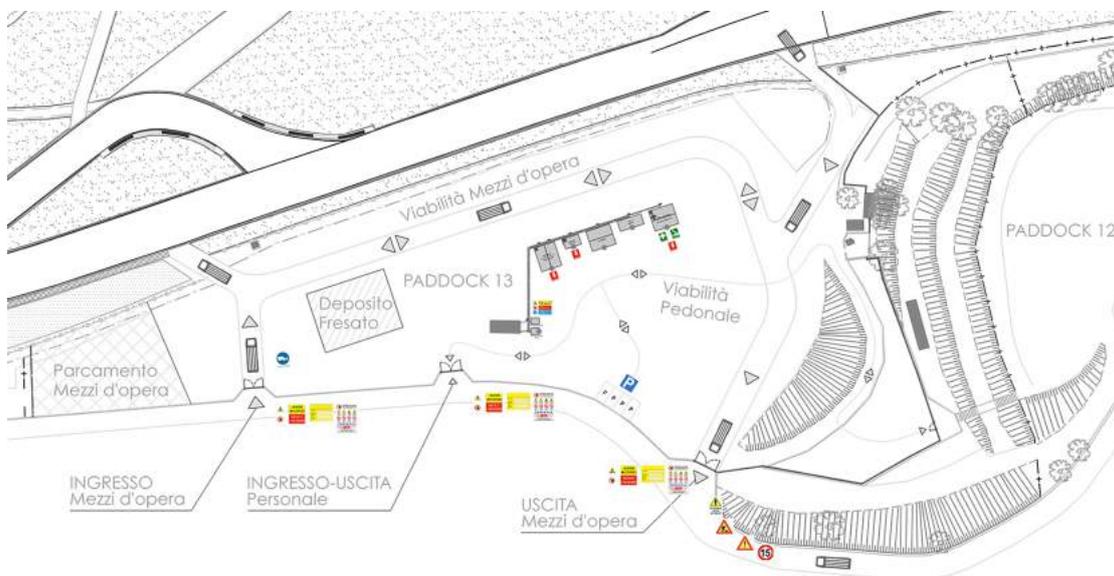


Figura 101: layout di cantiere all’interno del paddock 13



Figura 102: baraccamenti temporanei all'interno del paddock 13

Nello specifico, facendo riferimento al documento “Tariffa dei Prezzi 2012 Regione Lazio” approvato in data 28/08/2012, sono previsti:

- Recinzione prefabbricata da cantiere costituita da pannelli metallici di rete elettrosaldata (dimensioni circa m 3,5x1,95 h) e basi in cemento.
- Cancelli di cantiere a 1 o 2 battenti, realizzati con telaio in tubi da ponteggio controventati e chiusura con rete metallica elettrosaldata.
- Cartelli segnaletici da cantiere a terra in lamiera di acciaio dello spessore di 10/10 mm completi di pellicola adesiva rifrangente grandangolare con eventuale indicazione delle prescrizioni.
- Cartelli di pericolo (colore giallo), conformi al Dlgs 81/08, in lamiera di alluminio 5/10, con pellicola adesiva rifrangente, 500 x 330 mm.
- Cartelli di obbligo (colore blu), conformi al Dlgs 81/08, in lamiera di alluminio 5/10, con pellicola adesiva rifrangente, 500 x 330 mm.
- Cartelli per le attrezzature antincendio (colore rosso) conformi al Dlgs 81/08, in lamiera di alluminio 5/10, monofacciale fotoluminescente.

- Cartelli di salvataggio (colore verde), conformi al Dlgs 81/08, in lamiera di alluminio 5/10, monofacciale fotoluminescente, 400 x 400 mm.
- Cartelli riportanti indicazioni associate di avvertimento, divieto e prescrizione, conformi al Dlgs 81/08, in lamiera di alluminio 5/10, con pellicola adesiva rifrangente.
- Segnaletica generica per cantieri in alluminio di spessore mm 0,7, forma rettangolare o triangolare, conforme D. Lgs. 81/08. Dimensioni 400x600.
- Segnaletica orizzontale temporanea, di colore giallo, per la delimitazione di cantieri e zone di lavoro, a norma dell'art. 35 del Regolamento di attuazione del Codice della strada: verniciatura su superfici stradali bitumate o selciate o in calcestruzzo per formazione di strisce della larghezza di 12 cm, in colore giallo, con impiego di almeno 130 g/m di vernice.
- Impianto di messa a terra
- Impianto di raccolta e smaltimento acque
- Impianto idrico-sanitario
- Illuminazione di sicurezza
- Cassetta di pronto soccorso: fornitura di valigetta in polipropilene antiurto con attacco a parete o per automezzo e contenente pacchetto di medicazione con la dotazione minima indicata nell'allegato 1 del D.M. 15 luglio 2003, n. 388 recante disposizioni sul pronto soccorso aziendale.
- 3 estintori portatili a polvere kg 9 classe 55A-233B-C omologati, conformi alla direttiva 97/23/CE.
- Monoblocco prefabbricato per servizi igienici 600x244x270 cm. Struttura in profili zincati verniciati di colore bianco con 4 ganci per il sollevamento; pannelli di parete e copertura in poliuretano spessore 50 mm. Con pavimento in multistrato rivestito in linoleum antiscivolo e serramenti in alluminio. Impianto elettrico con tubazioni in canalina, riscaldamento con termoconvettori elettrici, condizionamento con climatizzatori in pompa di calore ed in classe A di consumo energetico.
- 2 monoblocchi prefabbricati per uffici 510x240x240 cm. Struttura in profili zincati verniciati di colore bianco con 4 ganci per il sollevamento; pannelli di parete e copertura in poliuretano spessore 50 mm. Con pavimento in multistrato rivestito in linoleum antiscivolo e serramenti in alluminio.

Impianto elettrico con tubazioni in canalina, riscaldamento con termoconvettori elettrici, condizionamento con climatizzatori in pompa di calore ed in classe A di consumo energetico.

- 2 monoblocchi prefabbricati per spogliatoi 510x240x240 cm con 3 docce, 2 lavandini, 2 vasi "alla turca". Struttura in profili zincati verniciati di colore bianco con 4 ganci per il sollevamento; pannelli di parete e copertura in poliuretano spessore 50 mm. Con pavimento in multistrato rivestito in linoleum antiscivolo e serramenti in alluminio. Impianto elettrico con tubazioni in canalina, riscaldamento con termoconvettori elettrici, condizionamento con climatizzatori in pompa di calore ed in classe A di consumo energetico.
- Monoblocco prefabbricato per baracca di cantiere 400x244x270 cm, utilizzato come deposito attrezzi. Struttura in profili zincati verniciati di colore bianco con 4 ganci per il sollevamento; pannelli di parete e copertura in poliuretano spessore 50 mm. Con pavimento in multistrato rivestito in linoleum antiscivolo e serramenti in alluminio.
- 2 monoblocchi prefabbricati per mense 510x240x240 cm. Struttura in profili zincati verniciati di colore bianco con 4 ganci per il sollevamento; pannelli di parete e copertura in poliuretano spessore 50 mm. Con pavimento in multistrato rivestito in linoleum antiscivolo e serramenti in alluminio. Impianto elettrico con tubazioni in canalina, riscaldamento con termoconvettori elettrici, condizionamento con climatizzatori in pompa di calore ed in classe A di consumo energetico.

Questa zona è accessibile dagli ingressi situati in Via Mola Maggiorana (Figura 103).



Figura 103: ingressi al paddock 13

La “zona 2”, la quale occupa parte del Paddock 0, ospita i servizi dedicati ai soli operatori. Al suo interno sono presenti alcune strutture tra cui un’infermeria, un eliporto e un edificio dove sono ubicati i servizi igienici. Vi è inoltre una cabina elettrica, un depuratore, alcuni locali che ospitano servizi generali, un bar self-service e un lungo edificio con i box e gli uffici (Figura 104).

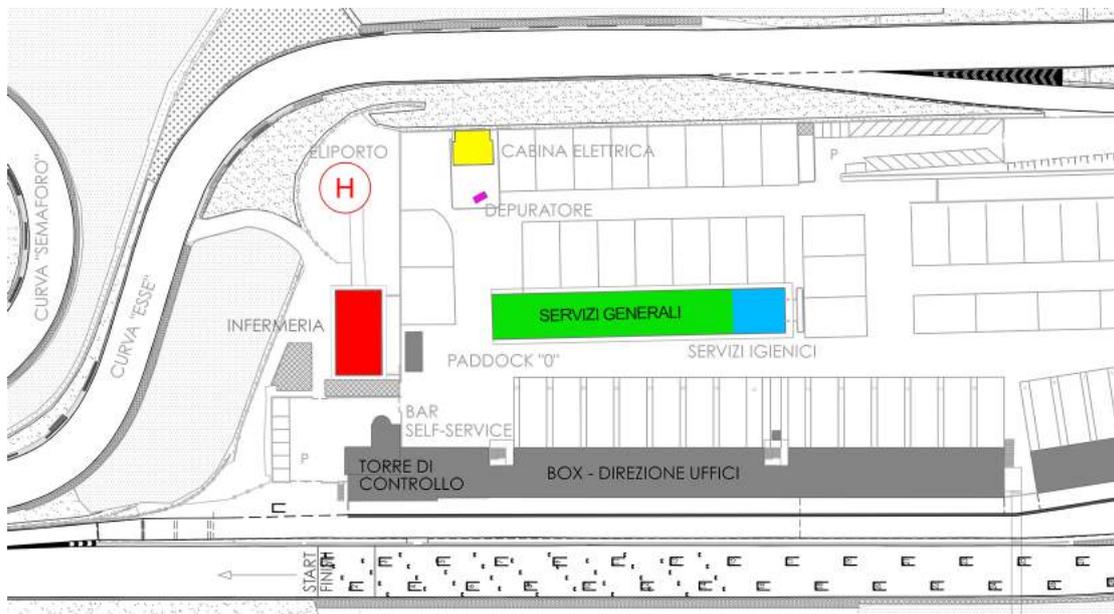


Figura 104: strutture all'interno della zona 2

La “zona 3”, situata alle spalle della collina che sorge al centro della pista, ospita un eliporto, una cabina elettrica e i servizi igienici (Figura 105).

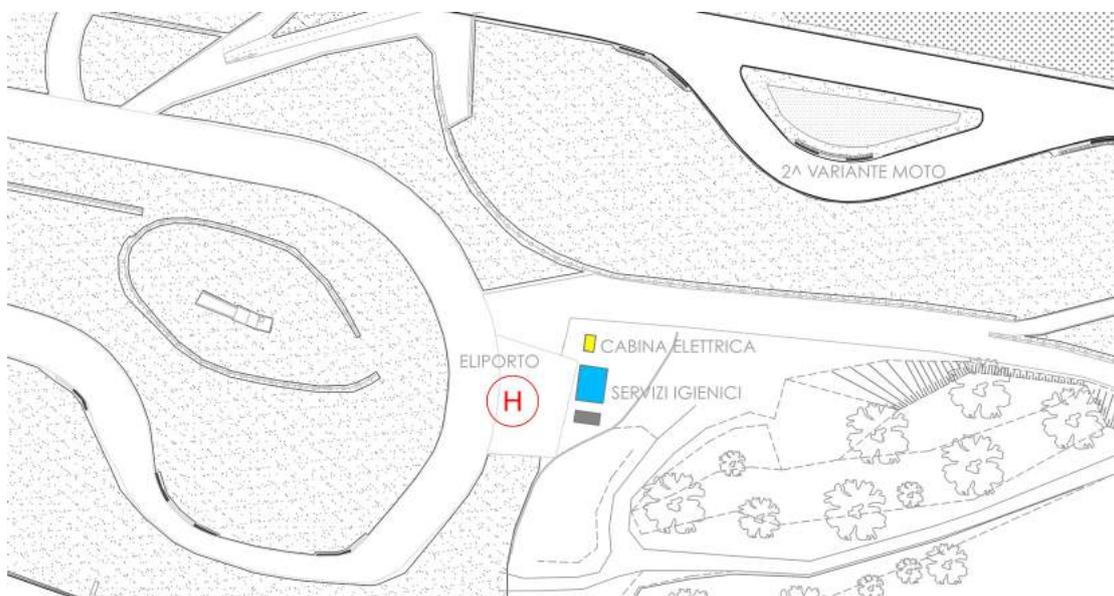


Figura 105: strutture all'interno della zona 3

La Work Breakdown Structure relativa agli interventi di rifacimento della pavimentazione sul lotto 1 è la seguente:

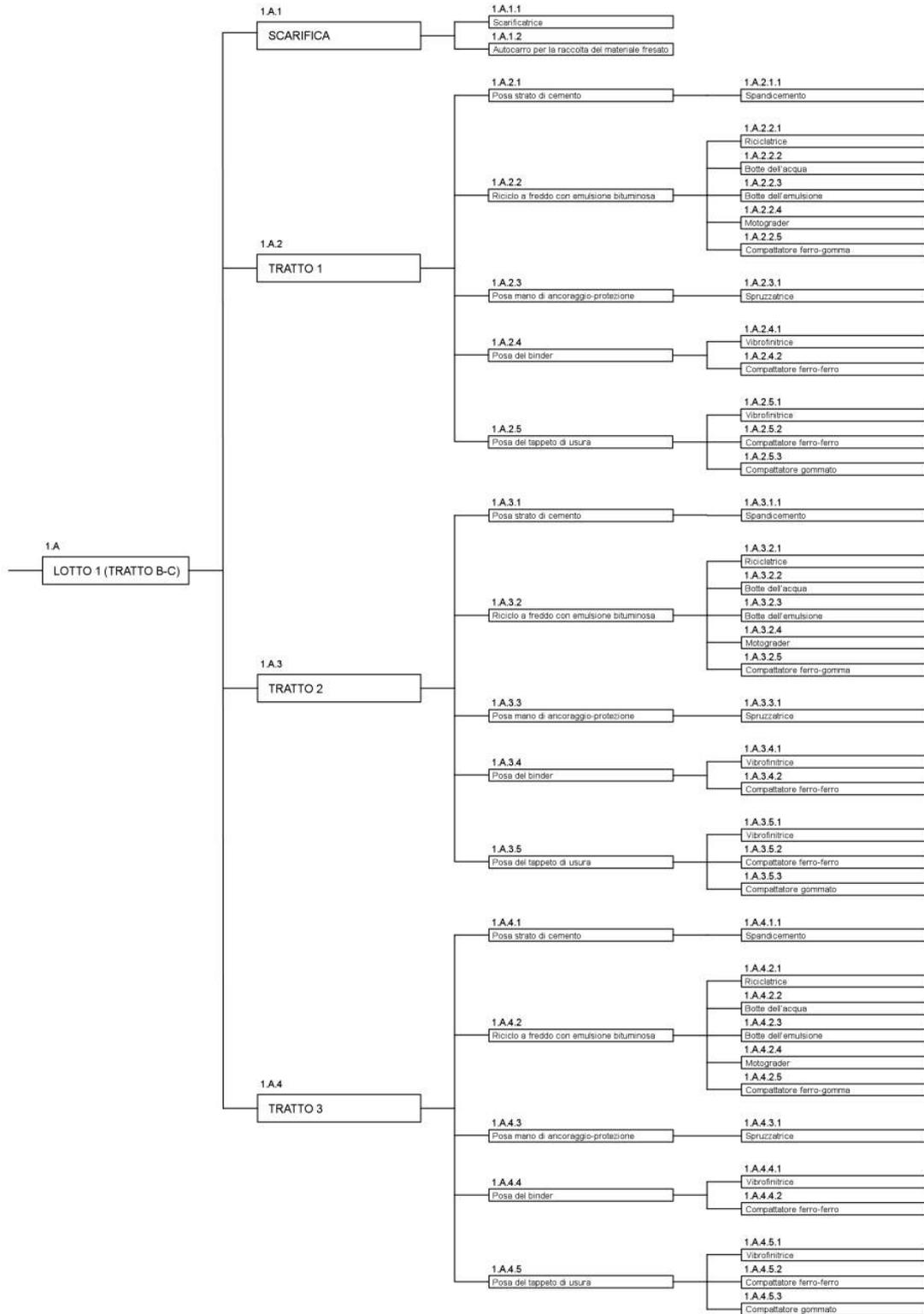


Figura 107: work breakdown structure lotto 1

La Work Breakdown Structure relativa agli interventi di rifacimento della pavimentazione sul lotto 2 è la seguente:

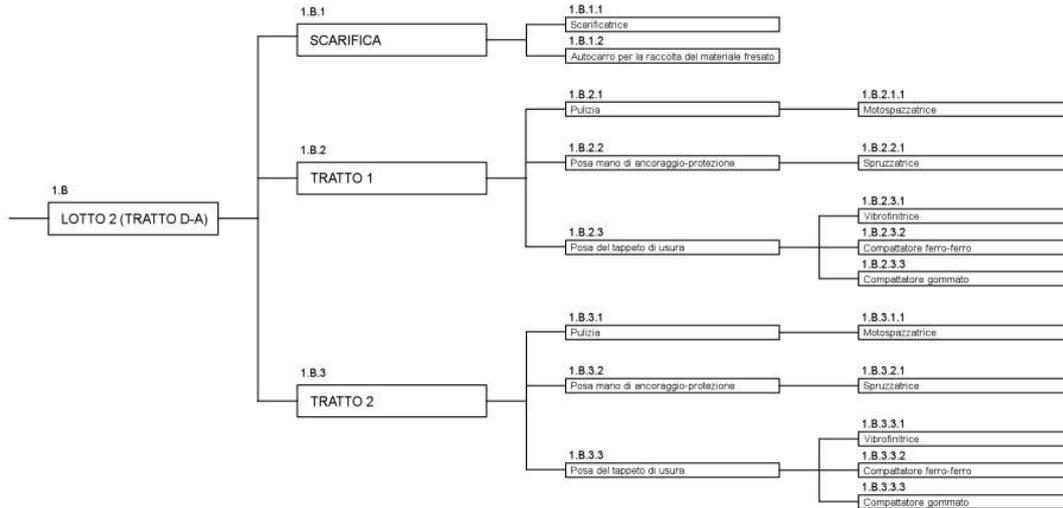


Figura 108: work breakdown structure lotto2

La Work Breakdown Structure relativa all'accantieramento è la seguente:

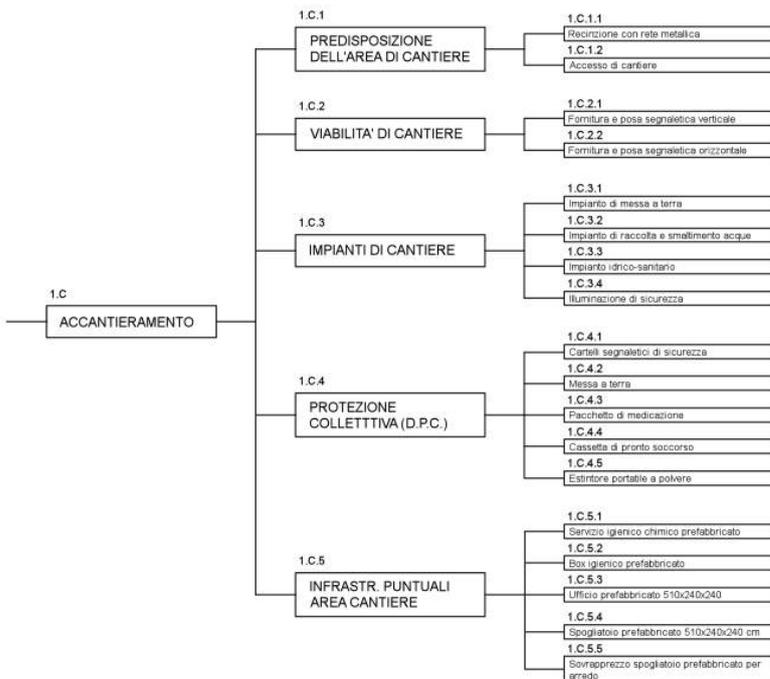


Figura 109: work breakdown structure accantieramento

5.4 Schema della produzione

Nello schema della produzione, per ogni singola lavorazione, viene indicata la quantità di materiale movimentato, la produzione oraria di ogni macchinario e la durata. Ogni lavorazione sarà identificata con il rispettivo numero WBS.

Per calcolare la durata degli interventi relativi ai due lotti, si utilizza il Metodo della Produzione Unitaria, considerando le informazioni presenti sulle schede tecniche dei singoli macchinari. Infatti, conoscendo la quantità di materiale movimentato e la produzione oraria, si può calcolare la durata dividendo la prima per la seconda:

$$\text{Durata} = \frac{\text{Quantità}}{\text{Produzione Oraria}}$$

Invece, per calcolare la durata degli interventi relativi all'accantieramento, si utilizza il Metodo degli Uomini Giorno, reperendo le informazioni necessarie dal documento "Tariffa dei Prezzi 2012 Regione Lazio". La prima fase consiste nel moltiplicare il prezzo unitario della singola lavorazione, individuato nel prezzario, per la quantità di materiale movimentato:

$$\text{Importo Lavorazione} = \text{Prezzo Unitario} \cdot \text{Quantità}$$

Viene quindi calcolato il 40% dell'importo della lavorazione, per ottenere l'importo totale della manodopera. Sempre sul prezzario viene poi individuato il costo orario di manodopera: 28,22 €/h per operaio comune e 31,18 €/h per operaio qualificato. Moltiplicando questi prezzi orari per il numero di ore lavorative (8) si ottiene il costo totale. Questi due valori vengono poi divisi per ottenere il numero di uomini giorno:

$$\text{Uomini Giorno} = \frac{\text{Importo Totale Manodopera}}{\text{Costo Totale Operai}}$$

La durata di ogni singola lavorazione viene quindi calcolata dividendo il numero di uomini giorno per il numero di operai ai quali viene affidata la lavorazione:

$$\text{Durata} = \frac{\text{Uomini Giorno}}{\text{Numero Operai}}$$

La tabella riassuntiva dei valori trovati con il Metodo degli Uomini Giorno, utile per calcolare la durata degli interventi relativi all'accantieramento, è la seguente:

| Numero WBS | Lavorazione | Importo Lavorazione (€) | Costo Orario Manodopera (€/h) | Uomini Giorno | Numero Operai | Durata (giorni) |
|--------------|---|-------------------------|-------------------------------|---------------|---------------|-----------------|
| 1.C.1 | Predisposizione dell'area di cantiere | 2509 € | | | | 2 |
| 1.C.1.1 | Recinzione con rete metallica | 2280 € | 28,22 €/h | 10 | 5 | 2 |
| 1.C.1.2 | Accesso di cantiere | 229 € | 28,22 €/h | 1 | 1 | 1 |
| 1.C.2 | Viabilità di cantiere | 1206 € | | | | 1 |
| 1.C.2.1 | Fornitura e posa segnaletica verticale | 143 € | 28,22 €/h | 0,6 | 1 | 0,6 |
| 1.C.2.2 | Fornitura e posa segnaletica orizzontale | 1063 € | 28,22 €/h | 4,7 | 5 | 1 |
| 1.C.3 | Impianti di cantiere | 7420 € | | | | 3 |
| 1.C.3.1 | Impianto di messa a terra | 960 € | 31,18 €/h | 3,8 | 4 | 1 |
| 1.C.3.2 | Impianto di raccolta e smaltimento acque | 1500 € | 31,18 €/h | 6 | 5 | 1,2 |
| 1.C.3.3 | Impianto idrico-sanitario | 1960 € | 31,18 €/h | 7,9 | 5 | 1,6 |
| 1.C.3.4 | Illuminazione di sicurezza | 3000 € | 31,18 €/h | 12 | 4 | 3 |
| 1.C.4 | Protezione collettiva (D.P.C.) | 1329 € | | | | 1 |
| 1.C.4.1 | Cartelli segnaletici di sicurezza | 143 € | 28,22 €/h | 0,6 | 1 | 0,6 |
| 1.C.4.2 | Messa a terra | 960 € | 31,18 €/h | 3,8 | 4 | 1 |
| 1.C.4.3 | Pacchetto di medicazione | 45 € | 28,22 €/h | 0,2 | 1 | 0,2 |
| 1.C.4.4 | Cassetta di pronto soccorso | 126 € | 28,22 €/h | 0,6 | 1 | 0,6 |
| 1.C.4.5 | Estintore portatile a polvere | 55 € | 28,22 €/h | 0,3 | 1 | 0,3 |
| 1.C.5 | Infrastrutture puntuali area cantiere | 1390 € | | | | 1 |
| 1.C.5.1 | Servizio igienico chimico prefabbricato | 286 € | 31,18 €/h | 1,2 | 2 | 0,6 |
| 1.C.5.2 | Box igienico prefabbricato | 197 € | 31,18 €/h | 0,8 | 1 | 0,8 |
| 1.C.5.3 | Ufficio prefabbricato (510x240x240 cm) | 197 € | 31,18 €/h | 0,8 | 1 | 0,8 |
| 1.C.5.4 | Spogliatoio prefabbricato (510x240x240 cm) | 197 € | 31,18 €/h | 0,8 | 1 | 0,8 |
| 1.C.5.5 | Sovrapprezzo spogliatoio prefabbricato per arredo | 513 € | 31,18 €/h | 2 | 2 | 1 |

Figura 110: tabella riassuntiva dei valori trovati con il metodo degli uomini giorno

Lo schema della produzione relativo agli interventi di rifacimento della pavimentazione su due tratti del circuito automobilistico di Vallelunga è il seguente:

| Numero WBS | Lavorazione | Quantità | Produzione Oraria | Durata |
|------------|---|----------|-------------------|--------|
| 1 | Progetto | | | |
| 1.A | Lotto 1 (Tratto B-C) | | | |
| 1.A.1 | Scarifica | 6300 m | 240 m/h | 26,3 h |
| 1.A.2 | Tratto 1 | | | |
| 1.A.2.1 | Posa strato di cemento | 1968 m | 10000 m/h | 0,2 h |
| 1.A.2.2 | Riciclo a freddo con emulsione bituminosa | 1968 m | 240 m/h | 8,2 h |
| 1.A.2.3 | Posa mano di ancoraggio-protezione | 1968 m | 10000 m/h | 0,2 h |
| 1.A.2.4 | Posa del binder | 656 m | 240 m/h | 2,8 h |
| 1.A.2.5 | Posa del tappeto di usura | 656 m | 240 m/h | 2,8 h |
| 1.A.3 | Tratto 2 | | | |
| 1.A.3.1 | Posa strato di cemento | 1692 m | 10000 m/h | 0,2 h |
| 1.A.3.2 | Riciclo a freddo con emulsione bituminosa | 1692 m | 240 m/h | 7,1 h |
| 1.A.3.3 | Posa mano di ancoraggio-protezione | 1692 m | 10000 m/h | 0,2 h |
| 1.A.3.4 | Posa del binder | 564 m | 240 m/h | 2,4 h |
| 1.A.3.5 | Posa del tappeto di usura | 564 m | 240 m/h | 2,4 h |
| 1.A.4 | Tratto 3 | | | |
| 1.A.4.1 | Posa strato di cemento | 2640 m | 10000 m/h | 0,3 h |
| 1.A.4.2 | Riciclo a freddo con emulsione bituminosa | 2640 m | 240 m/h | 11,0 h |
| 1.A.4.3 | Posa mano di ancoraggio-protezione | 2640 m | 10000 m/h | 0,3 h |
| 1.A.4.4 | Posa del binder | 880 m | 240 m/h | 3,7 h |
| 1.A.4.5 | Posa del tappeto di usura | 880 m | 240 m/h | 3,7 h |
| 1.B | Lotto 2 (Tratto D-A) | | | |
| 1.B.1 | Scarifica | 5346 m | 240 m/h | 22,3 h |
| 1.B.2 | Tratto 1 | | | |
| 1.B.2.1 | Pulizia | 2178 m | 10000 m/h | 0,3 h |
| 1.B.2.2 | Posa mano di ancoraggio-protezione | 2178 m | 10000 m/h | 0,3 h |
| 1.B.2.3 | Posa del tappeto di usura | 726 m | 240 m/h | 3,1 h |
| 1.B.3 | Tratto 2 | | | |
| 1.B.3.1 | Pulizia | 3168 m | 10000 m/h | 0,4 h |
| 1.B.3.2 | Posa mano di ancoraggio-protezione | 3168 m | 10000 m/h | 0,4 h |
| 1.B.3.3 | Posa del tappeto di usura | 1056 m | 240 m/h | 4,4 h |
| 1.C | Accantieramento | | | |
| 1.C.1 | Predisposizione dell'area di cantiere | - | - | 16,0 h |
| 1.C.2 | Viabilità di cantiere | - | - | 8,0 h |
| 1.C.3 | Impianti di cantiere | - | - | 24,0 h |
| 1.C.4 | Protezione collettiva (D.P.C.) | - | - | 8,0 h |
| 1.C.5 | Infrastrutture puntuali area cantiere | - | - | 8,0 h |

Figura 111: schema della produzione

5.5 Diagramma di Gantt

Il diagramma di Gantt, all'interno delle attività di Project Management, viene utilizzato per la rappresentazione dell'arco temporale totale del progetto. Questo diagramma è costituito da un asse orizzontale suddiviso in fasi incrementali, dove sono indicate le unità di tempo (giorni, settimane, mesi), e da un asse verticale a rappresentazione delle attività che costituiscono il progetto.

Il diagramma di Gantt relativo agli interventi di rifacimento della pavimentazione su due tratti del circuito automobilistico di Vallelunga è il seguente:

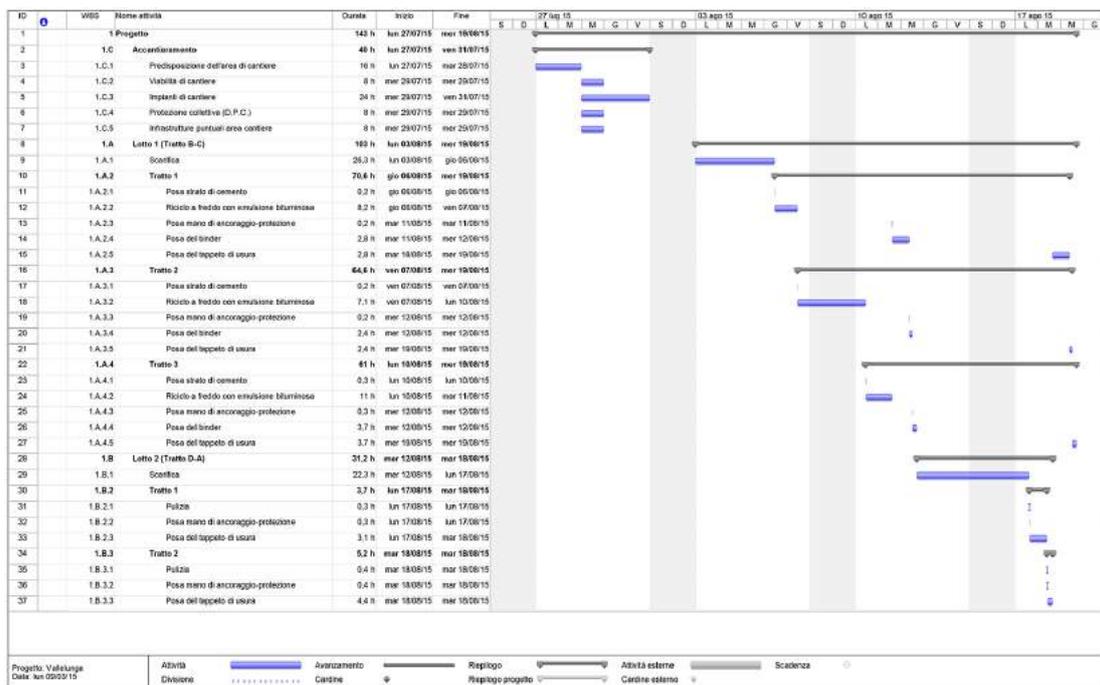


Figura 112: diagramma di Gantt

Grazie a questa rappresentazione, si può quindi individuare le diverse tempistiche che riguardano le consegne delle aree di cantiere, oltre all'inizio e alla fine dei lavori. Avremo quindi:

- Lunedì 27/07/2015: prima consegna parziale dell'area di accantieramento.
- Venerdì 31/07/2015: fine dei lavori di accantieramento.
- Lunedì 03/08/2015: seconda consegna parziale dei tratti del circuito al termine delle attività sportive.
- Mercoledì 19/08/2015: fine dei lavori di rifacimento della pavimentazione sui due tratti del circuito.

Dato che gli interventi di rifacimento della pavimentazione devono essere effettuati nel periodo di sospensione delle attività sportive, è necessario fare iniziare i lavori di accantieramento prima di questo arco temporale che coincide con le prime settimane di agosto. L'intervento viene quindi completato in un periodo di tempo che va da lunedì 27/07/2015, giorno corrispondente alla prima consegna parziale dell'area di accantieramento, a mercoledì 19/08/2015, che coincide con la fine dei lavori di rifacimento della pavimentazione sui due tratti del circuito, per un totale di 143 ore lavorative. Queste tempistiche prevedono 8 ore lavorative giornaliere per 5 giorni a settimana, escludendo così i sabati e le domeniche, potenzialmente utilizzabili in caso di imprevisti o ritardi.

5.6 Precedence diagramming method

Il Precedence Diagramming Method è una particolare tipologia di diagramma reticolare dove le singole lavorazioni, indicate precedentemente nella WBS, vengono collegate fra di loro ed ordinate cronologicamente.

Il Precedence Diagramming Method relativo agli interventi di rifacimento della pavimentazione su due tratti del circuito automobilistico di Vallenga è il seguente:

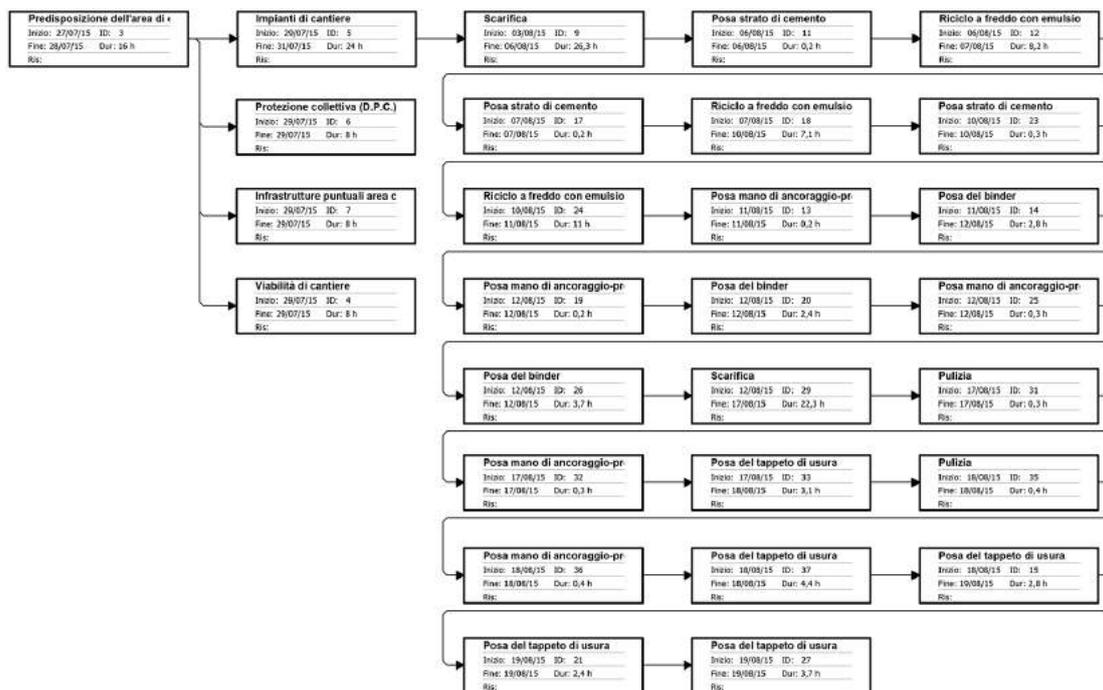


Figura 113: precedence diagramming method

5.7 Piano di emergenza

Il piano di emergenza è un elaborato dove vengono indicate le aree di intervento e tutte le informazioni relative alla sicurezza e al soccorso degli operatori in caso di incidente durante le lavorazioni.

Il piano di emergenza relativo agli interventi di rifacimento della pavimentazione su due tratti del circuito automobilistico di Vallelunga è il seguente:



Figura 114: piano di emergenza

Nel piano di emergenza vengono definiti gli ingressi e le uscite che collegano la viabilità pubblica a tutte le aree di cantiere. Questi varchi sono utilizzabili, in caso di emergenza, dai mezzi di soccorso. Inoltre, sono individuati i due eliporti a servizio del circuito (Figura 115) e le due infermerie, rispettivamente ubicate nel cantiere temporaneo del Paddock 13 e nel Paddock 0 (Figura 116).



Figura 115: eliporto paddock 0



Figura 116: infermeria paddock 0

Conclusioni

Le attività motoristiche nei circuiti permanenti e le normative vigenti delle federazioni nazionali ed internazionali richiedono, ai fini della sicurezza dei piloti, degli operatori e degli spettatori, una continua manutenzione delle infrastrutture degli impianti, in generale, e delle pavimentazioni stradali del tracciato, in particolare. Ciò significa, in questo periodo di profonda crisi economica, far fronte a scelte progettuali tanto complesse quanto lungimiranti, che condizioneranno sia la qualità del servizio offerto negli anni a venire, sia l'attività manutentiva futura in termini di tipologia e frequenza degli interventi.

L'impianto automobilistico di Vallelunga, omologato dalla FIA come circuito F1 Testing e sede di gare motociclistiche del Campionato Superbike e di altre importanti manifestazioni nazionali ed internazionali, è stato negli anni oggetto di interventi di profonda trasformazione, primo fra tutti l'allungamento del tracciato fino agli attuali 4 km. Ad oggi, tuttavia, per effetto delle condizioni economiche contingenti degli ultimi anni, restano ancora importanti interventi di ripavimentazione per quei lotti di tracciato le cui sovrastrutture risalgono all'anno 1997. L'obiettivo è quello di uniformare le caratteristiche superficiali delle pavimentazioni offrendo agli utenti un piano viabile il più possibile omogeneo e regolare, oltre che performante, durevole e sicuro.

La Direzione dell'Autodromo ha deciso pertanto di predisporre un nuovo progetto per le pavimentazioni stradali risalenti al 1997, differenziando i due lotti esistenti in base al tipo risanamento previsto, più o meno profondo a seconda delle condizioni di ammaloramento rilevate sui due tratti.

Lo studio oggetto della presente tesi ha inteso fornire utili elementi progettuali necessari per la redazione di un progetto di ripavimentazione completo ed esecutivo ed ha quindi visto, tra le altre attività, l'inquadramento dello stato di fatto, la predisposizione degli elaborati di progetto compreso il calcolo della sovrastruttura e la messa a punto degli aspetti progettuali di cantierizzazione ed accantieramento di cui si sono potute stimare le risorse necessarie ed i tempi per l'esecuzione dei lavori.

Lo scopo finale del progetto è, come detto, quello di ottenere oltre al prolungamento della vita utile dell'opera, una evidente continuità ed omogeneità del piano viabile,

attualmente assente a causa del fisiologico degrado subito dalla pavimentazione dei lotti meno recenti.

Ai fini progettuali si è quindi suddiviso il circuito in cinque tratti, due dei quali corrispondenti ai lotti le cui pavimentazioni risalgono al 1997. Per ogni tratto si sono analizzate le caratteristiche stratigrafiche delle sovrastrutture e le condizioni del piano viabile. L'analisi superficiale dello stato della pavimentazione, che ha preceduto quella stratigrafica più dettagliata, effettuata tramite sondaggi e carotaggi, ha permesso di individuare due diversi pacchetti, diversi tra loro:

- I tratti A-B, E-E' e C-D, realizzati rispettivamente nel 2011, 2004 e 2005, sono caratterizzati da un conglomerato bituminoso di usura di 4 cm confezionato con bitume modificato con SBS. Nel primo tratto sono state rilevate diverse fessure longitudinali e trasversali, non presenti negli altri due, nei quali sono invece state riscontrate diffuse unghiate per caduta, legate alle caratteristiche velocistiche del tracciato. Entrambi i tratti sono caratterizzati da una tessitura omogenea del manto e con un film bituminoso superficiale integro, per via della tenacità del bitume e della recente realizzazione.
- I tratti B-C e D-A, realizzati nel 1997, sono caratterizzati da una delle prime applicazioni di bitumi modificati in campo automobilistico in Italia. Si tratta di un conglomerato bituminoso di usura confezionato con bitume modificato prodotto dalla società francese Elf denominato Styrelf. In entrambi i tratti, con maggiore densità sul tratto del Curvone, sono state rilevate diffuse fessure longitudinali, trasversali e a blocchi. Sono anche presenti alcuni interventi di sigillatura, oltre a diffuse unghiate per caduta. La tessitura superficiale del manto è aperta, il bitume è inevitabilmente invecchiato e il film bituminoso esfoliato.

Lo studio è quindi proseguito con la progettazione degli interventi di ripavimentazione sui due lotti le cui sovrastrutture risalgono al 1997. L'intervento nel Lotto 1, che comprende il Curvone e termina all'uscita delle curve dei Cimini, consiste nella scarifica dei primi 10 cm di pavimentazione bituminosa, nel conseguente riciclaggio a freddo con emulsione bituminosa e cemento dello strato di

base e nella posa dello strato di binder e del nuovo tappeto di usura. L'intervento nel Lotto 2, che si estende dalla curva Esse al rettilineo dei box, consiste nella scarifica dei primi 4 cm del tappeto di usura esistente e nella conseguente posa del nuovo manto viabile in conglomerato bituminoso modificato.

Gli interventi descritti, per contenere i costi e salvaguardare l'ambiente e ridurre le esternalità verso le maestranze, sono progettati facendo riferimento ai seguenti aspetti tecnici :

- Il riciclaggio a freddo con emulsione bituminosa e cemento dello strato di base offre diversi vantaggi ambientali come, ad esempio, la riduzione del materiale di rifiuto, soprattutto fresato di asfalto, ed il conseguente mancato conferimento in discarica. Questa tecnica garantisce una riduzione del consumo energetico data dal mancato riscaldamento dei materiali, oltre all'abbattimento quasi totale di fumi e polveri. Il riciclaggio a freddo permette inoltre la riduzione dei movimenti di trasporto da e per il cantiere, che sono limitati alla sola fornitura di aggregati di correzione e di leganti, con conseguente riduzione delle esternalità prodotte dai mezzi di cantiere sulla rete esterna.
- Il riciclaggio a freddo, per quanto riguarda i vantaggi economici, garantisce una riduzione dei costi come conseguenza del risparmio energetico, del riutilizzo del materiale fresato e della diminuzione dei trasporti.
- Il materiale fresato, prodotto dalla scarifica dei primi centimetri della pavimentazione, può essere riutilizzato all'interno del circuito per la realizzazione di nuove strade di servizio o per il risanamento di quelle esistenti.

Durante lo studio della cantierizzazione delle opere, data la specificità dell'intervento, le peculiarità che caratterizzano il circuito automobilistico e la sua collocazione all'interno delle reti viarie esterne, si sono risolti alcuni problemi di natura tecnica e logistica:

- Sono stati definiti i varchi di ingresso ed uscita dei mezzi d'opera in modo tale da evitare il passaggio di autocarri e macchinari pesanti sulle pavimentazioni esistenti, per non generare danneggiamenti. A tal proposito, la nuova sovrastruttura del tratto B-C è stata comunque progettata in modo tale da sopportare un numero considerevole di passaggi di autocarri carichi, in caso di futuri interventi sul tracciato.
- In fase di stesa degli strati in conglomerato bituminoso, è necessario evitare la sovrapposizione tra i giunti longitudinali dello strato di binder e quelli formati nella posa del tappeto di usura.
- La posa del tappeto di usura è effettuata iniziando sempre dalla parte più esterna della pista. Quest'ultimo è un accorgimento utile al fine di rendere uniforme il piano viabile in corrispondenza dei giunti longitudinali, laddove il conglomerato caldo è posato in adiacenza a quello freddo della stesa precedente.

In termini di cantierizzazione il progetto prevede la definizione delle modalità con le quali vengono eseguite le lavorazioni, determinando l'organizzazione e la mobilità di macchinari ed operatori all'interno del circuito. L'accantieramento, invece, consiste nella definizione del layout di cantiere e nella redazione del Project Management, costituito dalla WBS, dallo schema della produzione, dal diagramma di Gantt, dal Precedence Diagramming Method e dal piano di emergenza.

In definitiva, il progetto degli interventi di ripavimentazione dei lotti del 1997 tiene conto delle esigenze espresse in termini di prestazioni meccaniche e superficiali, di aspetti economici legati al riciclaggio dei materiali esistenti ed al risparmio di risorse vergini, del contenimento delle esternalità del cantiere per effetto dell'impiego di lavorazioni meno impattanti condotte direttamente in sito e dell'ottimizzazione dell'accantieramento, senza trascurare gli aspetti normativi sulla sicurezza e sulla fruibilità del cantiere. Gli interventi, se correttamente realizzati, restituiranno sovrastrutture rinnovate, più durevoli e performanti ed un piano viabile omogeneo e regolare su tutto il tracciato.

Bibliografia e sitografia

- [1] ACI Vallelunga, *L'autodromo di Vallelunga intitolato a Piero Taruffi*, <http://www.aci.it/fileadmin/documenti/Taruffi.pdf>, 2006
- [2] ACI Vallelunga, *Anni '50 e '60: nasce ed evolve il mito Vallelunga*, <http://www.vallelunga.it/it/autodromo/la-storia/gli-anni-50-e-60>, 2014
- [3] Racing Sports Cars, *6 Ore Esso Vallelunga GT: Race Results*, <http://www.racingsportscars.com/results/Vallelunga-1957-12-01-14993.html>, 2014
- [4] ACI Vallelunga, *Anni '70 e '80: Vallelunga entra nell'eccellenza del Motorsport nazionale ed internazionale*, <http://www.vallelunga.it/it/autodromo/la-storia/la-storia-anni-70-80>, 2014
- [5] ACI Vallelunga, *Gli anni '90 e '00: Vallelunga "tempio" del Motorsport*, <http://www.vallelunga.it/it/autodromo/la-storia/gli-anni-90>, 2014
- [6] ACI Vallelunga, *Vallelunga per l'Ambiente*, <http://www.vallelunga.it/it/energy-zero-impact/vallelunga-per-lambiente>, 2014
- [7] ACI Vallelunga, *Il Circuito*, <http://www.vallelunga.it/it/autodromo/il-circuito>, 2014
- [8] ACI Vallelunga, *Vallelunga "Powered by Sun". Energy Zero Impact*, <http://www.vallelunga.it/it/energy-zero-impact/vallelunga-powered-by-sun>, 2014
- [9] ACI Vallelunga, *Un complesso polifunzionale in continua evoluzione per rispondere alle esigenze dell'utenza sportiva e commerciale*, <http://www.vallelunga.it/it/chi-siamo/dal-1950vallelunga/vallelunga-oggi>, 2014

Fédération Internationale de l'Automobile, *Internal guidelines for motor racing course construction and safety. A study by the circuits commission*, 2012

Regione Lazio, *Bollettino Ufficiale della Regione Lazio: numero 41 supplemento n.1 Tariffa dei prezzi 2012 Regione Lazio*, 2012

Ministero del Lavoro e delle Politiche Sociali, *Decreto Legislativo n° 81 del 9 aprile 2008. Testo unico in materia di salute e sicurezza sul lavoro*, 2008

Documentazione progettuale privata Dott. Ing. Giuseppe Sangiorgi