



# Anas SpA

Direzione Centrale Progettazione

## SISTEMA TANGENZIALE DI LUCCA

Viabilità Est di Lucca comprendente i collegamenti tra Ponte a Moriano ed i caselli dell'autostrada A11 del Frizzone e di Lucca Est

### PROGETTO PRELIMINARE

PROGETTAZIONE: ANAS - DIREZIONE CENTRALE PROGETTAZIONE

**IL PROGETTISTA:**

Dott. Ing. Antonio VALENTE  
Ordine Ing. di Roma n. 20739

**GRUPPO DI PROGETTAZIONE ANAS**

Ing. Giuseppe Danilo MALGERI – Responsabile di Progetto  
Ing. Francesco BEZZI – Impianti  
Ing. Pier Giorgio D'ARMINI – Traffico e Benefici/Costi  
Ing. Gianfranco FUSANI – Strade  
Ing. Gabriele GIOVANNINI – Cartografia  
Ing. Alessandro MITA – Idraulica  
Ing. Enrico MITTIGA – Geotecnica  
Arch. Gianluca BONOLI – Strutture  
Arch. Roberto ROGGI – Sicurezza  
Geom. Stefano SERANGELI – Geologia  
Geom. Emiliano PAIELLA – Computi e Capitolati  
Geom. Carmelo ZEMA – Espropri ed Interferenze

**IL GEOLOGO**

Dott. Geol. Francesca SCIUBBA  
Ordine Geol. del Lazio n. 1371

**I RESPONSABILI DEL S.I.A.**

Dott. Ing. Ginevra BERETTA      Dott. Arch. Francesca Romana IETTO  
Ordine Ing. di Roma n. 20458      Ordine Arch. di Roma n. 15857

**COORDINATORE PER LA SICUREZZA IN FASE DI PROGETTAZIONE**

Geom. Fabio QUONDAM

**VISTO: IL RESPONSABILE DEL PROCEDIMENTO**

Ing. Nicola DINNELLA

**RESPONSABILI DI UNITA' INGEGNERIA:**

Ing. Fulvio Maria SOCCODATO – Ingegneria Territorio  
Ing. Alessandro MICHELI – Ingegneria Geotecnica e Impianti  
Ing. Achille DEVITOFRANCESCHI – Ingegneria Opere Civili  
Geom. Fabio QUONDAM – Ingegneria Computi, Stime e Capitolati

PROTOCOLLO

DATA

## PROGETTO STRADALE

### ADEGUAMENTO SS12

RELAZIONE SULLA SICUREZZA DI CUI ALL'ART. 4 DEL D.M. 22/04/04

CODICE PROGETTO		NOME FILE		REVISIONE	SCALA:
PROGETTO	LIV. PROG.	N. PROG.	T00_PS01_STD_RE01_A.DOC		
L0601A	P	1201	CODICE ELAB. T00PS01STDRE01	A	—
C					
B					
A	EMISSIONE	29/11/2012	ING. F. Primieri	Ing. G. Fusani	Ing. F.M. Soccodato
REV.	DESCRIZIONE	DATA	REDATTO	VERIFICATO	APPROVATO

## INDICE

1	OGGETTO .....	2
2	DESCRIZIONE DELL'INFRASTRUTTURA ESISTENTE .....	3
2.1	Caratteristiche plano-altimetriche .....	3
2.2	Organizzazione della sezione trasversale .....	3
3	DESCRIZIONE DELL'INTERVENTO DI ADEGUAMENTO ALLA CATEGORIA C2 DEL D.M. 05/11/01 .....	4
3.1	Caratteristiche plano-altimetriche .....	4
3.2	Organizzazione della sezione trasversale .....	5
3.3	Indicatori globali di sicurezza .....	5
3.3.1	Condizioni della circolazione .....	5
3.3.2	Caratteristiche geometriche .....	6
3.3.2.1	Curve a raggio variabile (raccordi clotoidici) .....	6
3.3.2.2	Innalzamento pendenze trasversali .....	6
3.3.3	Analisi di visibilità .....	7
3.3.3.1	Visibilità per l'arresto .....	7
3.3.4	Barriere di sicurezza .....	9
3.3.5	Pavimentazioni .....	10
4	CONCLUSIONI .....	11

## 1 OGGETTO

Il presente documento ha come oggetto l'analisi degli aspetti connessi con le esigenze di sicurezza secondo quanto previsto dal D.M. del 22/04/2004<sup>1</sup>, che modifica il D.M. n.6792 del 05/11/2001 sulle "Norme geometriche e funzionali per la costruzione delle strade", relativamente al progetto di adeguamento della sezione stradale al tipo C2 del tratto relativo all'Adeguamento SS12 del Sistema Tangenziale di Lucca, che attualmente è integralmente rappresentato dal tracciato di Via del Brennero (SS 12 dell'Abetone e del Brennero).

Il nuovo decreto modifica l'art. 2 e l'art. 3 del D.M. 6792/2001, stabilendo che le norme in oggetto si applicano per la costruzione di nuovi tronchi stradali e prevedendo (art.3) la predisposizione di nuove norme per gli interventi di adeguamento delle strade esistenti, restando inteso che i criteri del D.M. 05/11/01 restano "di riferimento" anche per gli interventi di adeguamento.

Il D.M. del 22/04/2004 stabilisce inoltre (art.4) che, fino all'emanazione delle suddette norme, i progetti di adeguamento delle strade esistenti devono contenere una specifica relazione dalla quale risultino analizzati gli aspetti connessi con le esigenze di sicurezza, attraverso la dimostrazione che l'intervento, nel suo complesso, è in grado di produrre, oltre che un miglioramento funzionale della circolazione, anche un innalzamento del livello di sicurezza.

---

<sup>1</sup> pubblicato sulla GU n. 147 del 25-6-2004.

## 2 DESCRIZIONE DELL'INFRASTRUTTURA ESISTENTE

Il tracciato dell'attuale Via del Brennero, interessato dall'Adeguamento della SS12, si sviluppa dalla attuale km 30+230 alla km 27+450 per circa 3,7 km ed è situato nel territorio della Regione Toscana, nella provincia di Lucca e nel territorio del Comune di Lucca e di Capannori.

Lungo il suddetto sviluppo sono attualmente presenti diverse intersezioni a raso con strade locali, di seguito elencate:

- km 0+470: innesto in sx di Via dei Ceccotti;
- km 1+540: innesto in sx con Via delle Piagge II;
- km 2+540: innesto in sx con Via dei Cucchi;
- km 3+600: innesto in sx con Via dei Pasquinetti.

Oltre a tali intersezioni lungo l'attuale tracciato è presente un elevato numero di innesti a raso con viabilità minori e accessi privati.

### 2.1 Caratteristiche plano-altimetriche

L'andamento planimetrico si presenta in prevalenza rettilineo con alcune curve ad ampio raggio. Tali elementi geometrici hanno dunque una velocità di progetto compatibile con l'intervallo di velocità di progetto previsto nel DM n.6792 del 05/11/01 per le strade extraurbane secondarie.

L'andamento altimetrico è caratterizzato da una livelletta con andamento sub-orizzontale.

### 2.2 Organizzazione della sezione trasversale

La sezione tipo esistente presenta mediamente una piattaforma pavimentata pari a circa 8,00 m, composta da una corsia per senso di marcia (larghezza pari a 3.50), e da due banchine da 0,50 m.

L'elemento marginale non presenta carattere di continuità in quanto sono spesso presenti a lato della strada dei muretti di confine. Lungo l'attuale via del Brennero si rileva la presenza di barriere di sicurezza, che si interrompono in corrispondenza degli accessi, dalla Km 29+230 al Km 27+450 sul margine sinistro della carreggiata. La pavimentazione versa in condizioni ancora soddisfacenti.

### **3 DESCRIZIONE dell'intervento di Adeguamento alla categoria C2 del D.M. 05/11/01**

Il progetto di adeguamento dell'attuale infrastruttura consiste essenzialmente nell'ampliamento della piattaforma stradale al fine di adeguarla alla sezione tipo C2 di cui D.M. n.6792 del 05/11/01.

L'intervento prevede un allargamento della piattaforma stradale solo sul lato destro di circa 1,50 m (considerando il verso di percorrenza da nord verso sud) per raggiungere la larghezza complessiva di 9,50 m, in seguito alla presenza di numerosi edifici prospicienti all'infrastruttura e di filari di platani secolari posti sul margine sinistro.

Lungo il tracciato circa al km 1+240 è prevista una nuova rotatoria di progetto facente parte dell'Asse Nord-Sud.

Per quanto riguarda i rimanenti accessi, si sono mantenuti quelli al km 0+470 con Via dei Ceccotti, al km 1+540 con Via delle Piagge II, al km 2+540 con Via dei Cucchi, al km 3+600 con Via dei Pasquinetti e una serie di accessi su viabilità minori dove saranno consentite tuttavia le sole svolte in destra (sia per la principale che per la secondaria), eliminando quindi punti di conflitto di attraversamento.

#### **3.1 Caratteristiche plano-altimetriche**

Per quanto riguarda gli aspetti geometrici dell'infrastruttura in progetto si è fatto riferimento al D.M. n. 6792 del 05/11/2001, con l'obiettivo di adeguare l'infrastruttura esistente, laddove possibile, alle Norme attualmente in vigore e finalizzare l'intervento ad un innalzamento dei livelli di sicurezza e ad un miglioramento funzionale della circolazione, come peraltro previsto nel D.M. del 22/04/2004 (G.U. n. 147 del 25/06/2004).

Poiché il tracciato esistente non presenta particolari criticità, si è intervenuti semplicemente geometrizzando l'asse planimetrico, al fine di inserire i raccordi di transizione clotoidici tra i rettifili e le circonferenze, nel rispetto del criterio del contraccollo, di quello della sovrappendenza longitudinale delle linee di estremità, e di quello ottico relativo alla corretta percezione del raccordo.

Quindi si è passati alla definizione della nuova sezione tipo, con l'ampliamento della piattaforma dovuta all'aumento del modulo corsia e delle banchine.

Per quanto riguarda il profilo altimetrico, non essendo presenti difetti di coordinamento plano-altimetrico, è stato ritenuto opportuno mantenere le quote attuali della pavimentazione in

prossimità dell'asse, coerentemente al tipo di intervento richiesto, che è in sostanza di ampliamento di una infrastruttura esistente. Infine si è ritenuto opportuno rifare ex-novo l'intero pacchetto della pavimentazione.

### 3.2 Organizzazione della sezione trasversale

La sezione tipo di progetto presenta una piattaforma di larghezza pari a 9,50 m, con un allargamento in destra di circa 1,50 (considerando il verso di percorrenza da nord verso sud).

Le pendenze trasversali in corrispondenza delle curve saranno incrementate per adeguarle ai nuovi criteri del D.M. del 05/11/01.

Per quanto riguarda i dispositivi di ritenuta, nonostante la modesta altezza dei rilevati, si ritiene tuttavia opportuno adottare pressoché in continuo delle barriere bordo laterale al fine da garantire maggior sicurezza nei confronti degli insediamenti, sia residenziali sia produttivi, presenti in maniera pressoché diffusa, in fregio al nastro stradale. In conformità a quanto previsto nel D.M. n. 2367 del 21/06/2004, si predisporranno delle barriere metalliche del tipo H2 previste dalla Norma per le strade extraurbane secondarie per un traffico di tipo III (TGM > 1000 veic./giorno e % veicoli con massa > 3.5t > 15).

### 3.3 Indicatori globali di sicurezza

Nel seguito sarà stimato l'incremento del livello di sicurezza attuato dal progetto rispetto all'infrastruttura esistente tramite la valutazione di **indicatori globali** delle performance di sicurezza.

#### 3.3.1 CONDIZIONI DELLA CIRCOLAZIONE

Il mutamento delle condizioni della circolazione causato dall'inserimento della rotatoria e dall'eliminazione della gran parte degli innesti a raso ha implicazioni positive sulla sicurezza stradale. L'inserimento della rotatoria infatti ha il duplice risultato di evitare, in corrispondenza delle intersezioni, i punti di conflitto di attraversamento generati dalle manovre di attraversamento propriamente dette e dalle svolte in sinistra nonché una drastica riduzione di velocità causata dal regime di circolazione con precedenza sull'anello; la razionalizzazione degli accessi comporta una drastica riduzione sia dei potenziali punti di conflitto che delle resistenze "laterali" alla circolazione.

### 3.3.2 CARATTERISTICHE GEOMETRICHE

La geometrizzazione del tracciato rispetta sostanzialmente i criteri del D.M. del 05/11/01.

Per quanto riguarda invece le caratteristiche degli elementi planimetrici che compongono l'asse stradale e che hanno implicazioni dirette sulla sicurezza stradale e che possono migliorare le performance offerte dal progetto rispetto all'infrastruttura esistente si segnala quanto segue:

- inserimento di curve a raggio variabile (raccordi clotoidici);
- adeguamento delle pendenze trasversali.

#### 3.3.2.1 Curve a raggio variabile (raccordi clotoidici)

Il primo aspetto è legato all'interposizione tra due elementi a raggio costante (curve circolari, ovvero rettilineo e curva circolare) di curve a raggio variabile (raccordi clotoidici), opportunamente dimensionate.

Questo permette di garantire il contenimento entro valori accettabili della variazione dell'accelerazione centrifuga non compensata (contraccolpo) e della pendenza (o sovrappendenza) longitudinale delle linee di estremità della piattaforma, annullando effetti dinamici indesiderati che possono avere ripercussioni sulle corrette traiettorie veicolari e quindi riducendo la probabilità di accadimento di un evento incidentale.

Nel caso in questione tutte le clotoidi inserite rispettano i criteri di normativa, con l'accortezza di utilizzare, per il criterio del contraccolpo, la formulazione completa che non trascura il contributo della pendenza trasversale, considerando la velocità puntuale desunta dal diagramma di velocità che tiene conto dell'influenza sulla stesse delle rotatorie.

#### 3.3.2.2 Innalzamento pendenze trasversali

Il progetto prevede l'adeguamento delle pendenze trasversali con riferimento a quanto indicato dalle "Norme *geometriche e funzionali per la costruzione delle strade*" (D.M. del 05/11/2001) per una strada di categoria C extraurbana secondaria con intervallo di velocità di progetto 60÷100 Km/h. Ciò comporta in corrispondenza delle curve circolari maggiori sopraelevazioni, a parità di raggio, rispetto alle pendenze esistenti e quindi una maggiore sicurezza in termini di equilibrio allo sbandamento.

L'equilibrio in curva allo sbandamento di un veicolo stradale è dovuto, infatti, all'opposizione all'azione centrifuga di due forze stabilizzanti, l'aderenza tra pneumatico e pavimentazione e la componente parallela al piano della pavimentazione della forza peso. Le due forze stabilizzanti hanno però natura e caratteristiche diverse: l'aderenza è una forza di contatto, mentre il peso del

veicolo è una forza di massa. Tale differenza comporta una qualificazione diversa sotto il profilo della stabilità dell'equilibrio, in quanto l'azione del peso dipende da una proprietà intrinseca ed invariante del corpo in movimento, mentre l'aderenza è soggetta a subire improvvisi decadimenti, per effetto di fattori esogeni, ed in particolare per la possibile interposizione di acqua od inquinanti al contatto.

Per tenere conto dell'incertezza rispetto all'effettiva disponibilità di aderenza al contatto tra ruota e pavimentazione le normative più recenti prevedono di elevare il contributo, sempre garantito, rappresentato dalla sopraelevazione trasversale, con conseguente incremento dei valori della velocità limite allo sbandamento.

### 3.3.3 ANALISI DI VISIBILITÀ

#### 3.3.3.1 Visibilità per l'arresto

L'esistenza di opportune visuali libere costituisce una primaria e inderogabile condizione di sicurezza della circolazione. Per distanza di visuale libera si intende la lunghezza del tratto di strada che il conducente riesce a vedere davanti a sé senza considerare l'influenza del traffico, delle condizioni atmosferiche e di illuminazione della strada.

L'adozione delle barriere di sicurezza, pur aumentando intrinsecamente il livello di sicurezza della strada, costituisce di fatto, un ostacolo alla visuale nelle curve destrorse. Per tale motivo si è reso necessario analizzare le condizioni di visibilità lungo l'intero tracciato, considerando come continua la presenza delle barriere di sicurezza a margine.

Le distanze di visuale libera per l'arresto sono state calcolate secondo i criteri previsti dalle "*Norme funzionali e geometriche per la costruzione delle strade*" (D.M. n.6792 del 05/11/2001) adottando un'altezza dell'occhio del guidatore (PdV) pari a 1.10 m dal piano viabile ed un'altezza dell'ostacolo (PdM) dal piano viabile di 0.10 m.

L'analisi è stata condotta utilizzando un apposito programma di calcolo automatico basato su una metodologia numerica operante simultaneamente nelle tre dimensioni e che tiene conto di tutti gli aspetti della geometria della piattaforma (tracciamento, profilo, pendenze di falda, sezioni trasversali) creando un modello 3D del nastro stradale comprensivo dell'ostacolo a margine rappresentato dalla barriera di sicurezza.

La singola verifica di visibilità tra un Punto di Vista (PdV) ed un Punto di Mira (PdM) avviene ricostruendo la traiettoria spaziale del raggio ottico e confrontandola con il profilo derivante dall'insieme degli elementi costitutivi della sezioni attraversate (pavimentazione e ostacolo

laterale), opportunamente discretizzate attraverso un campionamento con passo arbitrario, posto pari a 25 m. Naturalmente, si ha ostacolo alla visuale allorché il raggio ottico viene intercettato da un elemento di sezione, cioè quando si verifica il passaggio del punto-traccia del raggio ottico (cioè il punto di intersezione del raggio con il piano della sezione) dalla zona "vuota" della sezione precedente alla zona "piena" della sezione successiva.

Le operazioni di verifica descritte per un singolo PdM, vengono ripetute iterando per distanze via via crescenti dal PdM all'interno di un intervallo di valori arbitrario: il valore minimo corrisponde di regola ad una visuale libera sempre assicurata mentre quello massimo, di solito, è la soglia oltre la quale non si ha interesse ad indagare.

Il confronto tra la DVL e la distanza di visibilità richiesta consente di identificare i punti del tracciato dove la configurazione piano – altimetrica e l'organizzazione della sezione non consentono di garantire la visibilità richiesta dalla norma.

La distanza di visibilità per l'arresto è stata calcolata in base a quanto riportato al §5.1.2 delle "Norme funzionali e geometriche per la costruzione delle strade" (D.M. n.6792 del 05/11/2001).

Si è valutata la distanza di arresto punto per punto (passo 25 metri) in funzione della velocità di progetto e della pendenza longitudinale con la seguente espressione:

$$D_A = D_1 + D_2 = \frac{V_0}{3,6} \times \tau - \frac{1}{3,6^2} \int_{V_0}^{V_1} \frac{V}{g \times \left[ f_l(V) \pm \frac{i}{100} \right] + \frac{Ra(V)}{m} + r_0(V)} dV \quad [m]$$

dove:

$D_1$  = spazio percorso nel tempo  $\tau$

$D_2$  = spazio di frenatura

$V_0$  = velocità del veicolo all'inizio della frenatura [km/h]

$V_1$  = velocità finale del veicolo, in cui  $V_1 = 0$  in caso di arresto [km/h]

$i$  = pendenza longitudinale del tracciato [ % ]

$\tau$  = tempo complessivo di reazione (percezione, riflessione, reazione e attuazione) [s]

$g$  = accelerazione di gravità [m/s<sup>2</sup>]

$Ra$  = resistenza aerodinamica [ N ]

$m$  = massa del veicolo [kg]

$f_l$  = quota limite del coefficiente di aderenza impegnabile longitudinalmente per la frenatura

$r_0$  = resistenza unitaria al rotolamento, trascurabile [N/kg]

Per  $f_i$  si sono adottati i valori riportati nella tabella seguente. Tali valori sono compatibili anche con superficie stradale leggermente bagnata (spessore del velo idrico di 0,5 mm):

VELOCITA' km/h	25	40	60	80	100	120	140
$f_i$ Autostrade	-	-	-	0.44	0.40	0.36	0.34

Per il tempo complessivo di reazione si sono assunti valori linearmente decrescenti con la velocità da 2,6 s per 20 Km/h, a 1,4 s per 140 Km/h, in considerazione dell'attenzione più concentrata alle alte velocità.

$$\tau = (2,8 - 0,01 V) \quad [s] \quad \text{con } V \text{ in km/h}$$

I risultati dell'analisi di visibilità sono riportati in forma di diagramma delle visuali libere (elab. T00PS01STDDG02), dal quale risulta che sia nel senso delle progressive crescenti che in quelle decrescenti non ci sono particolari problemi di visibilità. Nonostante non ci siano particolari problemi di visibilità, data la presenza di alcuni insediamenti abitativi in fregio alla strada sulla parte sinistra, si ritiene opportuno inserire un limite di velocità pari a 70 km/h.

#### 3.3.4 BARRIERE DI SICUREZZA

Il progetto prevede l'impiego di dispositivi di contenimento rispondenti alle prescrizioni contenute nelle "Istruzioni tecniche per la progettazione, l'omologazione e l'impiego delle barriere stradali di sicurezza e prescrizioni tecniche per le prove ai fini dell'omologazione" (D.M. n° 223 del 18/02/1992 e s.m.i.).

Le dimensioni dei margini della carreggiata stradale sono state inoltre dimensionate per consentire il regolare funzionamento del sistema rappresentato dalle barriere di sicurezza e dal supporto o fondazione alla quale questa si collega.

Il funzionamento dei dispositivi di contenimento, realizzato anche grazie ad un corretto dimensionamento degli spazi e ad una corretta messa in opera, rappresenta complessivamente un innalzamento del livello di sicurezza rispetto all'infrastruttura esistente.

Con riferimento alla sicurezza stradale quanto detto può tradursi in una riduzione del danno connesso con l'accadimento di un evento incidentale (in quanto i dispositivi passivi di ritenuta non intervengono direttamente sulla riduzione dell'incidentalità) in termini di diminuzione del

numero di perdite di vite umane coinvolte direttamente o indirettamente nell'incidente, di minimizzazione dei danni all'infrastruttura e dei disagi alla circolazione.

### 3.3.5 PAVIMENTAZIONI

Nel progetto di adeguamento è previsto il completo rifacimento dell'intero pacchetto stradale che sarà tale da presentare caratteristiche di aderenza più performanti ed a più lunga durabilità (tipo splittmastix).

Il ricorso a tale tipo di pavimentazioni offre sicuramente un importante contributo alla sicurezza stradale intervenendo attivamente a ridurre la probabilità di incidenti.

## 4 CONCLUSIONI

In sintesi, si riassumono gli aspetti di carattere generale in grado di elevare il livello di sicurezza offerto all'utenza dall'arteria potenziata e riqualificata:

- modifica delle condizioni di circolazione tramite l'eliminazione/razionalizzazione dei restanti innesti;
- interposizione tra due elementi a raggio costante (curve circolari, ovvero rettilo e curva circolare) di curve a raggio variabile (raccordi clotoidici);
- analisi delle performance in termini di visibilità per l'arresto e adozione di provvedimenti mitigativi (limitazione di velocità) nel tratto in cui si è riscontrata tale carenza;
- pendenze trasversali più elevate, a parità di raggio, rispetto a quelle esistenti, con conseguente incremento dei valori della velocità limite allo sbandamento;
- impiego di pavimentazioni di elevate caratteristiche (splitt-mastix);
- dimensionamento degli spazi di funzionamento e messa in opera dispositivi di contenimento rispondenti alle prescrizioni contenute nelle "Istruzioni tecniche per la progettazione, l'omologazione e l'impiego delle barriere stradali di sicurezza e prescrizioni tecniche per le prove ai fini dell'omologazione".

La valenza degli elementi positivi di cui sopra e la loro lettura combinata concorrono a concludere che, nello spirito di quanto richiesto dal DM del 22/04/2004, l'intervento configurato in progetto migliora complessivamente la sicurezza del sistema rispetto all'infrastruttura attuale.