

## T2.1.1: Studio di fattibilità delle opere

---

|                              |                                   |
|------------------------------|-----------------------------------|
| <b>Attività:</b>             | T2.1                              |
| <b>Componente:</b>           | T2                                |
| <b>Partner responsabile:</b> | Office des Transports de la Corse |
| <b>Data:</b>                 | 09/04/2021                        |

|                                                                                                                                           |    |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Sintesi .....                                                                                                                             | 3  |
| Il progetto RUMBLE.....                                                                                                                   | 4  |
| Interventi di mitigazione dell'inquinamento acustico portuale .....                                                                       | 5  |
| Fornitura e installazione di quattro stazioni di ricarica per veicoli elettrici nel Porto commerciale di Bastia (Corsica, Francia) .....  | 6  |
| Fornitura e installazione di una stazione di ricarica per veicoli elettrici nel Porto commerciale dell'Ile Rousse (Corsica, Francia)..... | 7  |
| Realizzazione di asfaltatura a bassa emissione sonora nel Porto Commerciale dell'Ile Rousse (Corsica, Francia).....                       | 8  |
| Realizzazione di asfaltatura a bassa emissione sonora nel Porto di Portoferraio (Toscana, Italia).....                                    | 9  |
| Realizzazione di asfaltatura a bassa emissione sonora nel Porto di Cagliari (Sardegna, Italia).....                                       | 12 |
| Conclusioni .....                                                                                                                         | 22 |

## Sintesi

Il seguente documento ha lo scopo di raccogliere le analisi, le osservazioni e le risultanze della fattibilità tecnica ed economica degli investimenti e degli interventi di mitigazione dell'inquinamento acustico nei porti, previsti nell'ambito del progetto RUMBLE - Riduzione del rumore nelle grandi città portuali nel Programma Marittimo transfrontaliero - cofinanziato dal Programma INTERREG Marittimo Italia-Francia 2014-2020, in particolare:

1. Fornitura e installazione di stazioni di ricarica per veicoli elettrici nel porto commerciale di Bastia (Corsica, Francia)
2. Fornitura e installazione di stazioni di ricarica per veicoli elettrici nel porto commerciale dell'Ile Rousse (Corsica, Francia)
3. Realizzazione di asfaltatura a bassa emissione sonora nel Porto commerciale dell'Ile Rousse (Corsica, Francia)
4. Realizzazione di asfaltatura a bassa emissione sonora nel Porto di Portoferraio (Toscana, Italia)
5. Realizzazione di asfaltatura a bassa emissione sonora nel Porto di Cagliari (Sardegna, Italia).

I dettagli dell'esecuzione dei lavori sono contenuti nel prodotto T2.2.1.

## Il progetto RUMBLE

Il progetto RUMBLE - Riduzione del rumore nelle grandi città portuali nel Programma Marittimo transfrontaliero - è un progetto della durata di 36 mesi con un finanziamento totale di 1,9 milioni di euro, di cui l'85% è cofinanziato dal Programma INTERREG Marittimo Italia-Francia 2014-2020 attraverso il Fondo europeo di sviluppo regionale (FESR).

L'obiettivo di RUMBLE è migliorare la sostenibilità dei porti commerciali dello spazio di cooperazione Italia-Francia Marittimo 2014-2020, riducendo l'inquinamento acustico, migliorando il monitoraggio delle fonti sonore che causano l'inquinamento acustico nei porti commerciali e realizzando piccoli interventi di mitigazione per ridurre le fonti di rumore che disturbano la popolazione residente nelle aree urbane.

RUMBLE fa parte di una rete di sei progetti volti a ridurre l'impatto acustico generato dai porti e dalle piattaforme logistiche, finanziati dal Programma Italia-Francia Marittimo (Asse prioritario 3 - Obiettivo specifico 7C), che comprende tredici porti e una piattaforma logistica:

|                                                                                     |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |
|-------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|  | <b>DECIBEL - Bonifica acustica dei centri portuali urbani e insulari</b> con particolare attenzione alle problematiche dei piccoli porti insulari                                                                                                                                                                                                                                                 |
|  | <b>LIST PORT - Limitazione dell'inquinamento sonoro da traffico nei porti commerciali</b> , attraverso l'utilizzo di sistemi integrati ITS, incentrato su modelli di simulazione del rumore dovuto al traffico leggero e pesante da e verso il porto.                                                                                                                                             |
|  | <b>REPORT - Rumore e Porti</b> è un progetto a carattere scientifico che offre input sulle migliori pratiche da implementare insieme ad altri progetti e si propone di sviluppare un modello numerico per il rumore nei porti                                                                                                                                                                     |
|  | <b>MONACUMEN - Monitoraggio attivo congiunto urbano – marittimo del rumore</b> si concentra sui sistemi di monitoraggio per il rilevamento, anche in tempo reale, del rumore in ambiente portuale                                                                                                                                                                                                 |
|  | <b>TRIPOLO - Trasporti e collegamenti innovativi e sostenibili tra porti e piattaforme logistiche</b> mira a sviluppare soluzioni ITS e altre misure integrative che confluiranno in un Piano strategico congiunto per la riduzione dell'inquinamento acustico causato dalla movimentazione a terra delle merci, durante il loro trasferimento dalle piattaforme logistiche ai porti e viceversa. |

## **Interventi di mitigazione dell'inquinamento acustico portuale**

Per la definizione degli interventi di mitigazione dell'inquinamento acustico portuale nei porti della zona di cooperazione Italia-Francia Marittimo, il progetto RUMBLE ha adottato un approccio integrato. Infatti, nel quadro della component T1, il partenariato ha svolto un importante lavoro preliminare di analisi delle aree portuali e ha identificato una serie di aree portuali potenzialmente oggetto di interventi di mitigazione del rumore portuale, in particolare nel Porto commerciale di Bastia (Corsica, Francia), nel Porto commerciale dell'Ile Rousse (Corsica, Francia), nel Porto di Portoferraio (Toscana, Italia) e nel Porto di Cagliari (Sardegna, Italia).

## Fornitura e installazione di quattro stazioni di ricarica per veicoli elettrici nel Porto commerciale di Bastia (Corsica, Francia)

Per la fornitura e l'installazione di quattro stazioni di ricarica per veicoli elettrici nel Porto commerciale di Bastia (Corsica, Francia), l'Office des Transports de la Corse ha realizzato uno studio di fattibilità che è stato poi utilizzato per la gara d'appalto.

Il luogo di esecuzione della fornitura e installazione di quattro stazioni di ricarica per veicoli elettrici è il Porto commerciale di Bastia (cfr. pallini rossi qui sotto).

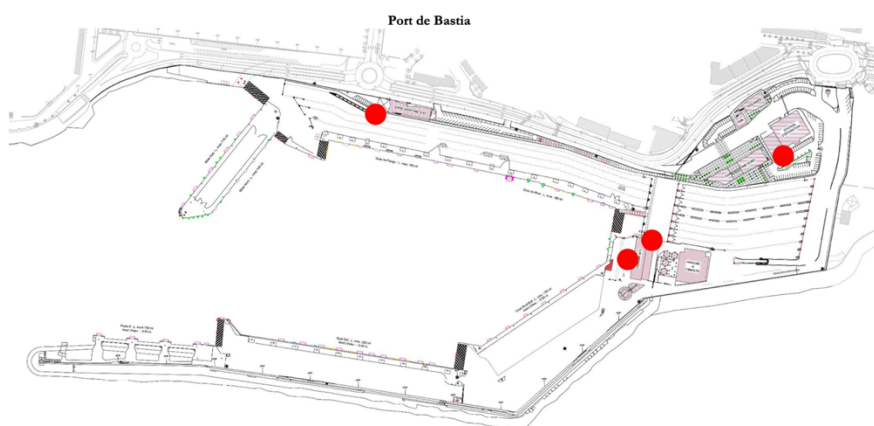


Figura 1: Luogo di installazione di quattro stazioni di ricarica per veicoli elettrici nel Porto commerciale di Bastia (Corsica, Francia)

La scelta di realizzare delle stazioni di ricarica per veicoli elettrici nel Porto commerciale di Bastia è stata effettuata in seguito alla tempesta "ADRIAN" che si è abbattuta sulla Corsica lunedì 29 ottobre 2018 rendendo inutilizzabile il pontile Saint-Joseph del Porto commerciale di Ajaccio, inizialmente previsto come luogo di esecuzione per gli investimenti RUMBLE.

Grazie a una stretta collaborazione tra l'OTC e la Chambre de commerce et d'Industrie de Bastia et de la Haute Corse, rispettivamente partner del progetto RUMBLE e capofila del progetto DECIBEL, e con la prospettiva di una buona e concreta opportunità di illustrare la capitalizzazione e lo scambio di buone pratiche del programma INTERREG Marittimo, l'OTC e la Chambre de commerce et d'Industrie de Bastia et de la Haute Corse hanno deciso di capitalizzare lo studio congiunto che ha permesso di identificare un modello di riduzione dell'inquinamento acustico realizzato dalla Chambre de commerce et d'Industrie de Bastia et de la Haute Corse nel progetto DECIBEL, e di realizzare un'azione pilota nel quadro del progetto RUMBLE nel Porto commerciale di Bastia.

## Fornitura e installazione di una stazione di ricarica per veicoli elettrici nel Porto commerciale dell'Ile Rousse (Corsica, Francia)

Per la fornitura e l'installazione di una stazione di ricarica per veicoli elettrici nel Porto commerciale dell'Ile Rousse (Corsica, Francia), l'Office des Transports de la Corse ha realizzato uno studio di fattibilità che è stato poi utilizzato per la gara d'appalto.

Il luogo di esecuzione della fornitura e installazione di una stazione di ricarica per veicoli elettrici è il Porto commerciale dell'Ile Rousse (cfr. pallino rosso qui sotto).

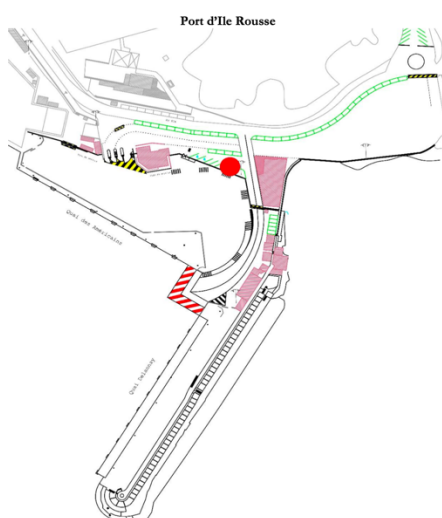


Figura 2: Luogo di installazione di una stazione di ricarica per veicoli elettrici nel Porto commerciale dell'Ile Rousse (Corsica, Francia)

La scelta di realizzare una stazione di ricarica per veicoli elettrici nel Porto commerciale dell'Ile Rousse è stata effettuata in seguito alla tempesta "ADRIAN" che si è abbattuta sulla Corsica lunedì 29 ottobre 2018 rendendo inutilizzabile il pontile Saint-Joseph del Porto commerciale di Ajaccio, inizialmente previsto come luogo di esecuzione per gli investimenti RUMBLE

Grazie a una stretta collaborazione tra l'OTC e la Chambre de commerce et d'Industrie de Bastia et de la Haute Corse, rispettivamente partner del progetto RUMBLE e capofila del progetto DECIBEL, e con la prospettiva di una buona e concreta opportunità di illustrare la capitalizzazione e lo scambio di buone pratiche del programma INTERREG Marittimo, l'OTC e la Chambre de commerce et d'Industrie de Bastia et de la Haute Corse hanno deciso di capitalizzare lo studio congiunto che ha permesso di identificare un modello di riduzione dell'inquinamento acustico realizzato dalla Chambre de commerce et d'Industrie de Bastia et de la Haute Corse nel progetto DECIBEL, e di realizzare un'azione pilota nel quadro del progetto RUMBLE nel Porto commerciale dell'Ile Rousse.

## Realizzazione di asfaltatura a bassa emissione sonora nel Porto Commerciale dell'Ile Rousse (Corsica, Francia)

Per la realizzazione di asfaltatura a bassa emissione sonora minimo 9db nel Porto commerciale dell'Ile Rousse (Corsica, Francia), l'Office des Transports de la Corse ha realizzato uno studio di fattibilità che è stato poi utilizzato per la gara d'appalto.

Il luogo di esecuzione delle prestazioni di realizzazione di asfaltatura a bassa emissione sonora minimo 9db è il Porto commerciale dell'Ile Rousse, come dettagliato nella cartografia qui sotto.

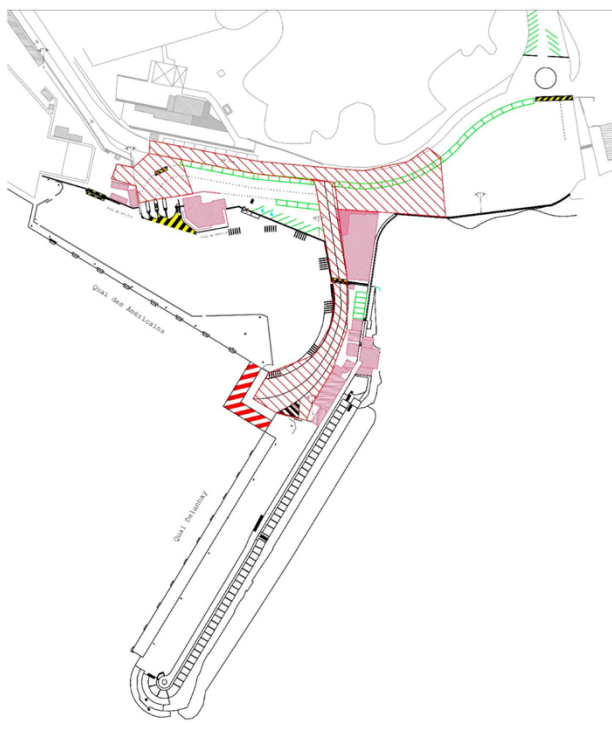


Figura 3: Luogo di esecuzione delle prestazioni di realizzazione di asfaltatura a bassa emissione sonora nel Porto commerciale dell'Ile Rousse (Corsica, Francia)

## Realizzazione di asfaltatura a bassa emissione sonora nel Porto di Portoferraio (Toscana, Italia)

All'interno del Porto di Portoferraio è stato realizzato un béton bitumineux réducteur de bruit. Il Porto di Portoferraio è, infatti, completamente compenetrato all'interno dell'area urbana della città e le due differenti tipologie di traffico – quello cittadino e quello portuale - non sono facilmente distinguibili.



Image 4: Lieu d'exécution des prestations de réalisation d'un béton bitumineux réducteur de bruit sur le Port de Portoferraio (Toscane, Italie)

L'area destinata alla realizzazione dell'asfaltatura a bassa emissione sonora è quella indicata in rosso e si tratta di un'area stradale compresa tra Piazza Citi e la rotonda di Calata Italia, avente una superficie complessiva di circa 3250 mq.

L'area in oggetto si trova all'interno dell'ambito portuale e rappresenta un tratto stradale molto frequentato sia dal traffico civile che da quello portuale e che trova il picco durante il periodo estivo. La scelta dell'area d'intervento è dovuta alla piena compenetrazione dell'area portuale con l'area urbana retrostante, questo comporta inevitabili problematiche di interazioni tra le stesse. Una di queste è l'incremento dell'inquinamento acustico prodotto dal traffico veicolare in entrata e in uscita dal porto soprattutto nei mesi estivi. Durante il periodo invernale, invece, vista la scarsa presenza di turisti sull'isola, interessa maggiormente il traffico cittadino anche con alte velocità.

Quest'area risulta idonea anche poiché le altre aree interne all'ambito portuale risultano meno interessate dal traffico veicolare, in quanto trattasi di aree di sosta, in cui i veicoli sostano o le velocità

sono molto moderate, oppure di aree in cui il traffico cittadino, durante il periodo invernale, non raggiunge livelli significativi per ottenere una concreta riduzione delle emissioni sonore.

Il traffico infatti si concentra nell'area in oggetto in quanto direttamente collegata con la rotonda di Calata Italia, che indirizza e smista gran parte del traffico cittadino e portuale verso le aree retrostanti della città. L'area oggetto di intervento raggiunge picchi di circa 3500 veicoli (ultra leggeri, leggeri e pesanti) durante l'intero arco diurno, che sicuramente danneggia e infastidisce l'area urbana adiacente.

L'obiettivo dell'intervento è quindi quello di andare a mitigare i livelli di emissione sonora prodotte dagli pneumatici dei veicoli transitanti nell'ambito portuale, andando così ad aumentare i livelli di comfort acustico delle persone che risiedono o lavorano nei pressi del porto.

La riduzione di rumore prevista si otterrà attraverso la realizzazione di un'asfaltatura a bassa emissione sonora, per un valore di circa 5dB rispetto alle pavimentazioni tradizionali. Con un maggiore attrito su strada si incrementa inoltre la sicurezza della circolazione stradale.

L'asfalto, a bassa emissione sonora, sarà realizzato con polverino di gomma riciclato, consentendo un minore impatto ambientale in fase di realizzazione, sulla base di quanto analizzato nel progetto LIFE NEREIDE (con partner ARPAT). Non sono previsti rischi per l'ambiente poiché la pavimentazione a bassa emissione sonora sarà prodotta secondo principi e modalità rispettosi dell'ambiente, con minore consumo di energia a parità di volume.

La zona è stata oggetto di misura ex ante intervento del livello sonoro a bordo strada e del livello di rumore di rotolamento CPX per definire i parametri di riferimento prima dell'intervento di mitigazione acustica in cui vengono individuati i valori dell'emissione acustica dovuta all'interazione dello pneumatico con la pavimentazione, i livelli sonori prodotti a bordo strada dal passaggio dei veicoli sulla pavimentazione, la tessitura superficiale dell'asfalto allo stato attuale e i livelli sonori a bordo strada durante un periodo di riferimento di una settimana.

Questi valori verranno utilizzati per realizzare attività di monitoraggio e di collaudo della nuova asfaltatura oggetto di intervento.

La pavimentazione a basso impatto acustico dovrà essere soggetta a collaudo conformemente all'Appendice 2 dell'Allegato B della Delibera Regionale n. 1296 del 27 novembre 2018.

Gli interventi da effettuare sono:

- scarificazione superficiale di 1000 M<sup>2</sup> di pavimentazione stradale bitumata fino alla profondità massima di 10cm, eseguita con mezzi meccanici e manuali, compresi il carico, il trasporto e lo smaltimento dei materiali di risulta
- fornitura e posa in opera di 1000 M<sup>2</sup> di strato in conglomerato bituminoso a caldo di collegamento (binder) delle aree dove è stata eseguita la scarifica stesa con vibrofinitrice

- previa mano d'attacco con 0,80 Kg/ M<sup>2</sup> di emulsione bituminosa al 55%, compresa rullatura con rullo vibrante con aggregato pezzatura 0/25 mm spessore compresso di 7 cm
- fornitura e posa in opera di 3250 M<sup>2</sup> di tappeto d'usura fonoassorbente composto da conglomerato con aggregati basaltici e bitume ad alta modifica con polimeri elastometrici, rapporto filler bitume 1, assorbimento acustico ISO 10534 a 800 e 1000 Hz maggiore di 0,5 con conglomerato a curva granulometrica discontinua 0-8 mm spessore compresso 3 cm
  - ripristino in quota di n. 19 fra griglie, chiusini, caditoie od altri manufatti a seguito di ripavimentazione stradale compreso
  - realizzazione di 350 metri di segnaletica stradale orizzontale con vernice spartitraffico rifrangente colore blu per realizzazione di n. 22 parcheggi in parallelo e n. 12 parcheggi a lisca di pesce a pagamento, in strisce continue o discontinue di larghezza 12 cm
  - realizzazione di 1000 metri di segnaletica stradale orizzontale con vernice spartitraffico rifrangente colore bianco per viabilità stradale in Calta Italia e corsie di imbarco al Raccordo Alto Fondale, in strisce continue o discontinue di larghezza 12 cm.
  - Realizzazione di 22 metri di segnaletica stradale orizzontale con vernice spartitraffico rifrangente di colore bianco per n. 6 stalli motocicli in Calata Italia
  - Realizzazione di 240 metri di segnaletica stradale orizzontale con vernice spartitrattico rifrangente di colore giallo per corsia imbarco in Calata Italia e corsia di emergenza Raccordo Alto Fondale, in strisce continue o discontinue di larghezza 12 cm.
  - Realizzazione di 15 metri di segnaletica stradale orizzontale con vernice spartitrattico rifrangente di colore giallo per corsia imbarco in Calata Italia e corsia di emergenza Raccordo Alto Fondale di larghezza superiore a 25 cm per scritta « Solo imbarchi » e n. 6 frecce
  - Realizzazione di 350 M<sup>2</sup> di segnaletica stradale orizzontale con vernice spartitrattico rifrangente di colore bianco per attraversamenti pedonali, frecce, scritte « STOP », linee di arresto e loghi « DARE PRECEDENZA » in Calata Italia e Raccordo Alto Fondale della larghezza superiore a 25 cm
  - Fornitura e posa in opera di n. 110 delineatori stradali omologati in poliuretano colorato in pasta gialla colore RAL 1003 di 1000 mm (lunghezza), 150 mm (larghezza) e 50 mm (altezza), durezza UNI 4916 – 80+/- 5 Shore A3, resistenza alla rottura UNI 6065 – 18+/- 2MPa, Prova di trazione UNI 6065 -  $\geq 250\%$ , compresa la realizzazione di fori nell'asfalto e la ferramenta necessaria alla corretta installazione.

Dalla perizia effettuata, il costo degli interventi è stimato in € 70.105,34 compresi oneri per la sicurezza.

Per la realizzazione dell'opera, l'Autorità di Sistema Portuale del Mar Tirreno Settentrionale ha provveduto ad affidamento diretto ex art. 36 Codice dei Contratti.

I lavori sono stati affidati all'Impresa Edile Stradale F.LLI MASSAI SRL per un importo pari a € 54.056,29. Il dettaglio dei lavori fatti dall'Impresa Edile Stradale F.LLI MASSAI SRL sono contenuti nel prodotto T2.2.1.

## Realizzazione di asfaltatura a bassa emissione sonora nel Porto di Cagliari (Sardegna, Italia)

Per la realizzazione di asfaltatura a bassa emissione sonora nel Porto di Cagliari (Sardegna, Italia), uno studio di fattibilità è stato sviluppato a seguito di una campagna di misurazione, ottenendo lavori di livello equivalente sovente tra 53 dB e 75dB.

Tali misure hanno incluso rilievi di :

- traffico veicoli leggeri <1500 veicoli/ora circa
- traffico veicoli pesanti <50 veicoli/ora circa,
- velocità (25-66 km/h circa)
- rumore stradale (livello equivalente: 53-75db(A) circa), con massimi di traffico intorno alle 8 e 20, e misurazioni anche con presenza di navi in banchina.

Le misure hanno evidenziato che:

- 1) Il livello equivalente diurno 6-22 e notturno 22-6 delle aree prossime al bacino e dalle navi è usualmente inferiore rispetto a quello delle contigue (ma più interne) arterie adibite al traffico stradale (1-2 arterie con orientamento da Nord-Ovest verso Sud-Est e viceversa).
- 2) Nel caso di navi in stazionamento, però, il livello di rumore per nave in stazionamento e per carico scarico ha massimi anche in area molo sabauda/molo rinascita (cioè nell'area indicata, in figura 1 a destra, con una stella).



Figure 5: Le Port de Cagliari (Sardaigne, Italie) objet de la réalisation d'un béton bitumineux réducteur de bruit

Al fine della individuazione della pavimentazione sono state considerate le seguenti istanze:

- 1) La opportunità di indicare alla committenza tipologie sovrastrutturali non esclusivamente fono-assorbenti ma, più in generale, meno rumorose.
- 2) La presenza di mezzi pesanti, con una percentuale a volte maggiore del 10% circa.
- 3) Le indicazioni provenienti da progetti di ricerca aventi ad oggetto pavimentazioni stradali meno rumorose (per esempio, Life Nereide, Life E-VIA).
- 4) Le indicazioni provenienti dalla letteratura internazionale di settore
- 5) La opportunità di contemperare aspetti prettamente meccanici ed aspetti ambientali.

Alla luce di quanto sopra sono state selezionate due miscele con dimensione nominale massima dell'aggregato piuttosto ridotta. In uno dei due casi si è considerata la introduzione di una percentuale di granulato di gomma. Le miscele e le relative caratteristiche volumetriche hanno carattere prevalentemente sperimentale.

Per quanto riguarda lo strato superficiale in conglomerato bituminoso – tipo 1, il bitume dovrà essere un 50/70 modificato ed avrà le caratteristiche seguenti.

| Parametro                                      | Normativa             | unità di misura | tipo A |
|------------------------------------------------|-----------------------|-----------------|--------|
| Penetrazione a 25°C                            | EN1426, CNR24/71      | dmm             | 50-70  |
| Punto di rammollimento                         | EN1427, CNR35/73      | °C              | ≥ 65   |
| Punto di rottura (Fraass)                      | EN 12593 CNR43<br>/74 | °C              | ≤ - 15 |
| Viscosità dinamica a 160°C, $\gamma$<br>=10s-1 | PrEN 13072-2          | Pas             | ≥ 0,4  |
| Ritorno elastico a 25 °C                       | EN 13398              | %               | ≥ 75%  |
| Stabilità allo stoccaggio 3gg a<br>180°C       | EN 13399              | °C              | ≤ 0,5  |
| Variazione del punto di<br>Rammollimento       | EN12607-1             |                 |        |
| <b>Valori dopo RTFOT</b>                       |                       |                 |        |
| Volatilità                                     | CNR54/77              | %               | ≤ 0,8  |
| Penetrazione residua a 25°C                    | EN1426, CNR24/71      | %               | ≥ 60   |
| Incremento del punto di<br>Rammollimento       | EN1427, CNR35/73      | °C              | ≤ 5    |

Tabella 1 : Caratteristiche strato superficiale in conglomerato bituminoso – tipo 1

Per quanto riguarda aggregati lapidei, l'aggregato grosso deve essere costituito da elementi ottenuti dalla frantumazione di rocce lapidee. Tali elementi potranno essere di provenienza o natura petrografica diversa purché, per ogni tipologia, risultino soddisfatti (qualora determinabili) i requisiti indicati nelle tabelle seguenti. Si sottolinea che la impossibilità ad eseguire prove, o mancata esecuzione di prove, o lo stesso relativo soddisfacimento di prove non possono in alcun modo comportare o giustificare il

mancato soddisfacimento degli ulteriori requisiti specificati nella presente relazione (anche in altra sezione, ed in particolare di quelli relativi ai controlli sul costruito).

| Trattenuto al crivello UNI n. 5 |            |                 |        |
|---------------------------------|------------|-----------------|--------|
| Indicatori di qualità           |            |                 |        |
| Parametro                       | Normativa  | Unità di misura | Valore |
| Los Angeles                     | CNR 34/73  | %               | ≤ 20   |
| Micro Deval umida               | CNR 109/85 | %               | ≤ 15   |
| Quantità di frantumato          | -          | %               | 100    |
| Dimensione max                  | CNR 23/71  | mm              | 20     |
| Sensibilità al gelo             | CNR 80/80  | %               | ≤ 30   |
| Spogliamento                    | CNR 138/92 | %               | 0      |
| Passante allo 0.075             | CNR 75/80  | %               | ≤ 1    |
| Coefficiente di forma           | CNR 95/84  |                 | ≤ 3    |
| Coefficiente di appiattimento   | CNR 95/84  |                 | ≤ 1,58 |
| Indice appiattimento            | CNR 95/84  | %               | ≤ 20   |
| Porosità                        | CNR 65/78  | %               | ≤ 1,5  |
| CLA                             | CNR 140/92 | %               | ≥ 45   |

Tabella 2 : caratteristiche aggregati lapidei

L'aggregato fino deve essere costituito da elementi naturali e di frantumazione, come in tabella

| Aggregato fino (Passante al crivello UNI n. 5) |            |                 |        |
|------------------------------------------------|------------|-----------------|--------|
| Indicatori di qualità                          |            |                 |        |
| Parametro                                      | Normativa  | Unità di misura | Valore |
| Equivalente in sabbia                          | CNR 27/72  | %               | ≥ 80   |
| Passante allo 0.075                            | CNR 75/80  | %               | ≤ 2    |
| Quantità di frantumato                         | CNR 109/85 | %               | 100    |

Tabella 3: caratteristiche aggregato fino

Il filler, frazione passante al setaccio 0,075 mm, proviene dalla frazione fina degli aggregati oppure può essere costituito da polvere di roccia, preferibilmente calcarea, da cemento, calce idrata, calce idraulica, polvere di asfalto, ceneri volanti. In ogni caso il filler per conglomerati bituminosi a caldo confezionati con bitume modificato deve soddisfare i requisiti indicati in tabella.

| Filler (frazione sostanzialmente minore di 0.075mm) |            |                 |                       |
|-----------------------------------------------------|------------|-----------------|-----------------------|
| Indicatori di qualità                               |            |                 | Strato pavimentazione |
| Parametro                                           | Normativa  | Unità di misura | Base Binder Usura     |
| Spogliamento                                        | CNR 138/92 | %               | ≤ 5                   |
| Passante allo 0.18                                  | CNR 23/71  | %               | 100                   |

|                                                     |               |     |       |
|-----------------------------------------------------|---------------|-----|-------|
| Passante allo 0.075                                 | CNR 75/80     | %   | ≥ 80  |
| Indice Plasticità                                   | CNR-UNI 10014 |     | N.P.  |
| Vuoti Rigden                                        | CNR 123/88    | %   | 30-45 |
| Stiffening Power<br>Rapporto filler/bitume<br>= 1,5 | CNR 122/88    | ΔPA | ≥ 5   |

Tabella 4: caratteristiche filler per conglomerati bituminosi

Ai fini dell'accettazione, prima dell'inizio dei lavori, l'Impresa è tenuta a predisporre la qualificazione degli aggregati tramite certificazione attestante i requisiti prescritti. Tale certificazione deve essere rilasciata da un Laboratorio riconosciuto. La miscela degli aggregati da adottarsi per i diversi strati, deve avere una composizione granulometrica contenuta nei fusi riportati in tabella. La percentuale di legante, riferita al peso degli aggregati, deve essere compresa nei limiti indicati nella stessa tabella e si ispira concettualmente al raggiungimento di percentuali dei vuoti residui intorno al 12%.

| Vaglio                | % passante | Entro      |
|-----------------------|------------|------------|
| mm                    | %          | ±          |
| 8                     | 100        | 0          |
| 5.6                   | 97         | 3          |
| 4                     | 67         | 5          |
| 2                     | 25         | 5          |
| 1                     | 20         | 5          |
| 0.5                   | 15         | 5          |
| 0.25                  | 12         | 3          |
| 0.063                 | 8          | 2          |
| <b>%b (rif. aggr)</b> | <b>6.0</b> | <b>0.5</b> |

Tabella 5: Limiti di legante riferita al peso degli aggregati

Per quanto riguarda la miscela bituminosa, la quantità di bitume di effettivo impiego deve essere determinata mediante lo studio della miscela con metodo volumetrico. In via transitoria si potrà utilizzare, in alternativa, il metodo Marshall. Lo spessore della miscela in opera e compattata deve essere pari a 2.5cm. Le caratteristiche richieste sono riportate in tabella.

Sulla miscela definita con la pressa giratoria (provini confezionati al 98% della DG ) deve essere sperimentalmente determinato un opportuno parametro di rigidità (modulo complesso, modulo elastico, ecc.) che deve soddisfare le prescrizioni per esso indicate nel progetto della pavimentazione ed ha la funzione di costituire il riferimento per i controlli alla stesa.

|                                                                                         |                   |       |
|-----------------------------------------------------------------------------------------|-------------------|-------|
| Resistenza a trazione indiretta a 25°C (**)                                             | N/mm <sup>2</sup> | > 0,4 |
| Coefficiente di trazione indiretta a 25°C<br>(**)a                                      | N/mm <sup>2</sup> | > 30  |
| Perdita di resistenza a trazione indiretta a 25°C dopo 15 giorni di immersione in acqua | %                 | ≤ 25  |

(\*\*) Su provini confezionati con 50 rotazioni della pressa giratoria

Tabella 6: Quantità di bitume di effettivo impiego

| Condizioni di prova        | Unità di misura | Valori      |
|----------------------------|-----------------|-------------|
| Angolo di rotazione        |                 | 1.25* ±0.02 |
| Velocità di rotazione      | Rotazioni/m     | 30          |
| Pressione verticale        | Kpa             | 600         |
| Diametro del provino       | Mm              | 150         |
| <b>Risultati richiesti</b> |                 |             |
| Vuoti a 10 rotazioni       | %               | 15-23       |
| Vuoti a 50 rotazioni       | %               | 10-14       |
| Vuoti a 130 rotazioni      | %               | ≥ 7         |

Tabella 7: Caratteristiche della miscela bituminosa da utilizzare sul Porto di Cagliari (Sardegna, Italia), Metodo volumetrico

| Condizioni di prova                                                 | Unità di misura     | Valori |
|---------------------------------------------------------------------|---------------------|--------|
| Costipamento                                                        | 50 colpi per faccia |        |
| <b>Risultati richiesti</b>                                          |                     |        |
| Stabilità Marshall                                                  | KN                  | >5     |
| Rigidezza Marshall                                                  | KN/mm               | >2,0   |
| Vuoti residui (*)                                                   | %                   | 10-14  |
| Perdita di stabilità Marshall dopo 15 giorni di immersione in acqua | %                   | ≤25    |
| Resistenza a trazione indiretta a 25°C                              | N/mm <sup>2</sup>   | >0,4   |
| Coefficiente di trazione indiretta a 25°C                           | N/mm <sup>2</sup>   | >30    |
| (*) La densità Marshall viene indicata nel seguito con DM           |                     |        |

Tabella 8: Caratteristiche della miscela bituminosa da utilizzare sul Porto di Cagliari (Sardegna, Italia), Metodo Marshall

Per lo strato superficiale in conglomerato bituminoso – tipo 2, vale quanto stabilito per il tipo 1 con le seguenti modifiche e precisazioni. La miscela contiene aggregati lapidei, gomma da PFU e legante e la procedura esecutiva (miscelazione, in particolare) è quella denominata “dry”. La granulometria (gomma da PFU + aggregati lapidei) permane quella nella tabella « Granulometria aggregati+gomma e percentuale bitume riferita al totale (sotto), con la variazione della percentuale di bitume riferita agli aggregati (lapidei e non).

| mm  | %                 | ± |
|-----|-------------------|---|
| 8   | Come in tabella 5 |   |
| 5.6 |                   |   |

|              |     |     |
|--------------|-----|-----|
| 4            |     |     |
| 2            |     |     |
| 1            |     |     |
| 0.5          |     |     |
| 0.25         |     |     |
| 0.063        |     |     |
| %b(« aggr ») | 6.2 | 0.5 |

Tabella 9: Limiti di legante riferita al peso degli aggregati per conglomerato bituminoso – tipo 2

La Gomma riciclata da PFU ha la granulometria riportata in tabella :

| mm    | %      | ± |
|-------|--------|---|
| 8     | 100.00 |   |
| 4     | 98     | 2 |
| 2     | 14     | 5 |
| 0.5   | 0      |   |
| 0.25  | 0      |   |
| 0.063 | 0      |   |

Tabella 10: granulometria gomma riciclata da PFU

Nel caso di granulometria diversa la miscela dovrà essere riprogettata anche in termini di percentuale di bitume. La percentuale di Gomma riciclata da PFU in peso rispetto agli aggregati è assunta essere pari al 5%.

Per quanto riguarda l'accettazione delle miscele, l'impresa è tenuta a presentare alla Direzione Lavori, con congruo anticipo rispetto all'inizio delle lavorazioni e per ogni cantiere di produzione, la composizione delle miscele che intende adottare; ogni composizione proposta deve essere corredata da una completa documentazione degli studi effettuati. Una volta accettato da parte della Direzione Lavori lo studio della miscela proposto, l'Impresa deve attenersi rigorosamente. Nella curva granulometrica saranno ammesse variazioni delle singole percentuali del contenuto di aggregato grosso di  $\pm 3$ , del contenuto di aggregato fino (passante al crivello UNI n. 5) di  $\pm 2$ , del passante al setaccio UNI 0,075 mm di  $\pm 1,5$ . Per la percentuale di bitume è tollerato uno scostamento di  $\pm 0,25$ . Tali valori devono essere soddisfatti dall'esame delle miscele prelevate all'impianto e alla stesa come pure dall'esame delle carote prelevate in sito, tenuto conto per queste ultime della quantità teorica del bitume di ancoraggio.

Per il confezionamento delle miscele, il conglomerato deve essere confezionato mediante impianti fissi automatizzati, di idonee caratteristiche, mantenuti sempre perfettamente funzionanti in ogni loro parte. La produzione di ciascuna miscela non deve essere spinta oltre la sua potenzialità, per garantire il perfetto essiccamento, l'uniforme riscaldamento della miscela ed una perfetta vagliatura che assicuri una idonea riclassificazione delle singole classi degli aggregati. Possono essere impiegati anche impianti continui (tipo drum-mixer) purché il dosaggio dei componenti la miscela sia eseguito a peso, mediante idonee apparecchiature la cui efficienza deve essere costantemente controllata. L'impianto deve comunque garantire uniformità di produzione ed essere in grado di realizzare le miscele rispondenti a quelle

indicate nello studio presentato ai fini dell'accettazione. Ogni impianto deve assicurare il riscaldamento del bitume alla temperatura richiesta ed a viscosità uniforme fino al momento della miscelazione oltre al perfetto dosaggio sia del bitume che dell'additivo. La zona destinata allo stoccaggio degli inerti deve essere preventivamente e convenientemente sistemata per annullare la presenza di sostanze argillose e ristagni di acqua che possono compromettere la pulizia degli aggregati. Inoltre i cumuli delle diverse classi devono essere nettamente separati tra di loro e l'operazione di rifornimento nei predosatori eseguita con la massima cura. Il tempo di miscelazione deve essere stabilito in funzione delle caratteristiche dell'impianto, in misura tale da permettere un completo ed uniforme rivestimento degli inerti con il legante. La temperatura degli aggregati all'atto della miscelazione deve essere compresa tra 170°C e 190° C e quella del legante tra 160° C e 180° C, in rapporto al tipo di bitume impiegato. Per la verifica delle suddette temperature gli essiccatori, le caldaie e le tramogge degli impianti devono essere muniti di termometri fissi perfettamente funzionanti e periodicamente tarati. L'umidità degli aggregati all'uscita dell'essiccatore non deve superare lo 0,25% in peso.

Prima della realizzazione del manto di usura a caldo è necessario preparare la superficie di stesa allo scopo di garantire il perfetto ancoraggio e l'impermeabilizzazione dello strato sottostante. La mano d'attacco può essere realizzata con emulsione di bitume modificato, spruzzata con apposita spanditrice automatica in modo che il bitume residuo risulti pari a 1,00 Kg/m<sup>2</sup>; in alternativa può essere utilizzato bitume modificato steso a caldo nella stessa quantità per unità di superficie. Sulla mano d'attacco, per consentire il transito dei mezzi di stesa, dovrà seguire immediatamente la granigliatura con aggregati di pezzatura 4/8 mm in ragione di 6/8 litri al metro quadrato. Allo stesso scopo potrà essere utilizzata sabbia o calce idrata. L'emulsione per mano d'attacco deve rispondere ai requisiti riportati in tabella.

|                           |            |     |        |
|---------------------------|------------|-----|--------|
| Contenuto di acqua        | CNR 101/84 | %   | 30±1   |
| Contenuto di legante      | CNR 100/84 | %   | 70±1   |
| Contenuto di bitume       | CNR 100/84 | %   | >69    |
| Contenuto flussante       | CNR 100/84 | %   | 0      |
| Demulsività               | ASTM D244  |     | 50-100 |
| Omogeneità                | ASTM D244  | %   | <0,2   |
| Viscosità Engler a 20°C   | CNR 102/84 | °E  | >20    |
| Seminatazione a 5 g       | CNR 124/88 | %   | <5     |
| <b>Residuo bituminoso</b> |            |     |        |
| Penetrazione a 25°C       | CNR 24/71  | dmm | 50-70  |
| Punto di rammollimento    | CNR 35/73  | °C  | >65    |
| Punto di rottura (Frass)  | CNR 43/74  | °C  | <=-15  |
| Ritorno elastico a 25°C   | EN 13398   | %   | >75    |

Tabella 11: Emulsione per mano d'attacco

La posa in opera dei manti di usura speciali viene effettuata a mezzo di macchine vibrofinitrici in perfetto stato di efficienza e dotate di automatismi di autolivellamento. La velocità di avanzamento delle vibrofinitrici non deve essere superiore ai 3 – 4 m/min, con alimentazione continua del conglomerato. Le vibrofinitrici devono comunque lasciare uno strato finito perfettamente sagomato, privo di sgranamenti, fessurazioni ed esente da difetti dovuti a segregazione degli elementi litoidi più

grossi. Nella stesa si deve porre la massima cura alla formazione dei giunti longitudinali preferibilmente ottenuti mediante tempestivo affiancamento di una strisciata alla precedente. Se il bordo risulterà danneggiato o arrotondato si deve procedere al taglio verticale con idonea attrezzatura. I giunti trasversali derivanti dalle interruzioni giornaliere devono essere realizzati sempre previo taglio ed asportazione della parte terminale di azzerramento. La sovrapposizione dei giunti longitudinali con quelli degli strati sottostanti deve essere programmata e realizzata in maniera che essi risultino fra di loro sfalsati di almeno 20 cm e non cadano mai in corrispondenza delle due fasce della corsia di marcia normalmente interessata dalle ruote dei veicoli pesanti. Il trasporto del conglomerato dall'impianto di confezione al cantiere di stesa deve avvenire mediante mezzi di trasporto di adeguata portata, efficienti e veloci e comunque sempre dotati di telone di copertura per evitare i raffreddamenti superficiali eccessivi e formazione di crostoni. La temperatura del conglomerato bituminoso all'atto della stesa controllata immediatamente dietro la finitrice deve risultare in ogni momento non inferiore a 140° C. La stesa dei conglomerati deve essere sospesa quando le condizioni meteorologiche generali possono pregiudicare la perfetta riuscita del lavoro. Il conglomerato eventualmente compromesso deve essere immediatamente rimosso e successivamente lo strato deve essere ricostruito a spese dell'Impresa. La compattazione del conglomerato deve iniziare appena steso dalla vibrofinitrice e condotta a termine senza interruzioni. Il costipamento deve essere realizzato mediante rullo statico a ruote metalliche del peso massimo di 10t. Si avrà cura inoltre che la compattazione sia condotta con la metodologia più adeguata per ottenere uniforme addensamento in ogni punto ed evitare fessurazioni e scorrimenti nello strato appena steso. La superficie degli strati deve presentarsi, dopo la compattazione, priva di irregolarità ed ondulazioni. Un'asta rettilinea lunga 4 m posta in qualunque direzione sulla superficie finita di ciascuno strato deve aderirvi uniformemente; può essere tollerato uno scostamento massimo di 5 mm.

Per quanto riguarda il controllo della qualità dei conglomerati bituminosi e della loro posa in opera, deve essere effettuato mediante prove di laboratorio sui materiali costituenti, sulla miscela, sulle carote estratte dalla pavimentazione e con prove in situ. L'ubicazione dei prelievi e la frequenza delle prove sono indicati nella tabella sotto. Ogni prelievo deve essere costituito da due campioni; un campione viene utilizzato per i controlli presso un Laboratorio riconosciuto dal Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti, l'altro resta a disposizione per eventuali accertamenti e/o verifiche tecniche successive. Sui materiali costituenti devono essere verificate le caratteristiche di accettabilità. Sulla miscela vengono determinate: la percentuale di bitume, la granulometria degli aggregati, la quantità di attivante d'adesione, la quantità di fibre e vengono inoltre controllate le caratteristiche di idoneità mediante la Pressa Giratoria. I provini confezionati mediante l'apparecchiatura Pressa Giratoria devono essere sottoposti a prova di rottura diametrale a 25 °C (Brasiliana). In mancanza della Pressa Giratoria vengono effettuate prove Marshall: peso di volume (DM), stabilità e rigidezza (CNR 40/73); percentuale dei vuoti residui (CNR 39/73); resistenza alla trazione indiretta (Prova Brasiliana – CNR 134/91).

Dopo la stesa la Direzione Lavori preleverà delle carote per il controllo delle caratteristiche del conglomerato e la verifica degli spessori. Lo spessore dello strato viene determinato, per ogni tratto omogeneo di stesa, facendo la media delle misure (quattro per ogni carota) rilevate dalle carote estratte dalla pavimentazione, scartando i valori con spessore in eccesso, rispetto a quello di progetto, di oltre il 5%. Le stesse misure possono essere effettuate in continuo con apparecchiature georadar. Per spessori medi inferiori a quelli di progetto viene applicata, per tutto il tratto omogeneo, una detrazione del 2,5%

del prezzo di elenco per ogni mm di materiale mancante. Per carenze superiori al 20% dello spessore di progetto si impone la rimozione dello strato e la successiva ricostruzione a spese dell'Impresa.

La densità in sito, nel 95% dei prelievi, deve essere non inferiore al 98%, del valore DG (ovvero DM) risultante dallo studio della miscela. Le misure di densità vengono effettuate su carote prelevate dalla stesa oppure eseguite con sistemi non distruttivi, quali nucleo densimetri o simili, individuati dalla DL in accordo con l'Impresa, prima dell'inizio dei lavori. Per valori di densità inferiori a quello previsto viene applicata una detrazione per tutto il tratto omogeneo a cui il valore si riferisce:

- del 10 % dell'importo dello strato per densità in sito comprese tra 95 e 98 % di DG (ovvero DM);
- del 20 % dell'importo dello strato per densità in sito comprese tra 92 e 95 % di DG (ovvero DM).

Il Coefficiente di Aderenza Trasversale (CAT) misurato con l'apparecchiatura SCRIM (CNR 147/92) deve risultare  $\geq 0,58$ . In alternativa si può determinare la resistenza di attrito radente con lo Skid Tester (CNR 105/85) che deve fornire valori di BPN (British Pendulum Number)  $\geq 60$ .

L'altezza di sabbia (HS), determinata secondo la metodologia CNR 94/83 deve essere  $\geq 0,6$ . Misure eventualmente eseguite con apparecchiature a rilievo continuo<sup>3</sup> devono essere riferite all'altezza di sabbia (HS) con apposite correlazioni.

Le misure di CAT e HS devono essere effettuate in un periodo di tempo compreso tra il 15° ed il 180° giorno dall'apertura al traffico, per ogni corsia, con un "passo di misura" di 10 m. I valori misurati possono, eventualmente, essere mediati ogni 50 m per tenere conto di disomogeneità occasionali e localizzate.

Qualora il valore medio di CAT o HS, per ciascuna tratta omogenea (tratti di pavimentazione nei quali ricadono almeno 4 valori dell'indicatore distribuiti statisticamente secondo una distribuzione "normale") sia inferiore ai valori prescritti, il manto di usura speciale (di qualsiasi tipo) viene penalizzato del 15% del suo costo.

La capacità drenante media, eseguita in sito ogni 250 m sfalsando di volta in volta la corsia e misurata con permeabilmetro a colonna d'acqua di mm 250 su un'area di 154 cm<sup>2</sup>, deve essere misurata.

| Controllo dei materiali e verifica prestazionale |                     |                                                      |                     |
|--------------------------------------------------|---------------------|------------------------------------------------------|---------------------|
| Tipo di campione                                 | Ubicazione prelievo | Frequenza prove                                      | Requisiti richiesti |
| Bitume                                           | Cisterna            | Settimanale oppure ogni 2500 M <sup>3</sup> di stesa | Come in tabella 11  |
| Aggregato grosso                                 | Impianto            | Settimanale oppure ogni 2500 M <sup>3</sup> di stesa |                     |
| Aggregato fino                                   | Impianto            | Settimanale oppure ogni 2500 M <sup>3</sup> di stesa |                     |
| Filler                                           | Impianto            | Settimanale oppure ogni 2500 M <sup>3</sup> di stesa |                     |

|                            |                |                                                     |                                                            |
|----------------------------|----------------|-----------------------------------------------------|------------------------------------------------------------|
| Conglomerato sfuso         | Vibrofinitrice | Giornaliera oppure ogni 5000M <sup>3</sup> di stesa | Caratteristiche risultanti dallo studio della miscela      |
| Carote per spessori        | Pavimentazione | Ogni 100 M di fascia di stesa                       | Spessore previsto in progetto                              |
| Carote per densità in sito | Pavimentazione | Ogni 500 M di fascia di stesa                       | 98% del valore risultante dallo studio della miscela       |
| Pavimentazione             | Pavimentazione | Ogni 10 M di fascia di stesa                        | CAT $\geq 0,58$ (media su 50M)<br>BNP $\geq 60$ (ogni 50M) |
| Pavimentazione             | Pavimentazione | Ogni 10 M di fascia di stesa                        | HS $\geq 0,6$ mm (media su 50M)                            |
| Pavimentazione             | Pavimentazione | 3 prove                                             | CPX congruente con GPP                                     |

Tabella 12: Controlli

Ai sensi del DM 29 novembre 2000, devono essere effettuati dei controlli per la verifica dell'efficacia dell'intervento di risanamento acustico. A tal fine viene determinato il livello di emissione di rumore da rotolamento della pavimentazione (metodo "Close Proximity Method -CPX" -UNI EN ISO 118189-2), secondo il protocollo adottato dal Green Public Procurement "Road Design, Construction and Maintenance" ([https://ec.europa.eu/environment/gpp/eu\\_gpp\\_criteria\\_en.htm](https://ec.europa.eu/environment/gpp/eu_gpp_criteria_en.htm)) redatto dal Joint Research Center per conto della Commissione Europea. In particolare, è richiesto il collaudo acustico entro le 12 settimane dall'apertura al traffico, una seconda e una terza prova rispettivamente 30-36 mesi e 54-60 mesi dopo la posa in opera, per valutare la durabilità delle prestazioni acustiche. Il livello CPX misurato dovrà rispettare i limiti previsti dal succitato GPP "Road Design, Construction and Maintenance".

## Conclusioni

Il documento raccoglie tutte le analisi, le osservazioni e le risultanze della fattibilità tecnica ed economica degli investimenti e degli interventi di mitigazione dell'inquinamento acustico realizzati nei Porti di Bastia e dell'Ile Rousse (Corsica, Francia), nel Porto di Portoferraio (Toscana, Italia) e nel Porto di Cagliari (Sardegna, Italia) nell'ambito del progetto RUMBLE - Riduzione del rumore nelle grandi città portuali nel Programma Marittimo transfrontaliero.

I dettagli dell'esecuzione dei lavori sono contenuti nel prodotto T2.2.1.

## T2.1.1 : Étude de faisabilité des ouvrages

---

|                                |                                   |
|--------------------------------|-----------------------------------|
| <b>Activité:</b>               | T2.1                              |
| <b>Composante:</b>             | T2                                |
| <b>Partenaire Responsable:</b> | Office des Transports de la Corse |
| <b>Date:</b>                   | 09/04/2021                        |

|                                                                                                                                           |    |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Résumé .....                                                                                                                              | 3  |
| Le projet RUMBLE .....                                                                                                                    | 4  |
| Les interventions de mitigation du bruit portuaire .....                                                                                  | 5  |
| La fourniture et la pose de quatre bornes de recharge pour véhicules électriques sur le Port de Commerce de Bastia (Corse, France) .....  | 6  |
| La fourniture et la pose d'une borne de recharge pour véhicules électriques sur le Port de Commerce de l'Île Rousse (Corse, France) ..... | 7  |
| La réalisation d'un béton bitumineux réducteur de bruit sur le Port de Commerce de l'Île Rousse (Corse, France) .....                     | 8  |
| La réalisation d'un béton bitumineux réducteur de bruit sur le Port de Portoferraio (Toscane, Italie) ..                                  | 9  |
| La réalisation d'un béton bitumineux réducteur de bruit sur le Port de Cagliari (Sardaigne, Italie).....                                  | 13 |
| Conclusions .....                                                                                                                         | 24 |

## Résumé

Le document qui suit vise à collecter les analyses, les constatations et les résultats de la faisabilité technique et économique des investissements et des interventions de mitigation du bruit portuaire prévues d'être mise en place dans le cadre du projet RUMBLE - Réduction du bruit dans les grandes villes portuaires dans le programme maritime transfrontalier cofinancé par le Programme INTERREG Maritime Italie-France 2014-2020, notamment :

1. La fourniture et la pose de bornes de recharge pour véhicules électriques sur le Port de Commerce de Bastia (Corse, France)
2. La fourniture et la pose de bornes de recharge pour véhicules électriques sur le Port de Commerce de l'Île Rousse (Corse, France)
3. La réalisation d'un béton bitumineux réducteur de bruit sur le Port de Commerce de l'Île Rousse (Corse, France)
4. La réalisation d'un béton bitumineux réducteur de bruit sur le Port de Portoferraio (Toscane, Italie)
5. La réalisation d'un béton bitumineux réducteur de bruit sur le Port de Cagliari (Sardaigne, Italie).

Le détail de l'exécution des travaux sont contenues dans le livrable T2.2.1.

## Le projet RUMBLE

Le projet RUMBLE - Réduction du bruit dans les grandes villes portuaires dans le programme maritime transfrontalier - est un projet de 36 mois réalisé avec un financement total de 1,9 million d'euro dont le 85% est cofinancé par le Programme INTERREG Maritime Italie-France 2014-2020 à travers le Fonds Européen de Développement Régional (FEDER).

RUMBLE vise à rendre les ports commerciaux de la zone de coopération Italie-France Maritime 2014-2020 plus durables, en réduisant la pollution acoustique, en améliorant le suivi de sources de bruit qui causent la pollution acoustique des ports commerciaux et en déployant des petites interventions de mitigation pour réduire les sources de bruit qui dérangent la population résidente dans les zones urbaines.

RUMBLE fait partie d'un réseau de six projets visant à réduire l'impact sonore généré par les ports et les plates-formes logistiques, financés par le Programme Maritime Italie-France (axe prioritaire 3 - objectif spécifique 7C) qui comprend treize ports et une plate-forme logistique :

|                                                                                     |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |
|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|  | <b>DECIBEL - Dépollution acoustique des centres portuaires urbains et insulaires</b> axé sur les problématiques des petits ports insulaires                                                                                                                                                                                                                                                                                               |
|  | <b>LIST PORT - Limitation du trafic sonore dans les ports commerciaux</b> axé sur le STI (Système de transport intelligent), se concentre sur des modèles de simulation du bruit lié au trafic léger et lourd depuis et vers le port                                                                                                                                                                                                      |
|  | <b>REPORT - Rumore e Porti</b> est un projet à caractère scientifique qui fournit des inputs quant aux meilleures pratiques à mettre en œuvre avec d'autres projets et se propose de développer un modèle numérique pour le bruit dans les ports                                                                                                                                                                                          |
|  | <b>MONACUMEN - Monitoring actif conjoint urbain-maritime de la nuisance</b> se concentre sur les systèmes de surveillance pour la vérification, y compris en temps réel, du bruit en milieu portuaire                                                                                                                                                                                                                                     |
|  | <b>TRIPIO - Trasporti e collegamenti innovativi e sostenibili tra porti e piattaforme logistiche</b> vise à élaborer des solutions de système de transport intelligent et d'autres mesures complémentaires qui seront regroupées dans un Plan stratégique commun de réduction des nuisances sonores causées par la manutention au sol des marchandises, lorsqu'on les déplace des plates-formes logistiques vers les ports et vice-versa. |

## Les interventions de mitigation du bruit portuaire

Pour la définition des interventions de mitigation du bruit portuaire dans les ports de la zone de coopération Italie-France Maritime, le projet RUMBLE a adopté une approche intégrée. En fait, dans le cadre de la composante T1, le partenariat a été effectué un important travail préliminaire d'analyse des zones portuaires et a identifié une série d'aires portuaires susceptibles d'être objet d'interventions de mitigation du bruit portuaire, notamment sur le Port de Commerce de Bastia (Corse, France), sur le Port de Commerce de l'Île Rousse (Corse, France), sur le Port de Portoferraio (Toscane, Italie) et sur le Port de Cagliari (Sardaigne, Italie).

## La fourniture et la pose de quatre bornes de recharge pour véhicules électriques sur le Port de Commerce de Bastia (Corse, France)

Pour la fourniture et la pose de quatre bornes de recharge pour véhicules électriques sur le Port de Commerce de Bastia (Corse, France), l'Office des Transports de la Corse a développé une étude de faisabilité qui après e été utilisé pour la mise en concurrence.

Le lieu d'exécution des prestations de fourniture et de pose de quatre bornes de recharge pour véhicules électriques est le Port de Commerce de Bastia (voir les points rouges ci-dessus).

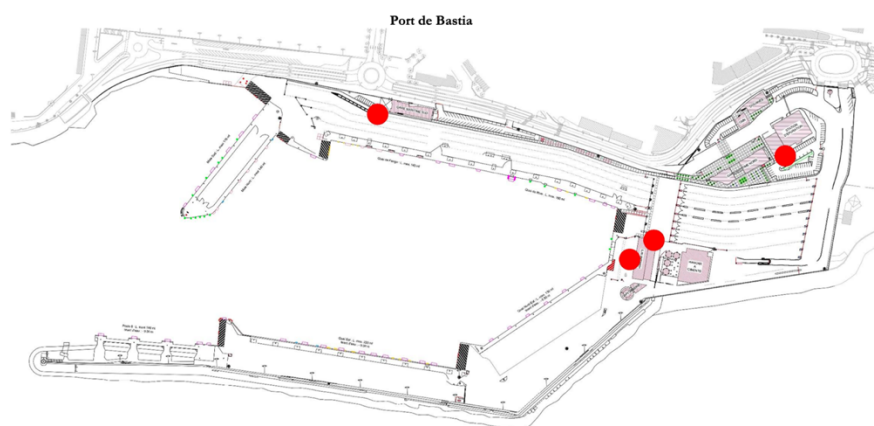


Image 1: Lieu d'exécution des prestations de pose de quatre bornes de recharge pour véhicules électriques sur le Port de Commerce de Bastia (Corse, France)

Le choix de réaliser des bornes de recharge pour véhicules éclectiques sur le Port de Commerce de Bastia a été prise à la suite de la tempête « ADRIAN » qui s'est abattue sur la Corse le lundi 29 octobre 2018 qui a rendu inutilisable le ponton Saint-Joseph du Port de Commerce d'Ajaccio, initialement prévue comme lieu d'exécution des investissements RUMBLE.

Grace à une collaboration étroite entre l'OTC et la Chambre de commerce et d'Industrie de Bastia et de la Haute Corse, respectivement partenaire du projet RUMBLE et chef de file du projet DECIBEL, et en vue d'une bonne et concrète occasion d'illustrer la capitalisation et l'échange de bonnes pratiques du programme INTERREG Maritime, l'OTC et la Chambre de commerce et d'Industrie de Bastia et de la Haute Corse ont décidés de capitaliser l'étude conjointe qui a permis l'identification d'un modèle de réduction de de la pollution sonore mené par la Chambre de commerce et d'Industrie de Bastia et de la Haute Corse dans le cadre du projet DECIBEL, et de réaliser une action pilote dans le cadre du projet RUMBLE sur le Port de Commerce de Bastia.

## La fourniture et la pose d'une borne de recharge pour véhicules électriques sur le Port de Commerce de l'Île Rousse (Corse, France)

Pour la fourniture et la pose d'une borne de recharge pour véhicules électriques sur le Port de Commerce de l'Île Rousse (Corse, France), l'Office des Transports de la Corse a développé une étude de faisabilité qui après e été utilisé pour la mise en concurrence.

Le lieu d'exécution des prestations de fourniture et de pose de quatre bornes de recharge pour véhicules électriques est le Port de Commerce de l'Île Rousse (voir les points rouges ci-dessus).

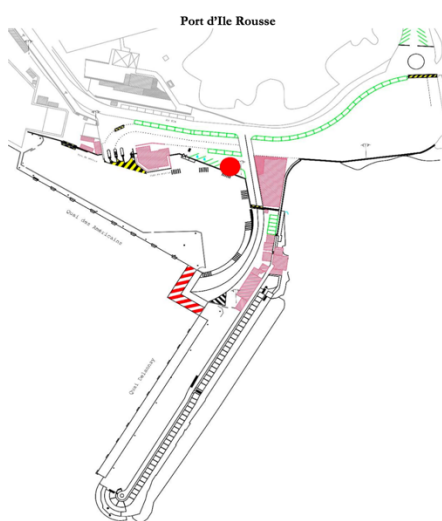


Image 2: Lieu d'exécution des prestations de pose de quatre bornes de recharge pour véhicules électriques sur le Port de Commerce de l'Île Rousse (Corse, France)

Le choix de réaliser des bornes de recharge pour véhicules éclectiques sur le Port de Commerce de l'Île Rousse a été prise à la suite de la tempête « ADRIAN » qui s'est abattue sur la Corse le lundi 29 octobre 2018 qui a rendu inutilisable le ponton Saint-Joseph du Port de Commerce d'Ajaccio, initialement prévue comme lieu d'exécution des investissements RUMBLE.

Grace à une collaboration étroite entre l'OTC et la Chambre de commerce et d'Industrie de Bastia et de la Haute Corse, respectivement partenaire du projet RUMBLE et chef de file du projet DECIBEL, et en vue d'une bonne et concrète occasion d'illustrer la capitalisation et l'échange de bonnes pratiques du programme INTERREG Maritime, l'OTC et la Chambre de commerce et d'Industrie de Bastia et de la Haute Corse ont décidés de capitaliser l'étude conjointe qui a permis l'identification d'un modèle de réduction de de la pollution sonore mené par la Chambre de commerce et d'Industrie de Bastia et de la Haute Corse dans le cadre du projet DECIBEL, et de réaliser une action pilote dans le cadre du projet RUMBLE sur le Port de Commerce de l'Île Rousse.

## La réalisation d'un béton bitumineux réducteur de bruit sur le Port de Commerce de l'Ile Rousse (Corse, France)

Pour la réalisation d'un béton bitumineux réducteur de bruit de 9db minimum sur le Port de Commerce de l'Ile Rousse, l'Office des Transports de la Corse a développé une étude de faisabilité qui après e été utilisé pour la mise en concurrence.

Le lieu d'exécution des prestations de réalisation d'un béton bitumineux réducteur de bruit de 9db minimum est le Port de Commerce de l'Ile Rousse, comme détaillé dans la cartographie ci-dessus.

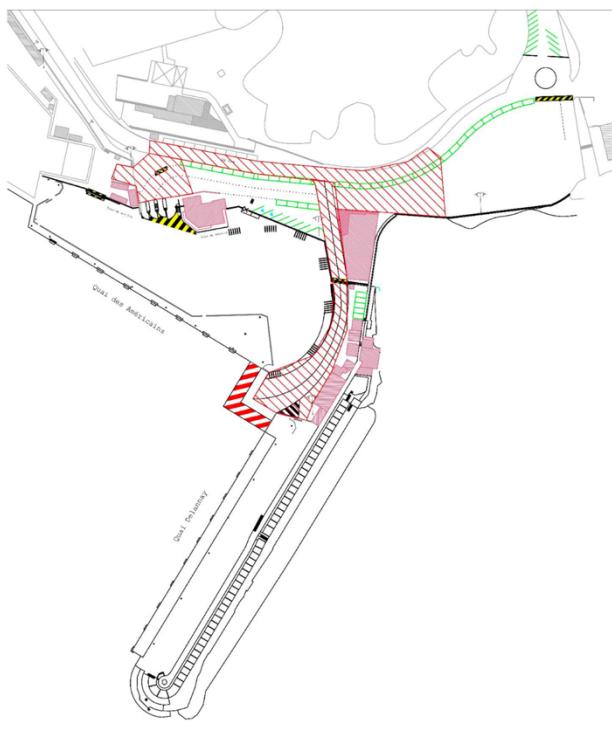


Image 3: Lieu d'exécution des prestations de réalisation d'un béton bitumineux réducteur de bruit sur le Port de Commerce de l'Ile Rousse (Corse, France)

## La réalisation d'un béton bitumineux réducteur de bruit sur le Port de Portoferraio (Toscane, Italie)

A l'intérieur du Port de Portoferraio un béton bitumineux réducteur de bruit a été réalisé. Le Port de Portoferraio est, en effet, entièrement intégré dans la zone urbaine de la ville et les deux types de trafic - urbain et portuaire - ne sont pas faciles à distinguer.



Image 4: Lieu d'exécution des prestations de réalisation d'un béton bitumineux réducteur de bruit sur le Port de Portoferraio (Toscane, Italie)

La surface destinée à la réalisation d'un béton bitumineux réducteur de bruit est indiquée en rouge. Il s'agit d'une zone routière située entre Piazza Citi et le rond-point de Calata Italia, d'une superficie totale d'environ 3250 m<sup>2</sup>.

La surface en question est située à l'intérieur de la zone portuaire et représente un tronçon de route très fréquenté tant par le trafic urbain que portuaire, avec des pics pendant la période estivale. Le choix de la zone d'intervention est dû à l'intégration totale de la zone portuaire dans la zone urbaine située juste derrière, ce qui comporte d'inévitables problématiques d'interaction. L'une d'entre elles est l'augmentation de la pollution sonore produite par le trafic de véhicules entrant et sortant du port, en particulier pendant les mois d'été. En revanche, pendant la période hivernale, compte tenu du faible nombre de touristes sur l'île, la problématique concerne principalement le trafic urbain, même à des vitesses élevées.

Cette zone est aussi appropriée parce que les autres zones à l'intérieur du port sont moins affectées par le trafic de véhicules, s'agissant de zones de stationnement, où les véhicules s'arrêtent ou ont une

vitesse très modérée, ou de zones où le trafic urbain, pendant la période hivernale, n'atteint pas des niveaux significatifs pour obtenir une réduction concrète des émissions sonores.

Le trafic est en effet concentré dans la zone en question, car elle est directement reliée au rond-point de Calata Italia, qui oriente et canalise la plupart du trafic de la ville et du port vers les zones arrière de la ville. La surface d'intervention atteint des pointes d'environ 3500 véhicules (ultra légers, légers et lourds) pendant toute la journée, ce qui endommage et gêne la zone urbaine adjacente.

L'objectif de l'intervention est donc d'atténuer les niveaux d'émissions sonores produites par les pneus des véhicules traversant le port, augmentant ainsi le confort acoustique des personnes vivant ou travaillant à proximité du port.

La réduction du bruit attendue sera obtenue par la réalisation d'un béton bitumineux réducteur de bruit, pour une valeur d'environ 5dB par rapport aux revêtements traditionnels. L'augmentation du frottement sur la route augmentera également la sécurité routière.

Le béton bitumineux réducteur de bruit sera fabriqué avec de la poudre de caoutchouc recyclé, ce qui permettra de réduire l'impact environnemental pendant la phase de réalisation, comme cela a été analysé dans le projet LIFE NEREIDE (avec le partenaire ARPAT). Aucun risque pour l'environnement n'est attendu puisque le béton bitumineux réducteur de bruit sera produit selon des principes et des méthodes respectueux de l'environnement, avec une consommation d'énergie inférieure pour un même volume.

La zone a fait l'objet de mesures ex ante du niveau de bruit en bordure de route et du niveau de bruit de roulement CPX afin de définir les paramètres de référence avant l'intervention d'atténuation des nuisances sonores. On a calculé les valeurs des émissions sonores dues à l'interaction des pneus avec le revêtement, les niveaux sonores produits en bordure de route par le passage des véhicules sur le revêtement, la texture superficielle du béton dans son état actuel et les niveaux sonores en bordure de route pendant la période de référence d'une semaine.

Ces valeurs seront utilisées pour effectuer les activités de suivi et d'essai de réception du nouveau béton bitumineux posé.

Le revêtement en béton bitumineux réducteur de bruit doit faire l'objet d'essai de réception conformément à l'Appendice 2 de l'Annexe B de la Délibération régionale n°1296 du 27 novembre 2018.

Les interventions à réaliser sont les suivantes :

- scarification superficielle de 1000 m<sup>2</sup> de revêtement bitumé jusqu'à une profondeur maximale de 10 cm, effectuée mécaniquement et manuellement, y compris le chargement, le transport et l'élimination des déchets.
- fourniture et pose de 1000 m<sup>2</sup> de couche de liaison (binder) en conglomerat bitumineux à chaud sur les zones scarifiées, posée par vibro-finiisseur après une couche avec 0,80 Kg/m<sup>2</sup>

- d'émulsion bitumineuse à 55%, y compris roulage par rouleau vibrant en utilisant des granulats de 0/25 mm épaisseur comprimée 7 cm.
- fourniture et pose de 3250 m<sup>2</sup> de couche de roulement insonorisante composée de conglomerat avec granulats basaltiques et bitume modifié par polymères élastomères, rapport filler bitume 1, absorption acoustique ISO 10534 à 800 et 1000 Hz supérieure à 0,5 avec conglomerat à courbe granulométrique discontinue 0-8 mm épaisseur comprimée 3 cm
  - remise en place de 19 grilles, plaques d'égout, collecteurs ou autres éléments en hauteur suite à la réalisation du nouveau revêtement, y compris
  - réalisation de 350 mètres de marquage routier horizontal avec de la peinture bleue réfléchissante pour la création de 22 places de stationnement en parallèle et 12 places de stationnement en épi payantes, avec bandes continues ou discontinues de 12 cm de large.
  - réalisation de 1000 mètres de marquage routier horizontal avec de la peinture blanche réfléchissante pour la circulation routière à Calata Italia et dans les voies d'embarquement au Raccordo Alto Fondale, avec bandes continues ou discontinues de 12 cm de large.
  - réalisation de 22 mètres de marquage routier horizontal avec de la peinture blanche réfléchissante pour n. 6 places de stationnement pour motos à Calata Italia.
  - réalisation de 240 mètres de marquage routier horizontal avec de la peinture jaune réfléchissante pour la voie d'embarquement de Calata Italia et la voie de secours de Raccordo Alto Fondale, avec bandes continues ou discontinues de 12 cm de large.
  - réalisation de 15 mètres de marquage routier horizontal avec de la peinture jaune réfléchissante pour la voie d'embarquement de Calata Italia et la voie de secours de Raccordo Alto Fondale ayant une largeur de plus de 25 cm pour inscription « Embarquement seulement » et n. 6 flèches.
  - réalisation de 350 m<sup>2</sup> de marquage routier horizontal avec peinture blanche réfléchissante pour passages piétons, flèches, marques « STOP », lignes d'arrêt et « CEDEZ-LE-PASSAGE » à Calata Italia et Raccordo Alto Fondale d'une largeur supérieure à 25 cm.
  - fourniture et pose de n. 110 balises routières homologuées en polyuréthane coloré en pâte jaune, couleur RAL 1003, 1000 mm (longueur), 150 mm (largeur) et 50 mm (hauteur), dureté UNI 4916 - 80+/- 5 Sthore A3, résistance à la rupture UNI 6065 - 18+/- 2MPa, essai de traction UNI 6065 - ≥250%, y compris la réalisation de trous dans le béton et le matériel nécessaire pour une pose correcte.

Selon l'examen effectué, le coût des interventions est estimé à 70 105,34 €, charges de sécurité comprises.

Pour la réalisation d'un béton bitumineux réducteur de bruit sur le Port de Portoferraio (Toscane, Italie), l'Autorità di Sistema Portuale del Mar Tirreno Settentrionale a procédé à l'attribution directe du marché en vertu de l'art. 36 du Code des marchés.

Les travaux ont été attribués à Impresa Edile Stradale F.LLI MASSAI SRL pour un montant de 54 056,29 €.

Les détails de la réalisation d'un béton bitumineux réducteur de bruit sur le Port de Portoferraio (Toscane, Italie) par Impresa Edile Stradale F.LLI MASSAI SRL sont illustrés dans le livrable T2.2.1.

## La réalisation d'un béton bitumineux réducteur de bruit sur le Port de Cagliari (Sardaigne, Italie)

Pour la réalisation d'un béton bitumineux réducteur de bruit sur le Port de Cagliari (Sardaigne, Italie), une étude de faisabilité a été menée après une campagne de mesure, qui a obtenu des valeurs de niveau équivalent souvent comprises entre 53dB et 75dB.

Ces mesures ont relevé :

- le trafic de véhicules légers <1500 véhicules/heure environ.
- le trafic de poids lourds <50 véhicules/heure environ,
- la vitesse (25-66 km/h environ)
- le bruit routier (niveau équivalent : 53-75db(A) environ), avec des pics de trafic vers 8h00 et 20h00, et des mesures également avec la présence de navires à quai.

Les mesures ont montré que :

- 1) Le niveau équivalent diurne 6h00-22h00 et nocturne 22h00-6h00 des zones proches du bassin et des navires est généralement inférieur à celui des artères adjacentes (mais plus internes) utilisées pour le trafic routier (1-2 artères orientées du nord-ouest au sud-est et vice versa).
- 2) Dans le cas de navires en stationnement, cependant, le niveau de bruit par navire en stationnement et par chargement/déchargement atteint des maximums également dans la zone de Molo Sabaudo/Molo Rinascita (c'est-à-dire dans la zone indiquée par une étoile dans la figure 1 à droite).

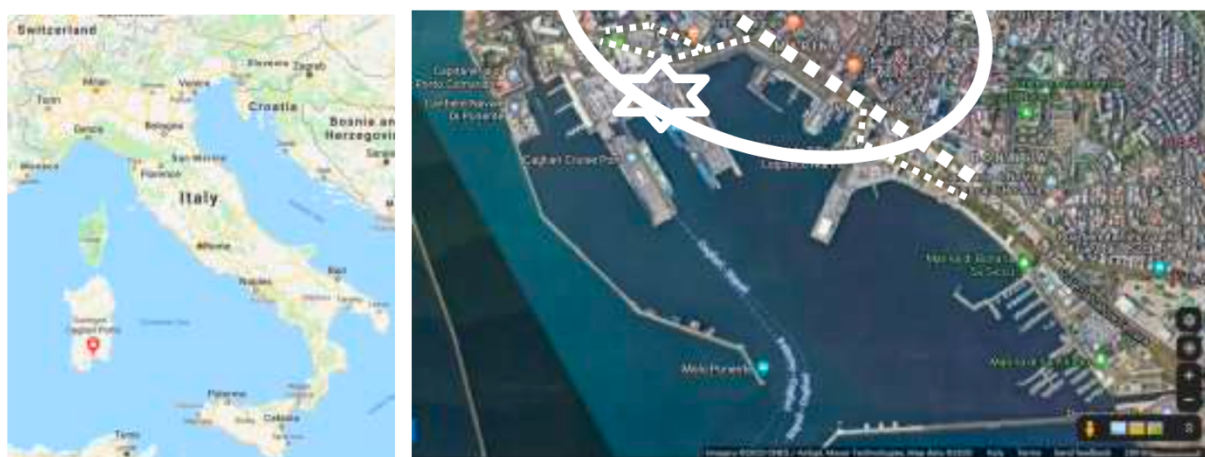


Image 5: Le Port de Cagliari (Sardaigne, Italie) objet de la réalisation d'un béton bitumineux réducteur de bruit

Afin d'identifier le type de revêtement, les demandes suivantes ont été prises en compte :

- 1) La possibilité d'indiquer au maître d'ouvrage des types de revêtement non exclusivement insonorisants mais, plus généralement, moins bruyants.
- 2) La présence de poids lourds, avec un pourcentage parfois supérieur à 10%.
- 3) Les indications issues de projets de recherche concernant des revêtements routiers moins bruyants (par exemple, Life Nereide, Life E-VIA).
- 4) Les indications issues de la littérature internationale du secteur
- 5) La possibilité de concilier les aspects purement mécaniques et les aspects environnementaux.

Compte tenu de ce qui précède, deux mélanges avec une taille nominale maximale des granulats plutôt faibles ont été sélectionnés. Dans l'un des deux cas, l'introduction d'un pourcentage de granulés de caoutchouc a été envisagée. Les mélanges et leurs caractéristiques volumétriques sont principalement de nature expérimentale.

Quant à la couche de surface en béton bitumineux - type 1, le bitume sera un bitume 50/70 modifié et aura les caractéristiques suivantes.

| Paramètre                                        | Norme              | unité de mesure | type A |
|--------------------------------------------------|--------------------|-----------------|--------|
| Pénétration à 25°C                               | EN1426, CNR24/71   | dmm             | 50-70  |
| Point de ramolissement                           | EN1427, CNR35/73   | °C              | ≥ 65   |
| Point de rupture (Fraass)                        | EN 12593 CNR43 /74 | °C              | ≤ - 15 |
| Viscosité dynamique à 160°C, $\gamma = 10s^{-1}$ | PrEN 13072-2       | Pas             | ≥ 0,4  |
| Retour élastique à 25 °C                         | EN 13398           | %               | ≥ 75%  |
| Stabilité au stockage 3jours à 180°C             | EN 13399           | °C              | ≤ 0,5  |
| Variation du point de ramolissement              | EN12607-1          |                 |        |
| <b>Valeurs après RTFOT</b>                       |                    |                 |        |
| Volatilité                                       | CNR54/77           | %               | ≤ 0,8  |
| Pénétration résiduelle à 25°C                    | EN1426, CNR24/71   | %               | ≥ 60   |
| Augmentation du point de ramolissement           | EN1427, CNR35/73   | °C              | ≤ 5    |

Tableau 1 : Caractéristiques de la couche superficielle en béton bitumineux – type 1

En ce qui concerne les granulats de pierre, le granulat grossier doit être constitué d'éléments obtenus par le concassage de roches. Ces éléments peuvent être d'origine ou de nature pétrographique différentes à condition que, pour chaque type, les exigences indiquées dans les tableaux suivants soient satisfaites (si elles peuvent être déterminées). Il est souligné que l'impossibilité d'effectuer des tests, ou la non-réalisation de tests ou même la réussite de tests ne peuvent en aucun cas entraîner ou justifier le

non-respect des exigences supplémentaires spécifiées dans ce rapport (également dans une autre section, et en particulier celles relatives aux contrôles du bâti).

| Retenue au tamis UNI n. 5   |            |                 |        |
|-----------------------------|------------|-----------------|--------|
| Indicateurs de qualité      |            |                 |        |
| Paramètre                   | Norme      | Unité de mesure | Valeur |
| Los Angeles                 | CNR 34/73  | %               | ≤ 20   |
| Micro Deval humide          | CNR 109/85 | %               | ≤ 15   |
| Quantité de matériau broyé  | -          | %               | 100    |
| Taille maximale             | CNR 23/71  | mm              | 20     |
| Sensibilité au gel          | CNR 80/80  | %               | ≤ 30   |
| Décapage                    | CNR 138/92 | %               | 0      |
| Passage à 0,075             | CNR 75/80  | %               | ≤ 1    |
| Coefficient de forme        | CNR 95/84  |                 | ≤ 3    |
| Coefficient d'aplatissement | CNR 95/84  |                 | ≤ 1,58 |
| Indice d'aplatissement      | CNR 95/84  | %               | ≤ 20   |
| Porosité                    | CNR 65/78  | %               | ≤ 1,5  |
| CLA                         | CNR 140/92 | %               | ≥ 45   |

Tableau 2 : caractéristiques des granulats de pierre

Le granulat fin doit être composé d'éléments naturels et concassés, comme dans le tableau suivant

| Granulat fin (passant par le tamis UNI n. 5) |            |                 |        |
|----------------------------------------------|------------|-----------------|--------|
| Indicateurs de qualité                       |            |                 |        |
| Paramètre                                    | Norme      | Unité de mesure | Valeur |
| Équivalent de sable                          | CNR 27/72  | %               | ≥ 80   |
| Passage à 0,075                              | CNR 75/80  | %               | ≤ 2    |
| Quantité de matériau broyé                   | CNR 109/85 | %               | 100    |

Tableau 3 : caractéristiques des granulats fins

Le filler, fraction passant au tamis 0,075 mm, provient de la fraction fine des granulats ou peut être constitué de poudre de roche, de préférence calcaire, de ciment, de chaux hydratée, de chaux hydraulique, de poudre d'asphalte, de cendres volantes. Dans tous les cas, le filler des bétons bitumineux à chaud fabriqués avec du bitume modifié doit répondre aux exigences indiquées dans le tableau.

| Filler (fraction inférieure à 0,075 mm) |               |                 |                   |
|-----------------------------------------|---------------|-----------------|-------------------|
| Indicateurs de qualité                  |               |                 | Couche revêtement |
| Paramètre                               | Norme         | Unité de mesure | Base Binder Usure |
| Décapage                                | CNR 138/92    | %               | ≤ 5               |
| Passage à 0.18                          | CNR 23/71     | %               | 100               |
| Passage à 0,075                         | CNR 75/80     | %               | ≥ 80              |
| Indice de plasticité                    | CNR-UNI 10014 |                 | N.P.              |
| Vides Rigden                            | CNR 123/88    | %               | 30-45             |
| Pouvoir de raidissement                 | CNR 122/88    | ΔPA             | ≥ 5               |

Tableau 4 : caractéristiques des fillers pour bétons bitumineux

Aux fins de l'acceptation, avant le début des travaux, l'entreprise doit assurer la qualification des granulats au moyen d'une certification attestant des exigences prescrites. Cette certification doit être délivrée par un laboratoire agréé. Le mélange de granulats à utiliser pour les différentes couches doit avoir une composition granulométrique comme indiqué dans le tableau. Le pourcentage de liant, rapporté au poids des granulats, doit se situer dans les limites indiquées dans le même tableau et s'inspire conceptuellement de l'obtention de pourcentages de vides résiduels autour de 12%.

| Tamis               | % passant  | Limites    |
|---------------------|------------|------------|
| mm                  | %          | ±          |
| 8                   | 100        | 0          |
| 5.6                 | 97         | 3          |
| 4                   | 67         | 5          |
| 2                   | 25         | 5          |
| 1                   | 20         | 5          |
| 0.5                 | 15         | 5          |
| 0.25                | 12         | 3          |
| 0.063               | 8          | 2          |
| <b>%b (granul.)</b> | <b>6.0</b> | <b>0.5</b> |

Tableau 5 : Limites du liant par rapport au poids des granulats

En ce qui concerne le mélange bitumineux, la quantité de bitume effectivement utilisée est déterminée par l'étude du mélange selon la méthode volumétrique. À titre de mesure transitoire, la méthode Marshall peut être utilisée comme alternative. L'épaisseur du mélange en place et compacté doit être de 2,5 cm. Les caractéristiques requises sont indiquées dans le tableau.

Un paramètre de rigidité approprié (module complexe, module élastique, etc.) doit être déterminé expérimentalement sur le mélange défini au moyen de la presse rotative (éprouvettes réalisées à 98% de DG). Ce paramètre doit répondre aux exigences indiquées dans le projet de revêtement et servir de référence pour les vérifications de la pose.

|                                                                                          |                   |       |
|------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------|-------|
| Résistance à la traction indirecte à 25°C (**)                                           | N/mm <sup>2</sup> | > 0,4 |
| Coefficient de traction indirecte à 25°C (**)                                            | N/mm <sup>2</sup> | > 30  |
| Perte de résistance à la traction indirecte à 25°C après 15 jours d'immersion dans l'eau | %                 | ≤ 25  |
| (**) Sur éprouvettes réalisées avec 50 rotations de la presse rotative                   |                   |       |

Tableau 6: Quantité de bitume effectivement utilisée

| Conditions de test       | Unité de mesure | Valeurs     |
|--------------------------|-----------------|-------------|
| Angle de rotation        |                 | 1.25* ±0.02 |
| Vitesse de rotation      | Rotations/m     | 30          |
| Pression verticale       | Kpa             | 600         |
| Diamètre de l'éprouvette | Mm              | 150         |
| Résultats requis         |                 |             |
| Vides à 10 rotations     | %               | 15-23       |
| Vides à 50 rotations     | %               | 10-14       |
| Vides à 130 rotations    | %               | ≥ 7         |

Tableau 7 : Caractéristiques du mélange bitumineux à utiliser dans le port de Cagliari (Sardaigne, Italie), Méthode volumétrique

| Conditions de test                                                | Unité de mesure     | Valeurs |
|-------------------------------------------------------------------|---------------------|---------|
| Compactage                                                        | 50 coups par couche |         |
| Résultats requis                                                  |                     |         |
| Stabilité Marshall                                                | KN                  | >5      |
| Rigidité Marshall                                                 | KN/mm               | >2,0    |
| Vides résiduels (*)                                               | %                   | 10-14   |
| Perte de stabilité Marshall après 15 jours d'immersion dans l'eau | %                   | ≤ 25    |
| Résistance à la traction indirecte à 25°C                         | N/mm <sup>2</sup>   | >0,4    |
| Coefficient de traction indirecte à 25°C                          | N/mm <sup>2</sup>   | >30     |
| (*) La densité Marshall est indiquée ci-après par DM              |                     |         |

Tableau 8 : Caractéristiques du mélange bitumineux à utiliser dans le port de Cagliari (Sardaigne, Italie), Méthode Marshall

Pour la couche de surface en béton bitumineux - type 2, on suit ce qui est établi pour le type 1 avec les modifications et précisions suivantes. Le mélange contient des granulats de pierre, du caoutchouc de PUNR et du liant, et la procédure d'exécution (le malaxage, en particulier) est dite « sèche ». La granulométrie (caoutchouc de PUNR + granulats de pierre) reste comme dans le tableau Granulométrie granulats + caoutchouc et pourcentage de bitume par rapport au total (ci-dessous), avec la variation du pourcentage de bitume par rapport aux granulats (pierreux et non pierreux).

| mm              | %                       | ±   |
|-----------------|-------------------------|-----|
| 8               | Comme dans le tableau 5 |     |
| 5.6             |                         |     |
| 4               |                         |     |
| 2               |                         |     |
| 1               |                         |     |
| 0.5             |                         |     |
| 0.25            |                         |     |
| 0.063           |                         |     |
| %b(« granul. ») | 6.2                     | 0.5 |

Tableau 9: Limites du liant par rapport au poids des granulats du béton bitumineux – type 2

La granulométrie du caoutchouc recyclé des PUNR est indiquée dans le tableau ci-dessous :

| mm    | %      | ± |
|-------|--------|---|
| 8     | 100.00 |   |
| 4     | 98     | 2 |
| 2     | 14     | 5 |
| 0.5   | 0      |   |
| 0.25  | 0      |   |
| 0.063 | 0      |   |

Tableau 10 : granulométrie du caoutchouc recyclé des PUNR

Si la granulométrie diffère, le mélange doit être redéfini également en termes de pourcentage de bitume. Le pourcentage de caoutchouc recyclé issu des PUNR, en poids par rapport aux granulats, est supposé être de 5 %.

En ce qui concerne l'acceptation des mélanges, l'entreprise est tenue de soumettre au maître d'œuvre, bien avant le début des travaux et pour chaque chantier, la composition des mélanges qu'elle entend adopter ; chaque composition proposée doit être accompagnée d'une documentation complète des études effectuées. Une fois que le maître d'œuvre a accepté l'étude du mélange proposée, l'entreprise doit s'y conformer strictement. Dans la courbe granulométrique, des variations seront autorisées dans les pourcentages individuels de  $\pm 3$  pour la teneur en granulats grossiers, de  $\pm 2$  pour la teneur en granulats fins (passant par le tamis UNI n. 5), de  $\pm 1,5$  pour les granulats passant par le tamis UNI 0,075 mm. Pour le pourcentage de bitume, un écart de  $\pm 0,25$  est toléré. Ces valeurs doivent être vérifiées par l'examen des mélanges prélevés à l'installation et au moment de la pose, ainsi que par l'examen des carottes prélevées sur place, en tenant compte, pour ces dernières, de la quantité théorique de bitume d'ancrage.

Pour la préparation du mélange, le béton doit être préparé à l'aide d'installations fixes, automatisées, aux caractéristiques appropriées, qui doivent toujours être maintenues en parfait état de

fonctionnement dans toutes leurs parties. La production de chaque installation ne doit pas dépasser sa capacité, afin de garantir un séchage parfait, un chauffage uniforme du mélange et un criblage parfait assurant le reclassement adéquat de chaque classe de granulats. Des installations en continu (type tambour-mélangeur) peuvent également être utilisées, à condition que les composants du mélange soient dosés en poids, à l'aide d'équipements appropriés dont l'efficacité doit être constamment contrôlée. L'installation doit, en tout cas, garantir l'uniformité de la production et être en mesure de produire des mélanges correspondant à ceux indiqués dans l'étude soumise à l'acceptation. Chaque installation doit s'assurer que le bitume est chauffé à la température requise et à une viscosité uniforme jusqu'à son malaxage, et que le bitume et l'additif sont parfaitement dosés. La zone destinée au stockage des granulats doit être aménagée à l'avance et de manière appropriée afin d'éliminer la présence de substances argileuses et la stagnation d'eau qui pourraient compromettre la propreté des granulats. En outre, les tas des différentes classes doivent être clairement séparés les uns des autres et l'opération de remplissage des pré-doseurs doit être effectuée avec le plus grand soin. Le temps de malaxage doit être établi en fonction des caractéristiques de l'installation, de manière à permettre un enrobage complet et uniforme des granulats par le liant. La température des granulats au moment du malaxage doit être comprise entre 170° C et 190° C et celle du liant entre 160° C et 180° C, selon le type de bitume utilisé. Pour contrôler les températures susmentionnées, les séchoirs, les chaudières et les trémies des installations doivent être équipés de thermomètres fixes, en parfait état de fonctionnement et périodiquement calibrés. L'humidité des granulats à la sortie du séchoir ne doit pas dépasser 0,25% en poids.

Avant d'appliquer la couche de roulement à chaud, il est nécessaire de préparer la surface de pose afin de garantir un ancrage parfait et l'étanchéité de la couche sous-jacente. La couche d'accrochage peut être réalisée avec une émulsion de bitume modifié, projetée à l'aide d'un épandeur automatique spécial de façon à ce que le bitume résiduel soit égal à 1,00 Kg/m<sup>2</sup> ; en alternative, on peut utiliser du bitume modifié, posé à chaud dans la même quantité par unité de surface. Afin de permettre le passage des engins de pose, la couche d'accrochage doit être immédiatement suivie d'un grenailage avec des granulats de 4/8 mm à raison de 6/8 litres par mètre carré. Le sable ou la chaux hydratée peuvent être utilisés dans le même but. L'émulsion de la couche d'accrochage doit répondre aux exigences indiquées dans le tableau ci-dessous.

|                            |            |     |        |
|----------------------------|------------|-----|--------|
| Teneur en eau              | CNR 101/84 | %   | 30±1   |
| Teneur en liant            | CNR 100/84 | %   | 70±1   |
| Teneur en bitume           | CNR 100/84 | %   | >69    |
| Teneur en agent de fluxage | CNR 100/84 | %   | 0      |
| Démulsivité                | ASTM D244  |     | 50-100 |
| Homogénéité                | ASTM D244  | %   | <0,2   |
| Viscosité Engler à 20°C    | CNR 102/84 | °E  | >20    |
| Sédimentation à 5 g        | CNR 124/88 | %   | <5     |
| <b>Résidu bitumineux</b>   |            |     |        |
| Pénétration à 25°C         | CNR 24/71  | dmm | 50-70  |
| Point de ramollissement    | CNR 35/73  | °C  | >65    |
| Point de rupture (Frass)   | CNR 43/74  | °C  | <=-15  |
| Retour élastique à 25°C    | EN 13398   | %   | >75    |

Tableau 11 : Emulsion pour la couche d'accrochage

Les couches de roulement spéciales sont posées au moyen de finisseurs vibrants en parfait état de marche et équipés de dispositifs de nivellement automatique. La vitesse d'avancement des finisseurs vibrants ne doit pas dépasser 3 à 4 m/min, avec une alimentation continue du mélange. Les finisseurs vibrants doivent en tout cas laisser une couche finie de forme parfaite, exempte de grains, de fissures et de défauts dus à la ségrégation des éléments lithoïdes les plus gros. Lors de la pose, le plus grand soin doit être apporté à la formation de joints longitudinaux, obtenus de préférence en plaçant rapidement une couche à côté de la précédente. Si le bord est endommagé ou arrondi, une coupe verticale doit être effectuée à l'aide d'un équipement approprié. Les joints transversaux résultant des interruptions journalières doivent toujours être réalisés après avoir coupé et retiré l'extrémité de la mise à zéro. Le chevauchement des joints longitudinaux avec ceux des couches inférieures doit être planifié et réalisé de manière à ce qu'ils soient décalés les uns par rapport aux autres d'au moins 20 cm et qu'ils ne soient jamais situés dans les deux bandes de la voie de circulation normalement utilisées par les pneus des poids lourds. Le béton doit être transporté de l'installation de production au chantier par des véhicules efficaces et rapides, de capacité appropriée, toujours équipés d'une bâche de protection pour éviter un refroidissement excessif de la surface et la formation de croûtes. La température du béton bitumineux lors de la pose est contrôlée immédiatement derrière le finisseur et ne doit jamais être inférieure à 140° C. La pose du béton est suspendue lorsque les conditions météorologiques générales sont susceptibles de compromettre la réussite des travaux. Tout béton qui pourrait être compromis doit être enlevé immédiatement et la couche reconstruite aux frais de l'entreprise. Le compactage du béton doit commencer dès qu'il a été étalé par le finisseur vibrant et doit être effectué sans interruption. Le compactage doit être effectué au moyen d'un rouleau statique à roues métalliques d'un poids maximal de 10 tonnes. Il faut également veiller à ce que le compactage soit effectué selon la méthode la plus appropriée pour obtenir un épaississement uniforme en tout point et éviter les fissures et les glissements dans la couche fraîchement posée. La surface des couches doit être exempte d'irrégularités et d'ondulations après le compactage. Une tige droite de 4 m de long placée dans n'importe quelle direction sur la surface finie de chaque couche doit y adhérer uniformément ; un écart maximal de 5 mm peut être toléré.

Le contrôle de la qualité des bétons bitumineux et de leur pose doit être effectué par des essais de laboratoire sur les matériaux constitutifs, sur le mélange, sur les carottes extraites du revêtement et par des essais sur place. Le lieu d'échantillonnage et la fréquence des tests sont indiqués dans le tableau ci-dessous. Chaque prélèvement doit être composé de deux échantillons ; l'un est utilisé pour les contrôles auprès d'un Laboratoire agréé par le Ministère des Infrastructures et des Transports, l'autre reste disponible pour d'éventuels contrôles et/ou inspections techniques ultérieurs. Il faut vérifier les caractéristiques d'acceptabilité des matériaux constitutifs. Sur le mélange il faut déterminer le pourcentage de bitume, la granulométrie des granulats, la quantité d'activateur d'adhérence, la quantité de fibres et contrôler ensuite les caractéristiques d'aptitude au moyen de la presse rotative. Les éprouvettes fabriquées au moyen de la presse rotative doivent être soumises à un essai de rupture diamétrale à 25 °C (Brésilien). En l'absence de la presse rotative, des tests Marshall sont effectués : poids volumique (DM), stabilité et rigidité (CNR 40/73) ; pourcentage de vides résiduels (CNR 39/73) ; résistance à la traction indirecte (test brésilien - CNR 134/91).

Après la pose, le maître d'œuvre prélèvera des carottes pour contrôler les caractéristiques du béton et vérifier l'épaisseur. L'épaisseur de la couche est déterminée, pour chaque section homogène de pose, en faisant la moyenne des mesures (quatre pour chaque carotte) prises à partir des carottes extraites, en écartant les valeurs dont l'épaisseur dépasse celle du projet de plus de 5%. Les mêmes mesures peuvent être effectuées en continu avec un équipement géoradar. Pour les épaisseurs moyennes inférieures à celles du projet, une réduction de 2,5% du prix catalogue par mm de matériau manquant est appliquée pour toute la section homogène. Pour les insuffisances supérieures à 20 % de l'épaisseur prévue, la couche doit être enlevée et ensuite refaite aux frais de l'entreprise.

La densité sur site, dans 95% des échantillons, ne doit pas être inférieure à 98% de la valeur DG (ou DM) résultant de l'étude du mélange. Les mesures de densité sont effectuées sur des carottes prélevées sur la pose ou réalisées avec des systèmes non destructifs, tels que des carottes densimétriques ou similaires, identifiés par le DL en accord avec l'entreprise, avant le début des travaux. Pour les valeurs de densité inférieures à celles prévues, une réduction de prix est appliquée pour toute la section homogène à laquelle la valeur se réfère :

- de 10 % du montant de la couche pour les densités sur site comprises entre 95 et 98 % de DG (ou DM) ;
- de 20 % du montant de la couche pour les densités sur site comprises entre 92 et 95 % de DG (ou DM).

Le coefficient d'adhérence transversale (CAT) mesuré au moyen de l'équipement SCRIM (CNR 147/92) doit être de  $\geq 0,58$ . On peut également déterminer la résistance au frottement de glissement à l'aide du testeur de glissement (CNR 105/85), qui doit fournir des valeurs de BPN (British Pendulum Number)  $\geq 60$ .

La hauteur de sable (HS), déterminée selon la méthodologie CNR 94/83, doit être  $\geq 0,6$ . Toute mesure effectuée à l'aide d'un équipement de relevé continu<sup>3</sup> doit être rapportée à la hauteur de sable (HS) avec les corrélations appropriées.

Les mesures CAT et HS doivent être effectuées dans une période comprise entre le 15e et le 180e jour après l'ouverture à la circulation, pour chaque voie, avec un « pas de mesure » de 10 mètres. Les valeurs mesurées peuvent, si nécessaire, être moyennées tous les 50 m pour tenir compte des inhomogénéités occasionnelles et localisées.

Si la valeur moyenne de CAT ou HS, pour chaque section homogène (sections de revêtement ayant au moins 4 valeurs de l'indicateur statistiquement réparties selon une distribution « normale ») est inférieure aux valeurs prescrites, le coût de la couche de roulement spéciale (de tout type) est réduit de 15%.

La capacité moyenne de drainage, réalisée sur place tous les 250 m en décalant la voie et mesurée à l'aide d'un perméamétrie avec une colonne d'eau de mm 250 sur une surface de 154 cm<sup>2</sup>, doit être mesurée.

| Contrôle des matériaux et vérification des performances |                        |                                                      |                                                             |
|---------------------------------------------------------|------------------------|------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------|
| Type d'échantillon                                      | Lieu d'échantillonnage | Fréquence des tests                                  | Exigences                                                   |
| Bitume                                                  | Citerne                | Hebdomadaire ou tous les 2500 M <sup>3</sup> de pose | Comme dans le tableau 11                                    |
| Granulats grossiers                                     | Installation           | Hebdomadaire ou tous les 2500 M <sup>3</sup> de pose |                                                             |
| Granulats fins                                          | Installation           | Hebdomadaire ou tous les 2500 M <sup>3</sup> de pose |                                                             |
| Filler                                                  | Installation           | Hebdomadaire ou tous les 2500 M <sup>3</sup> de pose |                                                             |
| Béton en vrac                                           | Finisseur vibrant      | Journalière ou tous les 5000 M <sup>3</sup> de pose  | Caractéristiques résultant de l'étude du mélange            |
| Carottes pour épaisseurs                                | Revêtement             | Tous les 100 m de bande posée                        | Épaisseur prévue dans le projet                             |
| Carottes pour densité sur place                         | Revêtement             | Tous les 500 m de bande posée                        | 98% de la valeur résultant de l'étude du mélange            |
| Revêtement                                              | Revêtement             | Tous les 10 m de bande posée                         | CAT ≥ 0,58 (moyenne sur 50M)<br><br>BNP ≥ 60 (tous les 50M) |
| Revêtement                                              | Revêtement             | Tous les 10 m de bande posée                         | HS ≥ 0,6 mm (moyenne sur 50M)                               |
| Revêtement                                              | Revêtement             | 3 tests                                              | CPX congru avec GPP                                         |

Tableau 12 : Contrôles

Conformément au Décret ministériel du 29 novembre 2000, des contrôles doivent être effectués pour vérifier l'efficacité de l'intervention d'assainissement acoustique. À cette fin, le niveau d'émission du bruit de roulement du revêtement est déterminé (« Close Proximity Method -CPX » -UNI EN ISO 11819-2), selon le protocole adopté par le Green Public Procurement « Road Design, Construction and Maintenance » ([https://ec.europa.eu/environment/gpp/eu\\_gpp\\_criteria\\_en.htm](https://ec.europa.eu/environment/gpp/eu_gpp_criteria_en.htm)) élaboré par le Joint Research Center pour le compte de la Commission européenne. En particulier, un essai acoustique est requis dans les 12 semaines suivant l'ouverture à la circulation, et un deuxième et troisième essai respectivement 30-36 mois et 54-60 mois après la pose, afin d'évaluer la durabilité de la performance acoustique. Le niveau de CPX mesuré doit être conforme aux limites prévues par le GPP « Road Design, Construction and Maintenance » mentionné ci-dessus.

## Conclusions

Le document recueille toutes les analyses, les constatations et les résultats de la faisabilité technique et économique des investissements et des interventions de mitigation du bruit portuaire mise en place dans les ports de Bastia et de l'Île Rousse (Corse, France), Port de Portoferraio (Toscane, Italie) et sur le Port de Cagliari (Sardaigne, Italie) dans le cadre du projet RUMBLE - Réduction du bruit dans les grandes villes portuaires dans le programme maritime transfrontalier.

Le détail de l'exécution des travaux sont contenues dans le livrable T2.2.1.