

# PAVIMENTAZIONI AEROPORTUALI RIGIDE E FLESSIBILI: CRITERI DI SCELTA E ZONE DI TRANSIZIONE

**Alessandro Marradi**  
Università di Firenze  
[alessandro.marradi@unifi.it](mailto:alessandro.marradi@unifi.it)



Lo scopo delle pavimentazione è quello di sopportare i carichi del traffico

- In modo sicuro
- Mantenendo la superficie regolare
- In modo efficiente



## TIPI DI PAVIMENTAZIONI



Flessibili (Semirigide)



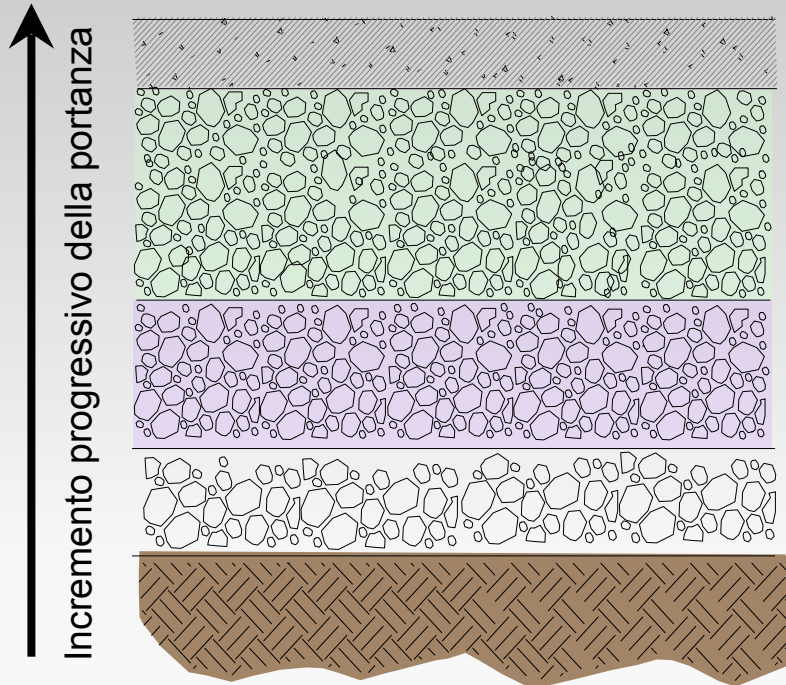
Rigide



Composite

## TIPI DI PAVIMENTAZIONI

### Pavimentazioni flessibili (semirigide)



**Strato superficiale in conglomerato bituminoso**

**Strato di Base**

può essere in misto granulare non legato, in congl. bituminoso o in misto cementato

**Strato di Fondazione**

può essere in misto granulare non legato o in misto cementato

**Strato antigelo o anticapillare**  
(eventuale)

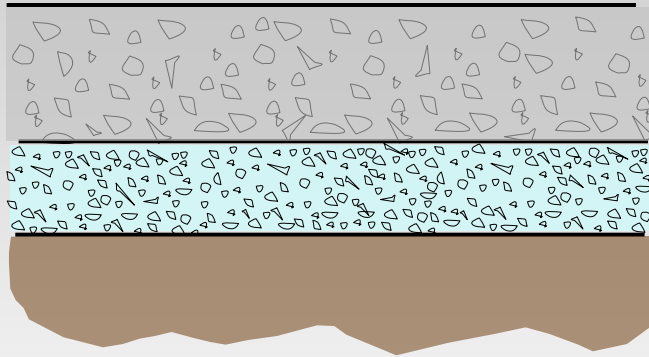
**Sottofondo**

(naturale, migliorato, stabilizzato, sostituito)



## TIPI DI PAVIMENTAZIONI

### Pavimentazioni rigide



**Calcestruzzo**

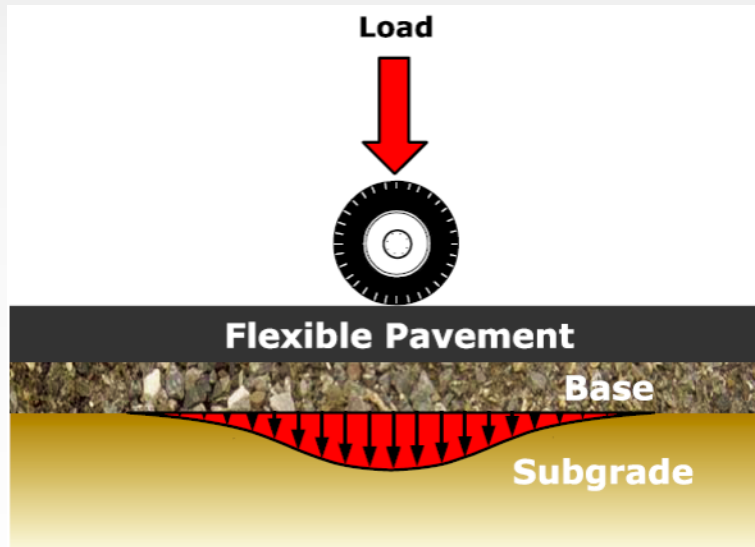
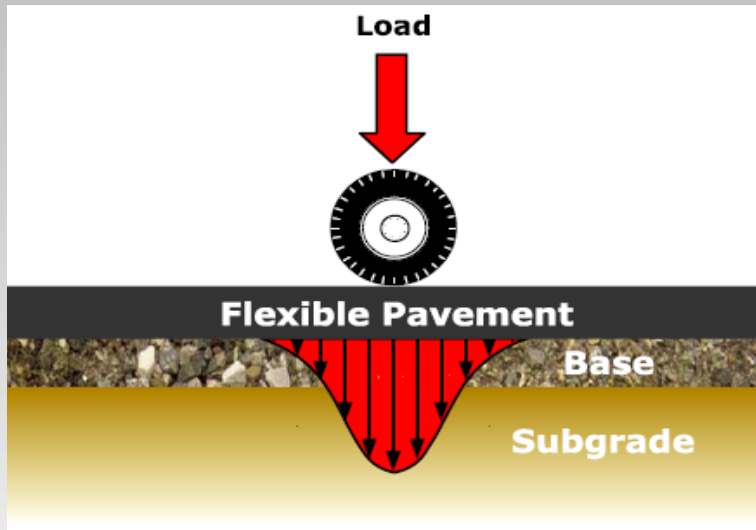
*(PCC) Portland Cement Concrete*

**Strato di Fondazione\***

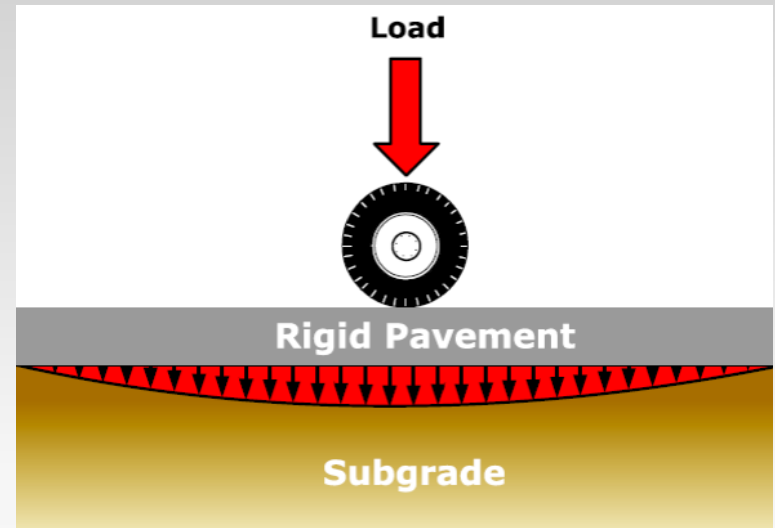
**Sottofondo**

- \* In misto granulare non legato o in misto cementato (misto granulare non legato stabilizzato con cemento: generalmente la stabilizzazione è richiesta quando nello spettro di traffico sono presenti aeromobili di massa superiore alle 45 tonnellate).

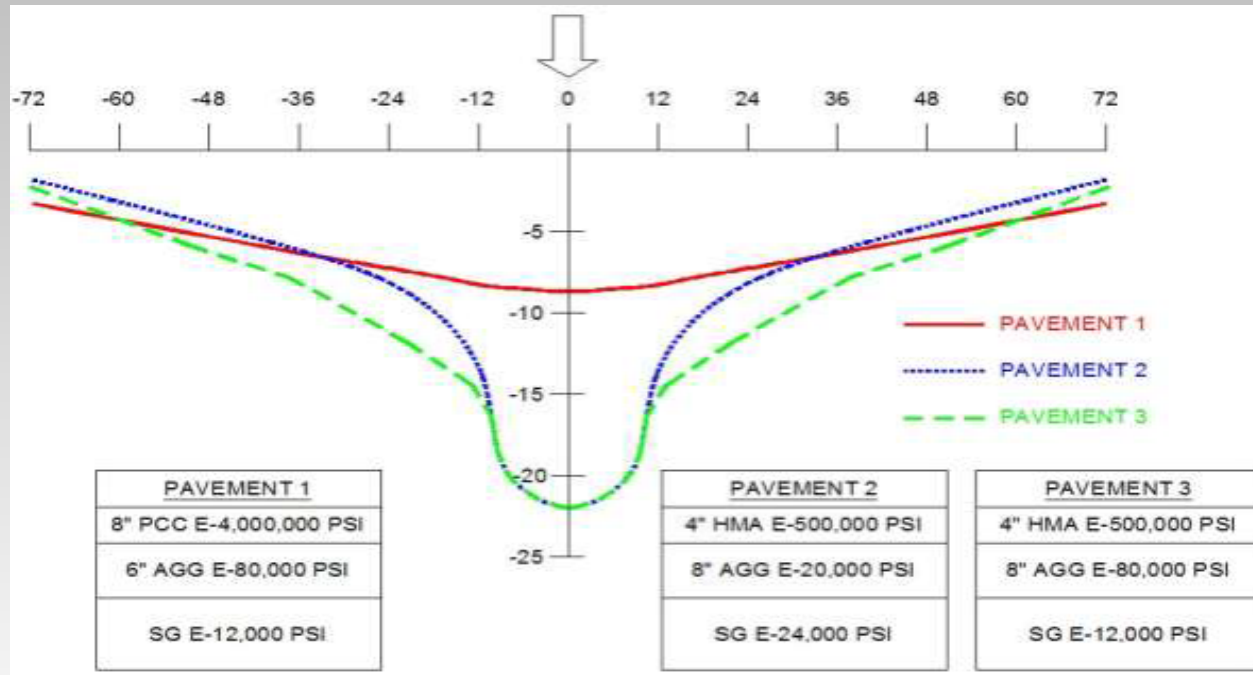
## Pavimentazioni flessibili



## Pavimentazioni rigide

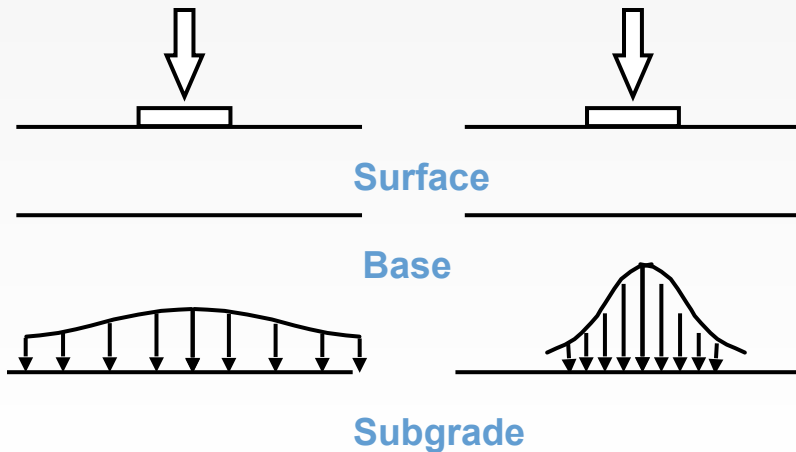


# Comportamento meccanico



CLS

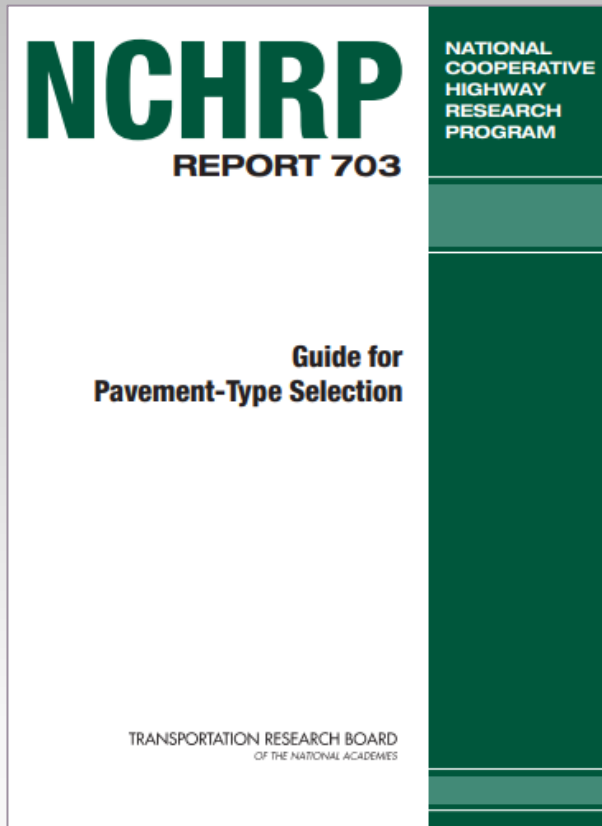
CB



## Composite, semiflessibili (?)

PRINCIPI GENERALI





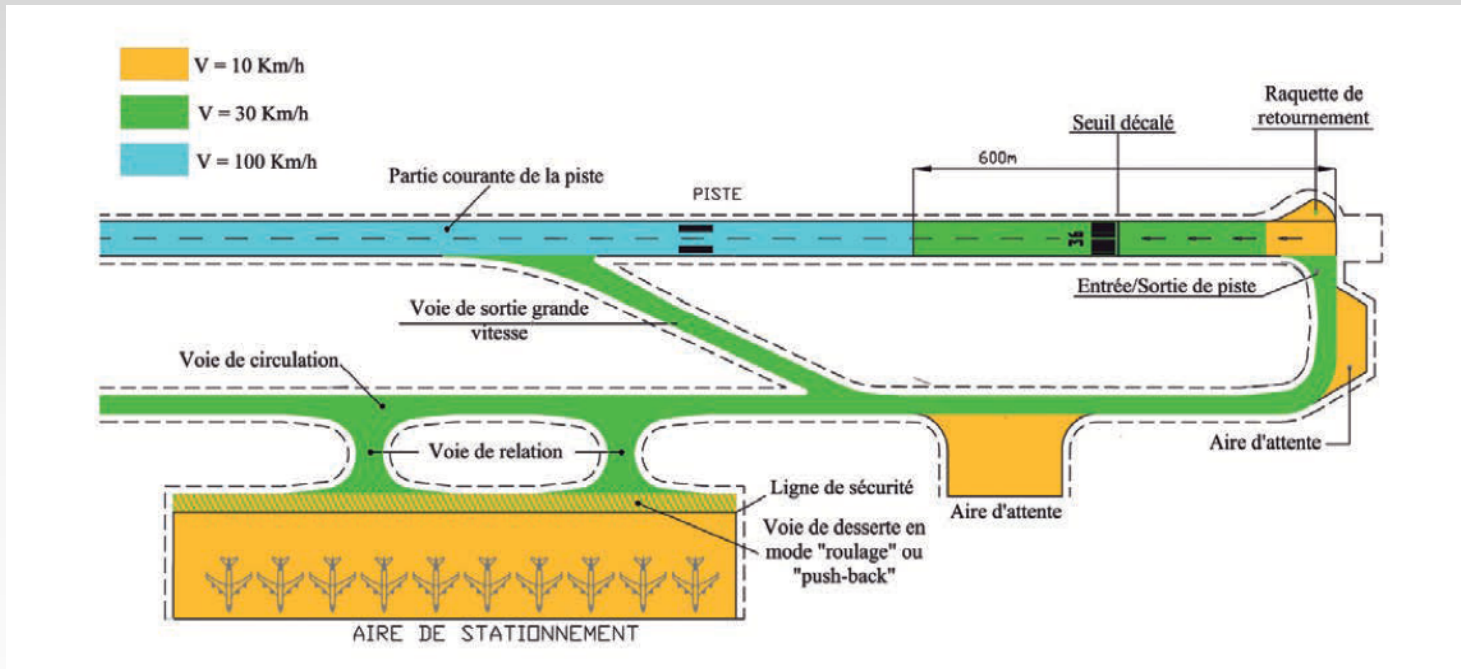
La scelta del tipo di pavimentazione è una delle sfide più impegnative che le amministrazioni sono chiamate ad affrontare implicando un bilanciamento delle prestazioni con i costi iniziali e di gestione, sia a breve che a lungo termine.

Il **“National Cooperative Highway Research Program (NCHRP) – Project 10-75”** fu condotto con lo scopo di sviluppare un processo razionale di scelta del tipo di pavimentazione

Un elenco di tali fattori, attualmente ancora valido, tanto da costituire la base per il NCHRP – Project 10-75, comprende:

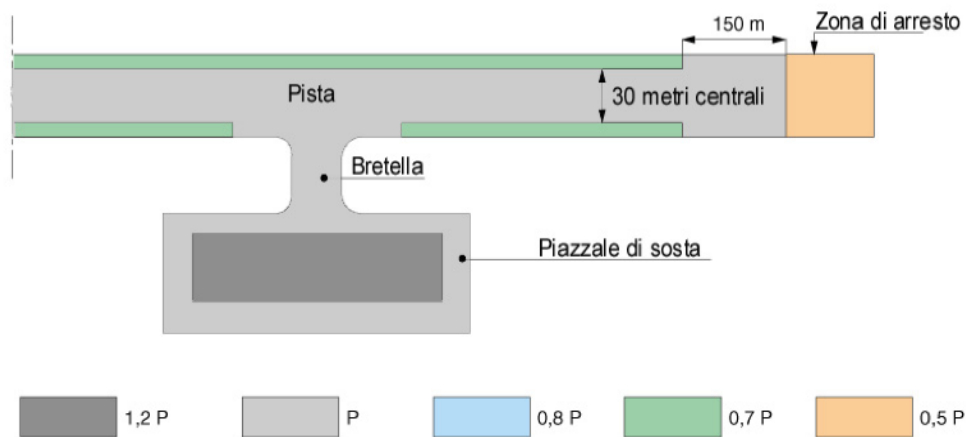
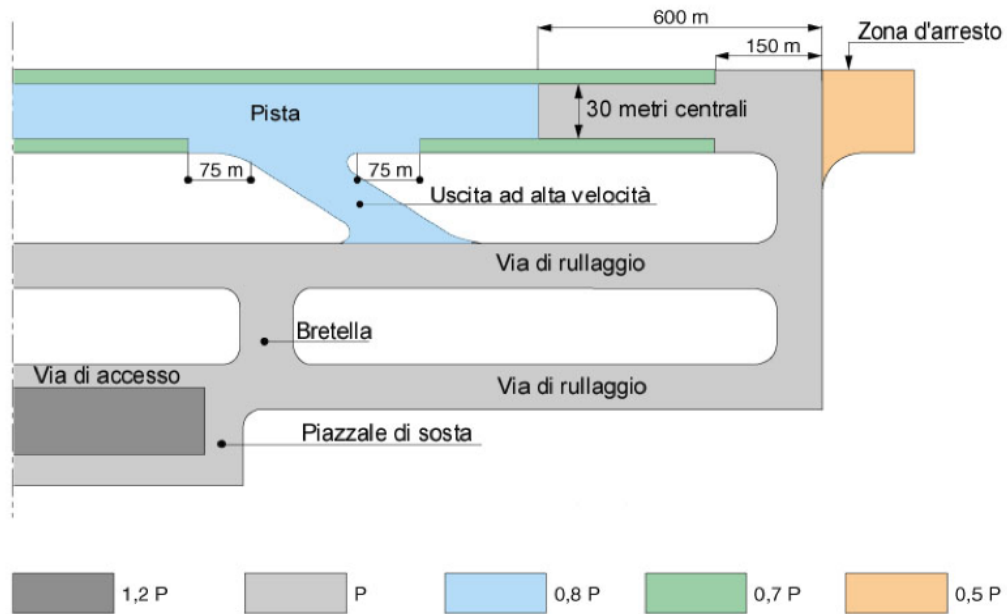
- **traffico** (pressione di gonfiaggio, natura dei carichi, etc...);
- caratteristiche del terreno di sedime;
- **condizioni metereologiche;**
- comparazioni economiche e di costo;
- **pavimentazioni adiacenti esistenti;**
- sito di costruzione;
- stimoli della concorrenza;
- sicurezza del traffico;
- disponibilità di materiali o di miscele locali.

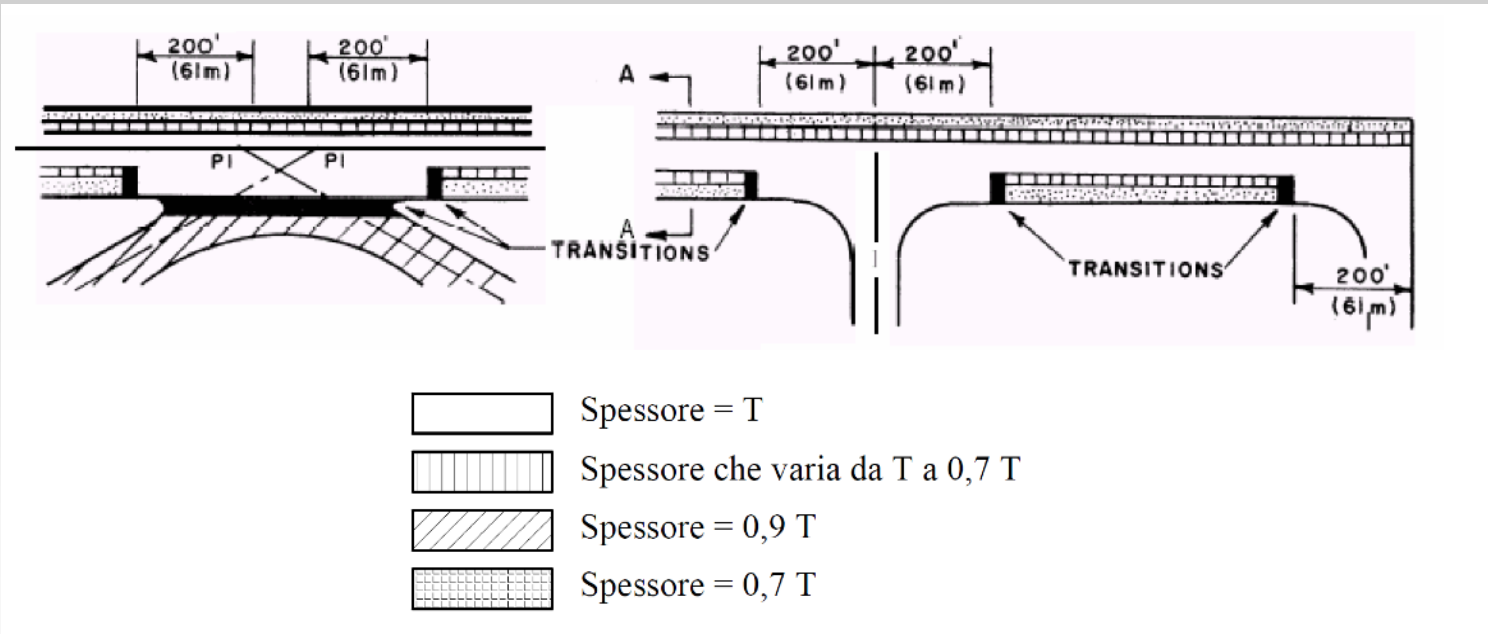
*“The design of airport pavements is based on moving loads in the interior of runways but stationary loads at the end of runways. As a result, thicker pavements are used at the runway end than in the interior.” (Huang)*





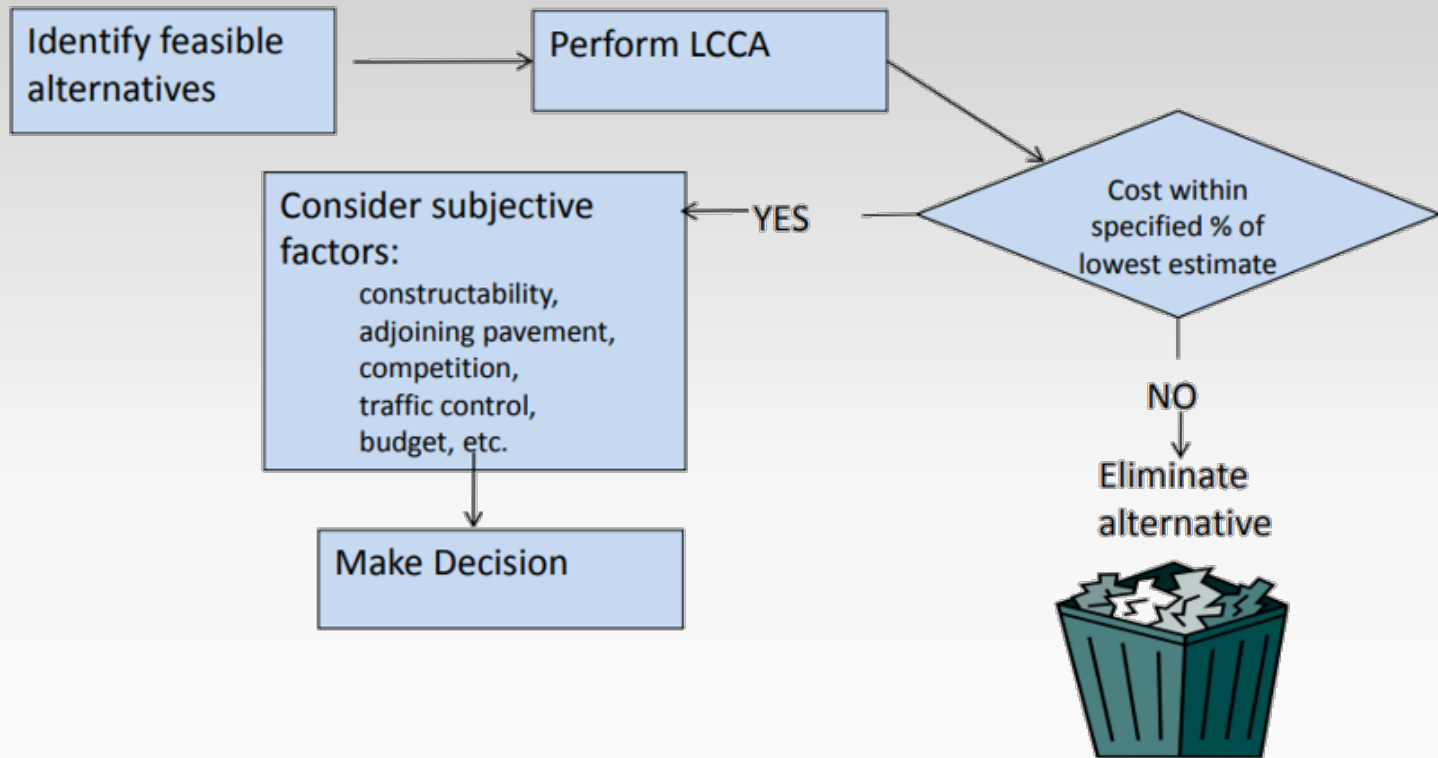
# PRINCIPI GENERALI





- Spessore = T
- Spessore che varia da T a 0,7 T
- Spessore = 0,9 T
- Spessore = 0,7 T

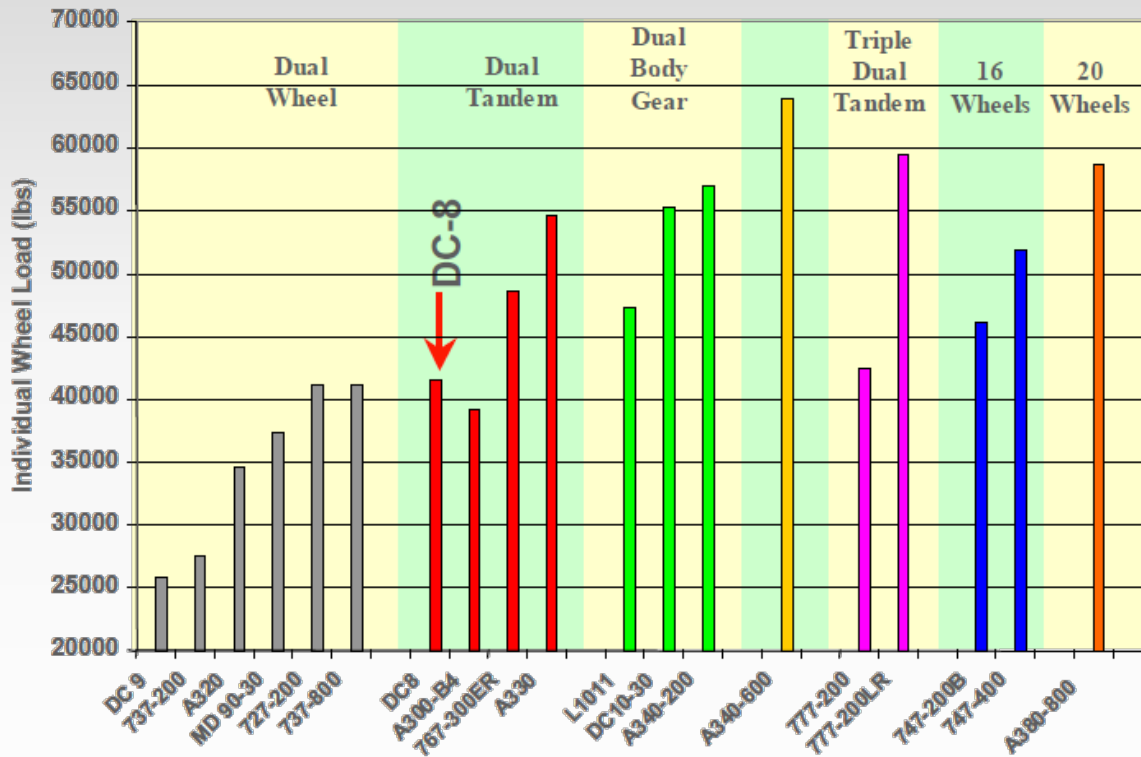
# PRINCIPI GENERALI



# **TRAFFICO**

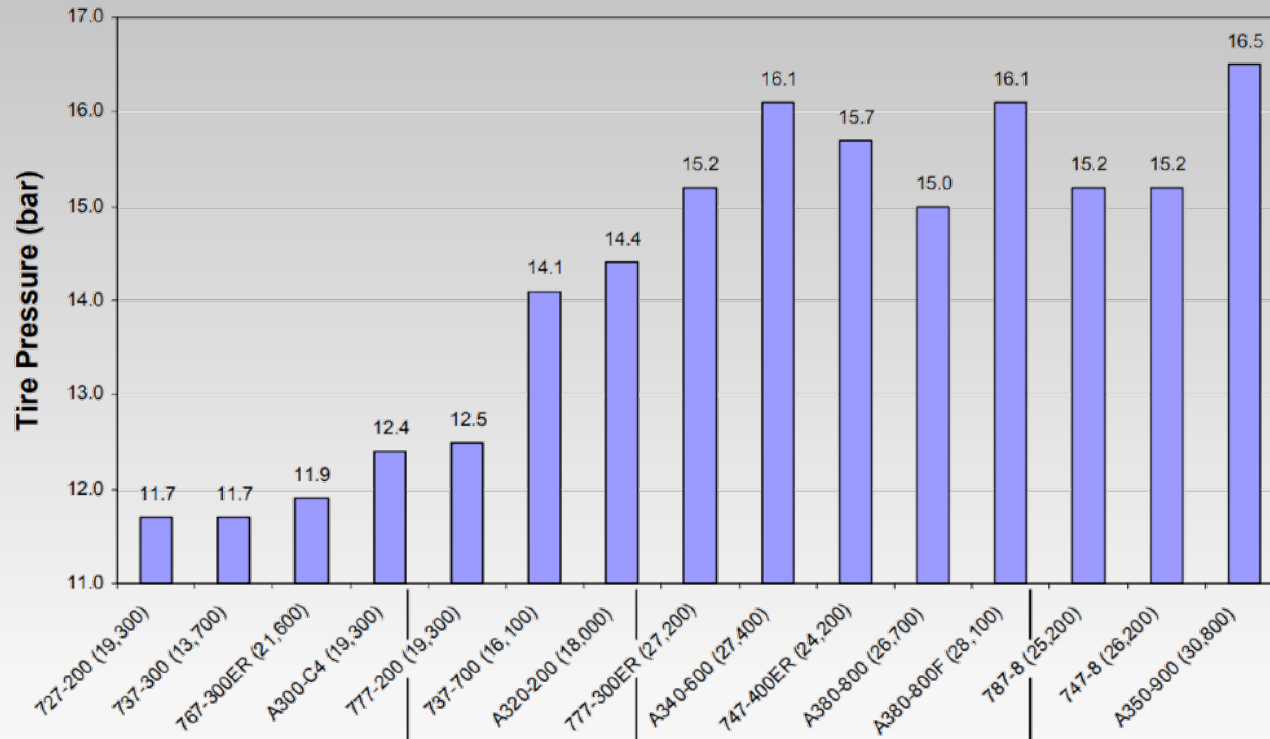
---

Il carico per ruota, e la conseguente variazione di pressione interna degli pneumatici, è notevolmente aumentato rispetto agli standard su cui sono stati sviluppati i primi modelli FAA.



Carico su singola ruota per vari aeromobili (FAA, R. Joel courtesy)

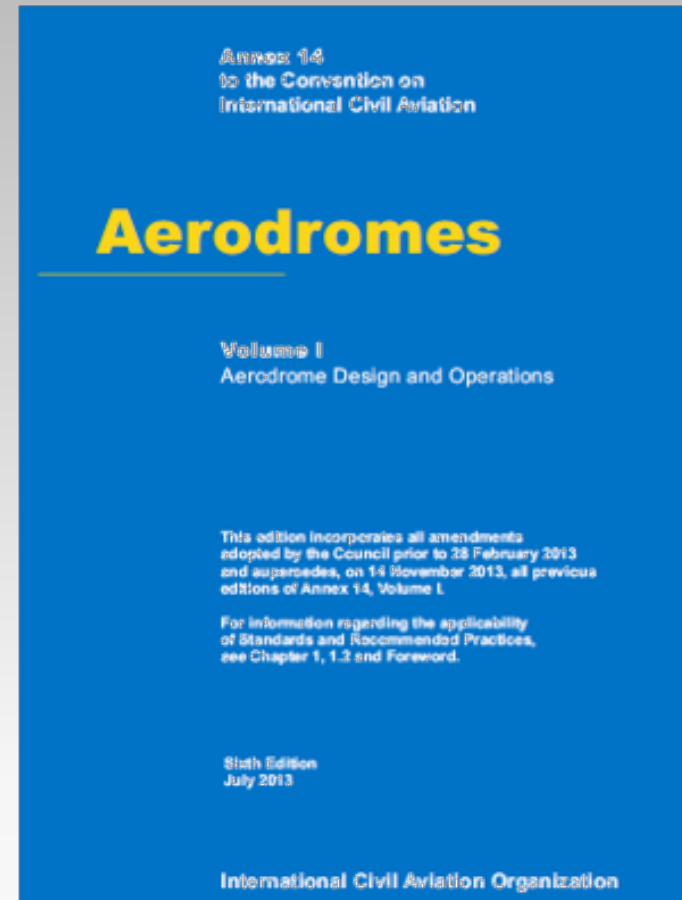
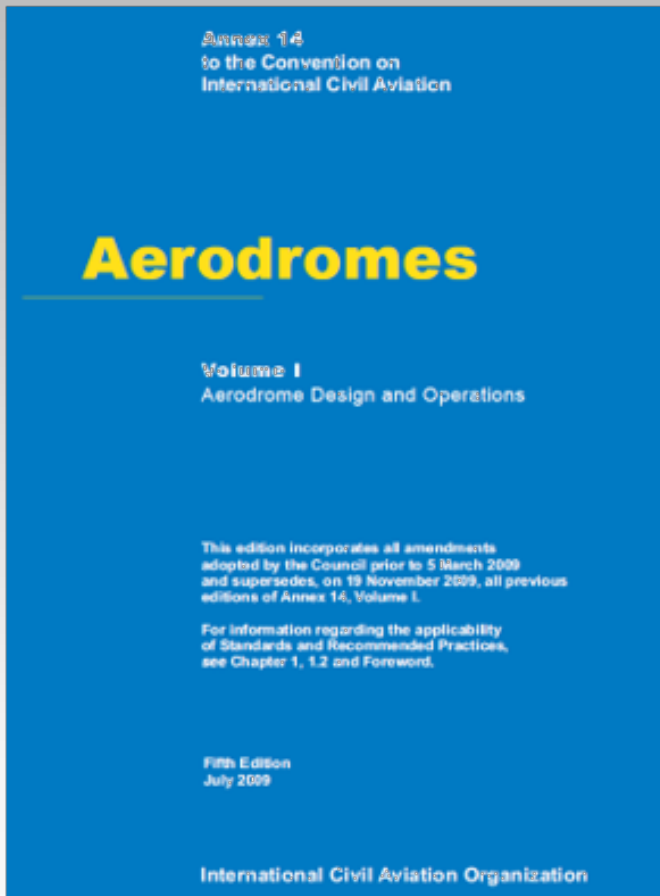
# PRESSIONE DEGLI PNEUMATICI



Andamento della pressione di gonfiaggio dei pneumatici

Generalmente i produttori di pneumatici sconsigliano di ridurre la pressione di gonfiaggio: un'eccessiva riduzione, infatti, porta ad una maggiore deflessione.

I test dinamici sulla resistenza mostrano un trend esponenziale del legame resistenza-deflessione.



c) *Maximum allowable tire pressure category:*

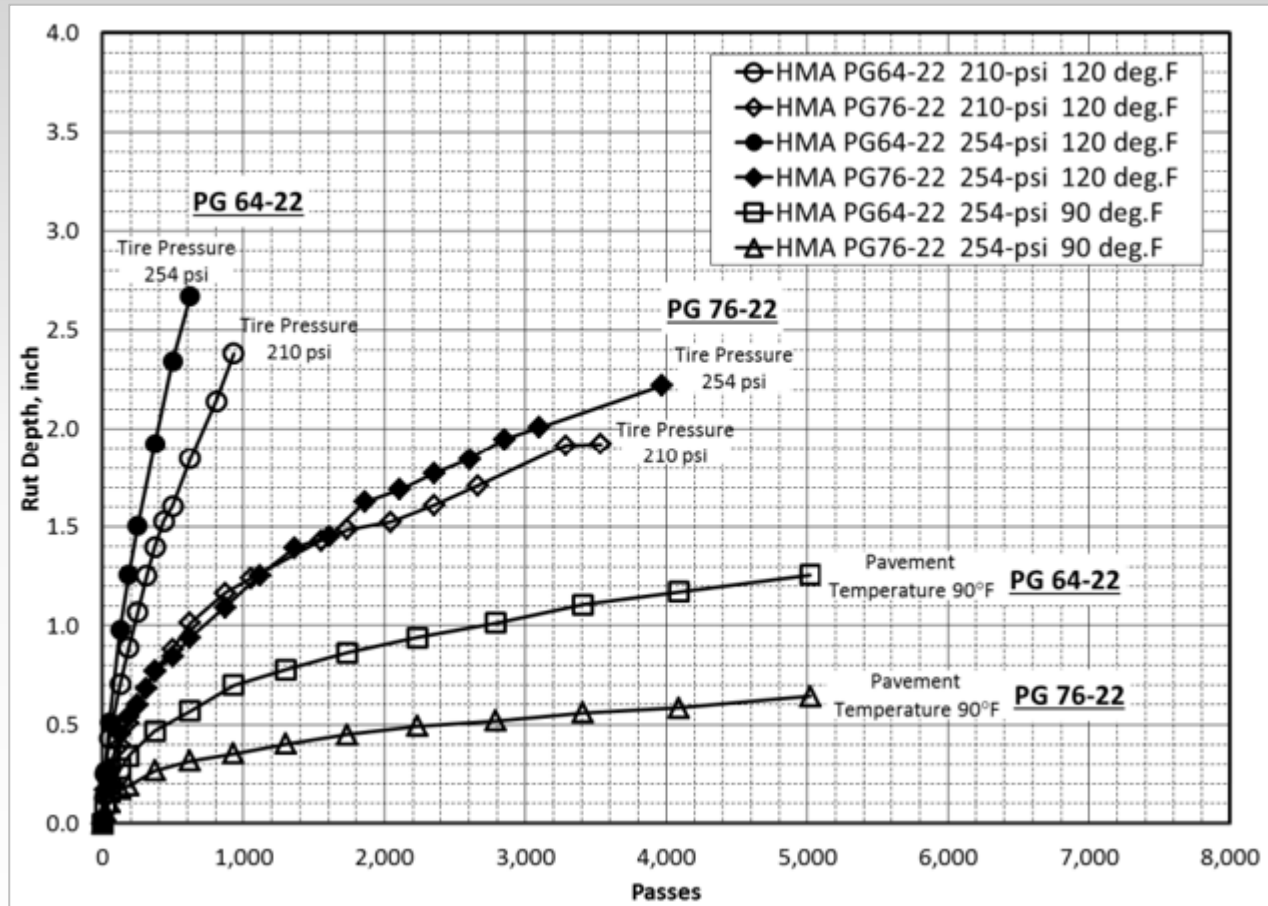
	<i>Code</i>
<i>High:</i> no pressure limit	W
<i>Medium:</i> pressure limited to 1.50 MPa	X
<i>Low:</i> pressure limited to 1.00 MPa	Y
<i>Very low:</i> pressure limited to 0.50 MPa	Z

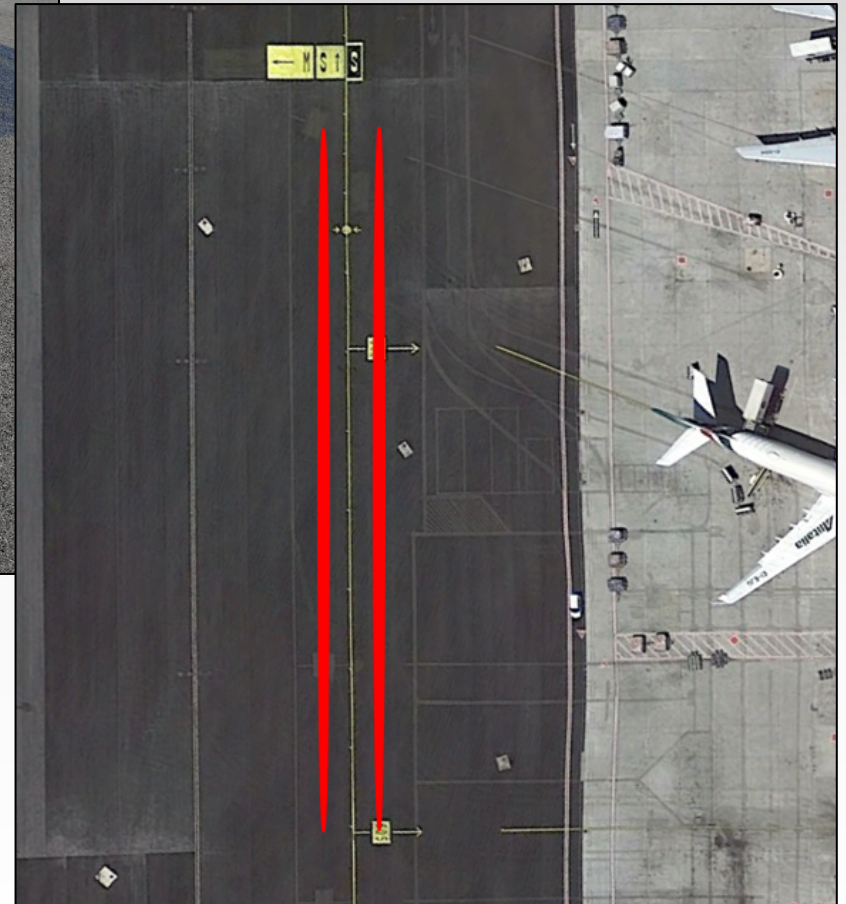
c) *Maximum allowable tire pressure category:*

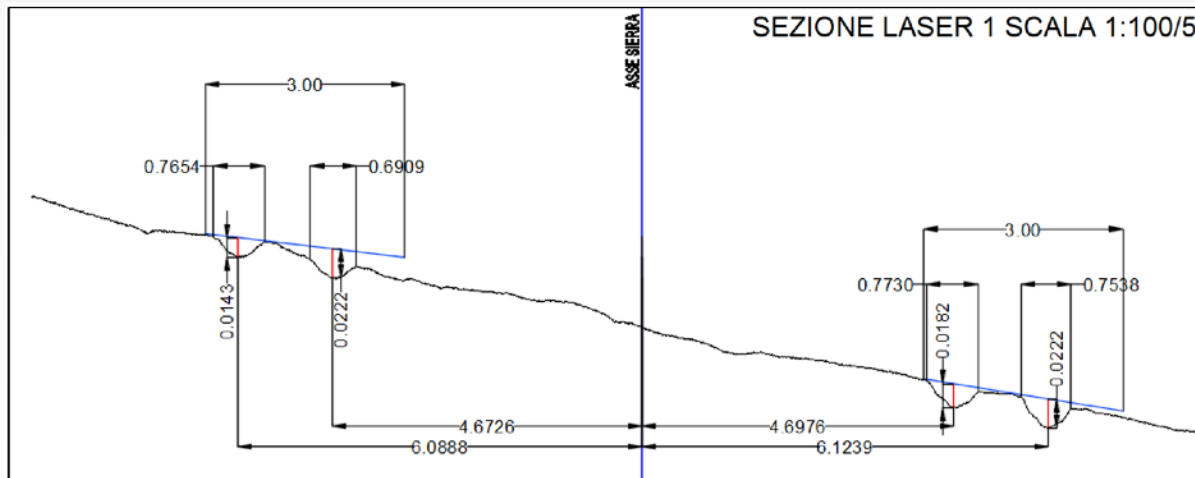
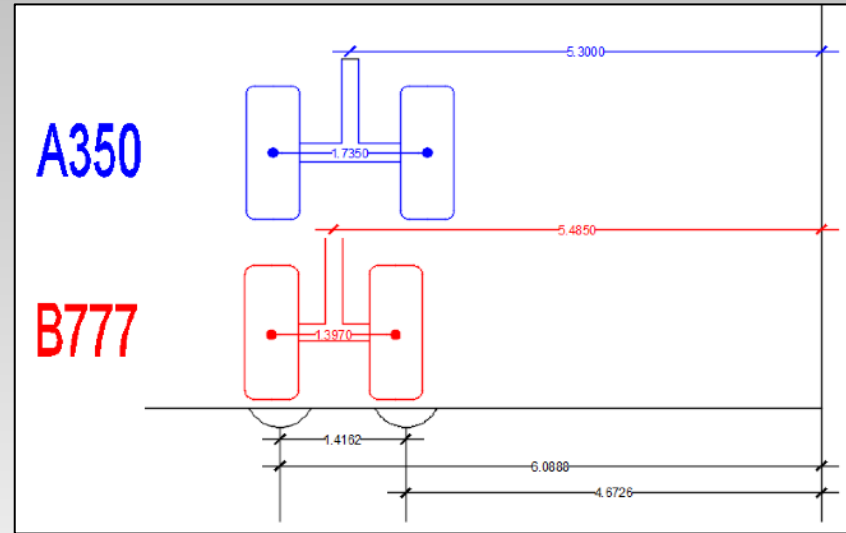
	<i>Code</i>
<i>Unlimited:</i> no pressure limit	W
<i>High:</i> pressure limited to 1.75 MPa	X
<i>Medium:</i> pressure limited to 1.25 MPa	Y
<i>Low:</i> pressure limited to 0.50 MPa	Z



È possibile evidenziare, inoltre, che la variazione di profondità dell'ormaia aumenta con la temperatura ed è influenzata in minima parte dalla pressione di gonfiaggio

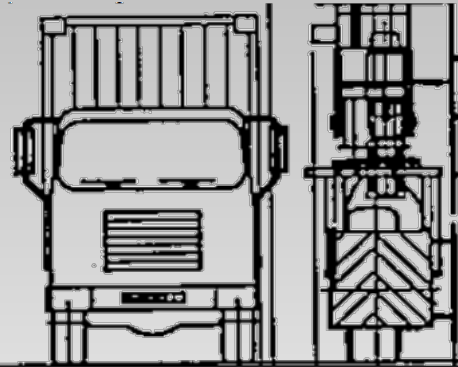










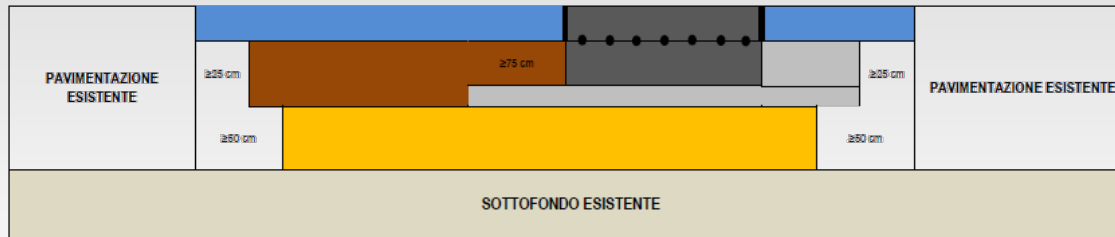


Soluzione  
progettuale

PAVIMENTAZIONE DI TRANSIZIONE LATO CORSIA  
PORTACONTAINER  
LARGHEZZA 4,5 m

PAVIMENTAZIONE RTG  
LARGHEZZA 2 m

PAVIMENTAZIONE DI  
TRANSIZIONE LATO  
ESTERNO  
LARGHEZZA 1 m



TRAFFICO

Soluzione adottata ai fini  
della riduzione dei tempi  
e dei costi

PAVIMENTAZIONE RTG	
	Usura tipo SMA con bitume modificato spessore 5 cm (E=7000 MPa)
	Binder con bitume modificato spessore 9 cm (E=8000 MPa)
	Misto cementato confezionato in centrale spessore 30 cm
	Fondazione esistente stabilizzata a cemento, spessore 35 cm
	Sottofondo esistente

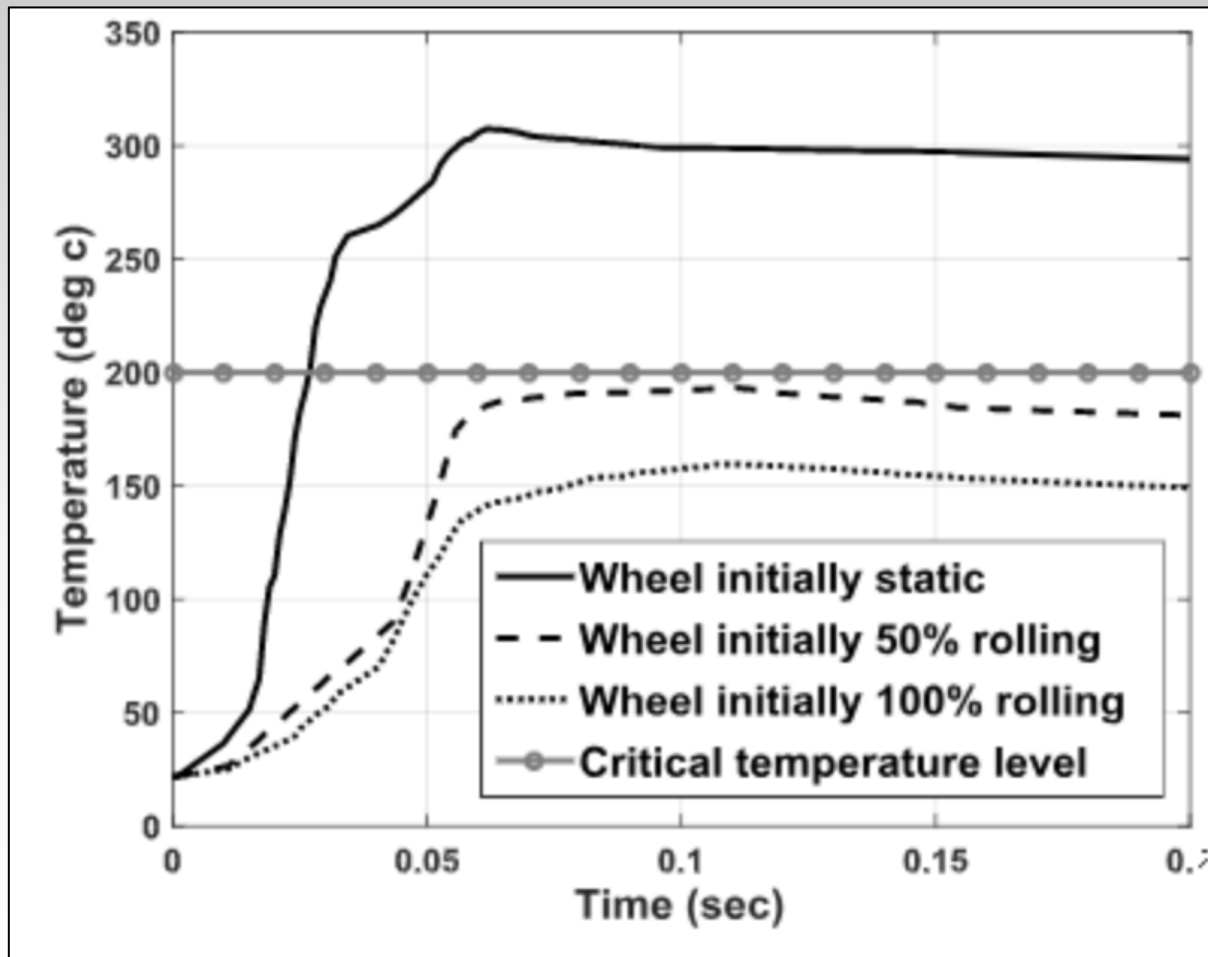
Effetti a 6 mesi dall'ultimazione dei lavori



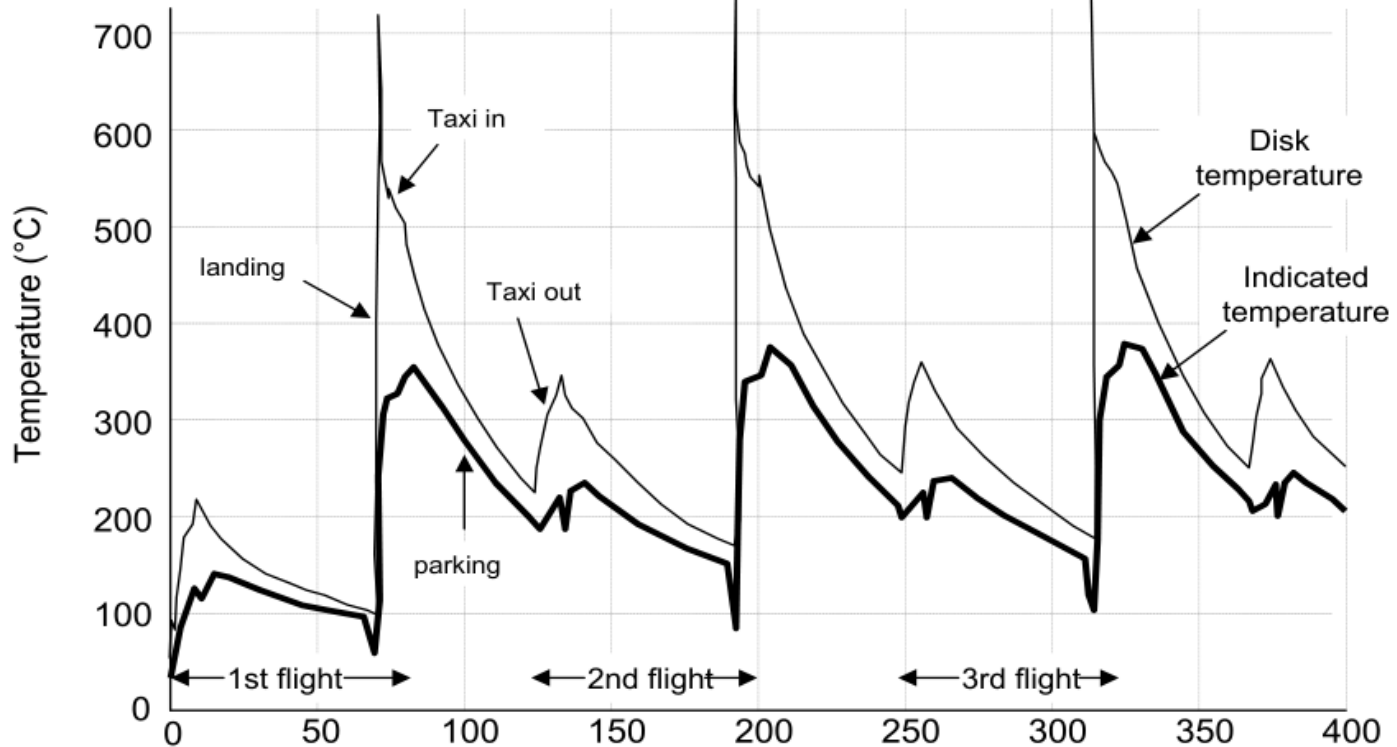
Effetti a 7 mesi dall'ultimazione dei lavori



# TEMPERATURA DEGLI PNEUMATICI

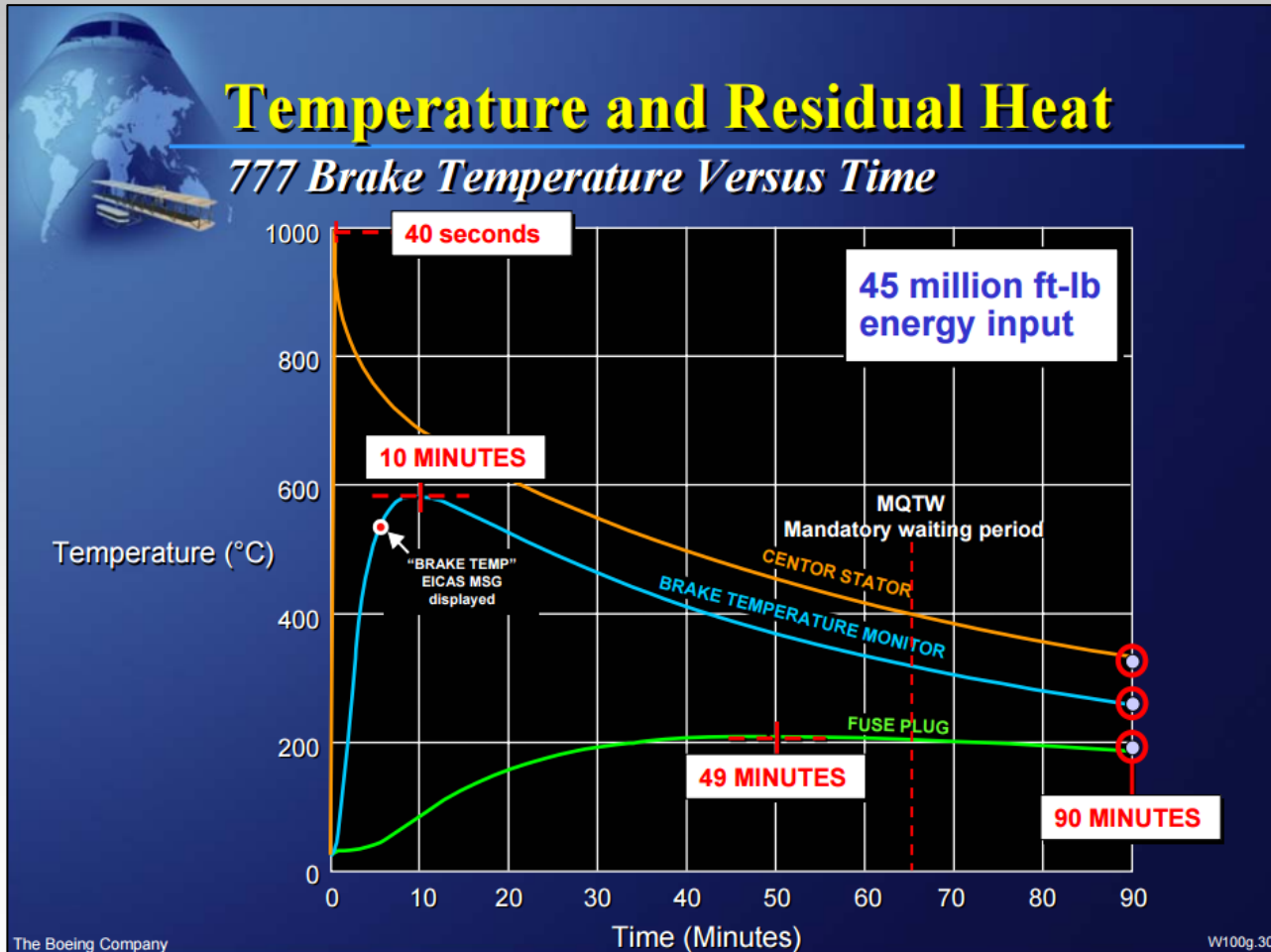




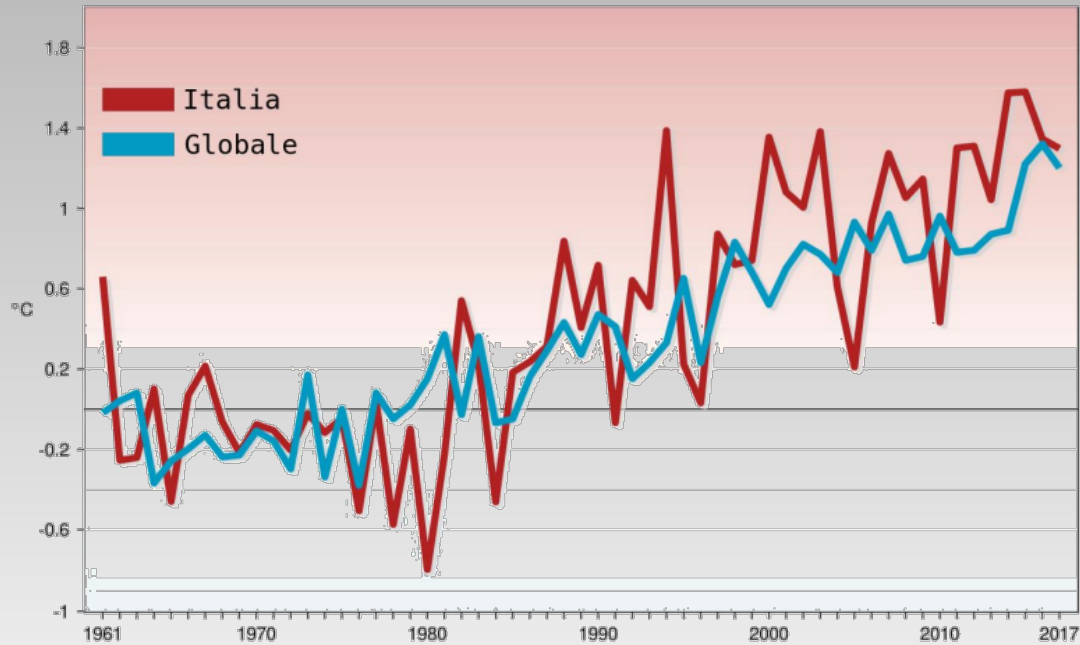


**Figure 4 - Example of brake temperatures achieved with specific route data (Aircraft not equipped with brake cooling-fans)**

Si possono osservare temperature tra i 300 ed i 400 °C subito dopo l'atterraggio, principalmente in base al tipo di aeromobile ed alle procedure di atterraggio.



# **CONDIZIONI CLIMATICHE**



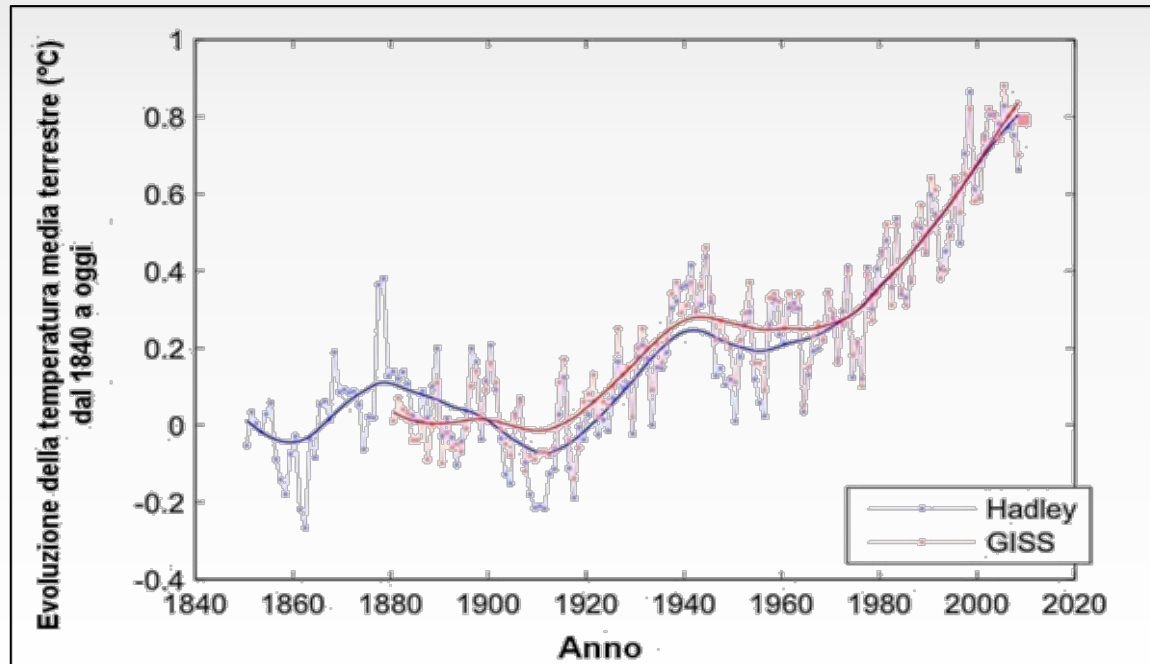
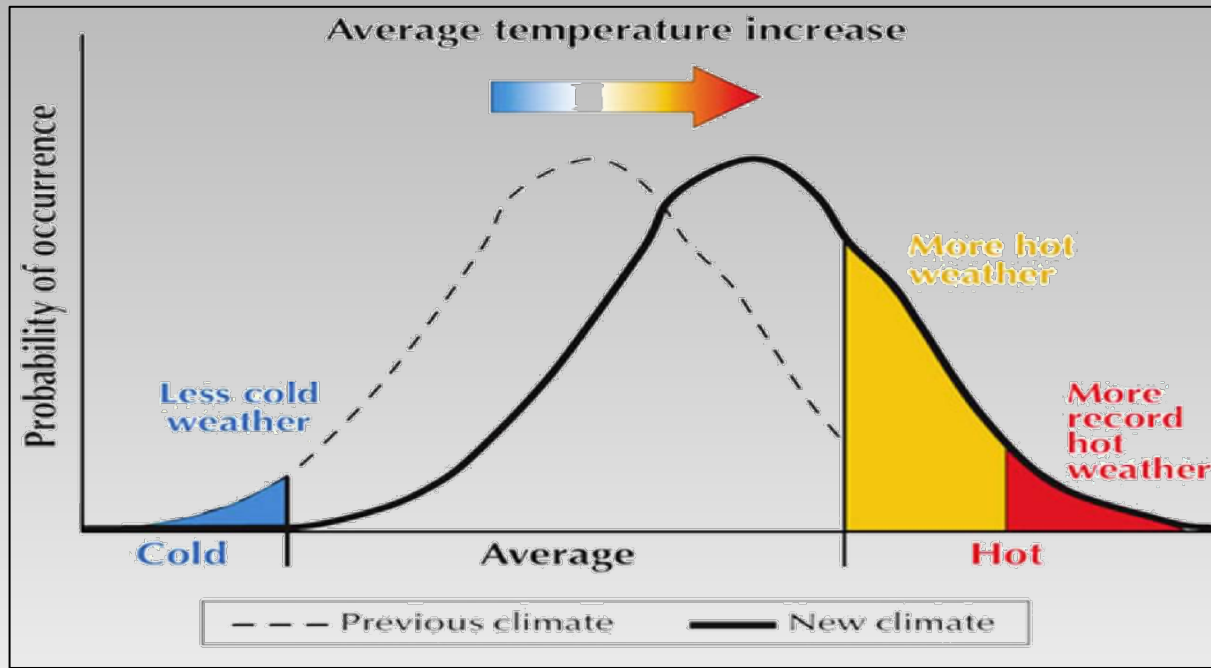
**Figura 2.1:** Serie delle anomalie di temperatura media globale sulla terraferma e in Italia, rispetto ai valori climatologici normali 1961-1990. Fonti: NCDC/NOAA e ISPRA. Elaborazione: ISPRA.

In Italia il 2017 è stato caratterizzato dalla persistenza e intensificazione delle condizioni di siccità già riscontrate nel corso del 2016.

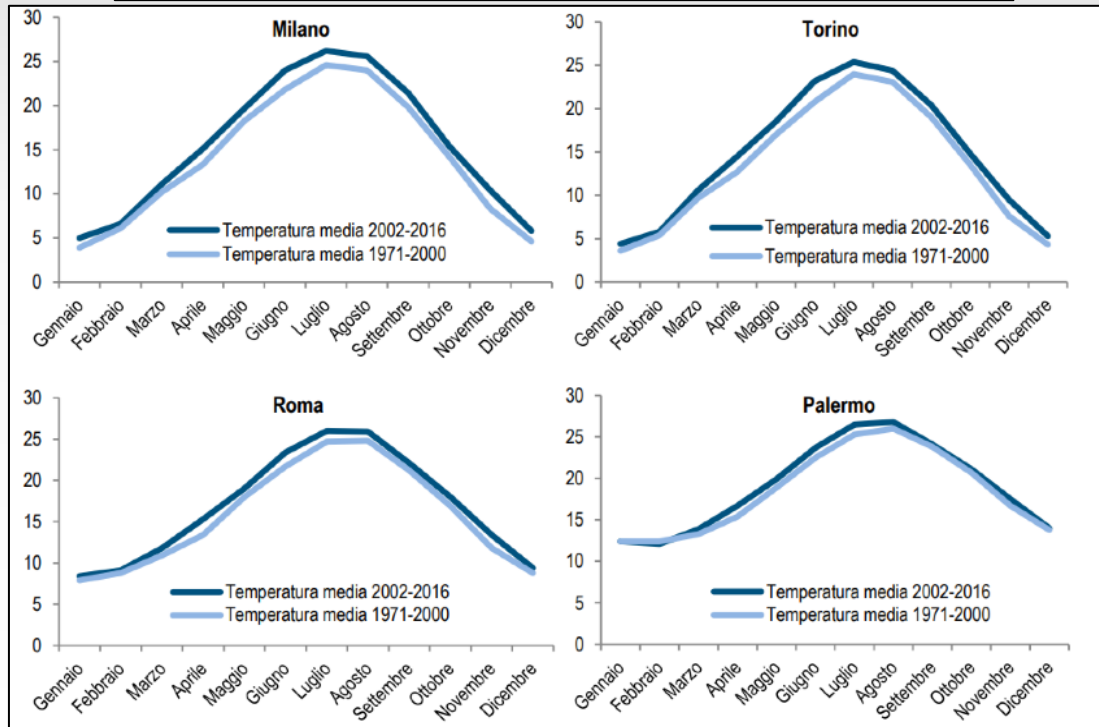
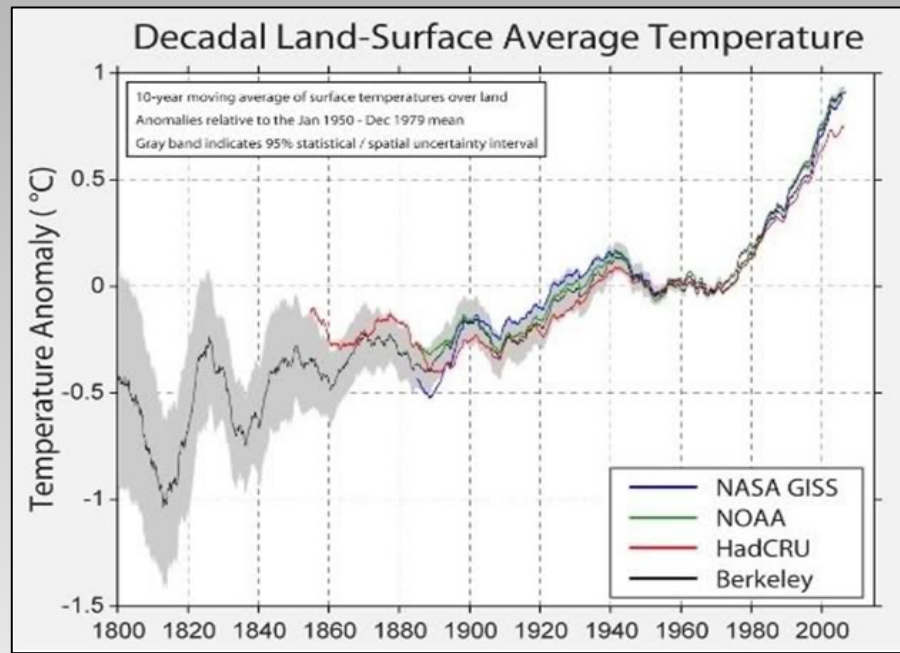
In molte regioni le temperature massime nei mesi estivi sono state nettamente superiori alla media climatologica:

- sia dall'amplificazione delle anomalie di temperatura superficiale dovuta all'estrema aridità delle superfici non irrigate;
- sia alle anomalie della circolazione a grande scala, come si può rilevare anche dalla mappa di anomalia annuale di geopotenziale.

# CONDIZIONI CLIMATICHE



# CONDIZIONI CLIMATICHE





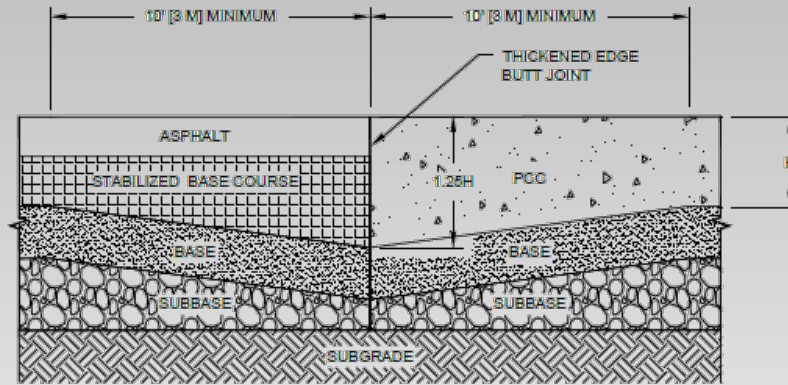
Scelto il tipo di pavimentazione, sono diversi i fattori che richiedono la realizzazione di zone di transizione.

- Necessità di affiancare una pavimentazione flessibile ad una pavimentazione rigida;
- Necessità di variare la geometria delle lastre esistenti su un'area limitata;
- Presenza di un elemento di discontinuità (es. manufatto idraulico).

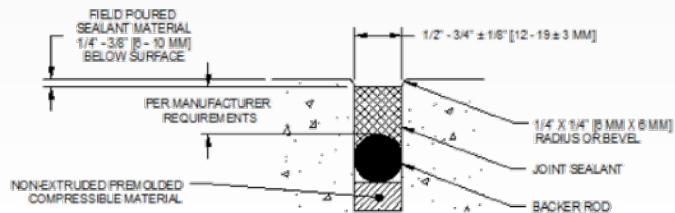
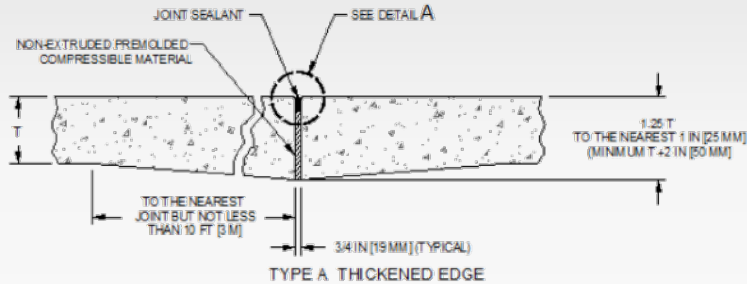




# Example of transition between Rigid and Flexible Pavement Sections (AC 150-5320-6G – Figure 3-7)

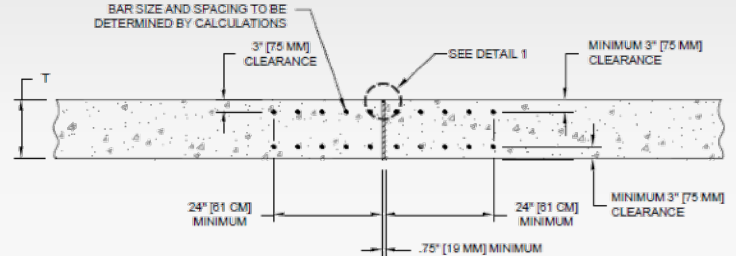


## Isolation Joint (AC 150/5320-6G – Figure 3-4)

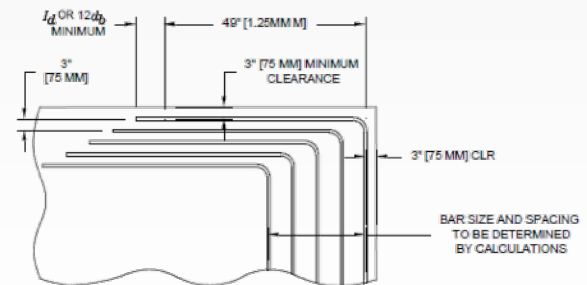


DETAIL A

## Reinforced Isolation Joint (AC 150/5320 – 6G - Appendix F)



SECTION A-A



DETAIL 1, TYPE A-1 REINFORCED BAR TERMINATION DETAIL (TOP AND BOTTOM)



# Aeroporto Internazionale L. Da Vinci – Roma Fiumicino

ESEMPI



RWY 07/25  
anno 2003



RWY 07/25  
anno 2007



RWY 07/25  
anno 2007



RWY 07/25  
anno 2018



# Barcelona – El Prat Airport, Pista 07R/25L

ESEMPI



# Marseille Provence Airport – Pista 13R/31L





# Aeroporto Internazionale L. Da Vinci – Roma Fiumicino

ESEMPI



RWY 16R/34L  
anno 2010



RWY 16R/34L  
anno 2011

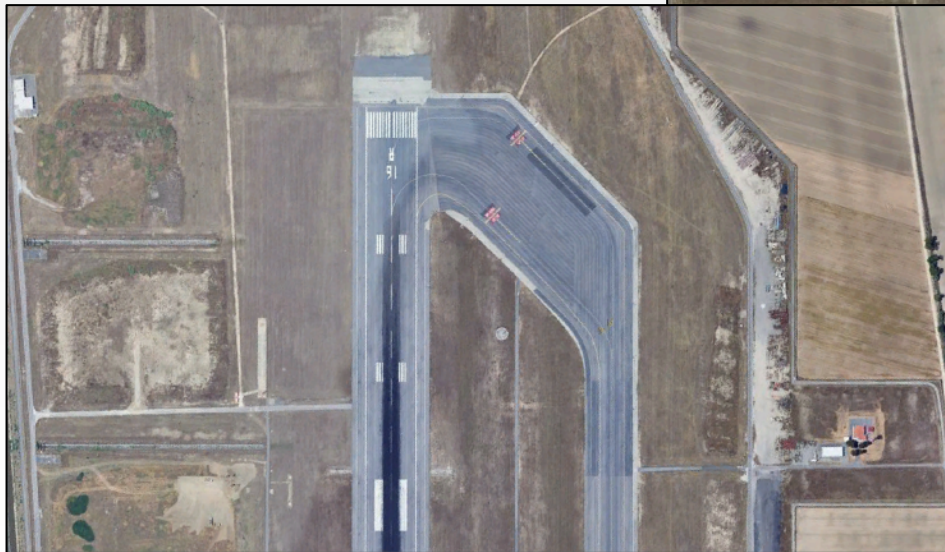
RWY 16R/34L - anno 2013



RWY 16R/34L - anno 2017



RWY 16R/34L - anno 2023





# Aeroporto Internazionale G. B. Pastine – Roma Ciampino

ESEMPI



Apron 100  
anno 2011



Apron 100  
anno 2012

# ESEMPI



Apron 100  
anno 2014



Apron 100  
anno 2015



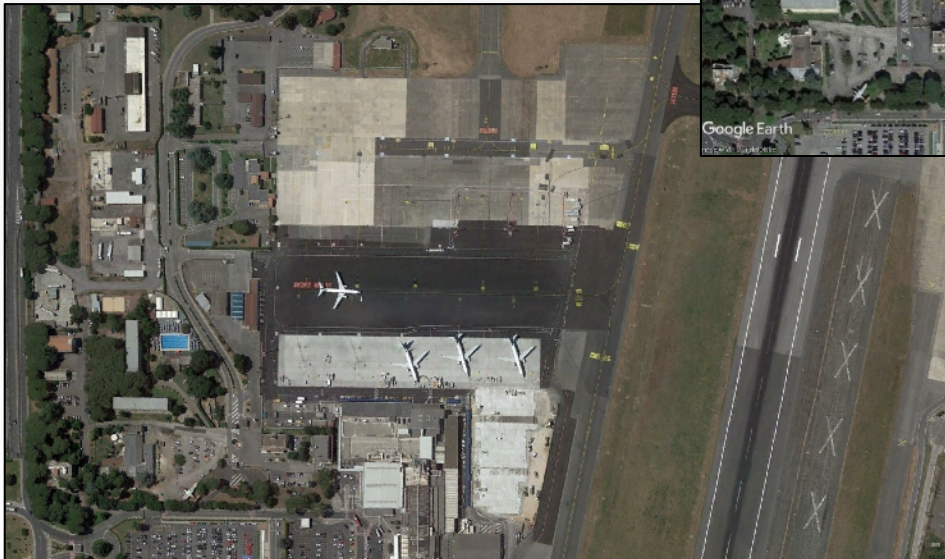
Apron 100 - anno 2016



Apron 100 - anno 2017



Apron 100 - anno 2019



ESEMPI



# Aeroporto A. Vespucci – Firenze Peretola

Apron 100 - anno 2007



Apron 100 - anno 2012



Apron 100 - anno 2015



ESEMPI



Apron 100 - anno 2018



Apron 100 - anno 2021



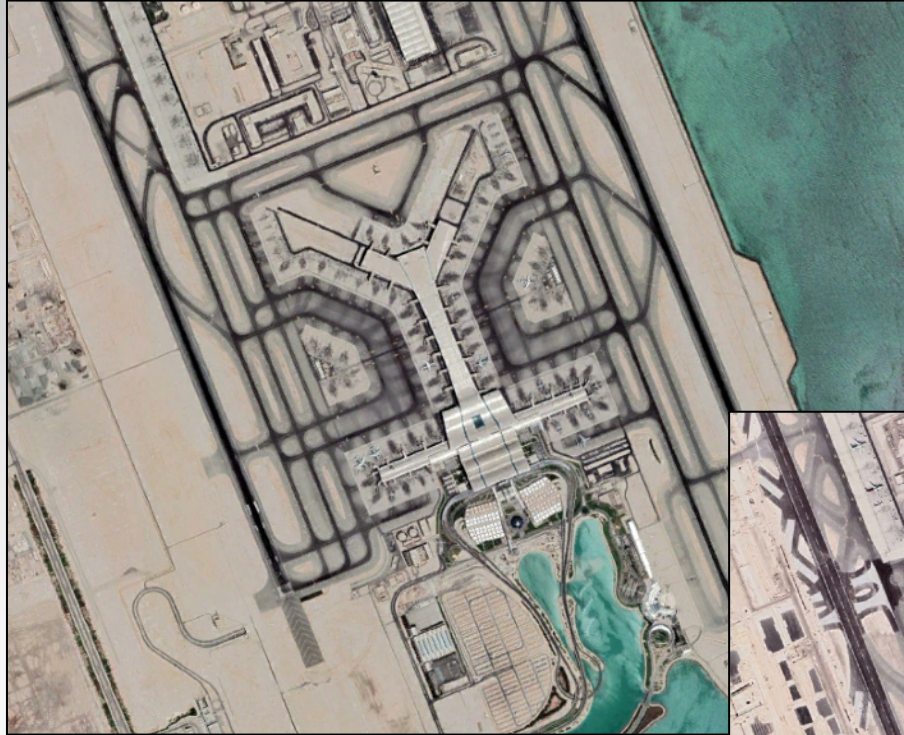
Apron 100 - anno 2020





# Aeroporto Internazionale Hamad - Doha

Anno 2018



Trasformazione delle  
pavimentazioni da flessibili a rigide

Anno 2021

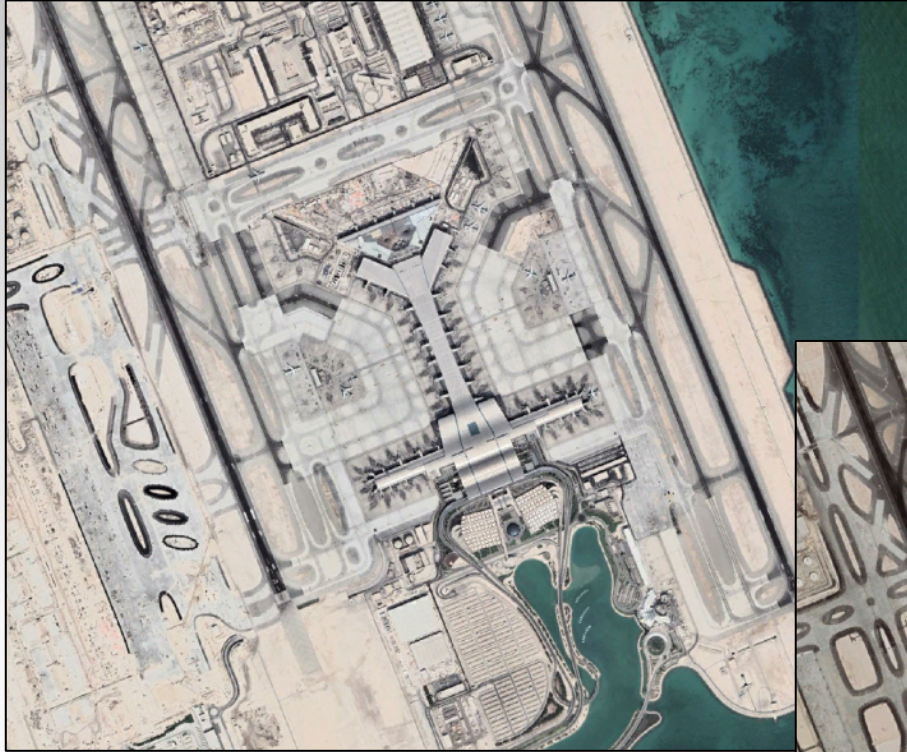




# Aeroporto Internazionale Hamad - Doha

Anno 2022

Anno 2023



ESEMPI

# Aeroporto Internazionale – Francoforte sul Meno

RWY 07/25 - anno 2009



RWY 07/25 - anno 2013



RWY 07/25 - anno 2018



ESEMPI



# Aeroporto Internazionale F. J. Strauss – Monaco di Baviera

RWY 08/26 - anno 2006



RWY 08/26 - anno 2012



RWY 08/26 - anno 2018



ESEMPI

# Aeroporto Internazionale F. La Guardia – New York

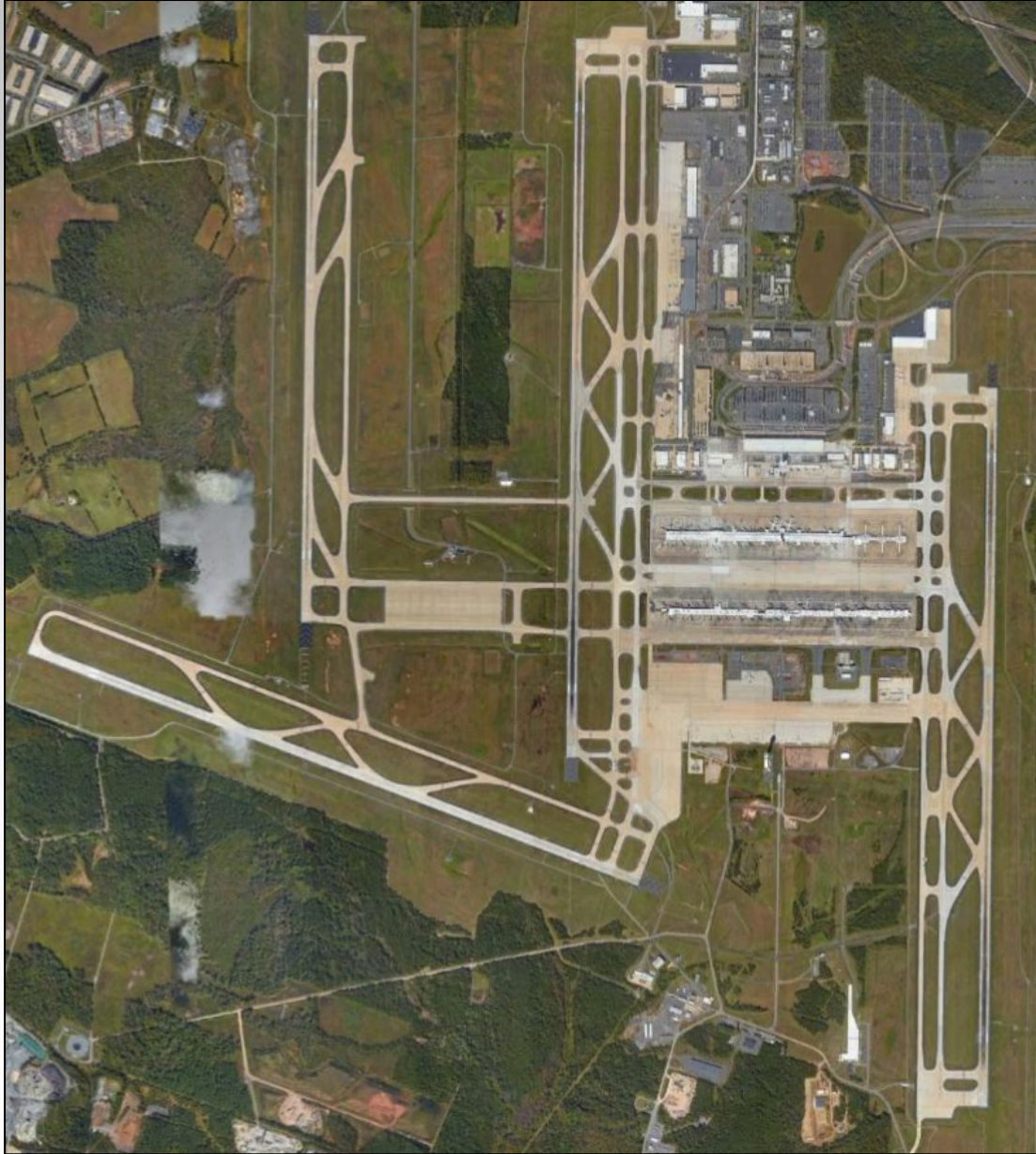


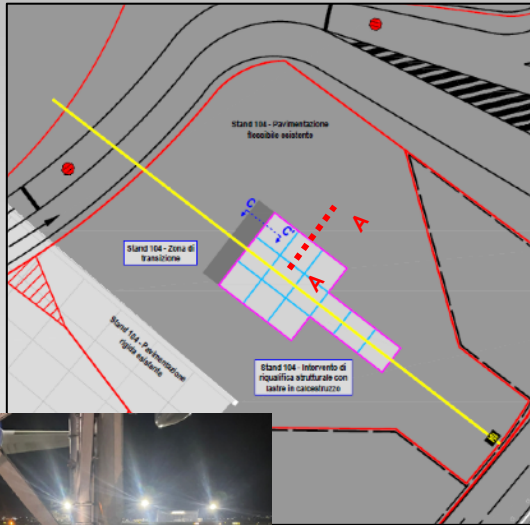
ESEMPI



# Aeroporto Internazionale di Washington - Dulles

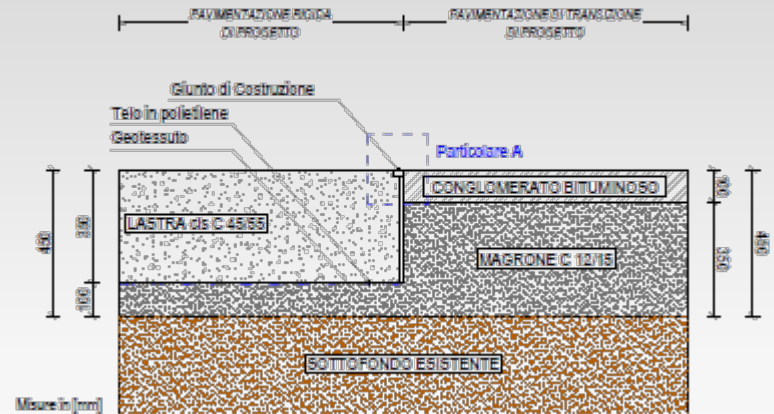
ESEMPI



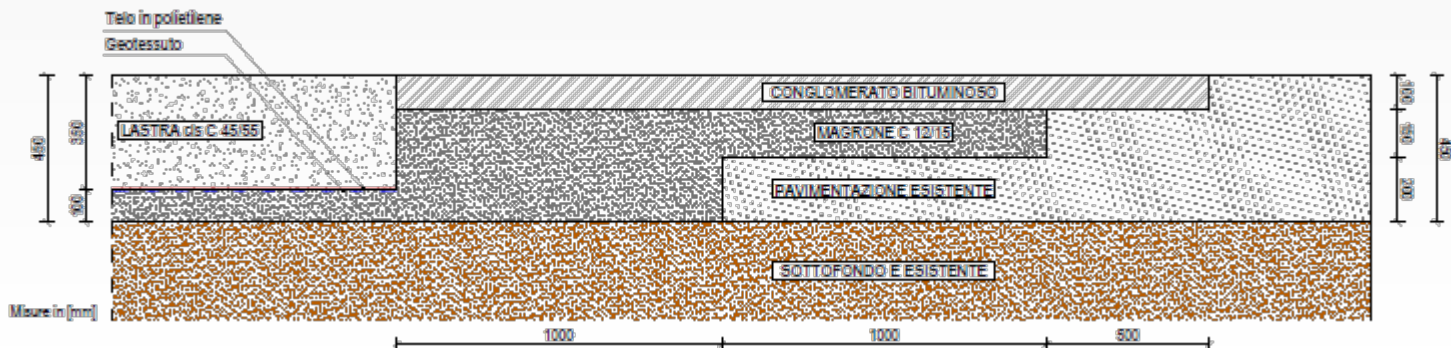


**Modifica del tipo di pavimentazione in una porzione di uno stand** limitatamente alla loaded area - Transizione tra pavimentazione flessibile esistente e pavimentazione rigida di nuova realizzazione

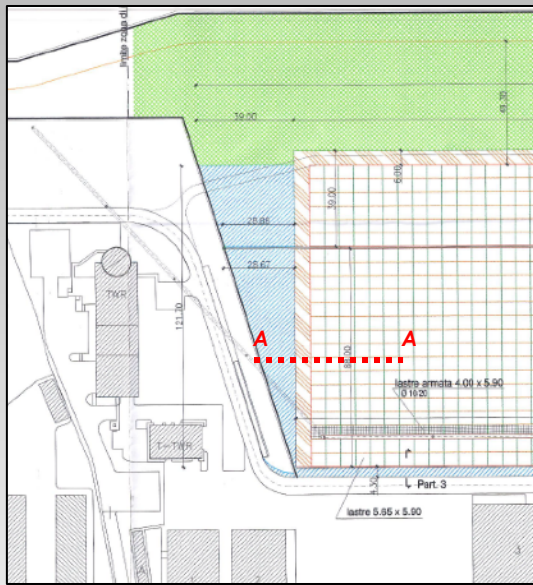
**Sezione A-A**



**Sezione C-C**

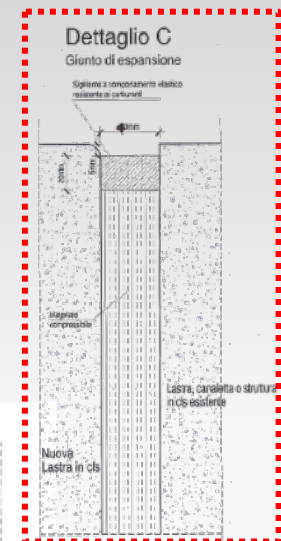
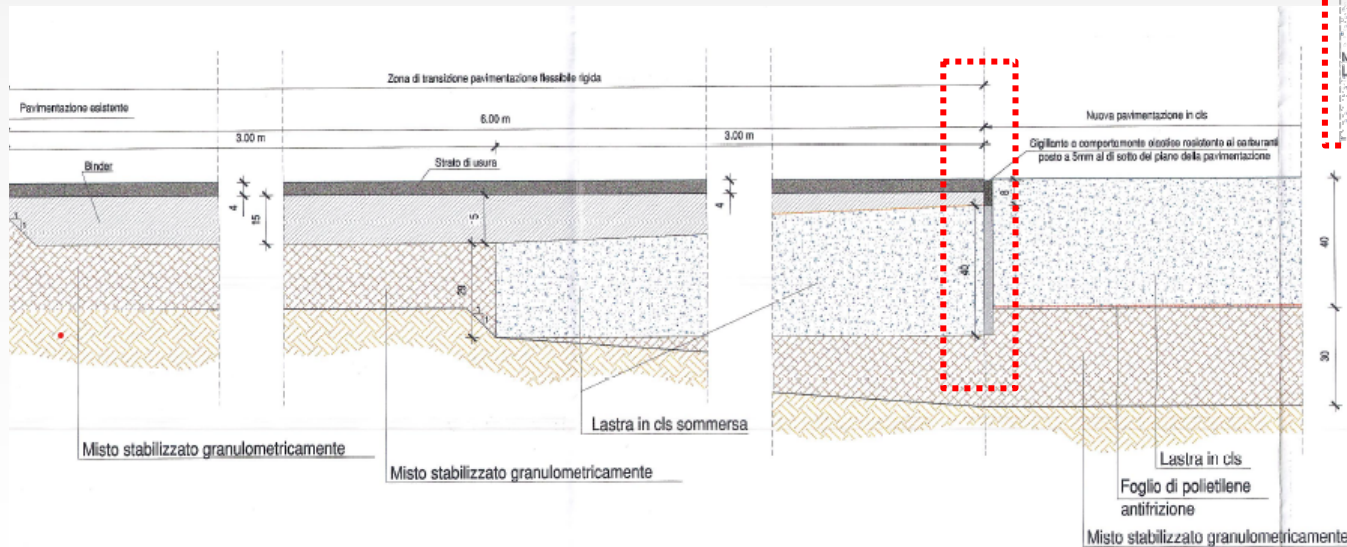






**Riqualifica della pavimentazione dell' area di stazionamento aeromobili** - Transizione tra pavimentazione rigida di progetto (lastre 5.5mx5.90m) e pavimentazione flessibile mediante realizzazione di una lastra sommersa.

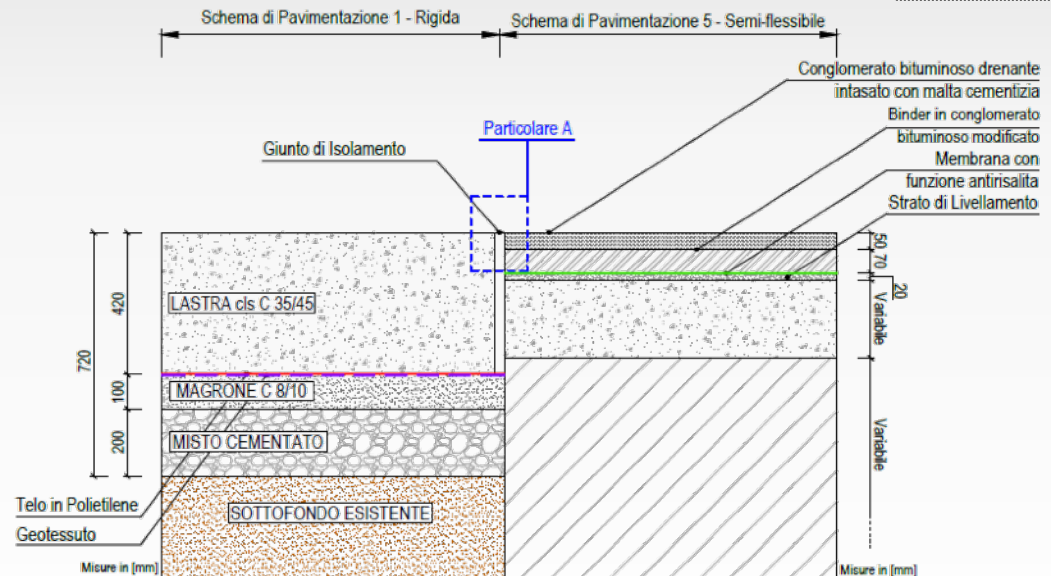
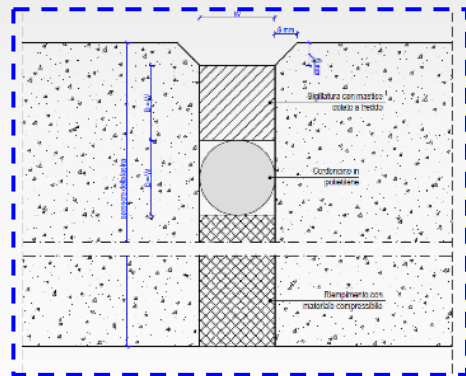
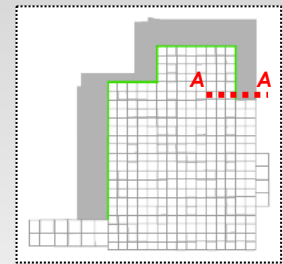
**Sezione A-A**





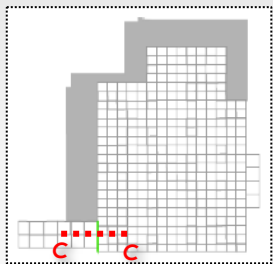
**Riqualifica di una porzione di pavimentazione rigida dell' area Apron** - Transizione tra pavimentazione rigida di progetto e pavimentazione rigida esistente mediante pavimentazione semi-flessibile in grouted macadam a seguito di una riconfigurazione altimetrica dell'area d'intervento

**Sezione A-A**

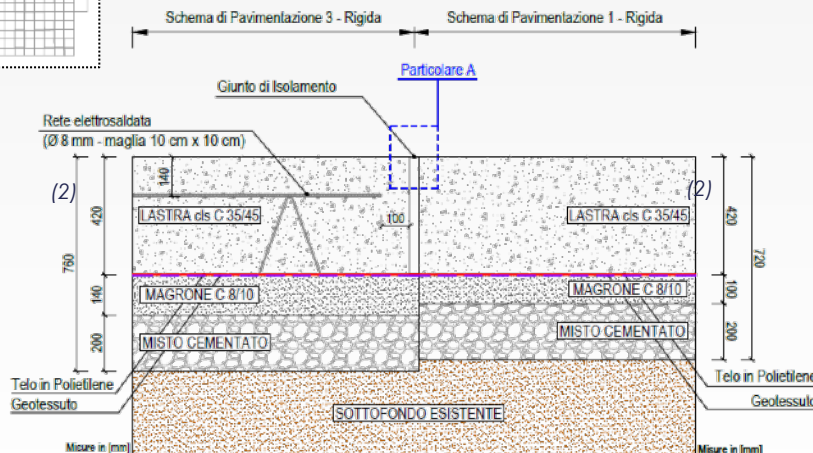


**Riqualfica di una porzione di pavimentazione rigida dell' area Apron** - Transizione tra pavimentazione rigida esistente (lastre 7.5mx7.5m) e pavimentazione rigida di nuova realizzazione (lastre 5mx5m) aumentando lo spessore delle lastre non collaboranti.

ESEMPI

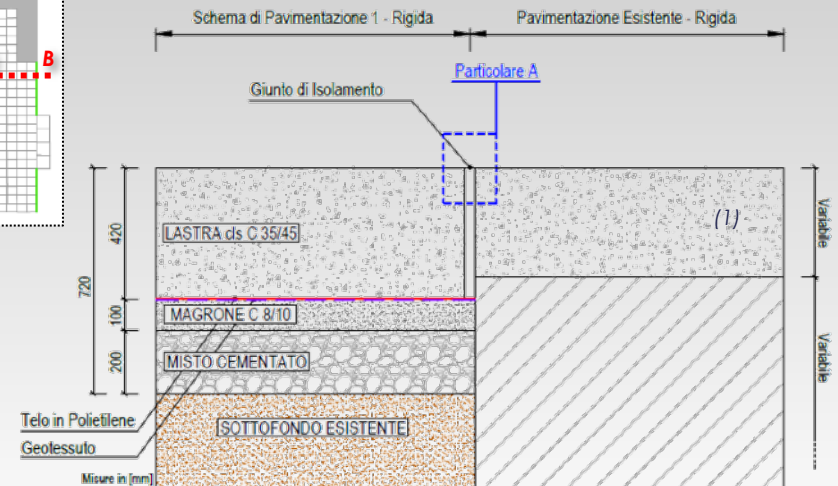


**Sezione C-C**



(2) Dimensionamento delle lastre eseguito considerando le lastre non collaboranti

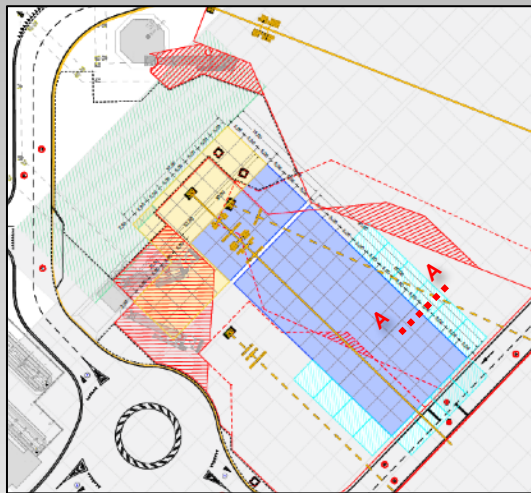
**Sezione B-B**



(1) Nessun intervento sulla lastra esistente (spessore pari a 32-33cm) perché non soggetta a carichi

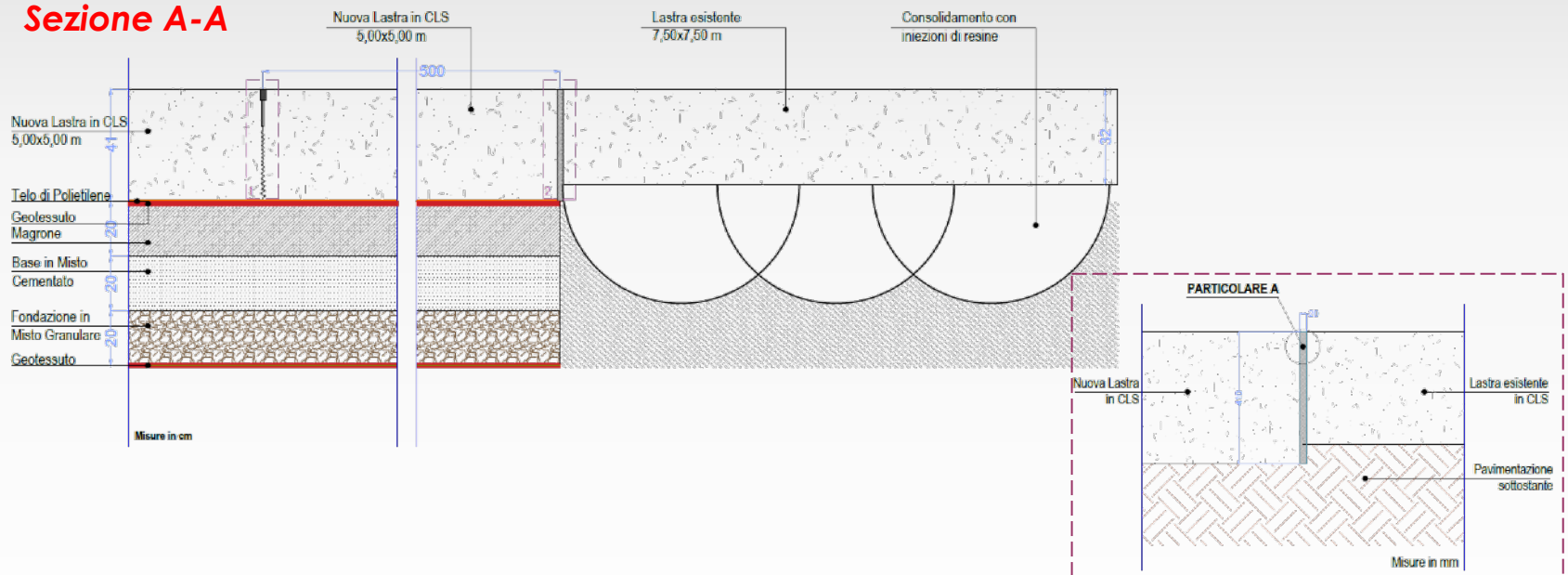
**NB** La realizzazione di un giunto di isolamento in caso di differenti geometrie delle lastre evita l'insorgere di fenomeni tipo sympathy cracking.





**Riqualifica di una porzione di pavimentazione rigida dell'area di stazionamento** - Transizione tra pavimentazione rigida esistente (lastre 7.5m x 7.5m) e pavimentazione rigida di progetto (lastre 5m x 5m) con consolidamento del piano d'appoggio delle lastre esistenti caricate non collaboranti mediante iniezioni di resine espandenti.

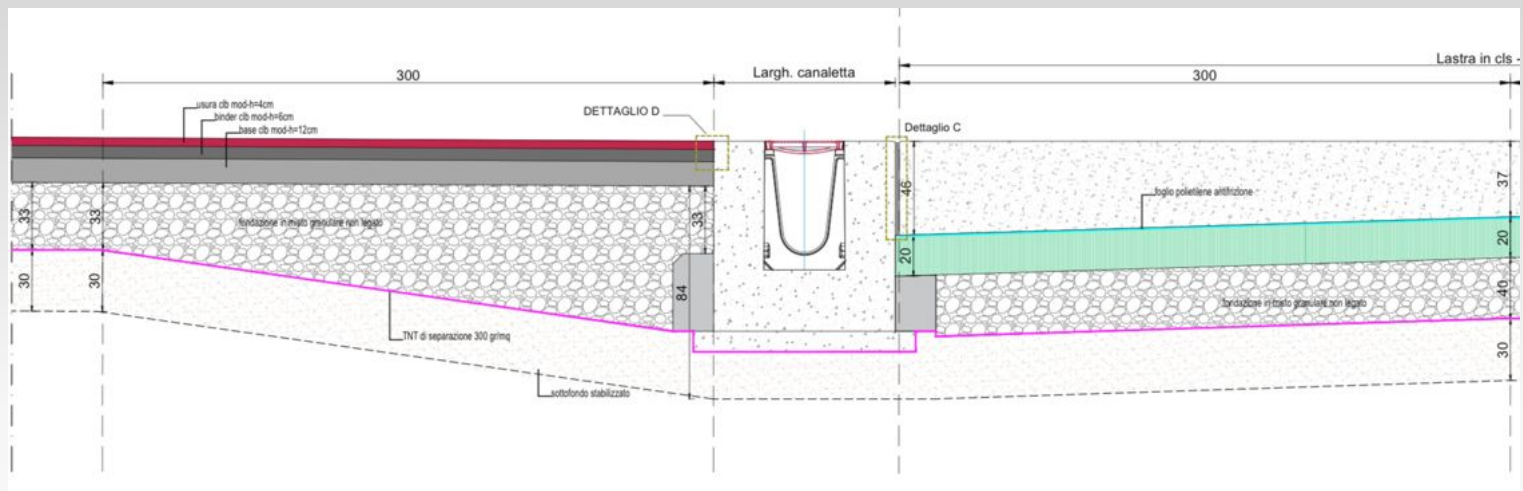
### Sezione A-A

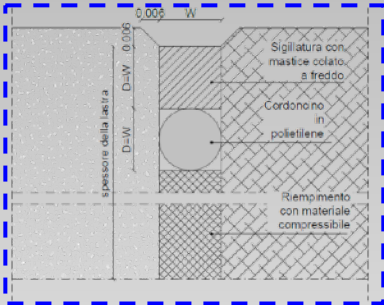
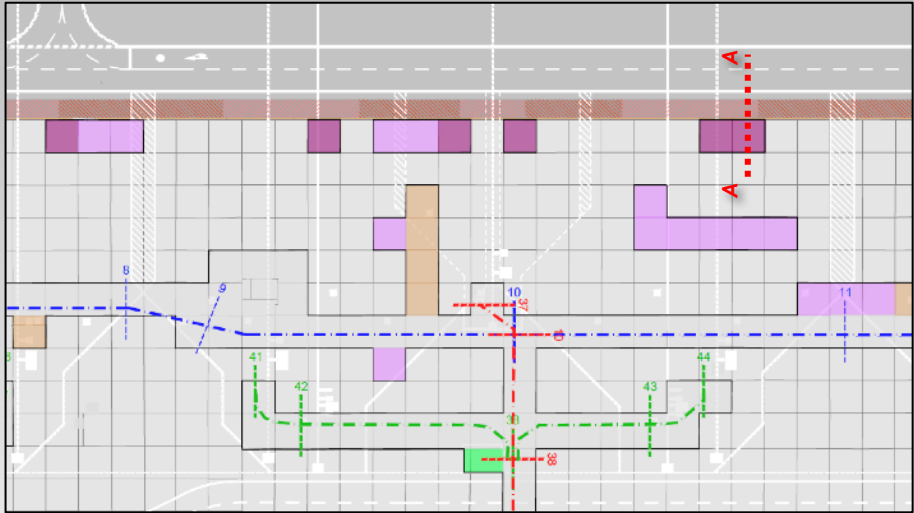


**NB** La realizzazione di un giunto di isolamento in caso di differenti geometrie delle lastre evita l'insorgere di fenomeni tipo sympathy cracking.

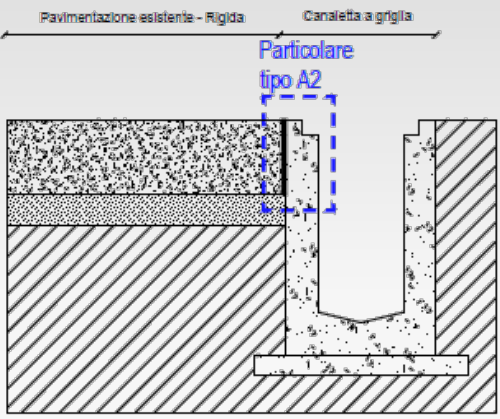


Transizione tra pavimentazione flessibile di progetto e manufatto idraulico di nuova costruzione in adiacenza ad una pavimentazione rigida di progetto.

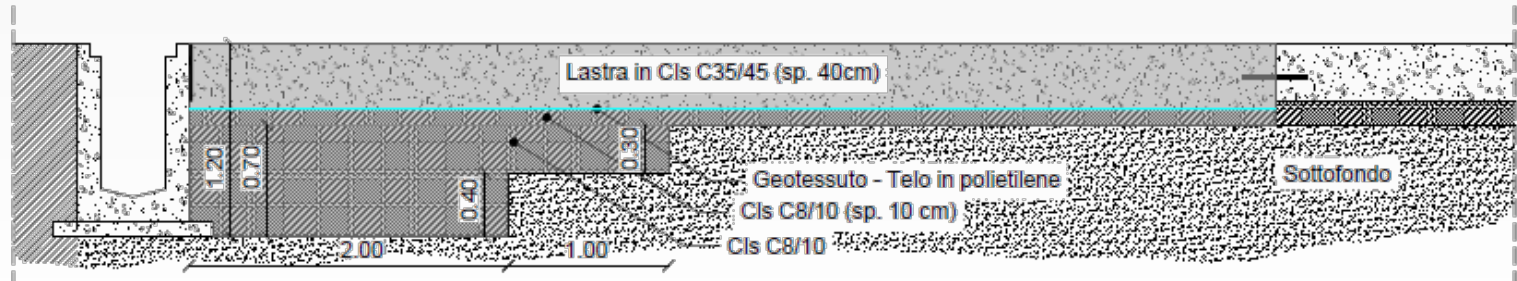


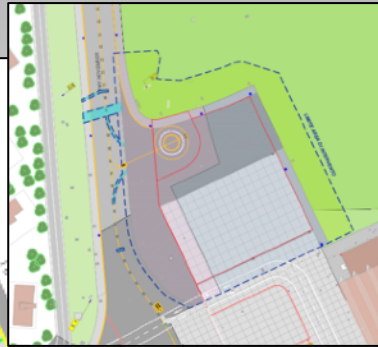
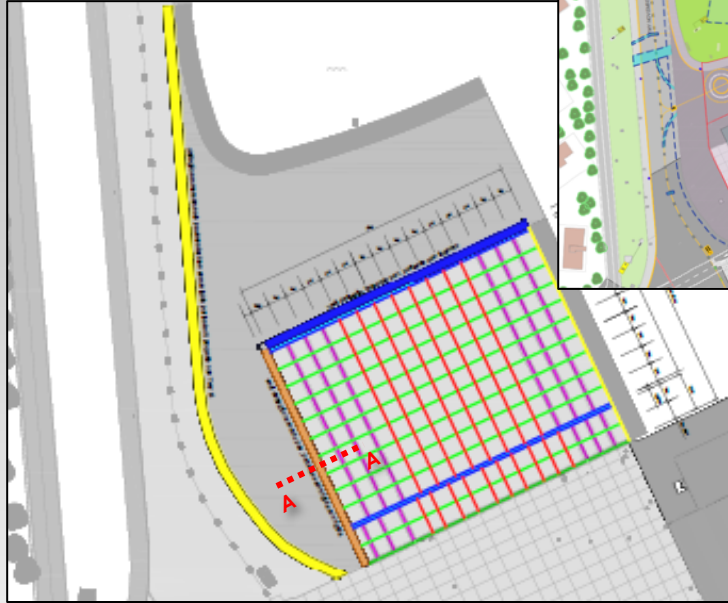


Transizione tra pavimentazione rigida ammalorata da ripristinare e manufatto idraulico esistente con rinforzo del piano di posa della lastra in prossimità del manufatto.



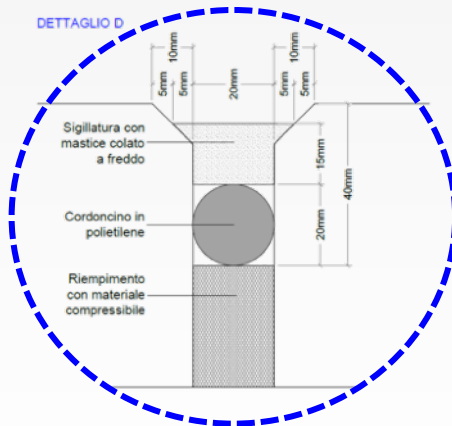
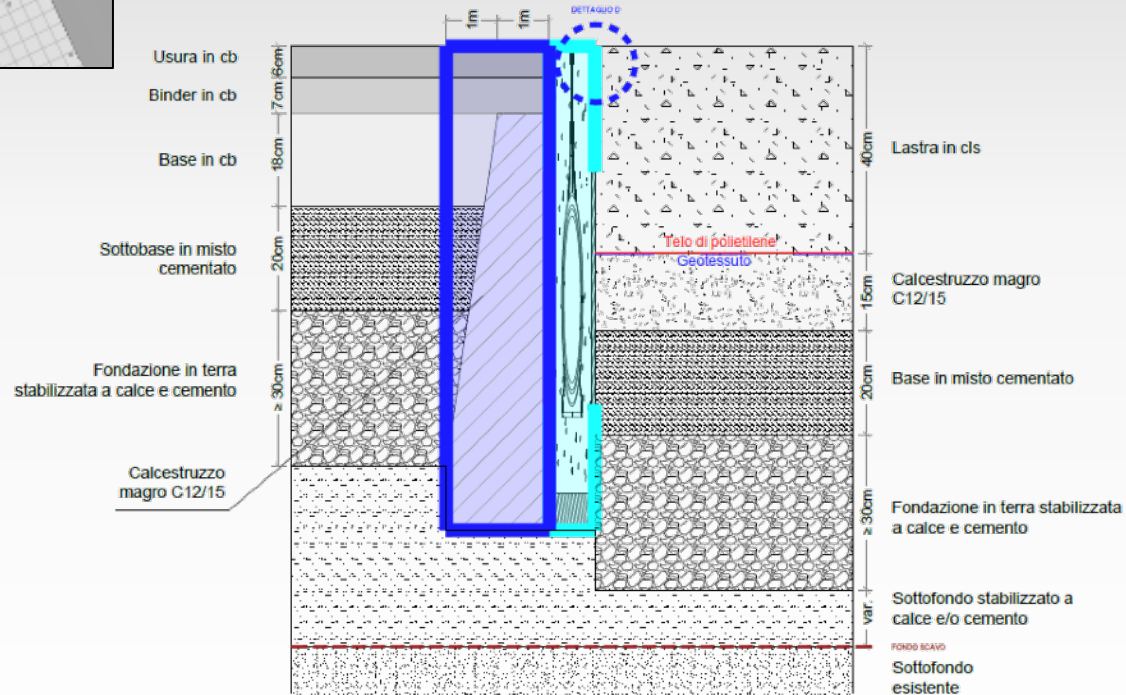
**Sezione A-A**





**Ampliamento piazzale** -  
 Transizione tra pavimentazione semirigida di progetto e manufatto idraulico di nuova costruzione in adiacenza ad una pavimentazione rigida di progetto

**Sezione A-A**



(1) Per ragioni operative il progetto prevede la realizzazione prima della pavimentazione rigida e poi della pavimentazione semirigida



**GRAZIE  
PER L'ATTENZIONE**



**Alessandro Marradi**  
Università di Firenze  
[alessandro.marradi@unifi.it](mailto:alessandro.marradi@unifi.it)