

POLITECNICO DI TORINO

Corso di Laurea Magistrale in Ingegneria Civile



Tesi di Laurea Magistrale

Indagine sperimentale al simulatore di guida riguardante gli effetti delle ostruzioni alla visuale sulla traiettoria di guida

Relatori:

prof. Marco Bassani

ing. Lorenzo Catani

Candidato:

Davide Salinardi

Marzo 2018

Sommario

1	INTRODUZIONE	7
2	L'ATTIVITÀ SPERIMENTALE	13
2.1	La strumentazione.....	13
2.1.1	Simulatore di guida	13
	Hardware	14
	Software.....	15
2.1.2	Sensori biometrici	16
2.2	Progettazione curve circolari	18
2.2.1	Distanza di visuale libera	18
	Raggio curva circolare R.	20
	Distanza trasversale Δ	20
	Angolo di deviazione planimetrico della curva ω	22
2.2.2	Distanza di visuale libera e tempi di percorrenza	23
2.3	I tracciati	25
2.3.1	Progettazione dei tracciati	25
	Curve circolari	26
	Curve di transizione.....	26
	Rettifili.....	27
	Combinazione degli elementi e definizione dei tracciati	27
2.3.2	Riproduzione dei tracciati	36
	a) Andamento plano-altimetrico.....	36
	b) Sezioni e terreno circostante	36
	c) Intersezioni e piazzole di sosta.....	38
	d) Edifici, oggetti e vegetazione	39
	e) Segnaletica verticale orizzontale e complementare	41

2.3.3	Riproduzione scenari	42
2.4	Esperimento	44
2.4.1	Il campione di guidatori.....	44
2.4.2	Procedura	45
2.4.3	Studio pilota.....	49
3	RISULTATI	51
3.1	Dati questionari.....	51
3.1.1	Dati anagrafici del campione di guida	52
3.1.2	Test cognitivi	54
3.1.3	Sintomi post guida	55
3.1.4	Valutazioni e impressioni sulla simulazione	56
3.2	Dati biometrici	57
3.3	Dati registrati dal simulatore di guida.....	61
3.3.1	Lane Gap.....	65
3.3.2	Heading Angle e curvatura delle traiettorie.....	70
4	ANALISI DATI	75
4.1	Riduzione del campione di dati.....	75
4.2	Posizionamento trasversale del veicolo in curva	78
4.2.1	Metodo di analisi	78
4.2.2	Campione delle osservazioni	90
4.2.3	Analisi in funzione dell'età dei guidatori	91
a)	Valutazione sull'intero tracciato	91
b)	Valutazione delle sole curve	92
4.2.4	Influenza del raggio R delle curve differenziate per classi di età.....	97
4.2.5	Influenza della distanza Δd per le diverse classi di età.....	105
4.2.6	Confronto per genere	113
4.2.7	Influenza del raggio R differenziata per genere	115

4.2.8	Influenza della distanza Δ differenziata per genere	119
4.2.9	Influenza del raggio R delle curve	123
a)	Valutazione sull'intero sviluppo della curva.....	123
b)	Valutazione sui singoli elementi	126
4.2.10	Influenza della distanza Δ	133
a)	Valutazione sull'intero sviluppo della curva.....	133
c)	Valutazione sui singoli elementi	136
4.2.11	Valutazione conclusiva sull'influenza dei parametri R e Δ	139
a)	Valutazione aggregata	139
b)	Valutazione sui singoli profili di Lane Gap	150
4.2.12	Influenza della DVL.....	152
4.3	Analisi delle traiettorie	166
4.3.1	Metodo di analisi.....	167
4.3.2	Processo di derivazione delle traiettorie.....	169
4.3.3	Stima delle curvature c_T delle traiettorie	173
5	CONCLUSIONI	181
	BIBLIOGRAFIA.....	187

1 INTRODUZIONE

La Sicurezza Stradale è uno dei temi di maggiore attenzione per la nostra società. L'obiettivo è quello di far nascere, crescere e consolidare nel tempo una cultura della “sicurezza” su strada, non come un semplice insieme di norme da impartire, ma come il risultato di una maturazione etica di un comportamento che pone al centro il rispetto per la vita e per la persona umana. Si pensi che in circa il 90% dei casi, gli incidenti sono dovuti a cause riconducibili al fattore umano, ovvero al comportamento tenuto da chi si muove sulle infrastrutture. Tra i comportamenti errati più frequenti sono da segnalare la guida distratta, il mancato rispetto della precedenza e la velocità troppo elevata (nel complesso il 41,5% dei casi). Le violazioni al Codice della Strada più sanzionate risultano, infatti, l'eccesso di velocità, il mancato utilizzo di dispositivi di sicurezza e l'uso di telefono cellulare alla guida.

La ricerca condotta dalla Fondazione Ania per la sicurezza stradale, ha messo in evidenza come, nonostante nel corso degli ultimi sessanta anni i mezzi circolanti sulle strade italiane siano passati da 900.000 a quasi 50.000.000, le numerose e sempre maggiori iniziative realizzate per la sicurezza stradale, hanno consentito di contenere le conseguenze di un fenomeno che avrebbe potuto toccare punte di criticità ancora maggiori. La rielaborazione da parte della Fondazione Ania dei dati dell'incidentalità stradale italiana degli ultimi sessant'anni, ha messo in evidenza particolari significativi: primo fra tutti il fatto che il numero delle vittime del 1952 (4.266) è simile a quello del 2010 (4.090), nonostante la differenza abissale del numero dei veicoli circolanti. Valori così elevati della mortalità su strada nel 1952 potevano essere imputabili a una rete infrastrutturale ancora agli albori, a sistemi di protezione dei veicoli inadeguati per la sicurezza degli occupanti e a norme scarsamente conosciute e, soprattutto, non in grado di rispondere alle esigenze di una nuova mobilità.

Negli anni successivi e sino al 2010 si è registrata una diminuzione degli incidenti, dei feriti e di morti. Se infatti, nel 2011 si sono registrati in Italia 205.638 incidenti stradali con lesioni a persone e il numero dei morti è stato di 3.860, mentre quello dei feriti ammonta a 292.019, nel 2016 si sono verificati in Italia 175.791 incidenti stradali con lesioni a persone che hanno provocato 3.283 vittime e 249.175 feriti. Sulla diminuzione del numero di vittime in Italia pesa soprattutto il calo registrato su autostrade (comprensive di tangenziali e raccordi autostradali) e strade extraurbane (274 e 1.546 morti; -10,2 e -4,6% rispetto al 2015). Una flessione più contenuta si registra, di contro, sulle strade urbane (1.463 morti; -2,6%). Più consistente la diminuzione nei grandi Comuni nel complesso, per i quali il numero di morti nell'abitato diminuisce del 6,5 %. Tra le vittime sono in aumento però i ciclisti (275, +9,6%) e i

ciclomotoristi (116, +10,5%), stabili gli automobilisti deceduti (1.470, +0,1%) mentre risultano in calo motociclisti (657, -15,0%) e pedoni (570, -5,3%).

Quanto accennato finora, basta per far riflettere su quanto sia importante investire sulla Sicurezza Stradale. Se da una parte le case automobilistiche progettano veicoli sempre più performanti e sicuri, dall'altra aumenta la velocità operativa massima degli stessi. Risultano quindi essenziali i sistemi di rilevamento di velocità (autovelox o altro) lungo strade potenzialmente pericolose oltre ovviamente al controllo in sito delle forze dell'ordine per far rispettare le restrizioni alla guida sotto effetto di alcolici o droghe e le restrizioni sull'utilizzo di cellulari o altri apparecchi elettronici. Particolarmente importante per la riduzione dei rischi è un'adeguata e corretta illuminazione notturna. Si tenga presente però che il comportamento di guida è condizionato dall'ambiente circostante e dalla geometria dell'infrastruttura, oltre ovviamente alle condizioni di traffico. Risulta quindi essenziale investire sulla ricerca per poter progettare infrastrutture sempre più sicure e performanti che condizionino il guidatore a seguire il più possibile la linea d'asse progettata.

Molteplici sono le variabili che condizionano il comportamento degli utenti: la geometria d'asse, sia planimetrica che altimetrica, la sezione trasversale, l'illuminazione dell'infrastruttura e la presenza di ostruzioni ottiche, nonché la loro distanza e l'altezza dalla sede stradale. Tra gli ostacoli alla visuale troviamo la segnaletica verticale, la vegetazione in generale, le barriere di sicurezza o anche le costruzioni ravvicinate alla sede stradale. In particolare, tali ostruzioni alla visuale limitano gli spazi di visibilità disponibili con il rischio che questi siano inferiori alla distanza di visibilità richiesta per effettuare in sicurezza la manovra di arresto oltre a condizionare il comportamento degli utenti in termini di velocità e di traiettoria. L'allontanamento dalla traiettoria ideale che coincide con l'asse della corsia, può comportare dei rischi per la maggior vicinanza agli ostacoli fissi definiti in precedenza, e a quelli mobili (veicoli procedenti nella direzione opposta, ad esempio). Ciò, può inoltre condizionare il comportamento e la capacità di controllo di altri guidatori prossimi a quello considerato. La conoscenza del comportamento in termini di traiettoria può permettere di adottare, se necessario, specifiche contromisure in grado di compensare gli effetti indesiderati delle ostruzioni ottiche presenti nella sede stradale. Sorge quindi la necessità di sperimentare questi fenomeni attraverso simulazioni; non sarebbe infatti possibile, o quanto meno sarebbe molto costoso, osservare tali fenomeni in esperimenti in vera grandezza. L'approccio seguito è quindi di fatto l'unico possibile in un'ottica di contenimento dei costi e di sicurezza per i partecipanti agli esperimenti.

In letteratura gli studi incentrati sullo studio della traiettoria sono in numero minore rispetto quelli incentrati sulla valutazione degli effetti sulla velocità. Inoltre, per ragioni economiche, la maggior parte degli esperimenti viene eseguita al simulatore.

Spacek (2005), tuttavia, ha studiato l'influenza del raggio delle curve sulle traiettorie di guidatori in osservazioni naturalistiche su strada reale, classificando le forme più frequenti di traiettorie osservate. Secondo Spacek, i conducenti guidano i loro veicoli stando più staccati dal bordo della strada rispetto alla mezzzeria, sia nelle curve a sinistra sia nelle curve a destra, indipendentemente dalla larghezza della carreggiata. Dal suo studio, sembrerebbe che le traiettorie del baricentro del veicolo giacciono quasi sempre nella metà di sinistra della corsia. Nei casi studio investigati, Spacek ha anche considerato curve con visibilità ridotta da ostacoli (alberi o costruzioni) e curve con piena visibilità. Dai risultati sembrerebbe che nelle curve sinistrorse i guidatori tendono a guidare più vicini alla linea centrale, mentre nelle curve destrorse i veicoli tengono più a lungo il centro corsia.

Auberlet et al. (2009) hanno studiato per mezzo di un simulatore di guida, l'impatto di due trattamenti percettivi preselezionati sul posizionamento laterale tenuto dai guidatori lungo un raccordo verticale. Bella (2013) ha invece valutato il posizionamento laterale lungo un tracciato di 8 km caratterizzato da due corsie di larghezza pari a 3,5 m, con configurazione del margine della strada variabile. Secondo Bella i guidatori hanno maggior difficoltà ad adottare una traiettoria simile alla linea d'asse quando il raggio della curva è piccolo. Inoltre, la configurazione del margine della strada non influenza la velocità ma il solo posizionamento trasversale. Calvi (2015) sempre tramite esperimenti al simulatore di guida, ha osservato gli effetti sul posizionamento trasversale in termini di dispersione delle traiettorie. Sembrerebbe che le dispersioni aumentino all'aumentare della larghezza della strada, e che le curve destrorse sono in genere affrontate con dispersioni maggiori. Sempre secondo Calvi, le curve destrorse di raggio più stretto sono affrontate con valori di dispersione delle traiettorie rispetto l'asse della corsia di marcia minori, e che i valori delle dispersioni registrati lungo le curve con visibilità illimitata siano significativamente più alti di quelli registrati quando la stessa viene limitata. Sempre Calvi (2015b) ha studiato gli effetti sulla velocità e sul posizionamento laterale della vegetazione distribuita lungo strade extraurbane a due corsie (carreggiata larga 6 m). Nel suo studio la vegetazione è costituita da alberi situati sui cigli della strada e vengono considerati tre diversi valori per il passo tra gli alberi e due diverse distanze dal bordo strada. Secondo Calvi la presenza di vegetazione a bordo strada induce i conducenti a spostarsi sul lato sinistro della corsia. Più precisamente, questo spostamento aumenta nel caso in cui gli alberi sono più vicini

alla strada e quando la spaziatura tra gli alberi diminuisce. Sempre secondo Calvi, tale comportamento è più evidente nelle curve destrorse, in particolar modo in quelle strette.

Partendo da questo stato dell'arte, il presente lavoro di tesi ha l'obiettivo di valutare gli effetti della distanza di visuale libera (DVL) sul comportamento longitudinale del guidatore in termini di traiettoria. La DVL, grandezza ben nota ai progettisti di infrastrutture stradali, è la misura dello spazio lungo la potenziale traiettoria di marcia che il guidatore è in grado di vedere di fronte a sé, e che viene sfruttata per eseguire in sicurezza manovre fondamentali quali l'arresto, il sorpasso o il cambio corsia. La sperimentazione prevede l'utilizzo di un simulatore di guida che permette di gestire a priori una vasta serie di parametri, tra cui la stessa DVL oggetto dell'indagine. Quest'ultima è stata gestita attraverso una combinazione di fattori geometrici tra cui il raggio delle curve, e la posizione dell'ostruzione sul lato interno delle stesse. Nello specifico, è stata scelta una sola tipologia di ostruzione rappresentata da un muro di cinta di altezza pari a 1.5 m, sufficiente quindi a limitare la DVL sul tratto antistante la posizione del guidatore.

Lo studio delle traiettorie per diversi DVL ottenuti combinando il raggio R e la posizione dell'ostruzione (come presenza e distanza dalla sede stradale), è stato condotto attraverso la valutazione dell'occupazione della corsia nelle diverse fasce nell'intorno della traiettoria ideale, e la dispersione della traiettoria rispetto allo stesso asse della corsia. Quest'ultima valutazione da un'idea di quanto le traiettorie si discostano rispetto alla geometria d'asse predefinita dal progettista, ma non fornisce indicazioni su quali siano le zone della sede stradale occupate durante la curva. Ecco perché oltre ad essa è stata valutata l'occupazione zonale con la quale si può capire dove si distribuiscono le traiettorie rispetto alla curva o ad un elemento di essa (curva circolare, clotoide, rettilineo d'ingresso). Questo permette di comprendere se lungo la traiettoria siano state utilizzate zone esterne alla corsia di marcia che risultano più critiche per la sicurezza della circolazione. Inoltre, l'indagine è stata anche condotta al fine di comprendere se vi siano eventuali differenze di comportamento in funzione dell'età e del genere dei guidatori.

Nella parte finale dell'analisi, ispirandosi allo studio di Gikas e Stratakos (2012) nel quale gli autori propongono un nuovo modello di estrazione della geometria d'asse, sono stati analizzati i parametri di orientamento, curvatura e variazione della curvatura caratteristici delle diverse traiettorie riferendosi alle posizioni del baricentro del veicolo (X_G , Y_G). Infine, a partire dalle curvature di progetto dei tracciati, sono state stimate le curvature delle traiettorie per mezzo del modello predittivo utilizzato nello studio di Cerni e Bassani (2017).

La tesi si articola in quattro capitoli. Nel Secondo Capitolo, successivo a questo, sono descritti gli strumenti adottati durante la fase di sperimentazione, le fasi costituenti la ricerca,

la progettazione dei tracciati nonché la loro riproduzione al simulatore e le caratteristiche del campione di guidatori. Il Terzo Capitolo è dedicato alla raccolta dei dati registrati in fase di simulazione e dei dati derivanti da un questionario somministrato ai guidatori coinvolti nell'esperimento. Il Quarto Capitolo è dedicato all'analisi di tali dati: sono dapprima elaborati i dati sul posizionamento trasversale e successivamente quelli caratteristici delle traiettorie. Il Quinto Capitolo, infine, contiene le conclusioni di questo lavoro.

2 L'ATTIVITÀ SPERIMENTALE

Il presente capitolo, suddiviso principalmente in quattro sezioni, è dedicato alla descrizione delle varie fasi costituenti l'attività sperimentale, finalizzata alla valutazione dell'influenza di determinati parametri, sulla distanza di visibilità e sulla traiettoria tenuta dal guidatore in curva.

In particolare, il primo paragrafo ha lo scopo di descrivere gli strumenti adottati durante la fase di sperimentazione, nonché il loro utilizzo. La seconda parte è invece dedicata alle scelte progettuali iniziali e alla definizione dei parametri indipendenti che, una volta fissati, hanno permesso di progettare un certo numero di raccordi circolari oggetto di studio. Il terzo paragrafo si concentra sulla progettazione dei tracciati, alla riproduzione degli stessi sul simulatore di guida e alla generazione degli scenari. Infine, nell'ultima parte sono esplicitate le caratteristiche del campione di guidatori impiegato e la metodologia sperimentale, oltre alla fase di collaudo (qui chiamata "studio pilota"), necessaria per la verifica dei tracciati stessi, per la progettazione delle modalità e delle tipologie di misure più significative per l'analisi dati, e per la valutazione di potenziali problemi che possono sorgere durante la fase di raccolta dati.

2.1 La strumentazione

Al fine di perseguire l'obiettivo prefissato si è ricorsi al simulatore di guida del Politecnico di Torino, e ad una piattaforma hardware compatibile con la scheda Arduino utile alla misurazione di dati provenienti da sensori biometrici. Nel seguito saranno illustrate le caratteristiche della strumentazione utilizzata.

2.1.1 Simulatore di guida

Situato nel Dipartimento di Ingegneria dell'Ambiente, del Territorio e delle Infrastrutture (DIATI) presso il Politecnico di Torino, più precisamente nel Laboratorio Sicurezza Stradale e Simulazione di Guida, il simulatore è realizzato dall'azienda francese *Oktal* che progetta e costruisce simulatori di veicoli stradali e ferroviari, e di aeromobili.

In particolare, il simulatore in dotazione è a base fissa, ovvero non è in grado di riprodurre le usuali accelerazioni che si percepiscono nella guida reale, ma solamente la visuale della strada e dell'ambiente circostante attraverso tre monitor. Allo stesso tempo, lo strumento riproduce la postazione di guida tipica di veicolo.

Il laboratorio è inoltre dotato di pareti di colore nero e di tende oscuranti al fine di creare le condizioni ottimali per l'esecuzione degli esperimenti, limitando le distrazioni e la possibilità d'insorgenza di malessere da simulazione (*simulator sickness*).

Hardware

Il simulatore è fornito di due computer tra di loro comunicanti tramite un hub; il primo, posizionato sotto il sedile del guidatore, è dedicato principalmente alla gestione del software, e alla gestione di una parte dell'hardware. Il secondo, collegato ai tre schermi e posto dietro ad essi, permette la riproduzione dell'ambiente virtuale per mezzo di una scheda video integrata interamente dedicata.

Entrambi i calcolatori possiedono un processore basato su tecnologia Intel® Xeon®, più precisamente il primo monta un E5-1620 v2 da 3,70 GHz, mentre il secondo un E5-1620 v3 da 3.50 GHz, una scheda grafica NVIDIA GTX 780 Ti, una memoria RAM da 8GB e un Hard Disk da 512 GB.

La realtà virtuale è riprodotta in alta definizione per mezzo di tre schermi Samsung da 32" LED/LDC Full HD, uno posto frontalmente alla postazione del guidatore sul quale si visualizzano lo specchietto retrovisore centrale e i tergicristalli. I restanti due, sono invece posti a lato e inclinati di circa 25° rispetto al primo, per permettere una maggior immersione nell'ambiente virtuale. Sui monitor laterali sono riprodotti anche i due specchietti retrovisori.

La riproduzione degli effetti sonori avviene tramite un sistema di cinque altoparlanti, due dei quali sono posti sotto il sedile del guidatore, mentre i restanti tre alloggiato sotto i rispettivi monitor.

La postazione di guida simula il più possibile quella di un'autovettura reale (*Figura 1*) ed è dotata dei seguenti elementi:

- sedile in eco-pelle dotato di cintura di sicurezza, con regolazione della distanza dello stesso dal volante, e inclinazione dello schienale;
- plancia di comandi con tasti di accensione del veicolo, clacson e freno a mano; è inoltre disponibile un tasto di sicurezza per la disattivazione del circuito in caso di anomalie durante la simulazione;
- display con tachimetro, contagiri, spie e strumenti di bordo, numero di marcia inserita, distanza percorsa e consumo istantaneo (*Figura 1c*);
- volante con sistema con ritorno di forza attraverso il quale si percepiscono le vibrazioni e gli stimoli dovuti alla pavimentazione, a dossi, ecc. e la deviazione subita dal veicolo in caso di urto; è dotato inoltre di leve per l'attivazione degli indicatori di direzione, dei fari anabbaglianti e abbaglianti, e dei tergicristalli;
- cambio manuale a sette rapporti posizionato sulla destra;
- pedaliera con frizione, freno e acceleratore.

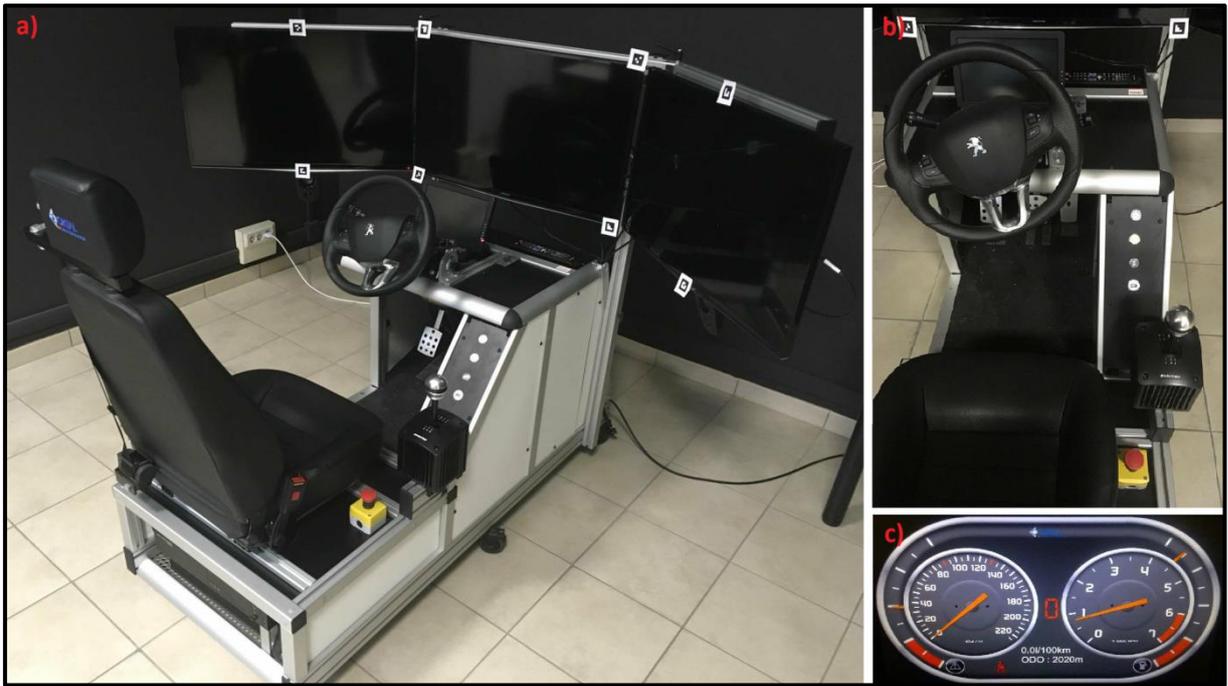


Figura 1. a) Simulatore di guida situato al DIATI presso il Politecnico di Torino; b) un particolare rappresentante la plancia dei comandi di guida; c) quadro strumenti (cruscotto) digitale.

L'interfaccia operatore-software avviene per mezzo di una postazione di controllo dalla quale l'utente può progettare e realizzare lo scenario, gestire le simulazioni e l'acquisizione dati.

Software

Il software del simulatore è *SCANeRTM studio*, il quale permette la gestione di tutte le fasi della simulazione, dalla progettazione del tracciato all'analisi dei dati raccolti. Esso è diviso in cinque sezioni, ognuna delle quali è dedicata allo svolgimento di determinate funzioni.

La modalità terreno è riservata alla progettazione delle caratteristiche geometriche del tracciato: il profilo planimetrico, il profilo altimetrico e le sezioni trasversali. Oltre alla progettazione della geometria del tracciato, tale modalità permette l'inserimento di oggetti di arredo implementati direttamente nel software o caricabili tramite file esterni. Il terreno (superficie solida) sulla quale si inserirà il tracciato, è generato automaticamente tramite triangolazione.

La modalità veicolo permette l'importazione o la modifica delle caratteristiche del veicolo utilizzato nella simulazione.

La modalità scenario consente la progettazione vera e propria dell'esperimento; in particolare, è possibile definire le condizioni di traffico, ambientali, di illuminazione, oltre al

veicolo da utilizzare. I veicoli che compongono il traffico possono essere scelti da un elenco di modelli: essi sono autonomi, ma è comunque possibile definire l'itinerario da seguire, la tipologia di guida (prudente, normale o aggressiva), la velocità massima, il rispetto o meno dei limiti, ecc. Attraverso dei codici di programmazione in linguaggio *Python*, è inoltre possibile gestire gli eventi, come far apparire testi o comandi (indicazioni dell'itinerario da seguire), governare il traffico, modificare le condizioni meteorologiche, ed altro ancora.

La modalità simulazione è rivolta invece alla gestione e al controllo della fase di guida; dalla postazione di controllo è possibile, per esempio, variare le condizioni meteorologiche e di illuminazione durante la simulazione.

L'ultimo applicativo riguarda la modalità analisi, nella quale si possono gestire e diagrammare i dati registrati durante la simulazione.

2.1.2 Sensori biometrici

Gli stimoli prodotti durante la simulazione, possono produrre disagi di diverso tipo al guidatore: nausea, stanchezza visiva, intontimento, mal di testa, ecc. Nel corso della sperimentazione sono state anche misurate le condizioni fisiche di ciascun guidatore per mezzo di sensori biometrici. I parametri fisiologici indagati sono: sudorazione, temperatura, e pulsazioni, utilizzando il sistema di acquisizione prodotto dalla CookingHacks (2016). Secondo Bertin et al. (2004) tali parametri varierebbero durante uno stato di disagio. I sensori adottati sono collegati ad una scheda integrata *e-Health Sensor Platform V2.0*, a sua volta collegata ad una piattaforma hardware *Arduino Uno*. La prima piattaforma permette la misurazione dei parametri biometrici (CookingHacks, 2016), mentre la seconda consente di interfacciare il dispositivo con un computer tramite una porta seriale (USB), codificare, e leggere in continuo i dati misurati dai sensori.

Arduino Uno, sviluppato da alcuni membri dell'*Interaction Design Institute* di Ivrea, è una piattaforma hardware *low-cost* programmabile, con cui è possibile creare circuiti per molte applicazioni, soprattutto nell'ambito della robotica e dell'automazione. La piattaforma fisica si basa su un circuito stampato che integra un microcontrollore della ATMEL, l'ATMega328, con pin connessi alle porte I/O (input/output), un regolatore di tensione e un'interfaccia USB, che permette il collegamento con un computer per l'alimentazione della scheda, la visualizzazione e la memorizzazione delle misure.

Le funzioni determinate dal particolare programma in esecuzione in quel momento sulla scheda consentono il raccoglimento logico dei dati rilevati dai sensori esterni connessi. In un ambiente di sviluppo integrato (IDE) è possibile scrivere script (chiamati *sketch*), da caricare

su *Arduino*. Il linguaggio di programmazione è basato su *Wiring*, un ambiente di programmazione Open-Source pensato per semplificare la programmazione in C e C++ e sull'interfaccia *Processing*. Ogni programma scritto su *Arduino* si avvia in *loop* (reiteratamente) finché non si interrompe l'alimentazione del dispositivo o si carica un nuovo *sketch*.

Come già accennato i parametri fisiologici monitorati sono:

- battito cardiaco e ossigenazione del sangue;
- temperatura corporea;
- conduttanza e resistenza corporea (risposta galvanometrica della pelle).

La pulsazione cardiaca è il principale e più rapido indicatore dello stato psicofisico di una persona, in particolare valori elevati esprimono solitamente agitazione e disturbi nell'individuo. Il sensore utilizzato permette la lettura in continuo del battito cardiaco e dell'ossigenazione del sangue attraverso l'inserimento del dito indice nel sensore (*Figura 2a* e *Figura 2b*). I dati rilevati sono visualizzati direttamente sul display del sensore, consentendo delle letture anche in modalità *stand-alone*, e trasmessi al computer. Il sensore necessita di due batterie tipo AAA per il funzionamento.

Il sensore di temperatura fornisce una lettura in continuo: l'estremità circolare metallica è messa a contatto con la pelle del guidatore e mantenuta in posizione con un cerotto in tela idoneo per l'uso sulla cute mentre la restante collegata alla scheda hardware (*Figura 2a* e *Figura 2c*). Durante i test, il sensore è installato nella parte interna dell'avambraccio sinistro per ragioni di ingombro con altri sensori e per evitare le zone troppo periferiche del corpo in quanto più fredde e probabilmente meno sensibili alle variazioni di temperatura nel breve periodo. Tale sensore necessita di un'installazione preventiva di almeno un minuto dall'inizio del test così da consentire il raggiungimento della temperatura di base del guidatore.

Infine, il sensore di risposta galvanometrica della pelle permette di ottenere una valutazione della conduttanza elettrica attraverso la misurazione della resistenza collegando il sensore su due punti a contatto con la pelle del guidatore (*Figura 2a* e *Figura 2d*). La conduttanza della superficie della pelle, anche conosciuta come risposta galvanometrica, varia in funzione dello stato di sudorazione. Questo processo fisiologico è direttamente connesso al sistema nervoso simpatico: uno stato di stress emotivo genera una variazione della sudorazione e quindi una diversa resistenza elettrica della pelle.

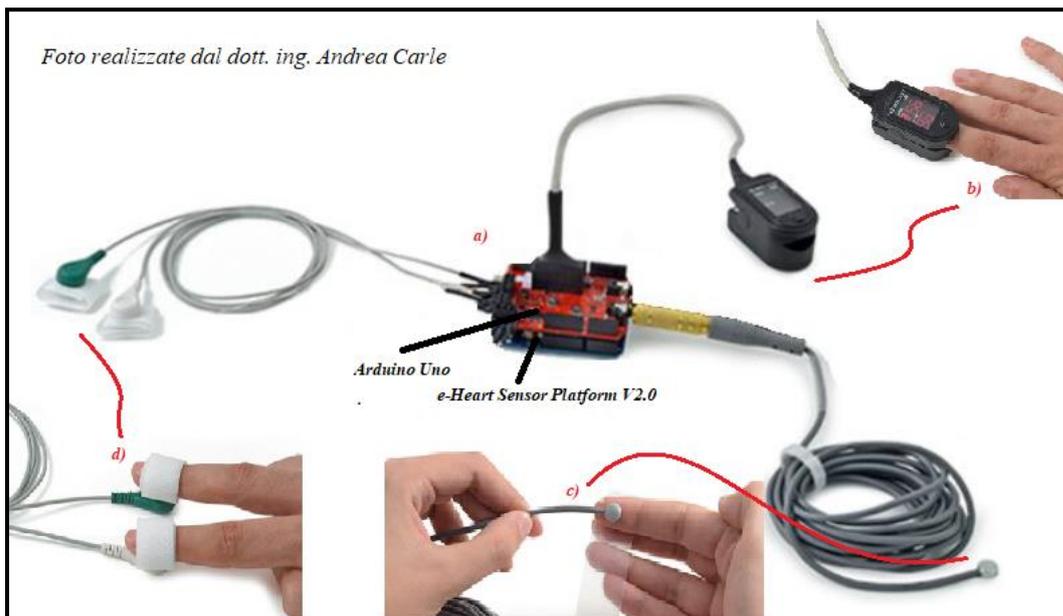


Figura 2. a) Schema di funzionamento della piattaforma Arduino Uno utilizzata per la misurazione di grandezze biometriche: battiti cardiaci temperatura e conduttanza rispettivamente nelle foto. b), c) e d).

2.2 Progettazione curve circolari

Come già accennato lo scopo del presente lavoro di tesi riguarda la valutazione degli effetti della distanza di visuale libera (DVL) sulla traiettoria di marcia tenuta dal guidatore. Gli effetti sulla velocità adottata sono stati precedentemente trattati da Andrea Salussolia (2017).

Per perseguire l'obiettivo preposto si deve innanzitutto agire sui parametri che influenzano tale distanza, o più semplicemente, si deve disporre di curve circolari con caratteristiche adeguate allo scopo. Oltre a poter creare a piacimento il tracciato di prova, con i simulatori di guida è possibile gestire il traffico riducendo al minimo il condizionamento sul comportamento del guidatore analizzato. Il rilievo della traiettoria è eseguito in modo preciso e non si hanno problemi di sicurezza che si avrebbero in caso di guide su strada.

2.2.1 Distanza di visuale libera

La distanza di visuale libera (DVL), anche nota nella letteratura tecnica come *Available Sight Distance*, è la lunghezza del tratto di strada che il conducente riesce a vedere davanti a sé indipendentemente dalle particolari condizioni di traffico, atmosferiche e di illuminazione (D.M. n. 6792/2001).

Limitazioni alla visuale libera, si incontrano nell'ingresso e lungo le curve orizzontali e verticali. In particolare, tale distanza decresce da un valore massimo sul rettilineo ad un valore minimo sul tratto di curva circolare orizzontale, lungo il quale la sopracitata distanza vale:

$$DVL = 2R \cdot \arccos \left(1 - \frac{\Delta}{R} \right)$$

dove R è il raggio della curva circolare, mentre Δ è la distanza trasversale tra il centro della corsia e l'eventuale ostacolo posto sul lato interno alla curva (Figura 3). È ovvio, che la distanza di visibilità disponibile aumenta al crescere del raggio planimetrico e al crescere di Δ . Agendo quindi su tali variabili è possibile progettare a piacere curve circolari con una ben nota DVL.

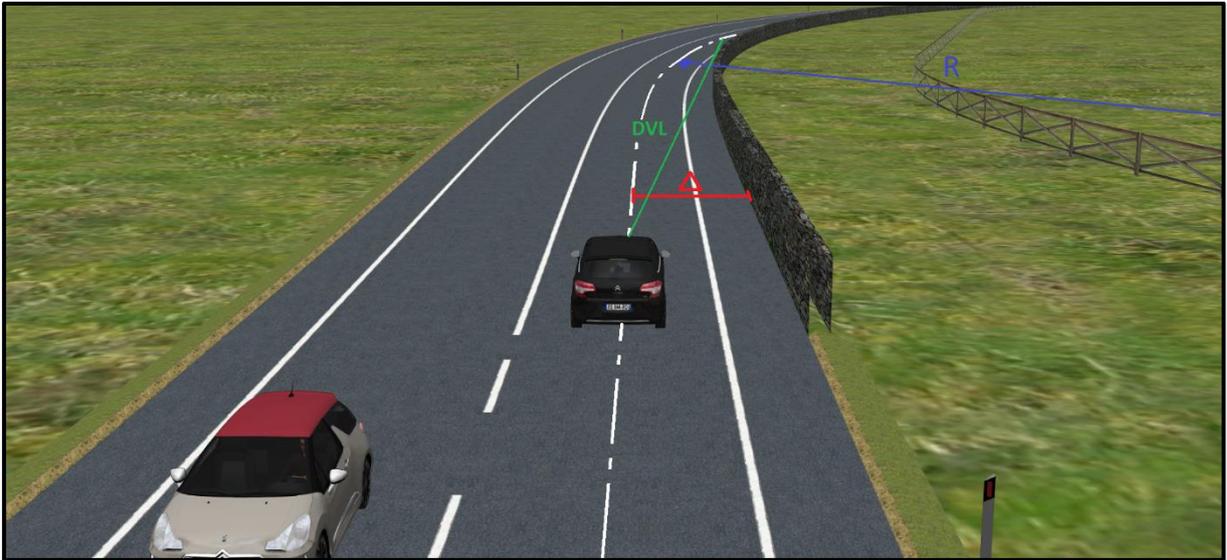


Figura 3. Rappresentazione delle tre grandezze in gioco: Distanza di visuale libera in verde, il raggio del raccordo orizzontale in blu, ed infine in rosso la distanza trasversale tra asse corsia e ostacolo Δ .

Per garantire durante la guida una visibilità pari alla DVL di progetto, lo studio deve tenere conto di queste condizioni:

- assenza di veicoli lungo i tratti di curva circolare e di clotoide;
- assenza di ostacoli adiacenti alla sede stradale (eccetto segnaletica verticale in rettilineo, e possibile muro in pietra sul lato interno di determinate curve);
- andamento altimetrico piano (sede stradale posta su terreno pianeggiante);
- condizioni di illuminazione e condizioni atmosferiche favorevoli alla visibilità, ovvero con tempo soleggiato e luce diurna.

Tali ipotesi garantiscono la dipendenza della DVL solo dai due parametri citati al paragrafo precedente (R e Δ). Il progetto geometrico delle curve circolari è stato eseguito gestendo proprio queste due variabili, più una terza rappresentata dallo sviluppo ω della curva. Ricapitolando, le variabili indipendenti del problema in esame sono:

- raggio curva circolare R ;

- distanza trasversale dall'asse della corsia all'ostacolo posto lungo il lato interno della curva Δ ; e
- angolo di deviazione planimetrico della curva circolare ω .

Raggio curva circolare R .

Si è scelto di considerare quattro diversi raggi di curvatura che ricadono all'interno del campo di valori che, nel rispetto del criterio di equilibrio limite di un veicolo in curva, e in base ai riferimenti del D.M. 05/11/2001, richiedono pendenza trasversale pari al 7% (Figura 4). In questo modo si evita di considerare la pendenza come ulteriore variabile del problema.

Il campo di valori è quindi compreso tra 118 e 437 m (Figura 4), e i raggi, scelti per garantire una certa continuità nei dati, sono i seguenti:

- $R_1 = 120$ m;
- $R_2 = 225$ m;
- $R_3 = 300$ m;
- $R_4 = 430$ m.

I quattro raggi sono associabili a velocità di progetto variabili in un intervallo di velocità tra 60 e 100 km/h.

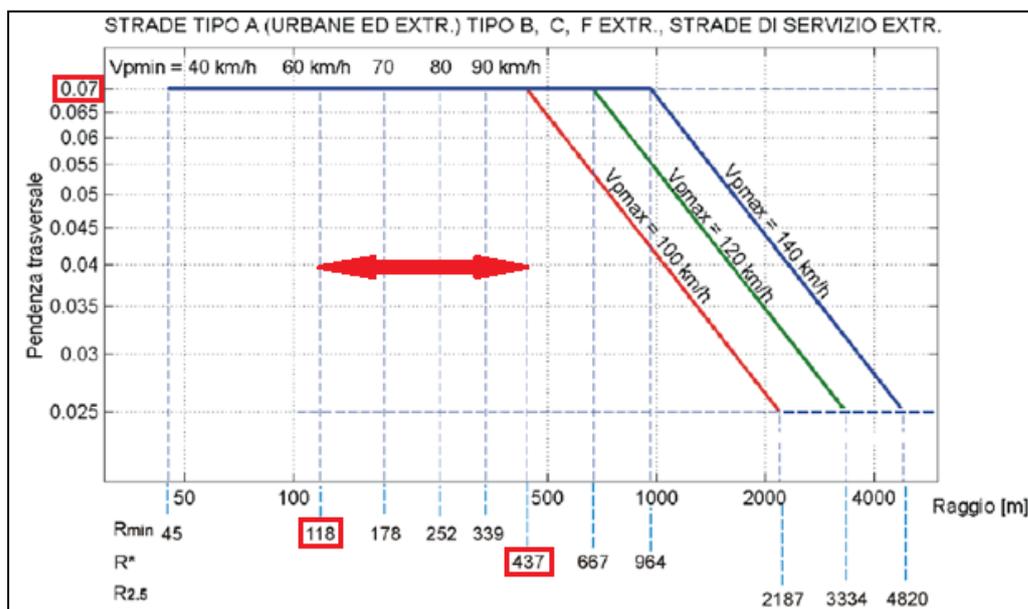


Figura 4. Diagramma Pendenza Trasversale: (Norme Funzionali e Geometriche per la Costruzione delle Strade, D.M. 05/11/2001), con indicazione del campo (e dei rispettivi limiti) in cui sono stati scelti i raggi R delle curve orizzontali, in modo tale da avere una pendenza trasversale q pari al 7%.

Distanza trasversale Δ

Il secondo parametro è rappresentato invece dalla distanza Δ di un ostacolo dall'interasse della corsia di marcia. Nelle norme tecniche italiane (D.M. 19 aprile 2006) sono considerati

ostruzioni alla visibilità tutti quegli elementi che in pianta hanno dimensioni superiori a 80 cm.

Tra questi vi sono:

- scarpe;
- impianti tecnologici (illuminazione, ...);
- attrezzature ed arredi stradali (barriere, segnali verticali, ...)
- vegetazione;
- opere d'arte,
- manufatti (muri di cinta, edifici).

Nel presente lavoro di tesi, l'ostacolo è rappresentato da un muro di altezza 1,5 m che, posizionato lungo il lato più interno della curva, limita la visuale del guidatore. Esso è stato posto sulla sinistra nelle curve sinistrorse e sulla destra in quelle destrorse. Si sono considerate tre differenti disposizioni (*Figura 5* e *Figura 6*), scelte in modo da riproporre negli scenari di guida situazioni verosimili a casi reali. In particolare, le tre diverse situazioni sono le seguenti:

- muro posto a filo banchina (Δ_1);
- muro a 1,5 m dalla banchina (Δ_2);
- muro a 3 m dalla banchina (Δ_3).

Successivamente è stata considerata anche la condizione Δ_0 che prevede l'assenza di tale ostruzione (*Figura 6*) sul lato interno della curva.

L'indagine è stata eseguita riferendosi ad una **strada di categoria C1** con larghezza di corsie e banchine costanti per tutto lo sviluppo del tracciato, rispettivamente pari a 3,75 e 1,5 m. Si avranno quindi diversi valori a seconda che la curva sia destrorsa o sinistrorsa, o meglio, nel primo caso si considera Δ come:

$$\Delta = \frac{L_{corsia}}{2} + L_{banchina} + D$$

dove:

- L_{corsia} è la larghezza della corsia di marcia, che per strade di categoria C1 è pari a 3,75 m;
- $L_{banchina}$ è la larghezza della banchina, ovvero pari a 1,5 m per le strade di categoria C1;
- D è la distanza tra la banchina e il muro, ovvero, nulla nel caso di Δ_1 , e pari a 1,5 m e 3 m rispettivamente nei casi di Δ_2 e Δ_3 .

Nel caso di curva sinistrorsa invece, occorre aggiungere la larghezza della corsia di marcia del senso opposto (vedi *Figura 5*), ovvero:

$$\Delta = L_{corsia} + \frac{L_{corsia}}{2} + L_{banchina} + D$$

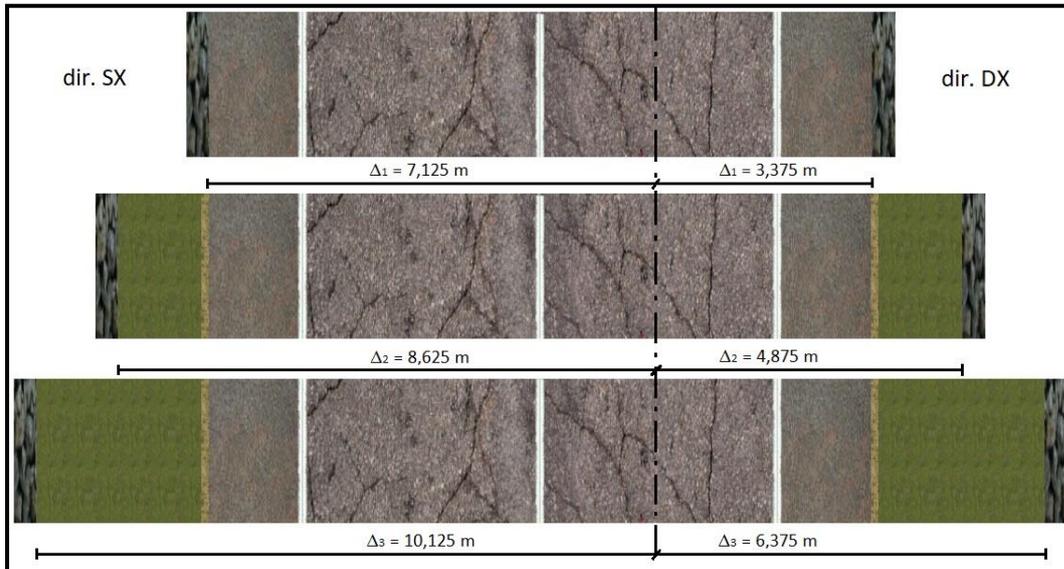


Figura 5. Valori della distanza trasversale Δ per curve di direzione DX e SX.

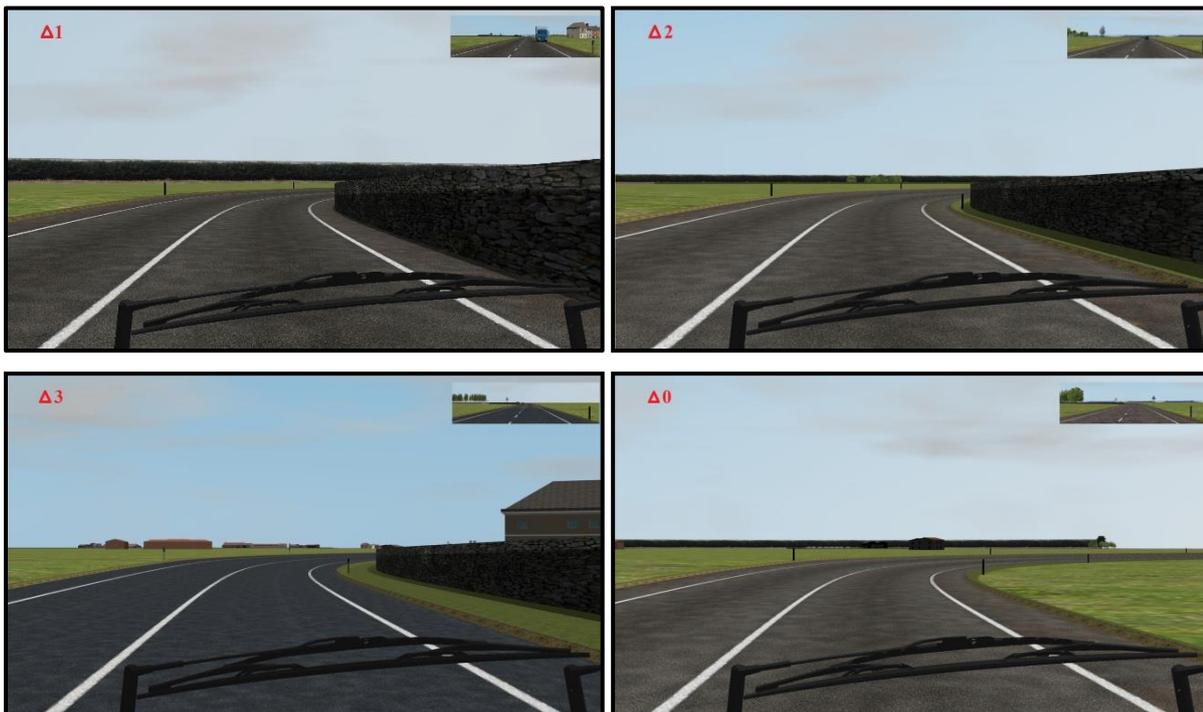


Figura 6. Rappresentazione delle quattro condizioni in curve di direzione DX. Notare il cambio di visibilità disponibile.

Angolo di deviazione planimetrico della curva ω

L'angolo di deviazione ω rappresenta l'angolo sotteso dalla curva circolare, il quale, moltiplicato per il raggio di curvatura R , fornisce la lunghezza l dell'arco. Tale parametro, è quindi legato allo sviluppo del tratto di curva circolare e non influisce sulla distanza di visibilità.

Si è scelto di poterlo comunque gestire per valutare se lo sviluppo del tratto di curva circolare condizioni in qualche modo la traiettoria del guidatore.

Rimane ora da decidere la quantità e l'entità di tale parametro. La valutazione degli effetti della distanza di visibilità disponibile sulla traiettoria richiede di disporre di tratti di curva sufficientemente estesi, lungo i quali il guidatore ha a disposizione una distanza di visuale libera costante per un tempo sufficiente alla valutazione. Inoltre, la normativa italiana vigente (D.M. n. 6792/2001) recita al punto 5.2.2 che: "Una curva circolare, per essere correttamente percepita, deve avere uno sviluppo corrispondente ad un tempo di percorrenza di almeno 2,5 secondi valutato con riferimento alla velocità di progetto".

Si è quindi scelto di progettare curve con angoli di deviazione superiori a 60°, e data la minor importanza del parametro in esame rispetto ai precedenti, si sono stabiliti solo tre valori:

- $\omega_1 = 60^\circ$;
- $\omega_2 = 75^\circ$;
- $\omega_3 = 90^\circ$.

2.2.2 Distanza di visuale libera e tempi di percorrenza

In conformità alle "norme funzionali e geometriche per la costruzione delle strade" si è verificato se il tempo di percorrenza delle curve circolari selezionate, valutato con riferimento alla velocità di progetto, risulti maggiore di 2,5 secondi.

La velocità di progetto v_p è stata calcolata con un processo iterativo secondo quanto descritto al punto 5.2.4 del D.M. n. 6792/2001 attraverso l'equazione seguente:

$$v_p = \sqrt{R \cdot 127 (q + f_t)}$$

dove v_p è la velocità di progetto in km/h, R è il raggio planimetrico, q è la pendenza trasversale, che in curva risulta pari al 7 %, e f_t è il coefficiente di aderenza trasversale che viene fornito dalla normativa in forma tabellare (Figura 7). I risultati dei tempi di percorrenza delle curve circolari sono riportati in Tabella 1, nella quale si può notare il rispetto delle prescrizioni.

Velocità km/h	25	40	60	80	100	120	140
aderenza trasv. max imp. f_t max per strade tipo A, B, C, F extra urbane, e relative strade di servizio	-	0,21	0,17	0,13	0,11	0,10	0,09
aderenza trasv. max imp. f_t max per strade tipo D, E, F urbane, e relative strade di servizio	0,22	0,21	0,20	0,16	-	-	-

Figura 7. Valori del coefficiente di aderenza trasversale f_t (Norme Funzionali e Geometriche per la Costruzione delle Strade, D.M. 05/11/2001).

Tabella 1. Valori in secondi dei tempi di percorrenza delle curve circolari, calcolati secondo il D.M. 05/11/2001 punto 5.2.

ω	R ₁ = 120 m			R ₂ = 225 m			R ₃ = 300 m			R ₄ = 430 m		
	Δ_1 [m]	Δ_2 [m]	Δ_3 [m]	Δ_1 [m]	Δ_2 [m]	Δ_3 [m]	Δ_1 [m]	Δ_2 [m]	Δ_3 [m]	Δ_1 [m]	Δ_2 [m]	Δ_3 [m]
	3.375 m	4.875 m	6.375 m	3.375 m	4.875 m	6.375 m	3.375 m	4.875 m	6.375 m	3.375 m	4.875 m	6.375 m
$\omega_1 = 60^\circ$	7.42	7.42	7.42	11.02	11.02	11.02	13.15	13.15	13.15	16.21	16.21	16.21
$\omega_2 = 75^\circ$	9.27	9.27	9.27	13.77	13.77	13.77	16.44	16.44	16.44	20.26	20.26	20.26
$\omega_3 = 90^\circ$	11.12	11.12	11.12	16.52	16.52	16.52	19.73	19.73	19.73	24.32	24.32	24.32

Come accennato nel paragrafo precedente, si richiede inoltre di disporre di tratti di curva sufficientemente estesi in modo tale che i guidatori affrontino la curva circolare avendo a disposizione una distanza di visuale libera costante, per un tempo sufficiente alla valutazione.

La DVL disponibile per ciascuna curva, riportata in *Tabella 2*, risulta costante per un tratto di lunghezza minore della curva circolare di un fattore pari proprio alla distanza di visuale libera. Le lunghezze di tali tratti e i relativi tempi di percorrenza, calcolati sempre in riferimento alle velocità di progetto, sono riportati in

Tabella 3 per le curve destrorse e in *Tabella 4* per quelle sinistrorse.

Tabella 2. Distanze di visuale libere (DVL)

Raggio	C. aderenza trasversale f_t [-]	Velocità di progetto (*) [Km/h]	Curve destrorse			Curve sinistrorse		
			Δ_1 [m]	Δ_2 [m]	Δ_3 [m]	Δ_1 [m]	Δ_2 [m]	Δ_3 [m]
			3.375	4.875	6.375	7.125	8.625	10.125
R1 = 120 m	0.168	61	56.61	68.11	77.97	83.76	92.25	100.06
R2 = 225 m	0.136	77	77.72	93.45	106.93	114.02	125.52	136.07
R3 = 300 m	0.123	86	89.80	107.98	123.53	131.43	144.67	156.81
R4 = 430 m	0.11	100	107.59	129.34	147.95	157.11	172.91	187.40

Tabella 3. In alto le lunghezze dei tratti di curva con DVL costante, sotto i relativi tempi di percorrenza per le curve destrorse

Ω	R ₁ = 120 m			R ₂ = 225 m			R ₃ = 300 m			R ₄ = 430 m		
	Δ_1 [m]	Δ_2 [m]	Δ_3 [m]	Δ_1 [m]	Δ_2 [m]	Δ_3 [m]	Δ_1 [m]	Δ_2 [m]	Δ_3 [m]	Δ_1 [m]	Δ_2 [m]	Δ_3 [m]
	3.375	4.875	6.375	3.375	4.875	6.375	3.375	4.875	6.375	3.375	4.875	6.375
$\omega_1 = 60^\circ$	67.09	55.59	45.73	155.94	140.20	126.73	222.39	204.22	188.67	340.75	318.99	300.38
$\omega_2 = 75^\circ$	98.02	86.52	76.66	214.35	198.62	185.14	300.44	282.27	266.72	452.83	431.07	412.47
$\omega_3 = 90^\circ$	128.94	117.44	107.58	272.77	257.03	243.55	378.49	360.32	344.77	564.91	543.16	524.55

Ω	R ₁ = 120 m			R ₂ = 225 m			R ₃ = 300 m			R ₄ = 430 m		
	Δ_1 [m]	Δ_2 [m]	Δ_3 [m]	Δ_1 [m]	Δ_2 [m]	Δ_3 [m]	Δ_1 [m]	Δ_2 [m]	Δ_3 [m]	Δ_1 [m]	Δ_2 [m]	Δ_3 [m]
	3.375	4.875	6.375	3.375	4.875	6.375	3.375	4.875	6.375	3.375	4.875	6.375
$\omega_1 = 60^\circ$	4.0	3.3	2.7	7.3	6.6	5.9	9.3	8.5	7.9	12.3	11.5	10.8
$\omega_2 = 75^\circ$	5.8	5.1	4.5	10.0	9.3	8.7	12.6	11.8	11.2	16.3	15.5	14.8
$\omega_3 = 90^\circ$	7.6	6.9	6.3	12.8	12.0	11.4	15.8	15.1	14.4	20.3	19.6	18.9

Tabella 4. In alto le lunghezze dei tratti di curva con DVL costante, sotto i relativi tempi di percorrenza per le curve sinistrorse

ω	R ₁ = 120 m			R ₂ = 225 m			R ₃ = 300 m			R ₄ = 430 m		
	$\Delta 1$ [m]	$\Delta 2$ [m]	$\Delta 3$ [m]	$\Delta 1$ [m]	$\Delta 2$ [m]	$\Delta 3$ [m]	$\Delta 1$ [m]	$\Delta 2$ [m]	$\Delta 3$ [m]	$\Delta 1$ [m]	$\Delta 2$ [m]	$\Delta 3$ [m]
	3.375	4.875	6.375	3.375	4.875	6.375	3.375	4.875	6.375	3.375	4.875	6.375
$\omega_1 = 60^\circ$	43.87	35.37	27.57	123.56	112.07	101.51	184.69	171.45	159.31	295.14	279.34	264.86
$\omega_2 = 75^\circ$	75.77	67.28	59.48	182.96	171.46	160.91	263.72	250.48	238.34	408.21	392.41	377.92
$\omega_3 = 90^\circ$	107.68	99.19	91.38	242.36	230.86	220.30	342.75	329.51	317.37	521.27	505.47	490.99

ω	R ₁ = 120 m			R ₂ = 225 m			R ₃ = 300 m			R ₄ = 430 m		
	$\Delta 1$ [m]	$\Delta 2$ [m]	$\Delta 3$ [m]	$\Delta 1$ [m]	$\Delta 2$ [m]	$\Delta 3$ [m]	$\Delta 1$ [m]	$\Delta 2$ [m]	$\Delta 3$ [m]	$\Delta 1$ [m]	$\Delta 2$ [m]	$\Delta 3$ [m]
	3.375	4.875	6.375	3.375	4.875	6.375	3.375	4.875	6.375	3.375	4.875	6.375
$\omega_1 = 60^\circ$	2.6	2.1	1.6	5.8	5.2	4.7	7.7	7.2	6.7	10.6	10.1	9.5
$\omega_2 = 75^\circ$	4.5	4.0	3.5	8.6	8.0	7.5	11.0	10.5	10.0	14.7	14.1	13.6
$\omega_3 = 90^\circ$	6.4	5.9	5.4	11.3	10.8	10.3	14.3	13.8	13.3	18.8	18.2	17.7

2.3 I tracciati

La fase della sperimentazione più impegnativa è la progettazione e la riproduzione al simulatore dei singoli tracciati, i quali dovranno avere caratteristiche idonee allo scopo della ricerca. Nel presente paragrafo sono descritte le ulteriori scelte progettuali adottate a tal fine, le caratteristiche dei vari tracciati, e le modalità di realizzazione degli stessi. L'ultima parte è dedicata alla riproduzione degli scenari, ovvero alla realizzazione dell'ambiente simulato che i conducenti si troveranno a percorrere durante la simulazione.

2.3.1 Progettazione dei tracciati

Il tracciato virtuale è inserito in un contesto extraurbano: la strada è classificata con categoria C principale in ambito extraurbano, di sottocategoria C1. La sezione trasversale adottata è quella prescritta dalla Normativa Italiana vigente (*Figura 8*), ovvero sezione stradale a carreggiata unica, con corsia singola di larghezza 3,75 m per ciascun senso di marcia, e presenza di banchina di larghezza 1,5 m, su entrambi i lati.

I limiti di velocità e la pendenza trasversale della carreggiata sono stati definiti in accordo con le indicazioni fornite dalla Normativa Italiana, con riferimento al Diagramma di Pendenza Trasversale fornito dalla normativa (*Figura 4 paragrafo 2.2.1*).

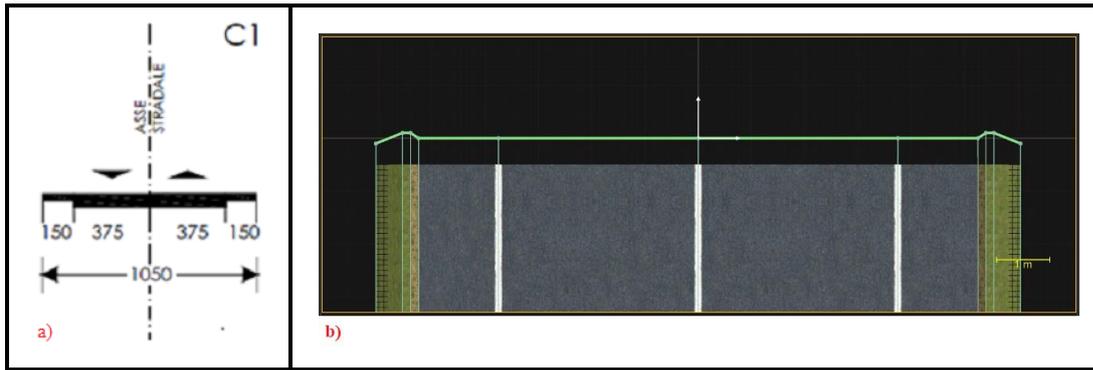


Figura 8. a) Configurazione minima di una piattaforma di categoria C1 (Norme Funzionali e Geometriche per la Costruzione delle Strade D.M. 05/11/2001). b) realizzazione sezione su SCANeR™ studio.

Curve circolari

Al paragrafo 2.2 sono descritte le scelte progettuali preliminari e la conseguente scelta dei parametri da gestire, il raggio delle curve R , la distanza trasversale Δ dall'ostacolo all'interasse della corsia di marcia, e lo sviluppo angolare delle curve ω . La combinazione dei precedenti parametri porta ad avere, per un valore fissato di raggio, nove tipologie diverse di curve: tre angoli di deviazione e tre diverse configurazioni dell'ostacolo a lato della banchina. Si generano così un totale di trentasei curve differenti che, percorse in entrambi i sensi di marcia, danno luogo a trentasei curve sinistrorse e trentasei destrorse. Tra queste ultime cambia ovviamente un solo parametro, ovvero la distanza D dall'ostacolo, incrementata nelle curve sinistrorse di un fattore pari alla larghezza della corsia di marcia opposta.

Curve di transizione

Definite le curve circolari si è passati al progetto delle curve di transizione. Per ogni clotoide, è stato calcolato il fattore di scala minimo A_{min} facendo riferimento al solo principio di percezione ottica della curva circolare. Ovvero, se R è il raggio dell'arco a curvatura costante, A deve essere compreso nel seguente intervallo:

$$\frac{R}{3} \leq A \leq R$$

Dall'espressione si nota che per valori elevati del raggio è richiesto un fattore di scala maggiore, e quindi uno sviluppo maggiore della curva a raggio variabile.

Si precisa che, per tale valutazione, non è stato necessario prendere in considerazione il Principio di Limitazione del Contraccollo in quanto, su un simulatore a base fissa, non si hanno feedback dinamici durante la guida. Specificato quindi il fattore di scala A , è stato possibile calcolare l'estensione L_t della curva di transizione:

$$L_t = \frac{A^2}{3} = \frac{R}{9}$$

Rettifili

Progettati gli elementi curvilinei, resta da definire la lunghezza di ciascun rettifilo che collega due curve successive. Per tali elementi, si è fatto riferimento a quanto stabilito dal D.M. 05/11/2001 al punto 5.2.2, ovvero: “tra un rettifilo di lunghezza L_r ed il raggio più piccolo fra quelli delle due curve collegate al rettifilo stesso, anche con l’interpolazione di una curva a raggio variabile, deve essere rispettata la relazione:”

$$R > L_r \quad \text{per } L_r < 300 \text{ m}$$

$$R \geq 400 \text{ m} \quad \text{per } L_r \geq 300 \text{ m}$$

In tutti i casi il valore di raggio di ciascuna curva è stato assunto superiore alla lunghezza del rettifilo ad esso collegato. In definitiva, le lunghezze dei rettifili sono 110, 220 e 290 m. Si nota che, nel caso di due curve successive di raggio 430 m, il rettifilo interposto previsto è sempre di lunghezza 290 m.

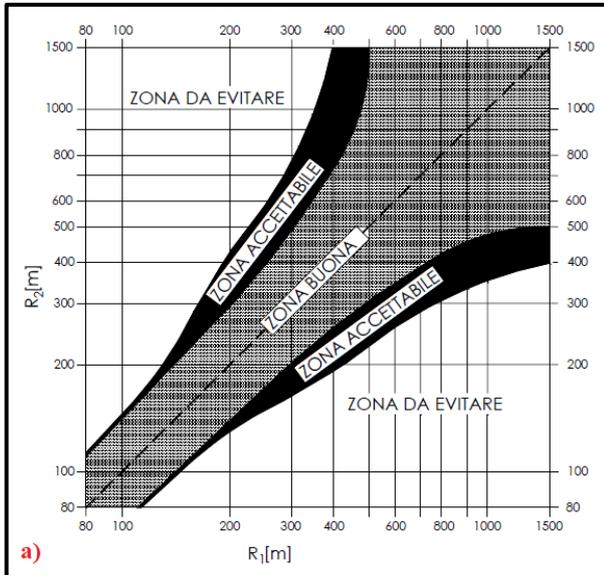
Combinazione degli elementi e definizione dei tracciati

L’idea iniziale era quella di progettare un unico tracciato costituito da trentasei curve. Il circuito così progettato avrebbe avuto un’estensione di circa 26 km, richiedendo un tempo di percorrenza stimato compreso tra i 15 e i 25 minuti. Un unico tracciato avrebbe quindi richiesto un impegno rilevante da parte dei guidatori, con conseguenti possibili effetti sulla resistenza nel corso della simulazione. Per tali motivi si è optato per la progettazione di due differenti tracciati, denominati “**Tracciato A**” e “**Tracciato B**”, contenenti ciascuno diciotto delle trentasei curve oggetto di studio. In particolare, la ripartizione delle curve nei due tracciati è stata effettuata ricercando un corretto equilibrio, e facendo in modo che lo sviluppo complessivo dei due fosse simile. Ogni test driver ha però avuto modo di guidare sulle medesime curve, come si evince in *Tabella 5*.

Effettuata la ripartizione si è quindi passati alla combinazione degli elementi, nella quale si è ricercata una certa gradualità, ovvero, si è fatto in modo che i rapporti tra i raggi di due curve circolari che si susseguono lungo il tracciato, siano regolati dall’abaco riportato in *Figura 9a*. Più precisamente, essendo la strada di categoria C, il rapporto di tali raggi deve ricadere nella zona buona o al più nella zona accettabile. In *Figura 9b* sono riportate le combinazioni accettate delle successioni dei raggi. In definitiva, eccezion fatta per i raggi da 120 m, dove tale rapporto non è verificato, si è scelto di accettare solo le combinazioni ricadenti nella zona buona (in verde in tabella), in modo da avere una maggiore gradualità nella successione.

Tabella 5. Suddivisione delle 36 curve nei due tracciati. In nero quelle costituenti il tracciato A, in rosso quelle del tracciato B.

ω	$R_1 = 120 \text{ m}$			$R_2 = 225 \text{ m}$			$R_3 = 300 \text{ m}$			$R_4 = 430 \text{ m}$		
	Δ_1	Δ_2	Δ_3									
60°	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B
75°	B	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B	A
90°	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B



R_2 [m]	R_1 [m]			
	120	225	300	430
120				
225				
300				
430				

b)

Figura 9. a) abaco che regola il posizionamento successivo di due curve aventi raggio R_1 e R_2 (D.M. 05/11/2001); b) tabella con le combinazioni possibili in verde, accettabili in arancione, da evitare in rosso.

Definiti tutti i criteri di progetto si è quindi passati al predimensionamento dei due tracciati (in ambiente *Autodesk® AutoCAD®*). Si è optato per tracciati chiusi, in quanto ciò garantisce un miglior sfruttamento del terreno generato in ambiente virtuale, e quindi garantisce una minor dimensione del file database. L'eccessiva dimensione del modello indurrebbe rallentamenti durante la simulazione (i cosiddetti *lag*), riducendo la fluidità e la verosimiglianza con la guida naturalistica.

In definitiva, il tracciato A è risultato avere una lunghezza di 12.888,52 m, mentre il tracciato B di 14.443,94 m. Per la chiusura dei due tracciati sono state inserite curve e rettili con caratteristiche non rispondenti ai criteri precedentemente indicati. D'ora in avanti, queste saranno chiamate rispettivamente curva 0 (tracciato A), curva x e curva y (tracciato B).

È stato infine realizzato un terzo circuito nel quale, per aumentare ulteriormente il campo d'indagine, l'ostruzione laterale è stata rimossa in sei curve sulle diciotto presenti (condizione Δ_0).

Più precisamente sono state modificate le seguenti curve del tracciato A:

- curva 1 R = 120 m, $\omega = 60^\circ$;
- curva 5 R = 120 m, $\omega = 90^\circ$;
- curva 7 R = 225 m, $\omega = 60^\circ$;
- curva 10 R = 300 m, $\omega = 60^\circ$;
- curva 13 R = 430 m, $\omega = 60^\circ$;
- curva 17 R = 430 m, $\omega = 90^\circ$.

Il tracciato così realizzato è stato denominato “**Tracciato ANM**”. Si nota che in esso le restanti curve sono le stesse del tracciato A. Nel seguito si fornisce, per ciascun tracciato, la tabella con le caratteristiche geometriche di ciascun elemento che li compone (*Tabella 6*, *Tabella 7* e *Tabella 8*), il relativo assemblaggio (*Figura 10* e *Figura 11*) e il diagramma delle curvature. (*Figura 12*).

Tabella 6. Caratteristiche geometriche degli elementi del tracciato A.

Elemento	n°	L_{rettifilo}	L_{raccordo}	L_{clotoidi}	L_{curva}	A	R	ω	Δ
	[-]	[m]	[m]	[m]	[m]	[-]	[m]	[°]	[-]
Rettifilo (parziale 1)	18	218.74	x	x	x	x	x	x	x
Raccordo curvilineo	0	x	422.61	51.84/52.08	318.69	x	224	81.57	x
Rettifilo	0	323.57	x	x	x	x	x	x	x
Raccordo curvilineo	1	x	227.06	50.7	125.66	78	120	60	Δ ₁
Rettifilo	1	110	x	x	x	x	x	x	x
Raccordo curvilineo	2	x	289.9	50.7	188.5	78	120	90	Δ ₃
Rettifilo	2	110	x	x	x	x	x	x	x
Raccordo curvilineo	3	x	398.2	51.84	294.52	108.0	225	75	Δ ₁
Rettifilo	3	220	x	x	x	x	x	x	x
Raccordo curvilineo	4	x	430.32	58.08	314.16	132	300	60	Δ ₂
Rettifilo	4	290	x	x	x	x	x	x	x
Raccordo curvilineo	5	x	800.54	62.55	675.44	164	430	90	Δ ₂
Rettifilo	5	290	x	x	x	x	x	x	x
Raccordo curvilineo	6	x	687.97	62.55	562.87	164	430	75	Δ ₁
Rettifilo	6	290	x	x	x	x	x	x	x
Raccordo curvilineo	7	x	430.32	58.08	314.16	132	300	60	Δ ₁
Rettifilo	7	220	x	x	x	x	x	x	x
Raccordo curvilineo	8	x	457.11	51.84	353.43	108.0	225	90	Δ ₂
Rettifilo	8	110	x	x	x	x	x	x	x
Raccordo curvilineo	9	x	227.06	50.7	125.66	78	120	60	Δ ₃
Rettifilo	9	110	x	x	x	x	x	x	x
Raccordo curvilineo	10	x	289.9	50.7	188.5	78	120	90	Δ ₁
Rettifilo	10	110	x	x	x	x	x	x	x
Raccordo curvilineo	11	x	398.2	51.84	294.52	108.0	225	75	Δ ₃
Rettifilo	11	220	x	x	x	x	x	x	x
Raccordo curvilineo	12	x	587.3	58.08	471.14	132	300	90	Δ ₁
Rettifilo	12	290	x	x	x	x	x	x	x
Raccordo curvilineo	13	x	575.39	62.55	450.29	164	430	60	Δ ₂
Rettifilo	13	290	x	x	x	x	x	x	x
Raccordo curvilineo	14	x	587.3	58.08	471.14	132	300	90	Δ ₃
Rettifilo	14	290	x	x	x	x	x	x	x
Raccordo curvilineo	15	x	687.97	62.55	562.87	\	430	75	Δ ₃
Rettifilo	15	290	x	x	x	x	x	x	x
Raccordo curvilineo	16	x	508.86	58.08	392.7	132	300	75	Δ ₂
Rettifilo	16	220	x	x	x	x	x	x	x
Raccordo curvilineo	17	x	339.3	51.84	235.62	108.0	225	60	Δ ₂
Rettifilo	17	110	x	x	x	x	x	x	x
Raccordo curvilineo	18	x	258.48	50.7	157.08	78	120	75	Δ ₂
Rettifilo (parziale 2)	18	153.78	x	x	x	x	x	x	x
Lunghezza totale		12888.548							

Tabella 7. Caratteristiche geometriche degli elementi del tracciato B.

Elemento	n°	Lrettifilo	Lraccordo	Lclotoidi	Lcurva	A	R	ω	Δ
	[-]	[m]	[m]	[m]	[m]	[-]	[m]	[°]	[-]
Rettifilo (parziale 1)	0	567.39	x	x	x	x	x	x	x
Raccordo curvilineo	Y	x	507.01	58.08	403.09	132	300	74.664	\
Rettifilo	1	323.57	x	x	x	x	x	x	x
Raccordo curvilineo	1	x	575.39	62.55	450.29	164	430	60	Δ ₁
Rettifilo	2	110	x	x	x	x	x	x	x
Raccordo curvilineo	2	x	508.86	58.08	392.7	132	300	75	Δ ₃
Rettifilo	3	110	x	x	x	x	x	x	x
Raccordo curvilineo	3	x	457.11	51.84	353.43	108.0	225	90	Δ ₁
Rettifilo	4	220	x	x	x	x	x	x	x
Raccordo curvilineo	4	x	227.06	50.7	125.66	78	120	60	Δ ₂
Rettifilo	5	290	x	x	x	x	x	x	x
Raccordo curvilineo	5	x	457.11	51.84	353.43	108.0	225	90	Δ ₃
Rettifilo	6	290	x	x	x	x	x	x	x
Raccordo curvilineo	6	x	258.48	50.7	157.08	78	120	75	Δ ₁
Rettifilo	7	290	x	x	x	x	x	x	x
Raccordo curvilineo	7	x	339.3	51.84	235.62	108.0	225	60	Δ ₃
Rettifilo	8	220	x	x	x	x	x	x	x
Raccordo curvilineo	8	x	587.3	58.08	471.14	132	300	90	Δ ₂
Rettifilo	9	110	x	x	x	x	x	x	x
Raccordo curvilineo	9	x	687.97	62.55	562.87	164	430	75	Δ ₂
Rettifilo	10	110	x	x	x	x	x	x	x
Raccordo curvilineo	10	x	800.54	62.55	675.44	164	430	90	Δ ₁
Rettifilo	11	110	x	x	x	x	x	x	x
Raccordo curvilineo	11	x	430.32	58.08	314.16	132	300	60	Δ ₂
Rettifilo	12	220	x	x	x	x	x	x	x
Raccordo curvilineo	12	x	398.2	51.84	294.52	108.0	225	75	Δ ₂
Rettifilo	13	290	x	x	x	x	x	x	x
Raccordo curvilineo	13	x	289.9	50.7	188.5	78	120	90	Δ ₂
Rettifilo	14	290	x	x	x	x	x	x	x
Raccordo curvilineo	14	x	258.48	50.7	157.08	78	120	75	Δ ₃
Rettifilo	15	290	x	x	x	x	x	x	x
Raccordo curvilineo	15	x	339.3	51.84	235.62	108.0	225	60	Δ ₁
Rettifilo	16	290	x	x	x	x	x	x	x
Raccordo curvilineo	16	x	508.86	58.08	392.7	132	300	75	Δ ₁
Rettifilo	17	220	x	x	x	x	x	x	x
Raccordo curvilineo	17	x	575.39	62.55	450.29	164	430	60	Δ ₃
Rettifilo	18	110	x	x	x	x	x	x	x
Raccordo curvilineo	18	x	800.54	62.55	675.44	164	430	90	Δ ₃
Rettifilo	19	153.78	x	x	x	x	x	x	x
Raccordo curvilineo	X	x	285.91	58.08	169.75	132	331.48	29.289	\
Rettifilo (parziale 2)	0	180.76	x	x	x	x	x	x	x
Lunghezza totale		14444.71							

Tabella 8. Caratteristiche geometriche degli elementi del tracciato ANM.

Elemento	n°	L_{rettifilo}	L_{raccordo}	L_{clotoidi}	L_{curva}	A	R	ω	Δ
	[-]	[m]	[m]	[m]	[m]	[-]	[m]	[°]	[-]
Rettifilo (parziale 1)	18	218.74	x	x	x	x	x	x	x
Raccordo curvilineo	0	x	422.61	51.84/52.08	318.69	x	224	81.57	x
Rettifilo	0	323.57	x	x	x	x	x	x	x
Raccordo curvilineo	1	x	227.06	50.7	125.66	78	120	60	Δ ₀
Rettifilo	1	110	x	x	x	x	x	x	x
Raccordo curvilineo	2	x	289.9	50.7	188.5	78	120	90	Δ ₃
Rettifilo	2	110	x	x	x	x	x	x	x
Raccordo curvilineo	3	x	398.2	51.84	294.52	108.0	225	75	Δ ₁
Rettifilo	3	220	x	x	x	x	x	x	x
Raccordo curvilineo	4	x	430.32	58.08	314.16	132	300	60	Δ ₂
Rettifilo	4	290	x	x	x	x	x	x	x
Raccordo curvilineo	5	x	800.54	62.55	675.44	164	430	90	Δ ₀
Rettifilo	5	290	x	x	x	x	x	x	x
Raccordo curvilineo	6	x	687.97	62.55	562.87	164	430	75	Δ ₁
Rettifilo	6	290	x	x	x	x	x	x	x
Raccordo curvilineo	7	x	430.32	58.08	314.16	132	300	60	Δ ₀
Rettifilo	7	220	x	x	x	x	x	x	x
Raccordo curvilineo	8	x	457.11	51.84	353.43	108.0	225	90	Δ ₂
Rettifilo	8	110	x	x	x	x	x	x	x
Raccordo curvilineo	9	x	227.06	50.7	125.66	78	120	60	Δ ₃
Rettifilo	9	110	x	x	x	x	x	x	x
Raccordo curvilineo	10	x	289.9	50.7	188.5	78	120	90	Δ ₀
Rettifilo	10	110	x	x	x	x	x	x	x
Raccordo curvilineo	11	x	398.2	51.84	294.52	108.0	225	75	Δ ₃
Rettifilo	11	220	x	x	x	x	x	x	x
Raccordo curvilineo	12	x	587.3	58.08	471.14	132	300	90	Δ ₁
Rettifilo	12	290	x	x	x	x	x	x	x
Raccordo curvilineo	13	x	575.39	62.55	450.29	164	430	60	Δ ₀
Rettifilo	13	290	x	x	x	x	x	x	x
Raccordo curvilineo	14	x	587.3	58.08	471.14	132	300	90	Δ ₃
Rettifilo	14	290	x	x	x	x	x	x	x
Raccordo curvilineo	15	x	687.97	62.55	562.87	\	430	75	Δ ₃
Rettifilo	15	290	x	x	x	x	x	x	x
Raccordo curvilineo	16	x	508.86	58.08	392.7	132	300	75	Δ ₂
Rettifilo	16	220	x	x	x	x	x	x	x
Raccordo curvilineo	17	x	339.3	51.84	235.62	108.0	225	60	Δ ₀
Rettifilo	17	110	x	x	x	x	x	x	x
Raccordo curvilineo	18	x	258.48	50.7	157.08	78	120	75	Δ ₂
Rettifilo (parziale 2)	18	153.78	x	x	x	x	x	x	x
Lunghezza totale		12888.548							

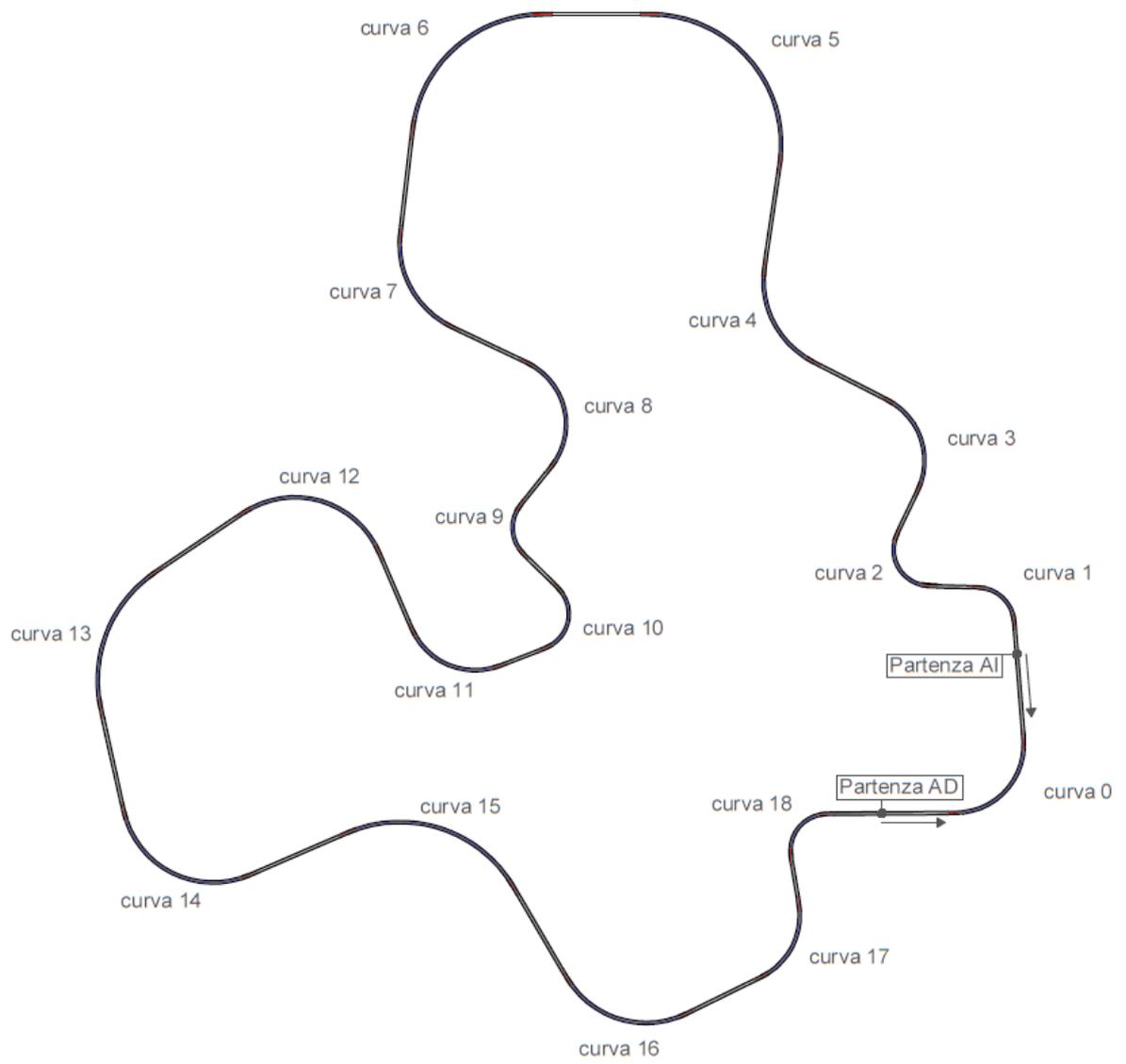


Figura 10. Andamento planimetrico del tracciato A/ANM

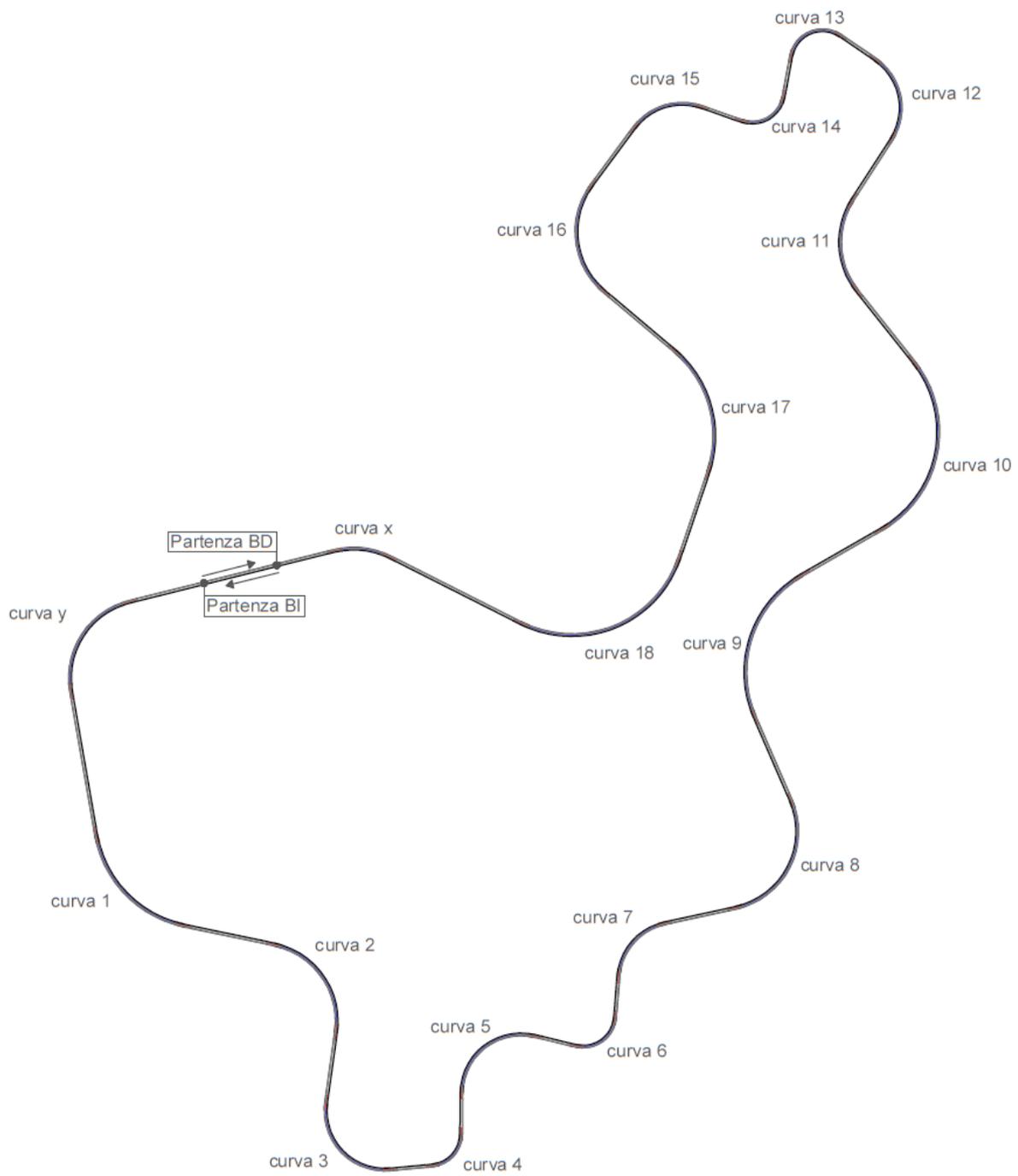


Figura 11. Andamento planimetrico del tracciato B

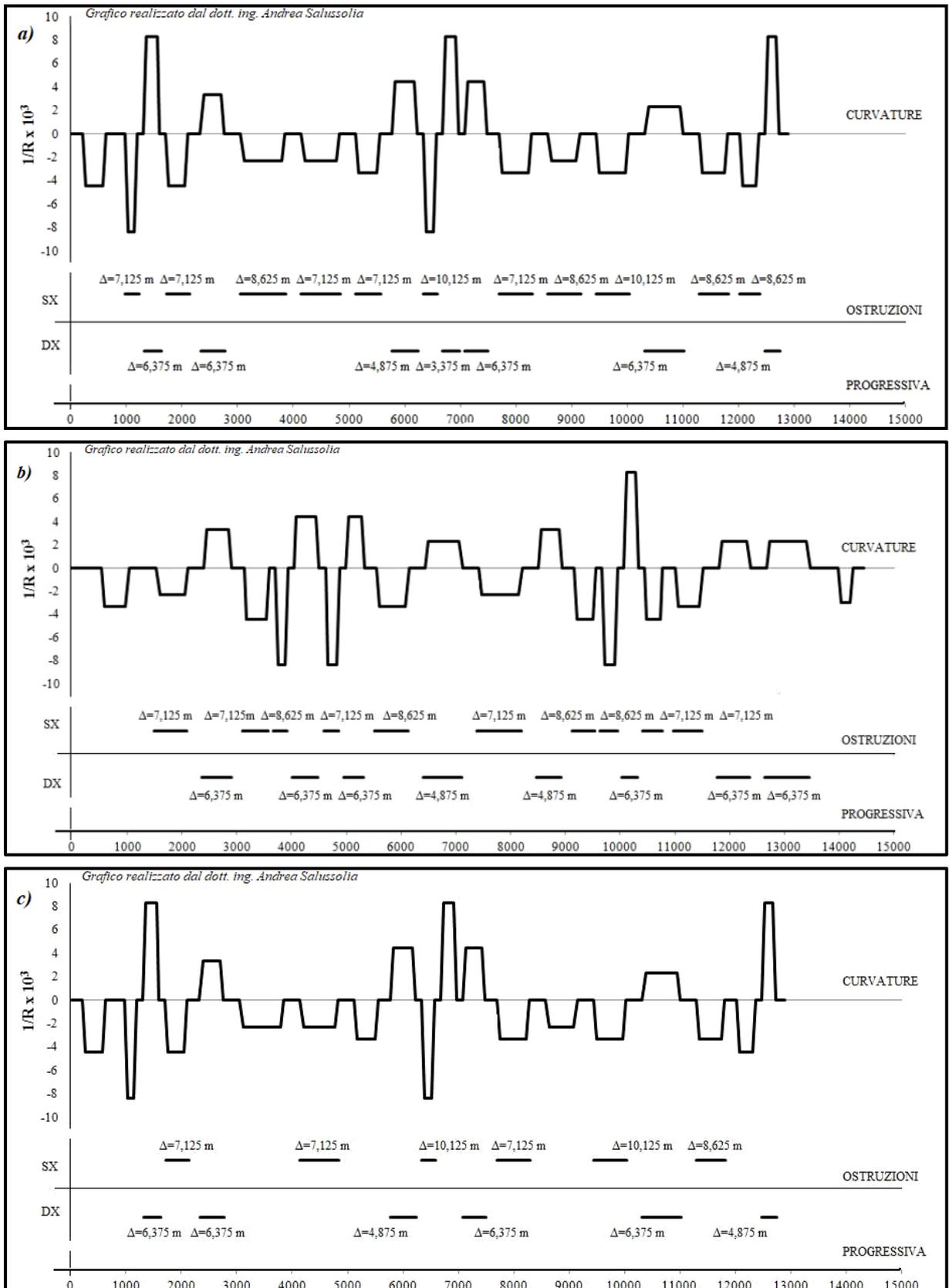


Figura 12. Caratteristiche dei tre tracciati in termini di curvatures e distanze trasversali tra gli ostacoli e l'asse della corsia di marcia. a) Tracciato A. b) Tracciato B. c) Tracciato ANM

2.3.2 Riproduzione dei tracciati

La realizzazione dei tracciati, con il software *SCANeRTM studio*, è stata eseguita attraverso la successione di operazioni quali:

- a) definizione andamento plano-altimetrico;
- b) creazione delle sezioni (sezioni stradali, muro sul lato interno alle curve, alternanza tessitura pavimentazione, giunti di transizione della pavimentazione) e terreno;
- c) definizione di intersezioni e piazzole di sosta;
- d) inserimento di edifici, oggetti e vegetazione;
- e) inserimento della segnaletica verticale, orizzontale e complementare.

a) Andamento plano-altimetrico

Il primo passo per la realizzazione dei tracciati è la definizione del profilo planimetrico, che è composto da una sequenza di rettifili, clotoidi e curve circolari in un ben determinato ordine (vedi composizione tracciati *paragrafo 2.3.1*). Si disegnano i vari elementi del tracciato in sequenza immettendo per ciascuno determinati parametri. Per i rettifili basta indicarne sviluppo L_r e la direzione. Per il tracciamento delle clotoidi, invece, si inserisce lo sviluppo L_t , il raggio dell'elemento precedente e quello dell'elemento successivo. Infine, le curve circolari sono definite dal raggio R e dallo sviluppo L_c dell'arco.

Il passo successivo sarebbe la definizione dell'andamento altimetrico, ma ricercando la dipendenza della distanza di visuale libera solo dai due parametri R e Δ , tale andamento non è stato modificato. L'altimetria dei tracciati risulta quindi avere andamento pianeggiante.

b) Sezioni e terreno circostante

In modalità terreno è possibile gestire e realizzare le sezioni trasversali da applicare ai vari elementi componenti il profilo planimetrico. Come descritto in precedenza, si è considerata una strada di categoria C1 con una corsia per senso di marcia di larghezza pari a 3,75 m e banchine di larghezza pari a 1,50 m. Oltre alle larghezze delle singole corsie, il software permette di gestire il tipo di materiale della pavimentazione e la sua rugosità, che si traduce in una diversa intensità di vibrazione del volante durante la marcia. Si può inoltre definire la larghezza delle corsie, l'inclinazione della piattaforma stradale, la segnaletica orizzontale, le *texture*, la categoria di traffico che può circolare, la direzione di marcia e il limite di velocità.

Per ridurre la visibilità in curva è stato inserito il muro in pietra di altezza 1,5 m che inizia 10 m prima della curva di transizione in ingresso e si estende a 10 m oltre la fine della curva di transizione in uscita. In *Figura 13* è possibile visionare quattro delle molteplici sezioni

realizzate, che sono da riferirsi a curve destrorse con quattro diverse configurazioni dell'ostruzione.

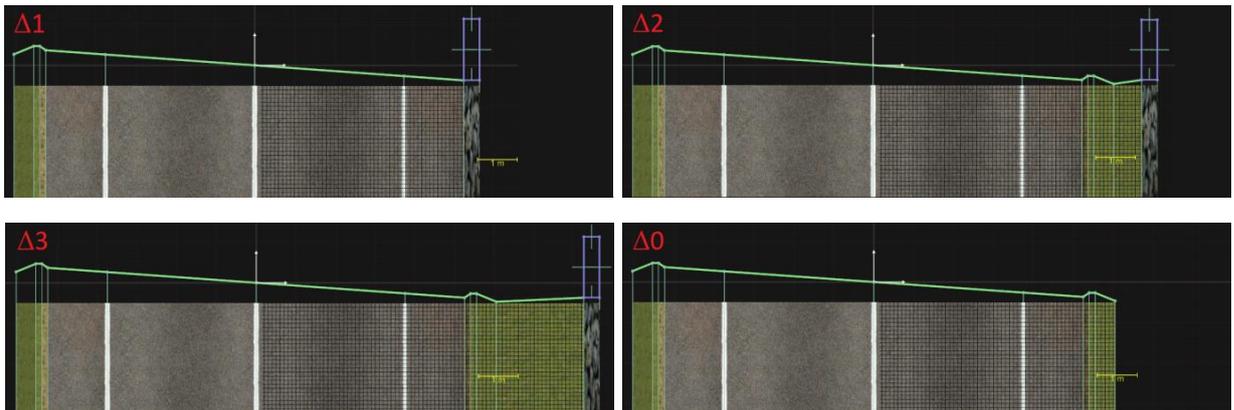


Figura 13. Sezioni di curve destrorse nelle quattro diverse configurazioni: Δ_1 , Δ_2 , Δ_3 e Δ_0 .

Per incrementare la verosimiglianza della simulazione sono state associate con una certa alternanza tre diversi tipi di *texture* alla superficie stradale in modo da simulare:

- strada con pavimentazione nuova (*Figura 14a*);
- strada con pavimentazione invecchiata (*Figura 14b*);
- strada con pavimentazione fessurata (*Figura 14c*).

Inoltre, per simulare il passaggio da una tessitura all'altra, è stata inserita una sezione di sviluppo 0,5 m realizzata interamente in *cobblestone* (ciottoli) la cui funzione è quella di giuntare le due pavimentazioni con conseguente contraccollo al volante.

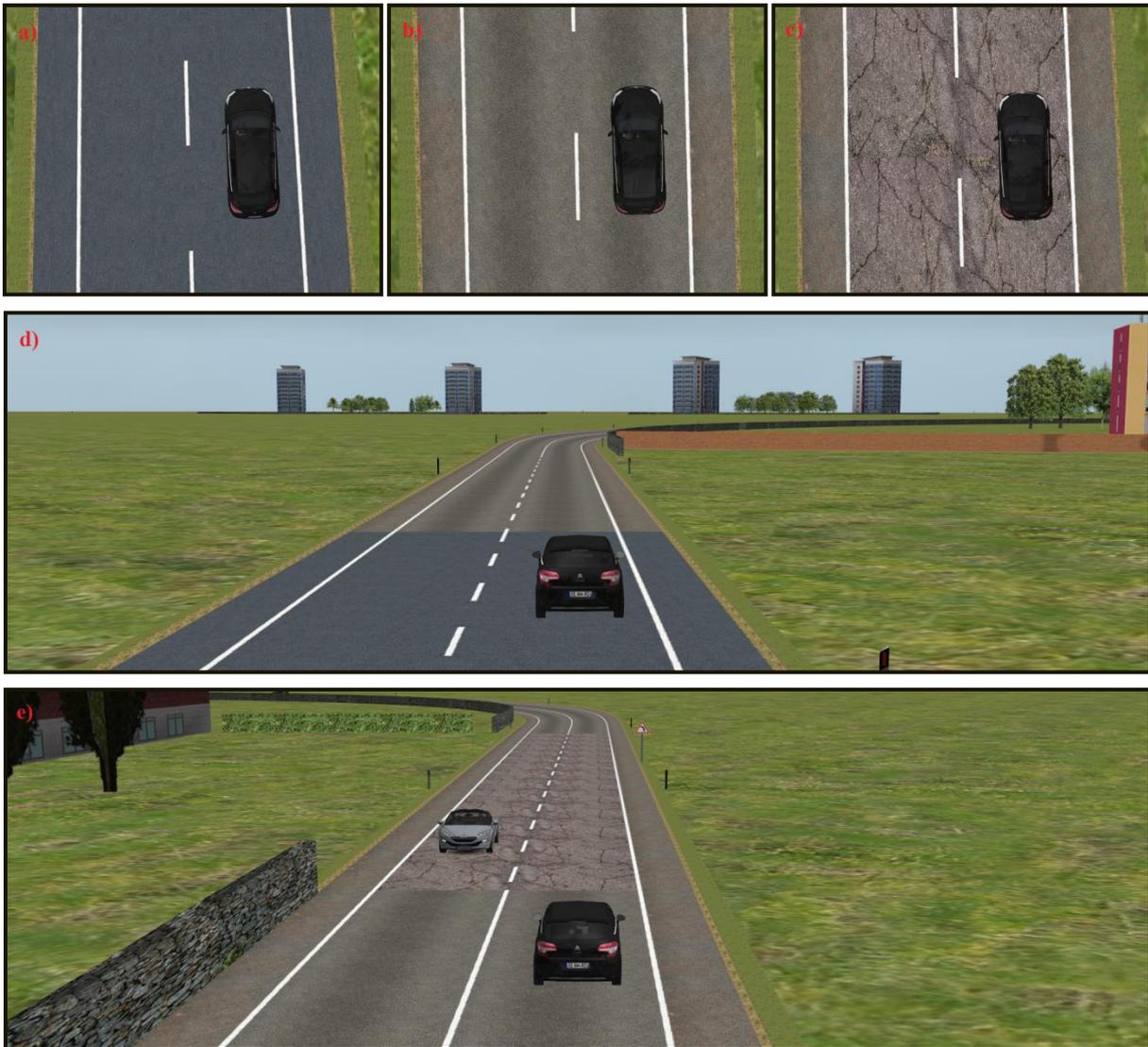


Figura 14. Tre tipi di texture utilizzate per simulare: a) strada con asfalto rifatto, b) manto più vecchio e c) manto deteriorato. In d) e in e) si mostra il passaggio da un tipo di texture all'altro.

c) Intersezioni e piazzole di sosta

Come accennato in precedenza, si vuole indurre i vari test driver a guidare con una maggior attenzione e partecipazione, al fine di accrescere il più possibile la verosimiglianza degli esperimenti. Per tale motivo sono state introdotte delle intersezioni a raso con strade secondarie: in particolare, nove nel tracciato A (e ANM) lungo i rettifili 0, 3, 5, 7, 8, 10, 12, 14 e 15 (vedi

Tabella 6 e Tabella 8), e sette nel tracciato B lungo i rettifili 1, 2, 3, 8, 12, 16 e 19 (vedi Tabella 7). Le strade secondarie sono servite, oltre ad aumentare la verosimiglianza, per facilitare la gestione del traffico sulla corsia di marcia del guidatore.

Il tracciato è stato ancora implementato con l'inserimento di piazzole di sosta su entrambi i sensi di marcia. Tali elementi sono atti, oltre alla sosta nella fase iniziale e finale della simulazione, al posizionamento di automobili o autobus che comunemente occupano la sede stradale. La realizzazione di tali elementi è stata effettuata variando semplicemente la sezione trasversale, ovvero aggiungendo una corsia di larghezza 4,5 m e restringendo la banchina a 0,5 m (Figura 15a). Ciascuna piazzola ha dimensioni non inferiori a quelle indicate in Figura 15b. In particolare, la zona centrale ha una estensione di 40 m o 50 m a seconda dello spazio disponibile, mentre le due zone di transizione hanno uno sviluppo di 20 m ciascuna. Dette piazzole, ubicate lungo i tratti di rettifilo maggiori, rispettano il D.M. 05/11/2001 per quanto concerne il loro dimensionamento, ma non per il loro posizionamento a causa dei ridotti sviluppi dei rettifili e dell'interferenza con le intersezioni.

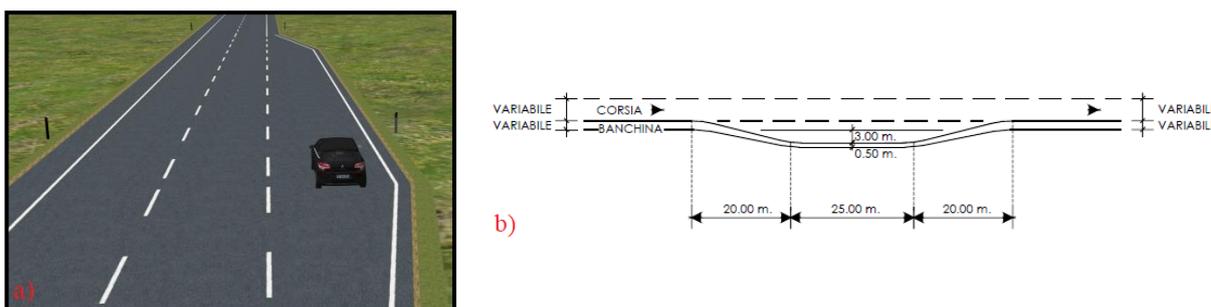


Figura 15. In a) una piazzola di sosta realizzata su SCANeRTM studio, mentre in b) sono riportate le dimensioni minime da rispettare per la realizzazione (D.M. 05/11/2001).

d) Edifici, oggetti e vegetazione

Il lavoro di tesi effettuato da Andrea Carle ha dimostrato che un flusso ottico eccessivo sui due schermi laterali comporta disturbi di vario genere al guidatore (nausea, capogiro, mal di testa, stanchezza visiva, ecc.). Per tale motivo, oggetti, vegetazione ed edifici sono stati disposti a sufficiente distanza dalla sede stradale in modo da ridurre al minimo la cosiddetta *simulator sickness*. Inoltre, avendo gli oggetti dimensioni apprezzabili, da circa 1MB fino anche a 6MB - 7MB, per evitare rallentamenti grafici (lag) durante la simulazione, a causa dei limiti della scheda grafica dedicata nella gestione di un database di dimensioni superiori a 230MB, la disposizione degli oggetti è concentrata principalmente lungo le curve circolari. In tali tratti infatti, un ambiente stradale privo di elementi circostanti, comporterebbe la visione dell'intera

ostruzione ottica (muro in pietrame) con la possibile valutazione, da parte del guidatore, del possibile sviluppo del raccordo e delle sue caratteristiche.

Per ovviare a ciò, oltre a coprire le ostruzioni visive posizionando gli oggetti all'interno di ogni curva circolare, si sono realizzati (vedi *punto b*) muri di cinta di vario tipo o siepi, di altezza pari al muro in pietrame che ne migliorano il mascheramento.

La combinazione delle due soluzioni ricrea alla vista del guidatore, zone industriali, residenziali e parchi, che rendono la simulazione più stimolante e, allo stesso tempo, si ottimizza il database dell'ambiente simulato.

In *Figura 16* è possibile apprezzare quanto detto finora: una curva priva di ostacoli permette ovviamente la visione del proprio sviluppo (*Figura 16a*) così come succede in una curva dotata di ostruzione visiva, nella quale la geometria viene percepita in modo semplice dal guidatore (*Figura 16b*). L'inserimento di oggetti nell'interno della curva ne maschera in parte le caratteristiche (*Figura 16c*), ma è grazie all'utilizzo di muri di cinta che si ottiene un mascheramento completo (*Figura 16d*). La *Figura 16e* mostra invece la zona residenziale ricreata con i due accorgimenti.

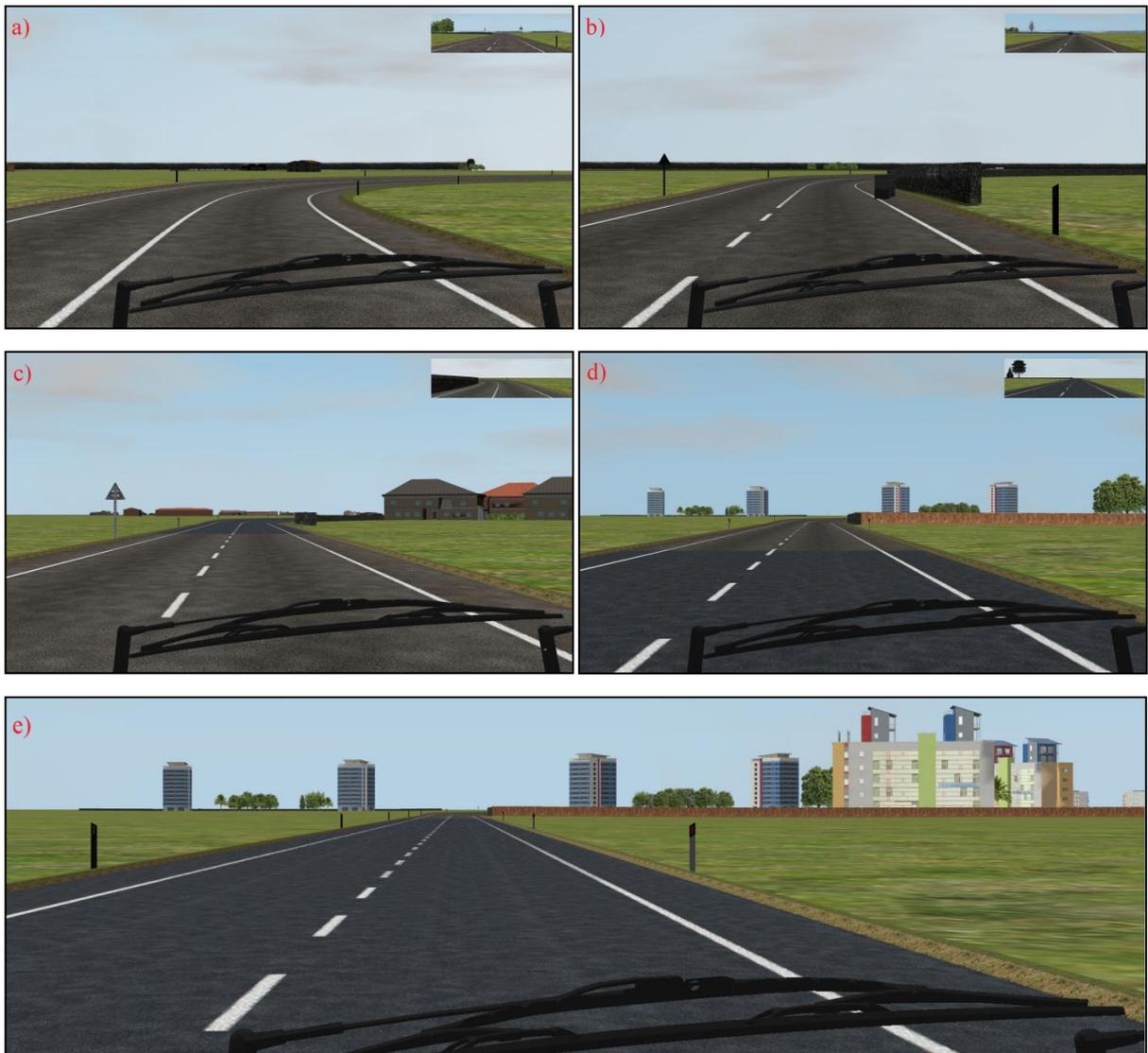


Figura 16. Benefici dovuto al mascheramento delle curve: percezione delle caratteristiche di una curva priva di ostruzione visiva a), e di un raccordo con muro a lato b). Copertura del raccordo per mezzo di oggetti c) e muri di cinta d). In basso la zona residenziale ricreata.

In corrispondenza di alcune curve, all'inizio del muro in pietra sono stati posizionati oggetti semplici (coni, container, ecc.) per mantenere alto il livello di attenzione, evitare monotonia e creare una sorta di condizionamento sui guidatori in modo che fossero consapevoli della possibilità di poter trovare ostacoli di vario genere nella percorrenza della curva, avvicinando così il livello di attenzione a quello che si ha usualmente alla guida reale (*Figura 17a* e *Figura 17b*).

e) Segnaletica verticale orizzontale e complementare

L'ultima operazione riguarda l'inserimento della segnaletica stradale. Per quanto concerne quella verticale, sono stati implementati soltanto il segnale di pericolo di curva stretta per segnalare le curve di raggio 120 m (*Figura 17a*), quello di pericolo per segnalare le intersezioni

a destra, a sinistra, o in entrambe le direzioni, e il segnale di stop nelle strade secondarie. Si precisa che si è deciso di non inserire i segnali del limite di velocità per non condizionare il guidatore.

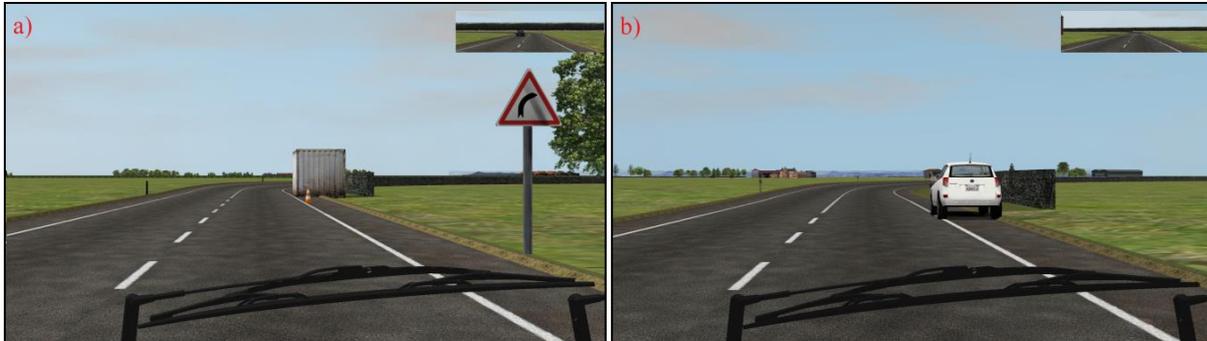


Figura 17. Esempi di ostacoli posizionati in prossimità di alcune curve: a) container b) veicolo in panne. Nella foto a sinistra si può notare inoltre il cartello di segnalazione di pericolo di curva pericolosa.

La segnaletica orizzontale è invece caratterizzata dai segnali di stop nelle strade secondarie, oltre che dalla segnaletica di mezzzeria, di separazione della banchina, e di margine, lungo tutto il tracciato (vedi punto b).

Per quanto riguarda la segnaletica complementare, invece, sono stati inseriti i delineatori di margine lungo tutto lo sviluppo dei tracciati. Il distanziamento previsto, regolato dall'art.43 del D.P.R. n. 495/1992 (Regolamento di esecuzione e di attuazione del nuovo codice della strada) in funzione del raggio planimetrico, avrebbe creato, sensazioni di fastidio e malessere a causa della ridotta spaziatura degli elementi. Per tale motivo, si è deciso di incrementare l'interasse dei delineatori, adottando un passo costante di 50 m in tutte le curve e 70 m lungo i rettili, così da conciliare le esigenze del codice con una corretta percezione al simulatore. Nelle curve, il valore dell'interasse è stato mantenuto costante per evitare un'ulteriore condizionamento del guidatore, ovvero fornire un'indicazione sulla distanza di visuale libera in funzione del numero di delineatori visibili.

Si precisa che nelle curve con raggio pari a 120 m, non sono stati utilizzati i delineatori modulari di curva, per evitare un eccessivo condizionamento sulla guida.

2.3.3 Riproduzione scenari

Lo scenario deve essere progettato con le caratteristiche tali da riprodurre delle condizioni di guida reali, al fine di accrescere il grado di coinvolgimento del guidatore. Oltre agli elementi che compongono l'ambiente stradale, è stato necessario introdurre un certo livello di traffico, su entrambe le corsie di marcia, che non pregiudicasse il comportamento del guidatore (flusso

libero e incondizionato). Tale operazione viene gestita nella modalità scenario, nel quale viene scelto inoltre il veicolo da utilizzare e le condizioni atmosferiche e di illuminazione.

Si è progettato dapprima il traffico in direzione opposta a quella di marcia, lungo la quale sono stati inseriti un certo numero di veicoli che, attivandosi in momenti ben precisi della simulazione, vengono incrociati dal guidatore nei soli rettifili. In tal modo, il traffico in direzione opposta non incide sulla distanza di visuale libera in curva, che resta solo funzione dei parametri R e Δ . Le caratteristiche di questi veicoli sono state opportunamente gestite in modo che in ogni prova si verificassero ovviamente le medesime condizioni.

Si è infine progettato un certo traffico veicolare nella direzione di marcia percorsa dai guidatori, in modo che essi, nel corso dell'esperimento, siano consci della presenza di altri utenti lungo la propria direzione di marcia. Anche questi veicoli sono stati inseriti in modo tale da non influenzare il comportamento adottato in curva, ed essere visibili all'utente nei soli rettifili, ad una distanza nettamente superiore alla distanza di visuale libera minima che si ha lungo le curve di raggio più elevato (condizione più gravosa). In *Figura 18* vengono mostrati alcuni esempi dei veicoli autonomi utilizzati per simulare il traffico.

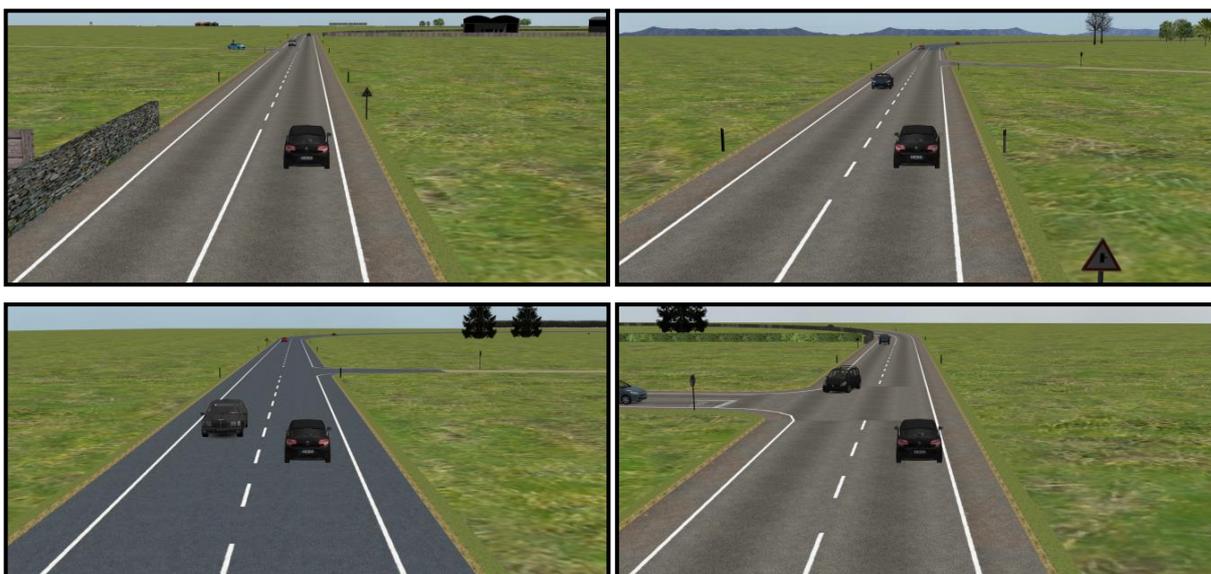


Figura 18. Esempi di traffico veicolare su entrambe le corsie di marcia, da notare in tutte e quattro le situazioni, che la distanza con il veicolo che precede è tale da non influire sulla distanza di visibilità in curva.

Va precisato inoltre che l'applicativo non consente di impostare al veicolo che precede la stessa velocità del guidatore o comunque di impostare una distanza fissa tra i due; pertanto si è deciso di assegnare ai veicoli che precedono una velocità sufficientemente alta in modo tale da garantire la condizione richiesta. I veicoli autonomi navigano nella rete creata e, grazie alle

intersezioni a raso, è possibile farli svoltare in strade secondarie per poi spostarli in altre parti del tracciato, una volta usciti dalla visuale del guidatore. In tal modo si incrementa il livello di traffico senza l'aggiunta di ulteriori veicoli, riducendo quindi le dimensioni del database.

Infine, si è scelto il veicolo da guidare (Citröen C4), le condizioni meteorologiche e di illuminazione. Quest'ultime sono impostate in modo da ottenere una simulazione di giorno, con cielo sereno, e ottima visibilità, coerentemente a quanto descritto al *paragrafo 2.2.1*.

2.4 Esperimento

2.4.1 Il campione di guidatori

Nella scelta del campione si sono conciliati più aspetti. Se da un lato non è stato semplice reperire volontari, dall'altro si è voluto cercare di formare un campione che rispecchiasse la popolazione di guidatori circolanti sulle nostre strade. Il campione è stato formato per fasce di età e genere con una numerosità quanto più possibile proporzionale a quella della popolazione reale.

Il campione dell'esperimento in esame è composto da 41 guidatori volontari, di cui 26 (**63%**) sono uomini e 15 (**37%**) sono donne. La loro età è compresa tra i 20 e i 60 anni con una media del campione pari a 34 anni, così suddivisa: 36 per gli uomini e 31 per le donne. Il valore medio della distanza percorsa in auto in un anno è pari a 10.325 km/anno; per i soli uomini, è pari a 13.462 km/anno, nettamente maggiore rispetto ai 4.500 km/anno per le donne (*Tabella 9*). Il numero medio di incidenti, rapportato al chilometraggio medio annuo degli uomini, è di **1,12** per questi ultimi e **1,35** per le donne.

Tabella 9. Caratteristiche del campione di guidatori.

Campione	Numero	Età	Anni patente	km annui percorsi in media	Numero incidenti
Uomini	26	36	17	12462	1.12
Donne	15	31	12	4500	0.47
Totale	41	34	15	10325	0.88

Nel dettaglio (*Tabella 10*), il campione è suddiviso nelle seguenti classi di età: **56%** tra i 20 e i 30 anni, il **17%** tra i 31 e i 40, il **12%** tra i 41 e i 50, mentre il restante **15%** è compreso tra i 51 e i 60 anni. Solo **5** guidatori hanno meno di 3 anni di esperienza di guida, **17** tra 3 e 10 anni, mentre **19** ne hanno invece più di 10. Inoltre, 17 guidatori (il **41%**) percorrono in media

meno di 5.000 km/anno, 16 (il **39%**) ne percorrono tra i 5.000 e i 15.000, 5 (il **12%**) tra i 15.000 e i 25.000, mentre i restanti 3 (il **7%**) percorrono più di 25.000 km/anno.

Per quanto riguarda l'esperienza al simulatore di guida invece si ha che il 54% del campione è costituito da persone che in passato si sono già sottoposte ad esperimenti, mentre il restante 46% da individui alla prima esperienza. Questi ultimi sono stati sottoposti due giorni prima della data fissata per l'esperimento di guida ad una sessione di prova della durata di circa venti minuti in modo da prendere padronanza con la strumentazione in vista dell'esperimento vero e proprio. Quando invece non è risultato possibile, la sessione è stata programmata un'ora prima dell'esperimento. All'inizio di ogni sessione di prova è stato somministrato un modulo informativo sullo scopo della ricerca, un questionario di tipo demografico, e il modello di informativa sulla privacy (ai sensi del D. Lgs. n. 196/2003 "Codice in materia di protezione dei dati personali") per il trattamento dei dati personali (*Appendice A*).

Tabella 10. Suddivisione del campione in classi di età, distanza media percorsa in un anno e numero di incidenti

km annui percorsi	n. incidenti	Età				Totali
		20-30	31-40	41-50	51-60	
> 25000 km			1		2	3
	0		1			1
	1				1	1
	2					0
	>2				1	1
15000 - 25000 km			2	1	2	5
	0		1		1	2
	1					0
	2		1		1	2
	>2			1		1
5000 - 15000 km		11	2	2	1	16
	0	4	2	1	1	8
	1	4				4
	2	2				2
	>2	1		1		2
< 5000 km		12	2	2	1	17
	0	6	1	1	1	9
	1	6	1	1		8
	2					0
	>2					0
Totali		23	7	5	6	41

2.4.2 Procedura

L'indagine è stata svolta completamente all'interno del Laboratorio di Sicurezza Stradale e Simulazione di Guida del Politecnico di Torino secondo la seguente procedura, identica per ciascun guidatore:

1. somministrazione dell'informativa sulla privacy e del questionario pre-simulazione;

2. test cognitivi pre-guida: visivo e uditivo (15 ripetizioni);
3. installazione sensore temperatura;
4. installazione sensore sudorazione;
5. misurazione pre-guida dei battiti cardiaci con sensore cardio (1 min.);
6. istruzioni ai guidatori: mantenere un comportamento di guida quanto più simile alla realtà, precedenza ad ogni incrocio e mantenimento del medesimo percorso;
7. avvio *Arduino* monitor seriale;
8. avvio registrazione dati biometrici tramite *CoolTerm* e sincronizzazione orologi;
9. controllo delle letture dei parametri da *Arduino*;
10. avvio simulazione e inizio registrazione dati tramite *SCANeRTM studio*;
11. inizio guida;
12. fine guida;
13. interruzione registrazione dei dati biometrici tramite *CoolTerm*;
14. interruzione simulazione e fine registrazione dati tramite *SCANeRTM studio*;
15. misurazione post-guida dei battiti cardiaci con sensore cardio (1 min.);
16. ripetizione della procedura per la seconda guida (da 5 a 15);
17. rimozione sensore temperatura e sudorazione;
18. test cognitivi post-guida: visivo e uditivo (15 ripetizioni);
19. questionario post-simulazione.

L'esperimento per il singolo test driver ha una durata di circa 45 minuti e ha avuto inizio con la somministrazione del **questionario pre-simulazione**, il quale, identifica lo stato psicofisico del soggetto al momento del test. Successivamente sono stati condotti un paio di **test cognitivi** (<http://cognitivefun.net/>) in modo da valutare il tempo di reazione del soggetto a stimoli sia visivi che uditivi.

Il **test visivo** si compone di due parti: una prima fase di attesa nella quale è suggerita l'area in cui mantenere il puntatore del mouse, e una fase di risposta dove la grafica di attesa è sostituita da un pallino verde. Non appena è proiettata a schermo il cerchio verde, il soggetto deve premere nel più breve tempo possibile il pulsante del mouse o la barra spaziatrice: il test fornisce il tempo intercorso tra la proiezione del pallino verde e l'istante nel quale si reagisce allo stimolo.

Il principio di funzionamento del **test uditivo** è il medesimo, cambia però il tipo di stimolo; in questo caso infatti, dopo il tempo di attesa, viene emesso un suono al quale il soggetto deve rispondere con il tasto sinistro del mouse o la barra spaziatrice. I test, sia visivo che uditivo,

sono ripetuti quindici volte, in modo da raccogliere una quantità sufficiente di dati al fine di stimare un tempo di reazione medio ragionevole.

Il soggetto pronto per affrontare la sessione di guida è stato fatto sedere al simulatore. Per tutti i guidatori è stata prevista una breve guida di prova di circa cinque minuti in cui è stato possibile prendere confidenza con la strumentazione.

Ciascun partecipante ha guidato due scenari della durata di circa 10 minuti ciascuno, intervallati da una pausa di 5 minuti in modo da far affrontare ciascun tracciato con condizioni psicofisiche simili. Gli scenari guidabili sono:

- scenario AD;
- scenario AI;
- scenario BD;
- scenario BI;
- scenario ADN;
- scenario AINM.

Essi sono stati ottenuti rispettivamente dai tracciati A, B e ANM; gli scenari denominati “D” e “P” si distinguono per il verso di percorrenza, rispettivamente antiorario e orario.

Per scegliere quali scenari tra i sei disponibili deve guidare ciascun soggetto, è stata costruita una matrice di combinazione (9x2) che esprime tutte le combinazioni possibili. Tale matrice è stata ampliata ulteriormente riproponendo, per i successivi guidatori, la medesima matrice ma a colonne invertite. Lo schema è stato poi riproposto dal diciannovesimo guidatore in poi.

La matrice così progettata porta ad avere una distribuzione bilanciata della somministrazione degli scenari, oltre a un bilanciamento dei possibili errori che potrebbero influenzare i dati raccolti nel caso in cui uno scenario sia sempre proposto per primo ed un altro sempre per secondo in quanto, tra una guida e l'altra, il comportamento del generico guidatore potrebbe cambiare (ad esempio, a causa di adattamento alla guida, noia, ...).

In *Tabella 11* è rappresentata la matrice di combinazione (prime due colonne) che esprime l'ordine degli scenari guidati dai test-driver, i quali sono riportati in una terza colonna che affianca la matrice. Si precisa che la casualità in questo processo è dovuta all'ordine in cui sono stati assegnati gli scenari agli individui, poiché essi sono stati inseriti nella matrice non appena comunicata la disponibilità a partecipare all'esperimento di guida.

A ciascun guidatore sono state fornite le istruzioni sulle esperienze di guida che affronteranno: precedenza ad ogni incrocio, mantenimento di un comportamento quanto più possibile simile alla realtà e mantenimento del medesimo percorso.

All'inizio e al termine di ciascuna guida sono stati misurati (e registrati), attraverso un sensore biometrico, i battiti cardiaci per un tempo pari ad un minuto. Si è deciso di non monitorare i battiti in continuo durante la guida in quanto, dato l'ingombro del sensore, la guida risultava poco confortevole, con controllo del volante alquanto difficoltosa.

Tabella 11. Matrice di combinazione per l'assegnazione dei tracciati a ciascun test driver.

Matrice di combinazione		Test driver
Scenario 1	Scenario 2	
Scenario AD	Scenario AINM	TD 1 - TD 19 - TD 37
Scenario BD	Scenario ADNM	TD 2 - TD 20 - TD 38
Scenario AI	Scenario BI	TD 3 - TD 21 - TD 39
Scenario AINM	Scenario BD	TD 4 - TD 22 - TD 40
Scenario BI	Scenario AD	TD 5 - TD 23 - TD 41
Scenario ADNM	Scenario AI	TD 6 - TD 24
Scenario BD	Scenario AD	TD 7 - TD 25
Scenario AI	Scenario ADNM	TD 8 - TD 26
Scenario AINM	Scenario BI	TD 9 - TD 27
Scenario AINM	Scenario AD	TD 10 - TD 28
Scenario ADNM	Scenario BD	TD 11 - TD 29
Scenario BI	Scenario AI	TD 12 - TD 30
Scenario BD	Scenario AINM	TD 13 - TD 31
Scenario AD	Scenario BI	TD 14 - TD 32
Scenario AI	Scenario ADNM	TD 15 - TD 33
Scenario AD	Scenario BD	TD 16 - TD 34
Scenario ADNM	Scenario AI	TD 17 - TD 35
Scenario BI	Scenario AINM	TD 18 - TD 36

Durante le guide sono state misurate la temperatura corporea e la conduttanza della pelle. I sensori sono stati posizionati sulla mano sinistra in quanto, durante la guida, essa è stabilmente fissa sul volante mentre la destra è utilizzata per azionare il cambio. Il posizionamento su quest'ultima avrebbe comportato intralcio alla guida o addirittura lo scollegamento dei sensori stessi con conseguente perdita di dati. In particolare, il sensore di temperatura è stato posizionato in corrispondenza del polso del braccio sinistro, al confine con il palmo della mano. Il sensore di conduttanza, invece, è stato posizionato su due dita (medio e anulare).

Durante la guida inoltre, il software di gestione del simulatore permette la registrazione in continuo di una quantità notevole di parametri di tipo dinamico, cinematico e meccanico (relativi al veicolo).

Terminata la sessione di guida sono stati riproposti i test cognitivi con la medesima procedura dei test pre-guida. In questo modo sono stati confrontati con i valori precedentemente raccolti, in modo da valutare differenze di prestazione a seguito della sessione di guida.

Infine, a ciascun soggetto è stato somministrato un **questionario post-simulazione** diviso principalmente in tre parti:

- domande a risposta multipla per la valutazione dello stato di malessere del guidatore;
- domande per la valutazione della corretta progettazione degli scenari volta ad innescare le giuste percezioni sul test-driver. Tali domande sono strutturate in modo da capire se una situazione più di un'altra, od una grandezza più di un'altra possa condizionare il comportamento del guidatore; od ancora se la mancata od errata percezione del messaggio comunicato dalla curva sia in grado di portare alla perdita di controllo del veicolo;
- domande riguardanti l'interazione con i dispositivi audio-visivi e meccanici del simulatore di guida, quali ad esempio la veridicità di effetti sonori e visivi, la risposta del volante e del cambio, la percezione dell'acceleratore e del freno, o la capacità di riproduzione del campo visivi.

2.4.3 Studio pilota

Definita la procedura da utilizzare durante la sperimentazione, si è deciso di effettuare, prima dell'indagine sperimentale, uno studio pilota. Quest'ultimo ha avuto lo scopo di verificare se la procedura impostata fosse adeguata in termini di durata complessiva, svolgimento, e registrazione di dati biometrici e del simulatore. In particolare, in tale fase si è valutata la corretta posizione dei sensori biometrici. Si è potuto anche prendere confidenza con i dati registrati dal simulatore scegliendo quali variabili prendere in considerazione. Infine, attraverso un'analisi preliminare di tali dati, è stato possibile farsi un'idea sul loro trattamento. In particolare, ci si è focalizzati principalmente su due aspetti: lo spostamento trasversale del veicolo rispetto l'asse della corsia, il cosiddetto *Lane Gap*, e la geometria della traiettoria le cui grandezze impiegate per descriverle sono l'*Heading Angle*, la curvatura e il suo tasso di variazione.

Lo studio pilota ha previsto la partecipazione di nove guidatori che non hanno partecipato alla successiva fase di sperimentazione.

3 RISULTATI

Il capitolo raccoglie i risultati della sperimentazione, i dati ricavati da questionario, i dati biometrici acquisiti per mezzo di una piattaforma Arduino, e quelli registrati dal simulatore di guida.

I dati biometrici e quelli derivanti dai questionari, essendo già trattati in modo esaustivo da Salussolia A. (2017), saranno solo riportati nel presente capitolo assieme una breve descrizione, e non saranno trattati nella successiva analisi dati.

Al contrario, i dati registrati dal simulatore sono il vero oggetto dello studio, e saranno analizzati in dettaglio nel capitolo seguente. In particolare, tratteremo dati di:

- *lane gap* (L.G.), ovvero la distanza trasversale tra l'asse della corsia di marcia e il baricentro del veicolo guidato durante la simulazione (*Figura 19*);
- *heading angle* (*o orientamento*) che rappresenta l'angolo tra la direzione del veicolo e l'asse delle ascisse del sistema di riferimento (di tipo assoluto) adottato dal software;
- *curvatura delle traiettorie*.

Si deve sottolineare che i dati registrati dal simulatore non possono essere utilizzati in modo grezzo, ma necessitano come vedremo nel seguito, di un apposito algoritmo di trasformazione che li esplicita nel dominio spaziale e non in quello temporale.



Figura 19. Rappresentazione della grandezza Lane Gap (L.G.): in prospettiva a sinistra e visto dall'alto a destra.

3.1 Dati questionari

Si riportano nel seguito i dati anagrafici del campione di guidatori, i test cognitivi pre- e post-guida, le loro valutazioni sulla simulazione, e infine i disagi di post simulazione.

3.1.1 Dati anagrafici del campione di guida

In *Tabella 12* sono riportate le informazioni personali dei 41 test driver che hanno preso parte all'esperimento. Al capitolo precedente si è già discusso in maniera esaustiva del campione di guidatori, ma nulla si è detto di quali siano le informazioni che utilizzeremo nella successiva analisi (*capitolo 4*). In particolare, si è deciso di fare riferimento ai soli dati anagrafici (età e sesso), in quanto gli anni di patente (esperienza di guida) sembrano essere strettamente correlati all'età anagrafica, avendo tutti i test driver, conseguito la patente entro pochi anni dal compimento del diciottesimo. Anche il chilometraggio annuo medio risulta correlato all'età anagrafica: quasi tutti i test driver sotto i 30 anni infatti, percorrono mediamente non più di $10.000 \frac{Km}{anno}$, mentre praticamente tutti i restanti, ne percorrono dai 10.000 ai 40.000.

Tabella 12. Caratteristiche dei guidatori partecipanti all'esperimento.

TD	Sesso	Anno di nascita	Età	Anno conseg. patente	Età patente	km annui percorsi [media]	Numero incidenti
1	F	1988	28	2006	10	10.000	1
2	F	1986	30	2005	11	2.000	0
3	F	1989	27	2007	9	5.000	1
4	M	1989	27	2008	8	8.000	2
5	M	1990	26	2008	8	3.000	1
6	F	1968	48	1986	30	10.000	0
7	M	1956	60	1974	42	35.000	6
8	M	1961	55	1980	36	20.000	2
9	F	1984	32	2002	14	3.000	0
10	M	1989	27	2007	9	10.000	0
11	M	1974	42	1992	24	5.000	0
12	M	1961	55	1980	36	20.000	0
13	M	1989	27	2007	9	6.000	2
14	F	1990	26	2008	8	2.000	1
15	F	1972	44	1991	25	-	1
16	M	1976	40	1995	21	20.000	0
17	F	1962	54	1982	34	2.000	0
18	M	1982	34	2000	16	2.000	1
19	M	1990	26	2009	7	5.000	0
20	M	1989	27	2008	8	10.000	1
21	M	1989	27	2008	8	10.000	3
22	M	1982	34	2000	16	10.000	0
23	M	1990	26	2008	8	6.000	0
24	M	1969	47	1988	28	20.000	3
25	M	1963	53	1982	34	40.000	1
26	M	1992	24	2011	5	2.000	1
27	F	1990	26	2009	7	3.000	0
28	M	1989	27	2007	9	15.000	1
29	M	1996	20	2016	0	8.000	0
30	F	1994	22	2013	3	1.000	0
31	M	1989	27	2008	8	10.000	0
32	F	1994	22	2013	3	10.000	1
33	F	1994	22	2013	3	5.000	1
34	F	1989	27	2008	8	2.000	0
35	F	1986	30	2007	9	5.000	1
36	M	1967	49	1985	31	10.000	3
37	F	1995	21	2014	2	3.000	0
38	M	1982	34	2000	16	30.000	0
39	M	1979	37	1998	18	15.000	0
40	M	1963	53	1993	23	10.000	0
41	M	1976	40	1995	21	20.000	2

Individui alla prima esperienza al simulatore di guida

Il campione (*Figura 20*) è composto da 15 donne e 26 uomini, 23 hanno tra i 20 e i 30 anni (più del 50 %), 7 tra i 31 e i 40, 5 tra i 41 e i 50 e 6 tra i 51 e 60 anni. Avendo il 56% dei guidatori al massimo 30 anni, ed essendo 63% il numero dei test driver di sesso maschile, si prevede uno studio più affidabile per la classe dei “giovani” e per i driver di sesso maschile.

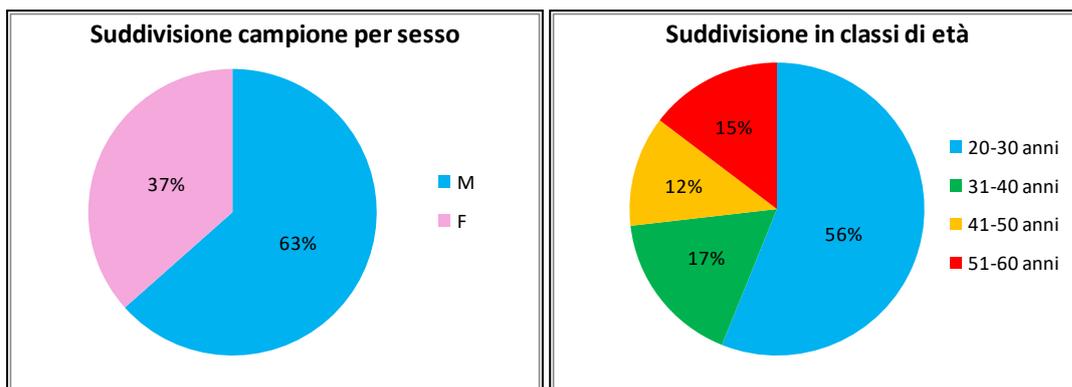


Figura 20. Suddivisione del campione per sesso (a sinistra) e in classi di età (a destra).

3.1.2 Test cognitivi

In *Tabella 13* sono riportati, per ciascun guidatore, gli esiti dei test cognitivi (visivo ed uditivo) effettuati prima e dopo le prove di guida. I dati raccolti evidenziano che i valori del test uditivo sono di gran lunga minori di quelli relativi al test visivo, inoltre focalizzandosi sul comportamento del campione in generale, si può affermare che non vi siano differenze significative tra i parametri registrati prima e dopo le guide. Comportamento analogo sia per i guidatori che hanno già partecipato ad un esperimento simile, che per quelli cui i test sono novità.

Tabella 13. Risultati test cognitivi per ciascun test driver.

ID	PRE-GUIDA		POST-GUIDA	
	Test Visivo	Test uditivo	Test Visivo	Test uditivo
	[ms]	[ms]	[ms]	[ms]
1	297	166	244	147
2	284	169	291	194
3	303	194	301	172
4	260	176	266	196
5	326	187	287	176
6	411	191	390	406
7	296	165	278	154
8	291	170	278	136
9	305	206	299	181
10	264	168	264	170
11	308	138	280	144
12	302	135	296	170
13	322	227	275	261
14	342	191	350	197
15	272	130	268	135
16	337	174	308	181
17	339	262	347	231
18	330	181	290	173
19	284	188	281	220
20	304	183	303	176
21	290	177	322	198
22	297	190	298	182
23	304	198	311	228
24	302	199	322	201
25	287	168	247	162
26	241	146	266	157
27	263	176	301	154
28	296	182	294	217
29	369	255	295	187
30	287	171	260	165
31	307	195	290	180
32	271	171	284	162
33	289	190	281	193
34	268	168	294	166
35	340	257	391	286
36	332	254	333	174
37	228	156	273	141
38	301	194	298	224
39	254	158	259	188
40	270	174	231	156
41	249	137	259	159
Media	298	183	293	188

Individui alla prima esperienza al simulatore di guida

3.1.3 Sintomi post guida

In *Figura 21* viene riportato un grafico che elenca i sintomi di post simulazione e indica per ciascuno quanti guidatori hanno avvertito tale sintomo. Dal grafico sembrerebbe che il flusso

ottico generato dalle simulazioni sia stato tale da causare pochi, o addirittura nulli, disagi, i quali se presenti, di intensità per lo più lieve.

I disturbi più frequentemente segnalati sono generale disagio, mal di testa, stanchezza visiva, intontimento e capogiro ad occhi chiusi. Tali disagi vengono riscontrati moderatamente da non più di 3 persone su 41. Non si riscontrano invece disagi di intensità elevata.

Si può affermare che i tracciati e gli scenari progettati non causino particolari disagi, se non in raro caso, e in maniera comunque moderata. Database permettendo quindi, qualora si voglia aumentare il livello di dettaglio, o si è obbligati, si può incrementare il flusso ottico laterale, riscontrando comunque feedback positivi sulla *simulator sickness*.

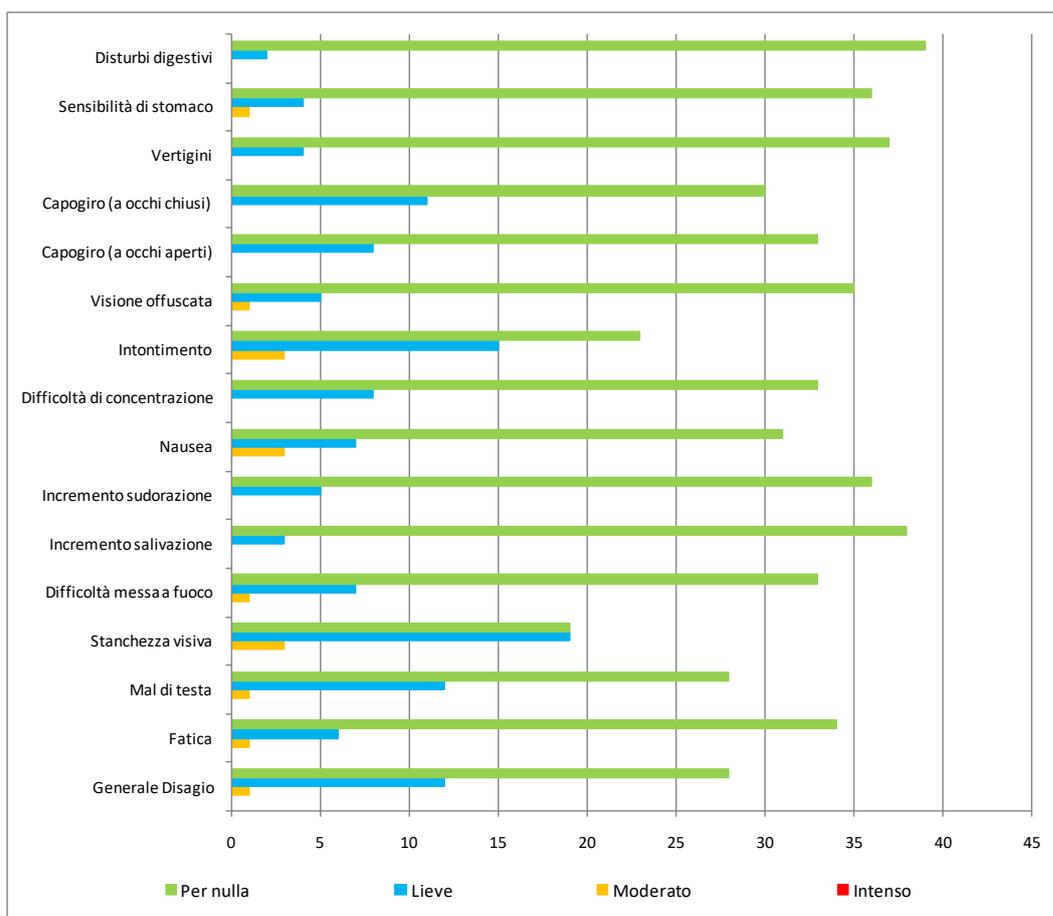


Figura 21. Sintomi manifestati dal campione di guidatori.

3.1.4 Valutazioni e impressioni sulla simulazione

Le tre domande presenti nella seconda parte del questionario hanno avuto lo scopo di catturare le impressioni del guidatore relativamente al condizionamento sperimentato. Si è voluto, tramite esse, cercare di capire quale fosse la percezione della DVL da parte del guidatore e se fosse consapevole della sua influenza sul proprio comportamento.

In *Figura 22* è riportato l'esito della seconda parte del questionario. Più dell'80% dei guidatori ha espresso che il loro comportamento di guida è stato influenzato dalla distanza di visuale libera.

In particolare, tale distanza è influenzata principalmente dalla presenza di ostacoli in banchina (per il 68% dei 34 guidatori), dal raggio delle curve (62%) e dalla presenza del muro a lato (53%). Le curve destrorse inoltre influenzerebbero maggiormente la DVL rispetto quelle sinistrorse. Lo sviluppo delle curve invece, influirebbe solo per secondo il 18% dei guidatori.

Infine, 3 guidatori hanno dichiarato che la distanza di visuale libera fosse influenzata dai veicoli che li precedevano e altri 3 dai veicoli sulle altre corsie.

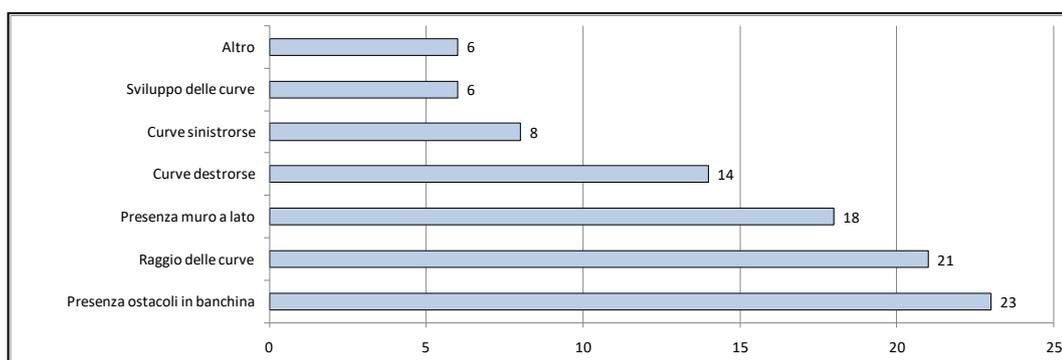


Figura 22. Fattori che per i guidatori hanno influenzato il loro comportamento di guida.

3.2 Dati biometrici

Il comportamento che in generale ci si attende è che l'impegno del sottoporsi alla simulazione generi una diminuzione dell'afflusso di sangue nelle aree periferiche del corpo, che si riflette in un abbassamento della temperatura, e ad un aumento della sudorazione.

Ciascun guidatore durante la sperimentazione ha affrontato due scenari distinti, i dati biometrici sono quindi raccolti in due differenti tabelle per separare le prime guide dalle seconde, affrontate con la "fatica" dello scenario precedente.

Da quanto emerge dai dati biometrici in *Tabella 14* e *Tabella 15*, sembrerebbe che la temperatura non mostri variazioni significative durante la simulazione. In particolare, focalizzandosi sullo scenario guidato per primo, i guidatori evidenziano una lieve diminuzione della temperatura ed altri un lieve aumento, ma solo in due casi si ha un incremento di poco superiore al grado, ed in altri due casi una diminuzione della stessa entità. Dai dati riferiti alla seconda guida si nota invece, che nessun individuo manifesta un aumento importante della temperatura, che si assesta nella quasi totalità dei casi su valori pressoché costanti, salvo in sei individui per i quali si ha una diminuzione di poco superiore ad un grado.

Per quanto riguarda la conduttanza cutanea, durante la guida del primo scenario si registra un andamento costante o un leggero aumento che risulta significativo per dodici partecipanti. Nel corso della seconda guida invece non si evincono variazioni significative della conduttanza cutanea che si assesta in generale su valori costanti.

I dati sui battiti cardiaci delle guide del primo scenario evidenziano un innalzamento dei battiti in soli cinque individui mentre per quattordici, una diminuzione abbastanza significativa degli stessi. Per i ventidue guidatori rimanenti i battiti non subiscono variazioni dal pre al post guida. Nella guida del secondo scenario invece si registra un aumento dei battiti in un solo guidatore, una diminuzione degli stessi per undici, e una variazione non significativa per i restanti 29 guidatori.

Il campione, osservato nel suo complesso, evidenzia nel corso della prima guida una variazione minima della temperatura (-0.73°), una variazione positiva significativa della conduttanza cutanea (+4.25 S) ed una diminuzione dei battiti poco rilevante (-3 bpm). Nella guida del secondo scenario si ha una variazione media negativa non significativa della temperatura (-0.46°), una variazione positiva della conduttanza cutanea (+0.63 S) e i battiti mostrano una diminuzione in linea con la prima guida (-3 bpm).

Tabella 14. Dati biometrici per ciascun test driver relativi alla prima guida.

GUIDA 1								
TD	Temperatura [°]			Conduttanza cutanea [S]			Battiti cardiaci / min.	
	Iniziale	Media	Finale	Iniziale	Media	Finale	Pre-guida	Post-guida
1	33.06	32.38	31.81	8.76	16.71	19.93	92	108
2	31.78	31.57	31.66	8.00	11.17	13.29	69	70
3	31.91	31.96	32.10	7.94	14.64	18.15	88	80
4	33.19	33.05	33.16	7.03	9.00	11.73	70	64
5	31.72	32.68	32.96	15.02	20.49	21.96	81	85
6	32.99	32.59	32.70	11.15	10.56	10.55	100	88
7	33.38	32.98	32.77	3.72	6.38	7.67	89	86
8	32.58	32.57	32.48	5.01	8.95	15.42	88	87
9	33.74	33.74	33.74	2.94	4.03	5.25	77	72
10	32.00	32.39	32.77	6.54	9.86	12.10	66	66
11	32.90	32.54	32.54	3.52	4.41	5.16	76	74
12	30.66	30.92	31.31	9.09	10.13	11.45	71	69
13	32.23	32.41	32.51	3.23	3.79	5.15	72	88
14	32.00	32.37	32.23	3.99	5.87	6.73	76	73
15	32.13	32.66	32.96	2.09	3.79	5.10	70	62
16	30.54	30.73	30.78	3.99	4.64	5.02	51	47
17	32.64	32.63	32.32	3.64	5.59	6.68	77	73
18	31.88	32.07	31.85	2.83	3.48	4.13	74	88
19	31.94	31.80	31.72	6.76	8.30	8.65	69	66
20	34.34	34.03	3.14	13.34	18.03	35.98	70	58
21	31.09	30.86	30.66	4.49	5.06	5.49	66	58
22	32.51	33.22	33.61	9.00	12.78	14.61	90	89
23	33.16	32.94	32.70	-	-	-	83	96
24	33.68	33.70	33.64	9.68	14.59	15.78	64	65
25	34.70	34.87	35.01	3.79	6.35	6.51	77	76
26	32.70	33.05	33.32	6.79	8.95	11.46	135	115
27	32.23	32.29	32.29	5.41	5.87	8.12	76	64
28	34.01	34.11	33.74	9.17	13.08	14.66	76	75
29	31.85	31.95	32.00	9.48	10.10	11.31	59	20
30	29.28	29.17	29.05	8.66	8.47	10.39	85	87
31	33.12	32.80	32.48	18.11	20.08	22.77	59	56
32	30.57	30.68	30.66	9.54	10.84	12.05	76	71
33	32.77	32.10	31.72	7.89	10.14	11.77	79	69
34	33.74	34.07	34.04	14.73	13.30	17.36	82	71
35	32.26	32.23	32.13	8.36	7.72	9.39	86	76
36	30.05	29.87	29.81	6.31	8.76	8.53	74	77
37	35.66	35.52	35.63	6.14	7.52	8.87	71	79
38	31.37	31.76	31.94	4.17	4.65	5.00	79	80
39	36.10	36.31	36.52	1.96	3.23	4.45	80	76
40	37.62	37.69	37.74	2.90	4.82	8.71	101	94
41	35.16	35.17	35.01	1.83	7.14	9.83	51	48
Media	32.71	32.74	31.98	6.93	9.08	11.18	77	74
Dev. Std.	1.63	1.63	4.90	3.84	4.56	6.33	14	17

Individui alla prima esperienza al simulatore

Tabella 15. Dati biometrici per ciascun test driver relativi alla seconda guida.

GUIDA 2								
TD	Temperatura [°]			Conduttanza cutanea [S]			Battiti cardiaci / min.	
	Iniziale	Media	Finale	Iniziale	Media	Finale	Pre-guida	Post-guida
1	33.58	32.21	31.78	21.21	20.11	19.27	98	102
2	32.77	32.36	32.38	13.79	14.38	14.70	75	72
3	32.58	32.00	32.03	21.30	20.17	23.24	74	77
4	33.48	33.24	33.38	13.20	12.25	16.08	61	61
5	34.44	34.07	34.24	22.87	23.25	23.36	92	79
6	34.07	33.12	32.77	15.67	14.58	15.49	78	82
7	33.12	32.85	32.77	7.29	7.48	7.54	94	89
8	33.71	33.19	33.06	10.82	10.75	13.66	88	89
9	35.01	34.29	34.27	6.66	5.21	5.01	75	67
10	34.57	33.99	33.84	14.18	12.61	13.76	78	66
11	33.97	33.50	33.45	6.84	5.63	5.95	76	76
12	32.07	31.95	32.03	12.05	11.78	15.47	71	72
13	33.32	33.29	33.45	6.95	6.02	6.71	73	74
14	33.12	32.31	31.97	7.03	7.51	8.49	72	66
15	34.04	33.64	33.64	7.72	6.93	6.93	67	61
16	31.69	31.23	31.09	6.13	5.86	5.97	47	47
17	32.38	32.58	32.74	7.40	8.20	9.74	73	74
18	33.61	33.59	33.68	6.39	5.15	5.52	79	73
19	32.83	32.61	32.42	10.63	10.17	9.47	66	66
20	35.15	34.71	34.64	27.06	24.91	30.32	72	72
21	30.91	30.89	31.00	7.91	7.76	7.47	58	59
22	34.54	34.51	34.54	17.91	16.91	18.36	82	81
23	34.04	33.67	33.35	2.75	2.94	3.91	83	82
24	34.14	34.10	34.04	19.54	18.92	17.87	62	55
25	35.46	35.38	35.18	8.90	8.65	8.95	67	80
26	34.17	33.99	34.17	15.38	14.45	16.44	120	102
27	32.54	32.52	32.64	10.67	8.83	11.23	75	70
28	33.58	33.42	33.29	15.77	16.48	18.13	88	71
29	32.87	32.79	32.64	16.75	17.47	17.47	60	6
30	30.20	29.85	29.54	13.49	12.34	13.61	87	91
31	33.78	33.19	32.80	24.91	21.74	22.60	56	56
32	30.51	30.58	30.54	14.42	13.47	14.08	78	79
33	32.77	32.06	31.66	13.79	14.47	16.20	72	77
34	35.15	34.81	34.80	18.36	15.85	18.20	72	75
35	32.64	31.77	31.66	13.31	11.39	13.68	75	73
36	30.47	30.12	29.87	10.61	9.93	9.33	77	76
37	36.04	35.63	35.66	9.47	9.81	11.53	81	75
38	32.58	32.43	32.26	5.73	5.86	6.30	80	82
39	37.16	37.11	37.19	4.58	4.40	5.02	86	82
40	38.93	38.08	37.90	7.43	8.90	11.45	91	94
41	36.34	35.53	35.31	7.08	9.95	11.35	57	56
Media	33.62	33.25	33.16	12.29	11.79	12.92	76	73
Dev. Std.	1.74	1.69	1.73	5.90	5.51	6.02	13	16
	Individui alla prima esperienza al simulatore							

3.3 Dati registrati dal simulatore di guida

I dati generati durante la simulazione vengono gestiti nella modalità analisi, ovvero l'ultimo applicativo di *SCANeRTM studio*. Tutti i dati registrati dal software sono però forniti in funzione del tempo t , poco pratici da gestire (ogni guidatore impiega un determinato tempo t per percorrere un determinato tracciato), e poco utili dal punto di vista delle informazioni relative al tracciato. Per ovviare a tale problema, è stato necessario creare un apposito algoritmo in grado di convertire, per ogni guidatore, il dominio temporale in quello spaziale.

In tal modo, avendo a disposizione i dati di traiettoria, lane gap e distanza progressiva relativi alla stessa serie temporale, sarebbe immediato definire la traiettoria o il *lane gap* in funzione della distanza progressiva. Tale operazione ha avuto un risultato buono ma non accettabile, il software infatti, registra in modo continuo l'ascissa percorsa in funzione del tempo, ma quando vi è un cambio di pavimentazione o di un elemento geometrico (o più in generale quando cambia la tipologia di sezione trasversale) l'andamento della distanza progressiva riparte da zero.

È stato possibile ovviare a tale problema in quanto il simulatore genera oltre ad una innumerevole quantità di altri dati, le seguenti variabili:

- *Road Id*, ovvero il numero identificativo di un elemento del tracciato la cui sezione non varia, esso può coincidere con un rettilineo, una curva di transizione, una curva circolare o con tratti di essi;
- *Road abscissa*, la progressiva d'asse relativa all'elemento identificato da un determinato *Road Id*, ogni elemento ha quindi una sua progressiva che va da 0 alla lunghezza dell'elemento stesso;
- *Intersection Id*, il numero identificativo di un'intersezione, in particolare esso vale -1 laddove questa viene meno e assume valori positivi e univoci nei punti in cui il tracciato incrocia altre strade.

Con tali variabili è stato possibile definire un algoritmo di conversione dal dominio del tempo a quello dello spazio. Si è in sostanza calcolato lo spazio percorso $\Delta_{abscissa}$, in un intervallo temporale definito tra gli istanti $i+1$ ed i , essendo *Road abscissa* la distanza progressiva, registrata dal software con un campionamento di 1 ms, per un generico istante temporale a cui si è fatto inizialmente cenno.

Lo schema concettuale che ha portato alla definizione del vettore $\Delta_{abscissa}$ è riportato in *Figura 23* per i tracciati denominati diretti e in *Figura 24* per quelli denominati inversi. Essi risultano leggermente diversi in quanto il software utilizza una convenzione riferita ad un

sistema di riferimento globale, risultando quindi differente per i due sensi di marcia: antiorario (tracciati diretti), orario (tracciati inversi), ma il concetto è il medesimo. Le operazioni effettuate sull'algoritmo di conversione dovute alla diversa convenzione, sono evidenziate in rosso in *Figura 24*.

Una volta noti tutti i segmenti spaziali $\Delta_{abscissa}$ percorsi in un certo periodo temporale, si è ottenuta la serie progressiva *Space* a cui i valori di lane gap o traiettoria sono riferiti. Terminato il procedimento per ciascuna guida, si ottengono quindi, i dati (di traiettoria, lane gap e velocità) espressi in un dominio spaziale.

Tale distanza ha però lo svantaggio di non essere univoca e non si possono mai ritrovare per lo stesso valore di distanza progressiva dati relativi a due o più diverse serie di dati, in quanto i tempi di percorrenza sono diversi per ogni guidatore. Ovvero, al generico tempo t , la distanza progressiva percorsa da più guidatori non è mai la stessa.

È quindi nata l'esigenza di fare un ulteriore passo in avanti, istituendo un'ascissa che potesse essere univoca, ovvero si è fissata una progressiva ad intervalli costanti di un metro e i valori di lane gap o curvatura delle precedenti serie, sono stati interpolati in modo da ottenere un valore ogni metro di tracciato, in modo che tutte le serie potessero essere agevolmente confrontate.

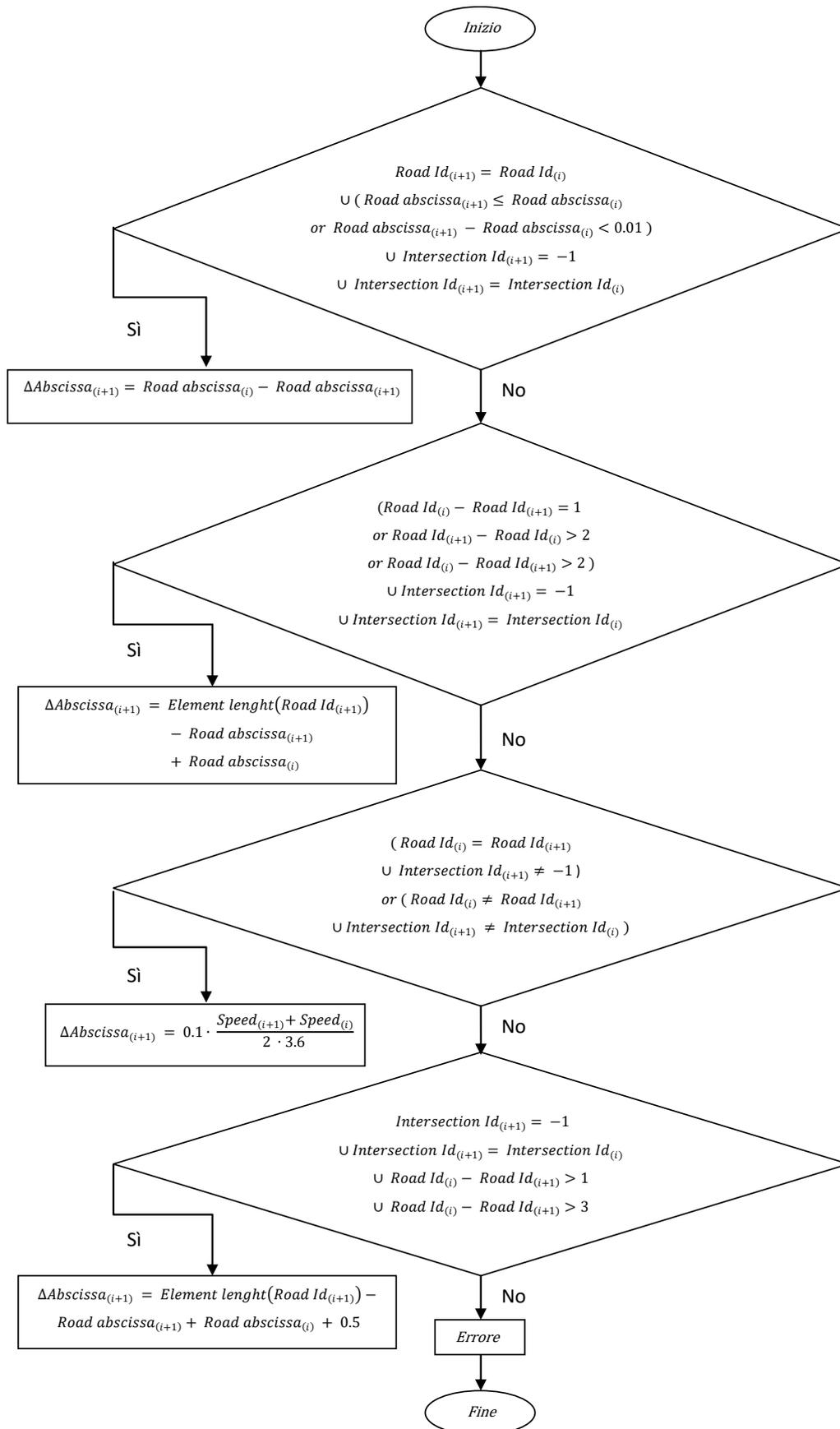


Figura 23. Flow chart dell'algoritmo di conversione dal dominio temporale a quello parziale (tracciati diretti).

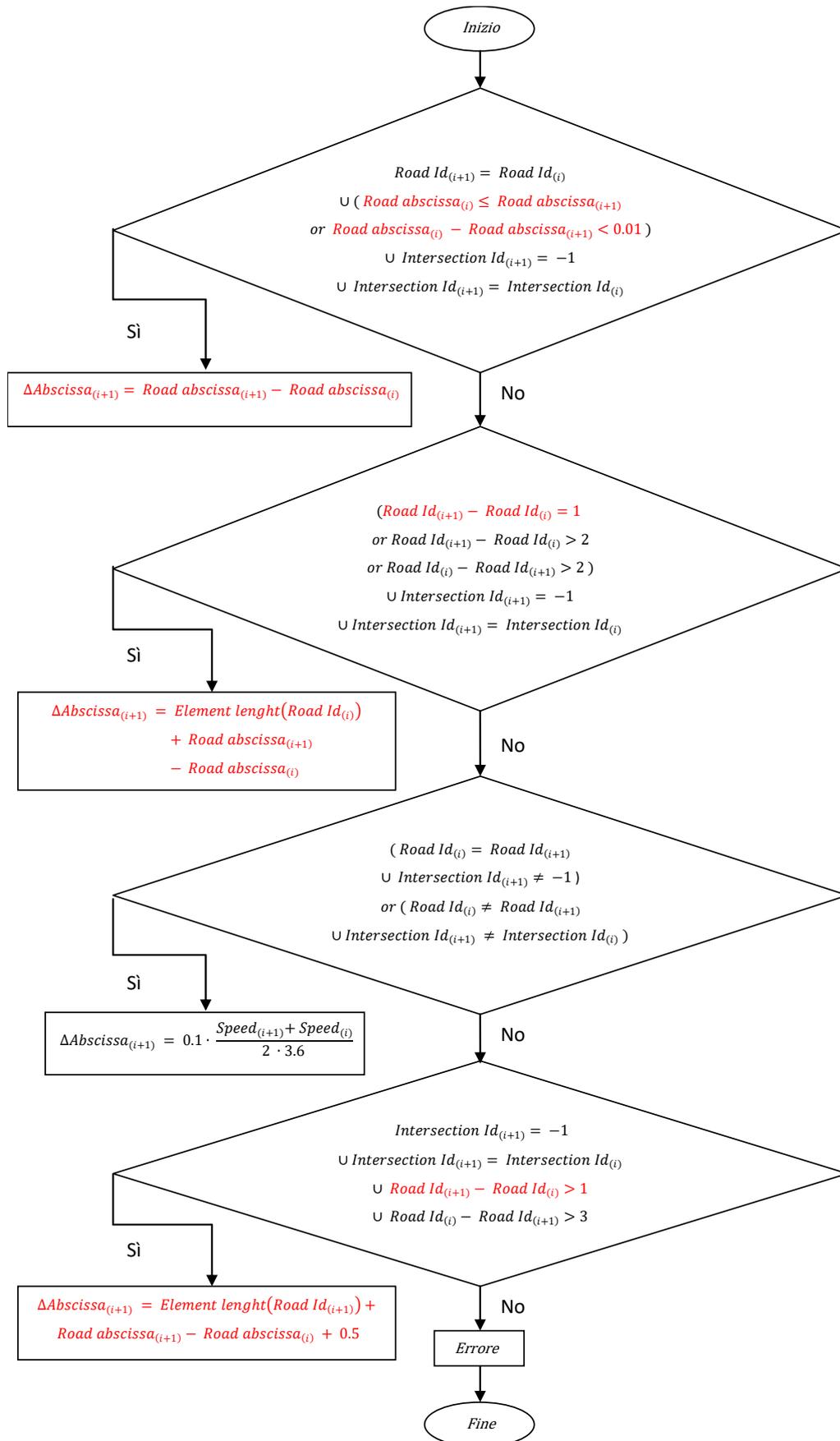


Figura 24. Flow chart dell'algoritmo di conversione dal dominio temporale a quello parziale (tracciati inversi).

Va precisato che la variabile *Lane Gap* così ottenuta, è riferita ad un sistema di riferimento locale, centrato nella corsia in cui il baricentro del veicolo ricade. Si tratta quindi di un sistema di riferimento mobile che trasla da una corsia all'altra in funzione della posizione del veicolo. Conseguenza di ciò, i profili di L.G. risultano distorti (vedi *Figura 25*) laddove il baricentro del veicolo esce dalla corsia di marcia. Questo accade quando il L.G. è maggiore di 1.875 m (più della metà del veicolo percorre la corsia di sorpasso) o minore di -1.875 m (laddove più della metà della stessa percorre la banchina).

Per tale motivo il *lane gap* viene convertito attraverso un semplice algoritmo, in un *lane gap** (profilo in nero in *Figura 25*) il cui sistema di riferimento è di tipo assoluto, sempre in asse con la corsia di marcia.

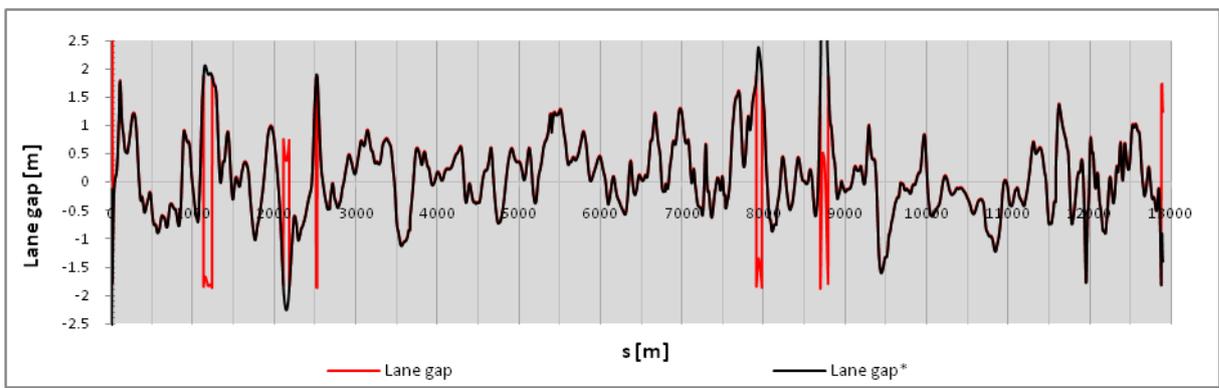


Figura 25. Esempio di conversione del profilo di lane gap riferito ad un sistema di riferimento mobile nel profilo di lane gap* riferito ad un sistema di riferimento di tipo assoluto in asse con la corsia di marcia.

I dati così convertiti sono stati raccolti in appositi file Excel, suddivisi per tracciato e per variabile da esaminare (*lane gap*, *heading angle* o curvatura delle traiettorie). Ogni file contiene oltre alla progressiva d'asse, il corrispondente valore di una determinata variabile, per ciascun guidatore che ha affrontato lo stesso scenario (per es. ADNM). È stato così possibile redigere i profili per ciascuna grandezza, utili per valutare l'andamento generale lungo tutto il tracciato. Tali profili inoltre, permettono di individuare i comportamenti dei test driver che hanno guidato meno verosimilmente alla realtà, oltre a rilevare eventuali errori di guida. Per ogni tipo di variabile si mostreranno in tale paragrafo i soli profili relativi allo scenario AD. Per gli altri cinque scenari si rimanda all'*Appendice B*.

3.3.1 Lane Gap

È stata già spiegata la grandezza *lane gap* (da ora in poi L.G.), ma non si è ancora detto nulla sul suo segno. La convenzione del simulatore di guida è differente per i due sensi di marcia, ma per poter confrontare i dati si deve disporre di una convenzione identica. In particolare, la

convenzione utilizzata è quella rappresentata in *Figura 26*. Tale scelta, come vedremo nel seguito, faciliterà la lettura dei relativi grafici, più precisamente, il L.G. risulta positivo quando ci si sposta sul lato interno della corsia, negativo in caso contrario, e ovviamente nullo quando il veicolo è perfettamente in asse con la stessa (*Figura 27*).

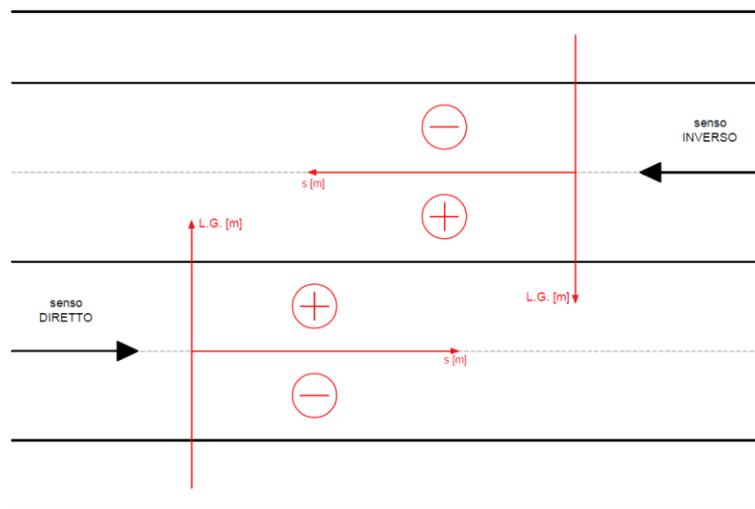


Figura 26. Convenzione della variabile lane gap per i due sensi di marcia.

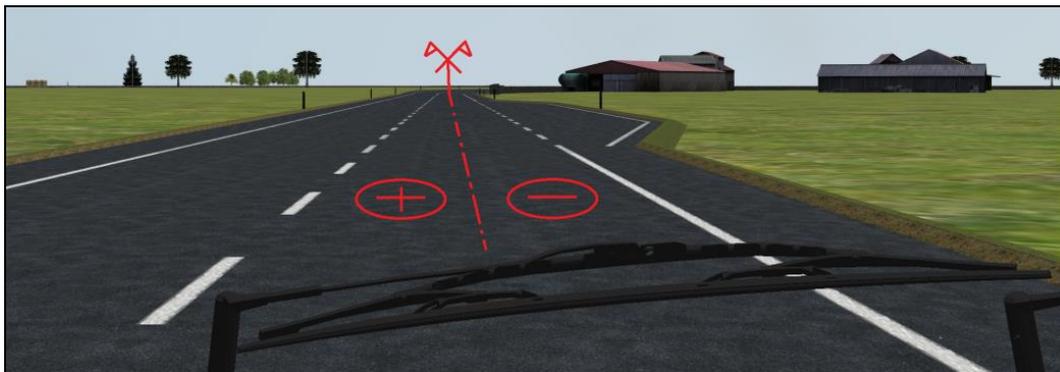


Figura 27. Rappresentazione della convenzione della variabile lane gap vista dalla postazione del guidatore.

In *Figura 28* sono mostrati i profili di L.G. dei test driver (denominati TD da ora in poi) che hanno affrontato lo scenario AD, tali profili si riferiscono all'asse principale delle ordinate (quello di sinistra). Sul medesimo grafico viene raffigurata anche la curvatura $\frac{1}{R}$ del tracciato, la quale fa riferimento invece all'asse secondario (quello di destra).

Ogni profilo mostra di quanto, e in quale punto del tracciato, il singolo TD si è scostato dalla mezzeria della propria corsia di marcia, dando un'idea della traiettoria tenuta dal TD.

Come verrà descritto meglio nella successiva **analisi dati**, la carreggiata è stata suddivisa in cinque zone, più precisamente, le seguenti tre appartengono alla corsia di marcia:

- CS, ovvero il lato sinistro della corsia;

- C, il centro;
- CD, il lato destro della stessa.

mentre le seguenti sono esterne ad essa:

- ES, la quale coincide con metà della corsia opposta (o di sorpasso);
- ED, zona di banchina.

Per facilitare la lettura del grafico, in *Figura 28* sono evidenziati i limiti delle cinque zone (in nero i limiti di centro corsia, in rosso quelli più critici delle zone esterne), inoltre d'ora in poi, per *lato interno* di una corsia si intenderà quello omonimo della direzione della curva, per *lato esterno* il lato opposto.

Osservando il grafico nel suo complesso, si direbbe che il comportamento generale dei vari guidatori è, con qualche piccola eccezione, abbastanza simile. Si preparano ad affrontare una determinata curva spostandosi sul lato esterno della corsia già in fase di rettilineo, per poi spostarsi sul lato interno della stessa lungo il tratto di curva circolare. In fase di uscita poi, tornano sul lato esterno della corsia.

Quello che varia tra i profili però, è l'entità degli spostamenti trasversali. Alcuni guidatori rimangono all'interno della corsia per tutto lo sviluppo della curva, altri invece, occupano la banchina o la corsia opposta lungo tratti di curva circolare, o lungo i rettifili di avvicinamento e di uscita alla stessa.

Soffermandoci per ora, sui profili dei guidatori che hanno mantenuto la corsia per tutto lo sviluppo del tracciato, possiamo notare come questi test driver occupino le zone della corsia nella maniera più svariata, ricreando traiettorie molto diverse l'una dall'altra. Alcuni si allargano molto nella prima parte di curva circolare per poi rientrare in centro corsia nella parte finale, altri si allargano maggiormente verso la fine dell'arco circolare, o altri ancora occupano le zone periferiche della corsia per tempi più lunghi. Sarebbe inoltre, che alcuni test driver mantengono la zona centrale della corsia per tutto lo sviluppo del raccordo.

Ben 9 TD su 14 (più precisamente i TD: 1, 5, 10, 14, 19, 23, 28, 32 e 34) hanno mantenuto lungo tutto il tracciato dello scenario AD, la propria corsia di marcia, uscendo al massimo di 20 cm per pochi e brevi tratti (decine di metri) mentre altri tre, i TD: 25, 37, 41, hanno oltrepassato la striscia di destra al più tre volte, di anche 40 cm.

I restanti due guidatori hanno invece invaso le corsie adiacenti (banchina e quella opposta) un numero considerevole di volte. Il TD 7 su ben nove curve su diciotto tende ad uscire dalla corsia e invadere la banchina, in tre delle quali si trova addirittura con circa metà veicolo sulla corsia non percorribile. Infine, il TD 16 affronta cinque curve invadendo grossolanamente la

banchina per ben cinque volte, e la corsia di sorpasso per tre. Nel primo caso la invade fino a 80 cm, nel secondo per più di un metro. Si precisa che per questi ultimi due test driver le invasioni delle curve adiacenti quella di marcia, avvengono per centinaia di metri.

Allargando il campo a tutte le 82 guide (vedasi i relativi profili in *Appendice B*), si ha che in circa il 50% dei casi, i guidatori hanno mantenuto lungo tutto il tracciato, la propria corsia di marcia uscendo al massimo di 20 - 30 cm, per pochi e brevi tratti (decine di metri). Nel restante 50% invece, almeno una curva è stata effettuata percorrendo per centinaia di metri parte della banchina o della corsia opposta.

In particolare, in circa il 20% di queste, i test driver hanno oltrepassato le linee di margine della corsia al più in tre curve sulle diciotto componenti il tracciato, inoltre nella metà dei casi gli spostamenti trasversali hanno superato per più di un metro la linea di margine. In un altro 20% invece, si sono registrate dalle quattro alle sei uscite di corsia rilevanti, di cui in 11 guide su 17 l'occupazione della banchina o della corsia opposta ha interessato anche più di metà veicolo. Infine, il restante 10% è rappresentato dalle guide più indisciplinate, nelle quali i guidatori hanno oltrepassato i limiti esterni in maniera più che considerevole in circa il 50% delle curve del tracciato affrontato. Inoltre, in due guide si sono registrate due uscite di strada.

Focalizzandosi invece sui singoli, ben 16 guidatori su 41 (i TD 1, 3, 5, 10, 13, 14, 15, 18, 19, 21, 23, 28, 31, 32, 34 e 39) hanno guidato rimanendo all'interno della corsia in entrambi gli scenari, o al più, ne hanno superato i limiti esterni per al massimo qualche decina di metri. Altri 7, ovvero i guidatori 2, 9, 13, 20, 26, 27 e 41, hanno affrontato solo un tracciato guidando come i precedenti. Circa il 30% invece, più precisamente i TD 12, 22, 24, 25, 29, 30, 33, 35, 36, 37, 38 e 40, hanno affrontato i due scenari all'incirca nella stessa maniera, oltrepassando i limiti di corsia più volte con anche 70 cm di veicolo. Infine, sembrerebbe che i più indisciplinati siano i guidatori 6, 7, 8, 11, 16, 17, e 40.

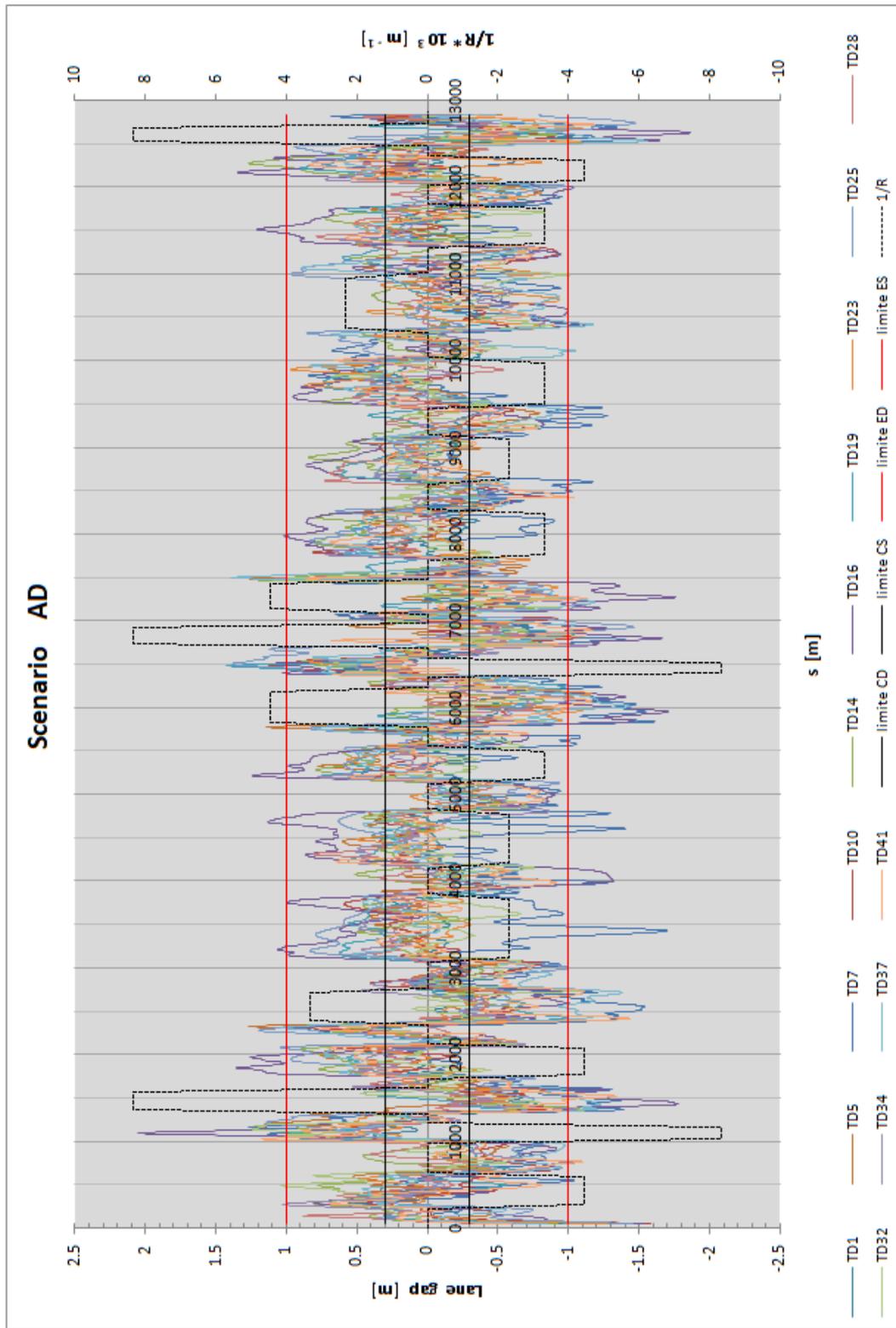


Figura 28. Profili di lane gap relativi ai soli test driver che hanno affrontato lo scenario AD.

3.3.2 Heading Angle e curvatura delle traiettorie

Durante le simulazioni, oltre i dati di spostamento trasversale, si sono registrati per ogni guida, i dati di *Heading angle* (d'ora in poi H.A.) e di curvatura delle traiettorie.

Al *paragrafo 3* si sono già descritte entrambi le grandezze, in particolare l'*Heading Angle* è l'angolo sotteso tra la direzione del veicolo e l'asse delle ascisse del sistema di riferimento piano (di tipo assoluto) adottato dal software, mentre la curvatura rappresenta l'inverso del raggio della traiettoria. Non si confondano le grandezze relative alle singole traiettorie con quelle relative ai tracciati che risultano assai simili solo nel caso dell'H.A. in quanto in linea di massima la direzione tenuta dal guidatore è praticamente quella del tracciato.

Per quanto riguarda le convenzioni invece, sono da ritenersi positivi gli angoli antiorari e le curvature in direzione destrorsa, al contrario, assumono valore negativo gli angoli orari e le curvature sinistrorse.

In *Figura 29* è riportato il profilo dell'*Heading Angle* per lo scenario AD, si può notare come per tutti i guidatori il profilo sia il medesimo e corrisponde quasi perfettamente con l'*Heading Angle* del tracciato stesso. In particolare, tale angolo risulta costante quando si percorre un rettilineo, cresce o diminuisce proporzionalmente lungo i tratti di curva circolare e assume valori parabolici nelle curve di transizione. Inoltre, variazioni positive sono da associarsi a svolte sinistrorse, mentre quelle destrorse sono rappresentate da variazioni di segno opposto.

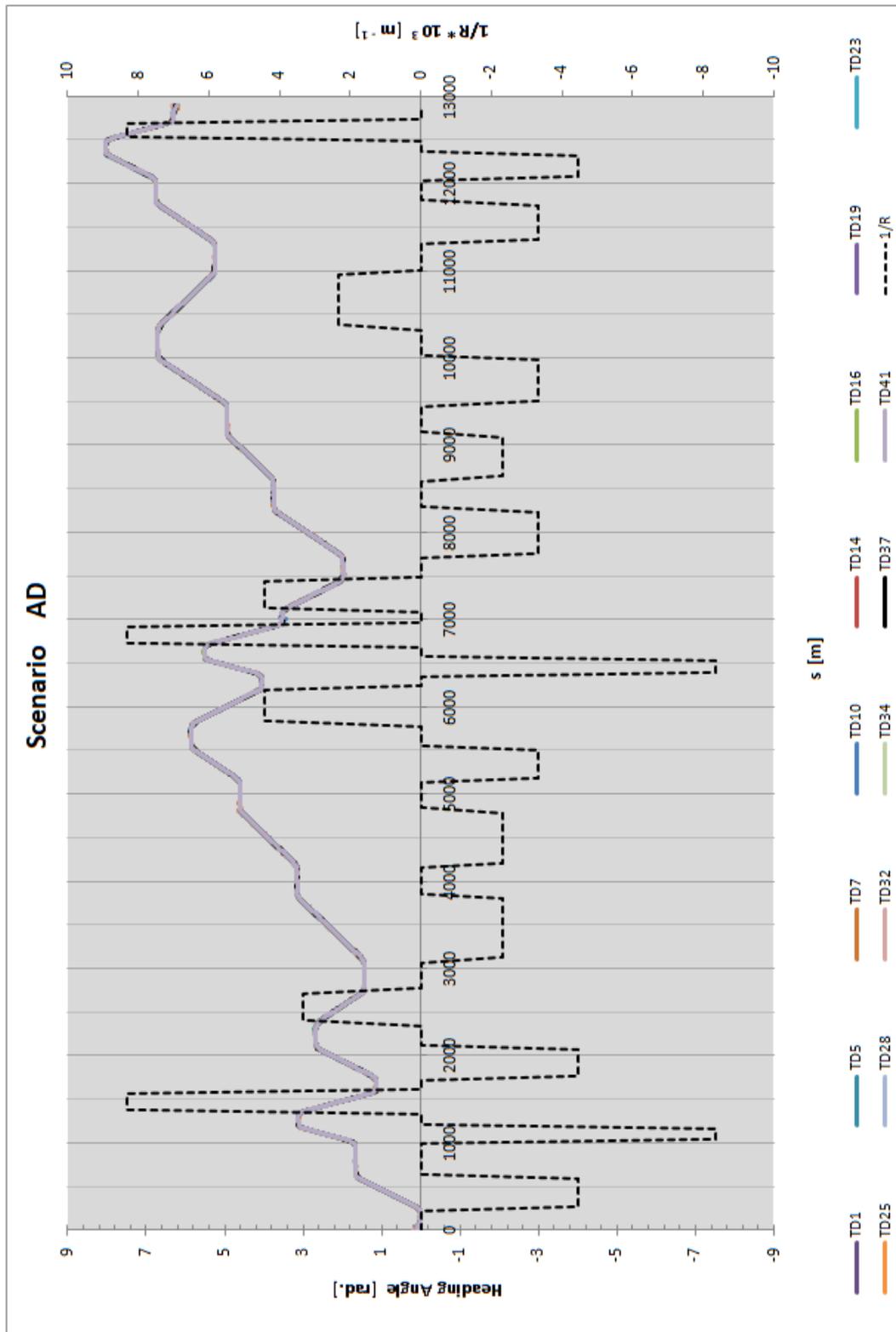


Figura 29. Profili dell'heading angle relativi ai soli test driver che hanno affrontato lo scenario AD.

Per esempio, facendo sempre riferimento allo scenario AD, in *Figura 30* si mostra l'andamento dei primi 1700 m di tracciato; Il primo rettilineo è parallelo all'asse orizzontale perciò l'H.A. è circa 0° , ora, procedendo in senso antiorario si incontrano due curve sinistrorse

che producono una deviazione angolare di circa 95 e 85° ($\approx 1,65$ e $1,5$ rad.) rispettivamente, e una curva destrorsa che devia la traiettoria di -115° circa (≈ -2 rad.). Di conseguenza i tre rettilifi successivi hanno un *Heading Angle* di circa 95 , 180 e 65° ($\approx 1,65$, $3,15$ e $1,15$ rad.).

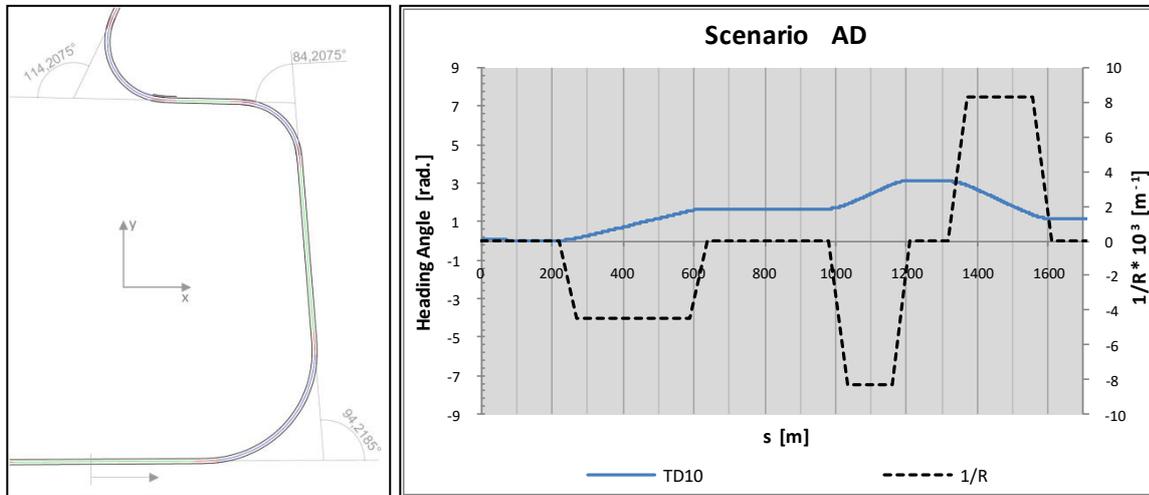


Figura 30. A sinistra i 1700 m iniziali del tracciato A, mentre a destra il relativo profilo dell'heading angle.

Numeri a parte, considerazioni analoghe valgono per i restanti cinque scenari, i cui profili sono riportati in *Appendice C*, con l'eccezione per gli scenari AI e BI nei quali si sono registrate due uscite di strada. In *Figura 31* è possibile notare i due punti, nel primo caso il software ha smesso di registrare mentre nel secondo sono visibili i forti cambi di direzione del veicolo.

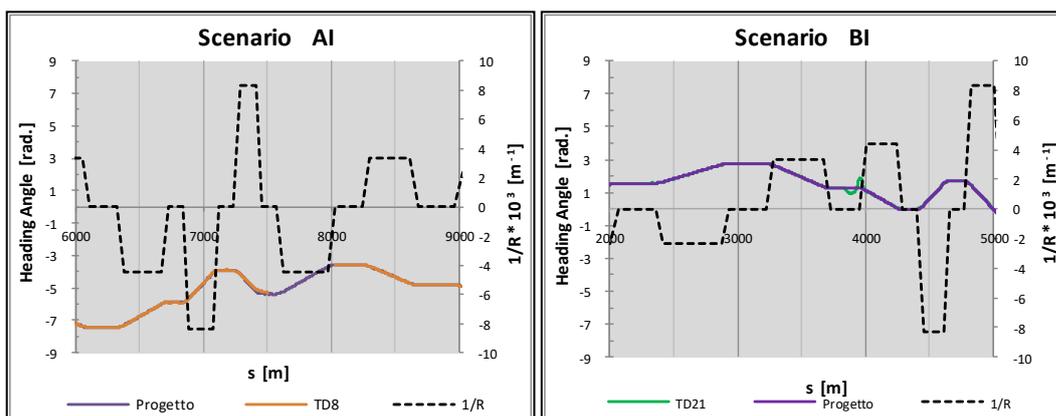


Figura 31. Profili dell'heading angle relativi ai due punti in cui si sono registrate le uscite di strada.

Pur non effettuando una vera e propria analisi, tali dati sono stati raccolti per cercare una corrispondenza della grandezza *Heading Angle* con quella registrata dal simulatore e per verificare la bontà dello studio di Gikas e Stratakos (2012). I dati di curvatura della traiettoria

verranno invece analizzati più nel dettaglio e saranno inoltre utilizzati per verificare anch'essi quanto riportato nello studio citato.

Come precedentemente fatto per *Lane Gap* e *Heading Angle*, in *Figura 32* si riportano i profili $\frac{1}{R}$ delle traiettorie dei 14 guidatori che hanno affrontato lo scenario AD. Questo tipo di grandezza risulta più sensibile dell'angolo di direzione e assume un andamento oscillante intorno alla curvatura di progetto con scostamenti tanto maggiori quanto minore è il raggio di curvatura. Questo comportamento è dovuto ovviamente alle correzioni continue effettuate dai guidatori per mantenere la corsia.

In particolare, la maggior parte dei test driver, ben 11 su 14, ha adottato traiettorie che differiscono da quella di progetto di 1 solo mm^{-1} lungo tutto il tracciato, eccezion fatta per le sole curve di raggio più stretto nelle quali l'ampiezza degli scostamenti è in media di 2 – 3 mm^{-1} . Le traiettorie dei tre guidatori restanti (i TD 5, 7 e 32) evidenziano invece curvature in genere più brusche lungo tutto il tracciato, con oscillazioni di ampiezza variabile dai 3 ai 5 mm^{-1} . Si registrano inoltre due punti singolari nei quali le rispettive curvature subiscono brusche variazioni con ampiezza di oscillazione di circa 10 – 15 mm^{-1} : i TD 10 e 28 all'uscita dalla curva 10AD.

Osservando ora il campione nel suo complesso (*Appendice C*), dei 41 guidatori totali circa il 60 % ha uno stile di guida caratterizzato da traiettorie con curvature molto vicine a quelle di progetto in entrambi gli scenari affrontati, con differenze sostanziali nelle sole curve di raggio 120 m. Altri sei, i test driver 2, 13, 20, 24, 27 e 35 hanno affrontato un solo tracciato nello stesso modo dei guidatori precedenti, mentre nel restante hanno guidato con traiettorie più tortuose per quasi o tutto lo scenario. Infine, dei restanti 10, i TD 3, 8, 9, 18, 32 e 40 hanno adottato lungo entrambi i tracciati traiettorie contraddistinte da oscillazioni di ampiezza di circa 2 - 3 mm^{-1} nell'intorno della curvatura di progetto, mentre per i guidatori 5, 6, 7 e 17 gli scostamenti sono circa il doppio.

Fin qui si sono trattati profili di *Lane Gap*, *Heading Angle* e curvatura riferiti ai tracciati nel loro complesso che danno solo un'idea generale del comportamento di guida dei 41 tester. Inoltre, i dati raccolti sono stati trattati al solo scopo di poterli utilizzare e di renderli conformi alle convenzioni, ma non si è fatta fin qui nessun tipo di analisi ulteriore. Nel capitolo successivo invece si tratterà il problema nel dettaglio focalizzandosi principalmente sulla grandezza *Lane Gap* che si riscontra lungo le curve circolari, che sono il vero oggetto di studio nel presente lavoro di ricerca, dato che è qui che si hanno le restrizioni alla visibilità.

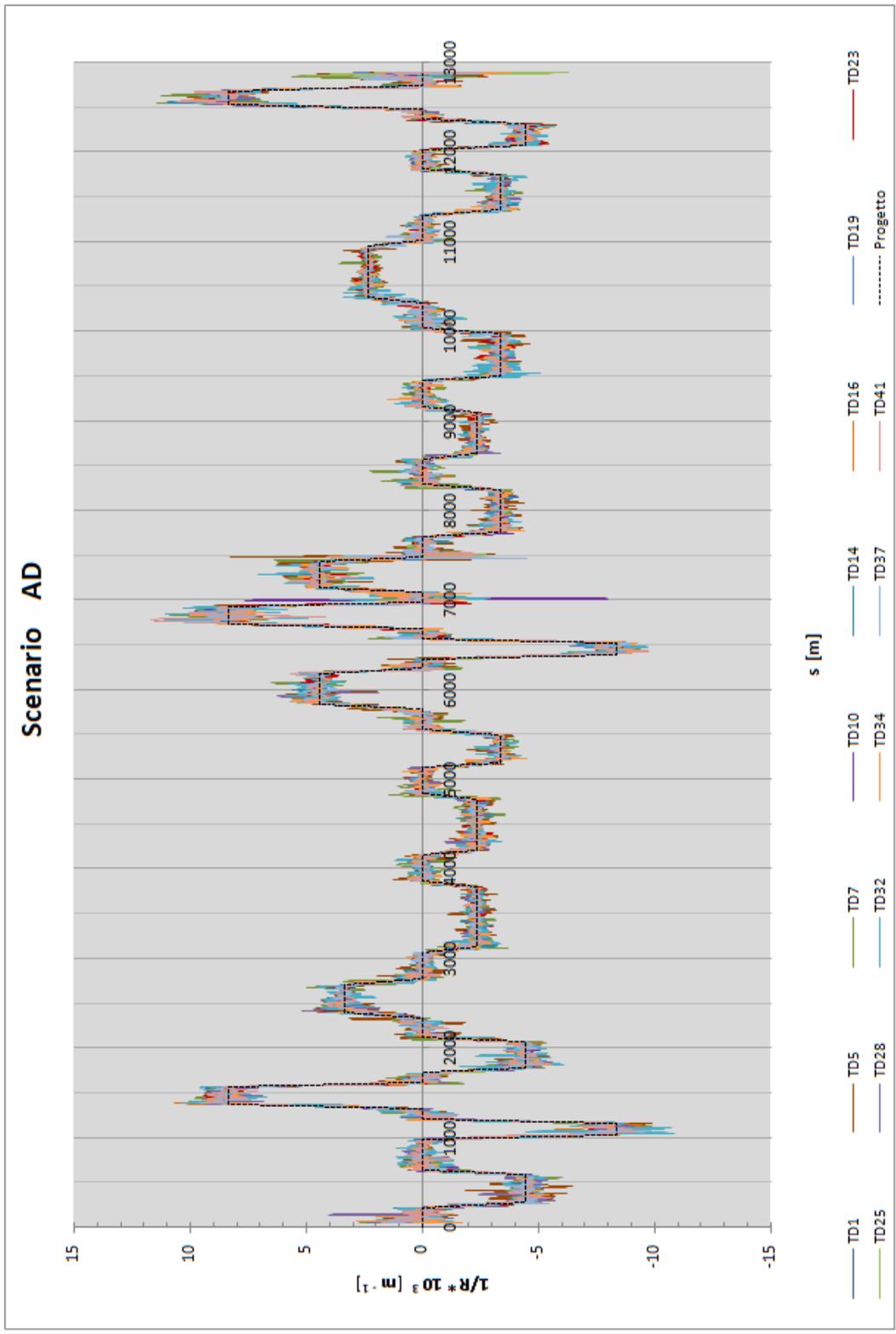


Figura 32. Curvature delle traiettorie relative ai soli test driver che hanno affrontato lo scenario AD.

4 ANALISI DATI

Abbiamo parlato delle grandezze oggetto di studio e per una loro migliore comprensione si sono descritte le variazioni lungo i tracciati delle 82 guide. Si sono inoltre individuati i comportamenti anomali e i TD “più indisciplinati. Dovendo valutare gli effetti della distanza di visuale libera (DVL) sulla traiettoria, si proporrà ora un tentativo di studio principalmente grafico basato sull’idea di dividere la carreggiata in zone e valutare per ogni curva la loro occupazione. In questa parte di analisi si potranno confrontare i risultati in funzione delle caratteristiche geometriche del tracciato o dei dati anagrafici dei TD. È ovvio che essendo l’analisi di tipo aggregato, si deve disporre di un certo campione, le cui osservazioni in questo caso sono rappresentate dai profili di L.G. relativi a un determinato guidatore e a una precisa curva.

La prima parte del capitolo è allora dedicata alla definizione del campione di dati e all’eliminazione delle osservazioni viziate ed escluse dall’analisi. A seguire tramite un’analisi visiva si analizzeranno le osservazioni di *Lane Gap*, sia singolarmente che in maniera aggregata appoggiandosi anche allo studio di Calvi A. (2014). Questa analisi si divide principalmente in due parti, in una si valutano gli effetti di età e sesso nell’altra quelli delle caratteristiche geometriche del raccordo. Infine, nell’ultima parte tramite un processo di derivazione si ricostruiranno le caratteristiche della traiettoria in termini di Heading Angle, curvatura e variazione della curvatura, validando inoltre l’algoritmo preliminare del modello di Gikas e Stratakos, e si calibrerà per ciascuna guida, un modello predittivo delle curvature sulla base dello studio di Cerni e Bassani (2017).

Va precisato inoltre che si dedicherà maggior attenzione al trattamento dei dati di L.G, variabile ritenuta più adatta e semplice per valutare e dare un’idea delle traiettorie tenute dai guidatori, la curvatura al contrario risulta un parametro molto sensibile e meno intuitivo.

4.1 Riduzione del campione di dati

Bisogna innanzitutto definire il campione di dati da utilizzare nell’analisi. Ben 41 guidatori hanno partecipato all’esperimento e guidato due distinti scenari, composti ciascuno da 18 curve test, ovvero quelle progettate per l’esperimento. La dimensione iniziale del campione è quindi di 1476 osservazioni.

Nel nostro studio però, vogliamo che la traiettoria di ogni osservazione sia influenzata dalle sole caratteristiche geometriche del tracciato e non da cause esterne. Ma per aumentare la veridicità della simulazione sono stati inseriti alcuni oggetti all’inizio o alla fine di alcune curve

che hanno influenzato in maniera più o meno rilevante le traiettorie dei guidatori. La prima operazione consiste quindi nell'eliminare tutte quelle osservazioni relative a queste curve. Successivamente sono stati individuati gli errori di guida (uscite di strada) e le osservazioni poco realistiche, ovvero quelle osservazioni la cui traiettoria di guida risulta poco simile con la realtà (curve completamente tagliate o occupazione della corsia opposta o della banchina con gran parte del veicolo e per un tempo elevato). Tale operazione è stata effettuata per via grafica plottando per ciascuna curva del tracciato, i profili di L.G. di tutti i guidatori che l'hanno affrontata. In particolare, per la presenza di un oggetto sono state escluse dall'analisi 5 curve per gli scenari AD e ADN, 4 curve per gli scenari AI e AINM, 2 per lo scenario BD e 3 per il BI per un totale di 313 osservazioni. Altre 6 osservazioni sono state eliminate per invasione completa della corsia opposta (L.G. > 2,5 m) ed infine 3 osservazioni sono viziate da errori di guida con fuoriuscita dalla carreggiata. In *Figura 33* sono mostrate alcune delle osservazioni escluse dall'analisi. Le due immagini più in alto evidenziano la forte influenza di un oggetto posto prima o dopo la curva, sulla traiettoria tenuta dal guidatore, mentre quelle più in basso sono relative a due errori di guida commessi dai TD 8 e 21. Per i profili delle restanti osservazioni si rimanda all'*Appendice D*.

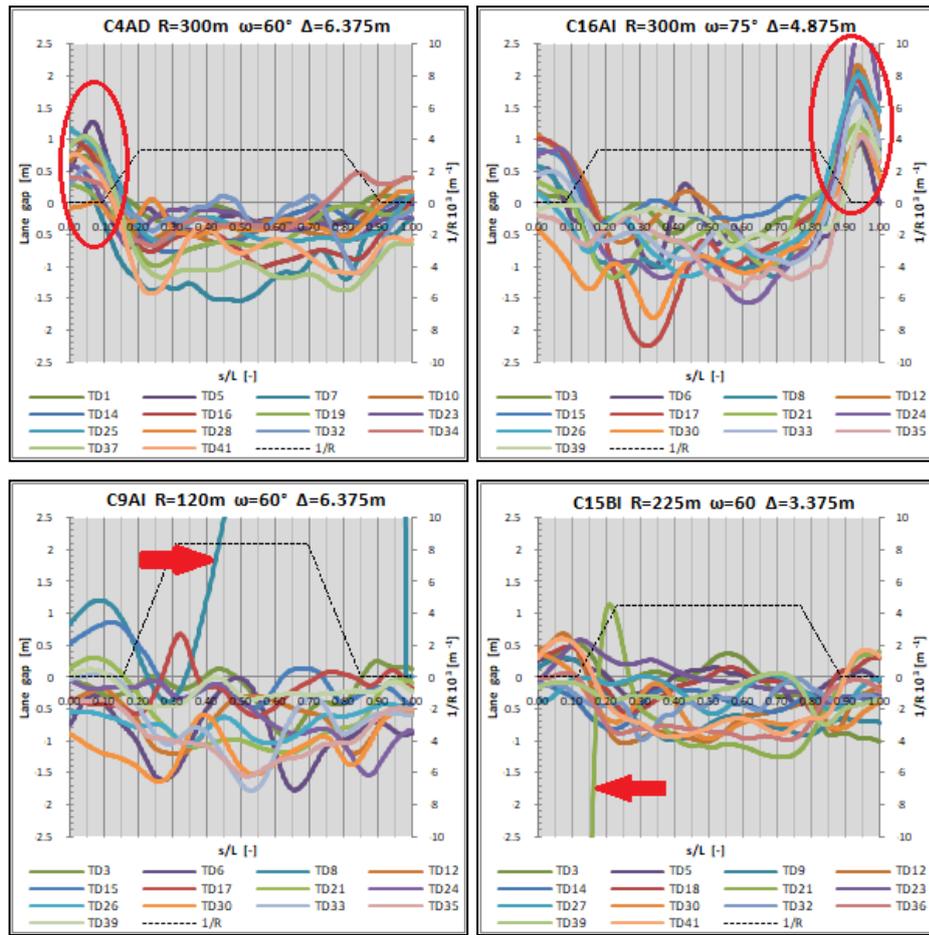


Figura 33. In alto due curve eliminate dall'analisi in quanto le relative traiettorie risultano influenzate dagli ostacoli posti prima e dopo la curva. In basso due errori di guida commessi dai test driver 8 (a sinistra) e 21 (a destra).

In totale si sono escluse ben 322 osservazioni elencate in *Tabella 16* con le relative curve associate. Il campione di dati finale risulta avere quindi una dimensione pari a **1154** osservazioni.

Tabella 16. Osservazioni eliminate dall'esperimento con motivazione associata e relative curve interessate.

Curva	Scenario	Oss. escluse	Motivo
C2AD	AD - ADN	27	Presenza oggetto
C4AD	AD - ADN	27	Presenza oggetto
C8AD	AD - ADN	27	Presenza oggetto
C11AD	AD - ADN	27	Presenza oggetto
C15AD	AD - ADN	27	Presenza oggetto
C3AI	AI - AIN	27	Presenza oggetto
C12AI	AI - AIN	27	Presenza oggetto
C16AI	AI - AIN	27	Presenza oggetto
C17AI	AI - AIN	27	Presenza oggetto
C9BD	BD	14	Presenza oggetto
C14BD	BD	14	Presenza oggetto
C4BI	BI	14	Presenza oggetto
C10BI	BI	14	Presenza oggetto
C16BI	BI	14	Presenza oggetto
C8AI	AI	1 (TD8)	Errore di guida
C9AI	AI	1 (TD8)	Errore di guida
C15BI	BI	1 (TD21)	Errore di guida
C1ADNM	ADNM	1 (TD6)	Guida inverosimile
C17ADNM	ADNM	1 (TD8)	Guida inverosimile
C7AI	AI	1 (TD17)	Guida inverosimile
C18AI	AI	2 (TD8, TD24)	Guida inverosimile
C18BD	BD	1 (TD29)	Guida inverosimile
Osservazioni totali		322	

4.2 Posizionamento trasversale del veicolo in curva

Si andrà ora ad illustrare lo studio, che ha come scopo principale quello di valutare gli effetti della distanza di visuale libera sulla traiettoria tenuta dai guidatori lungo una curva. Si faccia attenzione al termine curva, che da ora in poi sarà riferito un po' impropriamente, a tutto il raccordo, compreso dei rettifili d'ingresso ed uscita dallo stesso.

4.2.1 Metodo di analisi

I profili di *Lane Gap* che si andranno ad analizzare sono relativi a curve composte da più elementi geometrici (vedi *Figura 34*) in modo da valutare non solo la traiettoria tenuta lungo l'arco, ma anche il comportamento in ingresso e in uscita dallo stesso. Va precisato che nell'analisi si è deciso di suddividere quest'ultimo in tre parti in quanto ritenuto l'elemento più significativo per il nostro scopo.

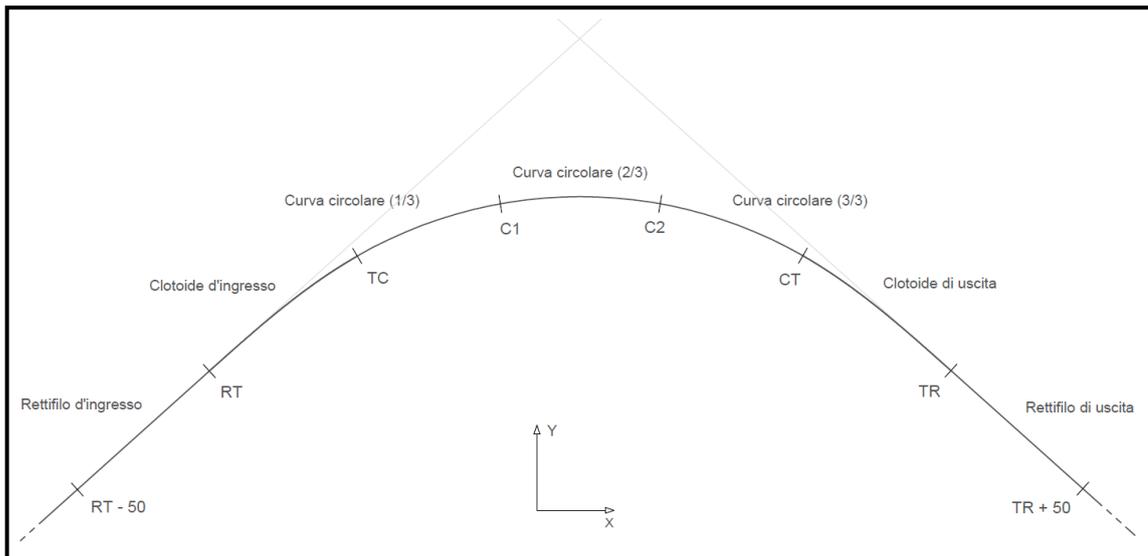


Figura 34. Suddivisione del raccordo in elementi con relativa rappresentazione dei punti di transizione

Avendo a che fare con traiettorie si è deciso di eseguire uno studio prettamente visivo e se da una parte si è eseguita un'analisi aggregata, lavorando con grafici rappresentanti grandezze funzioni del posizionamento trasversale, dall'altra si sono analizzati i dati registrati dal software. In quest'ultimo caso si confrontano i diversi profili di L.G. in modo da valutare l'influenza dei parametri geometrici, variando di volta in volta uno e fissando i restanti.

Dovendo confrontare profili relativi a curve di lunghezza variabile, tuttavia, è sorta la necessità di rappresentare i grafici in funzione di una progressiva standard calcolata come segue:

$$\bar{s} = \frac{s}{L}$$

dove s è la progressiva d'asse ed L è la lunghezza della curva. In tabella sono riportati i valori dell'ascissa standardizzata nei punti d'intersezione degli elementi, che assume ovviamente valori diversi a seconda del raggio R e della deviazione angolare ω dell'arco circolare.

Nella parte di analisi aggregata, nella quale si valuterà il campione nel suo complesso, ci avvarremo di due grandezze funzioni del *Lane Gap*. La prima suggeritaci da Calvi (2015) è la dispersione della traiettoria (nota in letteratura tecnica come *Dispersion of Trajectory*, DT), grandezza che andremo ad omogeneizzare dividendola per la lunghezza della curva, in modo tale da consentire un confronto tra curve di lunghezza diversa.

Tabella 17. Valori dell'ascissa standard \bar{s} nei punti di intersezione degli elementi componenti il raccordo per ogni tipologia di curva.

R	Ω	L	RT - 50	RT	TC	C1	C2	CT	TR	TR + 50
[m]	[°]	[m]	[-]							
120	60	327.06	0.00	0.15	0.31	0.44	0.56	0.69	0.85	1.00
	75	358.48	0.00	0.14	0.28	0.43	0.57	0.72	0.86	1.00
	90	389.9	0.00	0.13	0.26	0.42	0.58	0.74	0.87	1.00
225	60	439.3	0.00	0.11	0.23	0.41	0.59	0.77	0.89	1.00
	75	498.2	0.00	0.10	0.20	0.40	0.60	0.80	0.90	1.00
	90	557.11	0.00	0.09	0.18	0.39	0.61	0.82	0.91	1.00
300	60	530.32	0.00	0.09	0.20	0.40	0.60	0.80	0.91	1.00
	75	608.86	0.00	0.08	0.18	0.39	0.61	0.82	0.92	1.00
	90	687.4	0.00	0.07	0.16	0.39	0.61	0.84	0.93	1.00
430	60	675.39	0.00	0.07	0.17	0.39	0.61	0.83	0.93	1.00
	75	787.97	0.00	0.06	0.14	0.38	0.62	0.86	0.94	1.00
	90	900.54	0.00	0.06	0.13	0.38	0.62	0.87	0.94	1.00

Più precisamente si ha che:

$$DT^s = \frac{DT}{L} = \frac{\int_0^L |L. G. (s)| ds}{L}$$

dove L è la lunghezza della curva osservata (vedi *Tabella 17*). Andremo quindi molto banalmente a calcolare l'area per unità di lunghezza sottesa dal profilo degli spostamenti trasversali (*Figura 35*).

Con tale grandezza si valuta come varia la dispersione della traiettoria per curve di raggio diverso o con configurazione degli ostacoli differente; a valle di ciò si traggono conclusioni sugli effetti della DVL sulla dispersione della traiettoria rispetto l'asse della corsia di marcia. Tendenzialmente, più il valore aumenta e più ci si allontana dal centro corsia, inoltre, se due osservazioni hanno scostamenti massimi simili, ma valori di dispersione della traiettoria differenti, valori più elevati del DT^s sono da riferirsi a scostamenti massimi mantenuti per un tempo maggiore. Nulla si può dire invece su quali siano le zone della sede stradale maggiormente utilizzate dai guidatori nell'affrontare una curva di una ben determinata configurazione, per ovviare a ciò, si è deciso di introdurre una grandezza che tenga conto del modo in cui la sede stradale viene utilizzata. Va precisato che da ora in poi per questioni pratiche il *Dispersion of Trajectory Standard* sarà definito anche come DT o dispersione della traiettoria.

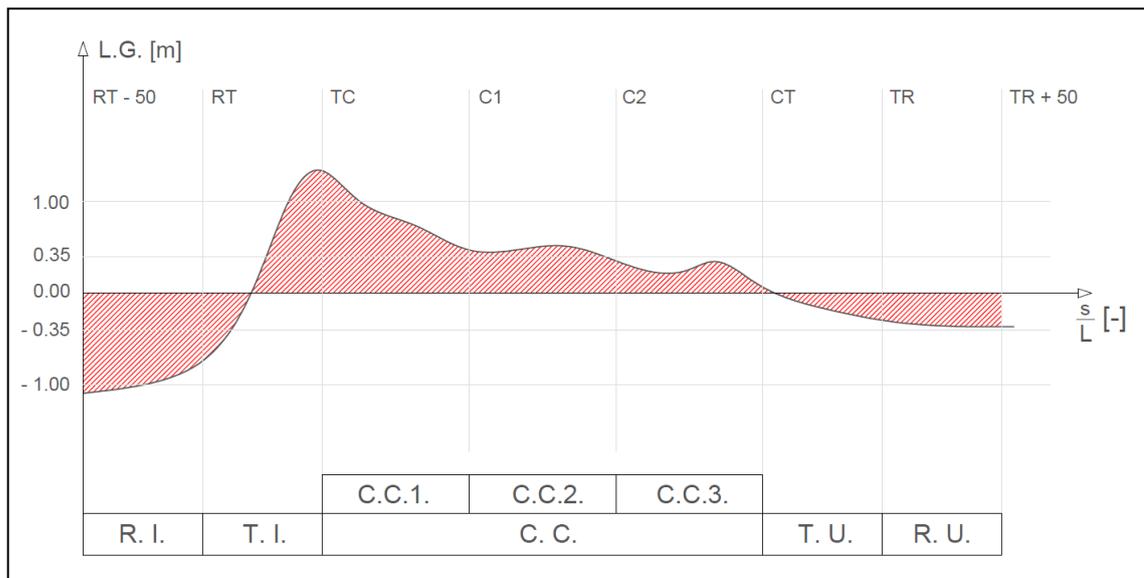


Figura 35. Rappresentazione della dispersione della traiettoria (DT) per un generico profilo di L.G.

Per introdurre la seconda grandezza prendiamo come esempio il profilo di L.G. rappresentato in *Figura 36* relativo ad una generica curva. Si può notare che lungo quest'ultima la posizione del veicolo può transitare in cinque distinte zone che vanno a suddividere la sede stradale in strisce di competenza sui cui verranno calcolate le **% di occupazione**. Tali rapporti possono essere ovviamente riferiti al singolo elemento (es: tratto di rettifilo d'ingresso) o alla curva nel suo complesso. In particolare, le strisce di competenza sono le seguenti:

- **centro (C)** ovvero i 2,5 m centrali della corsia;
- **centro-sinistra (CS)** i 60 cm sul lato sinistro della corsia;
- **centro-destra (CD)** i 60 cm sul lato destro;
- **esterno sinistro (ES)** parte della corsia opposta (1,5 m);
- **esterno destro (ED)** la banchina (1,5 m).

Per ognuna si calcolerà quindi la % di occupazione zonale, ossia il rapporto tra il tratto di curva transitato nella striscia di competenza e la lunghezza dell'elemento su cui si esegue l'analisi (rettifilo di uscita, arco circolare, curva, ecc.). La striscia di sede stradale investigata ha una larghezza totale di 6,75 m, che corrispondono a meno dell'ingombro trasversale del veicolo, ai 5 m di Lane Gap rappresentati in *Figura 36*.

Prestiamo ora attenzione al "percorso" del veicolo. All'ingresso della curva il guidatore transita sul centro destra della corsia invadendo di 10 cm la banchina a lato. Nel tratto di clotoide si sposta invece sul lato opposto, invadendo inoltre la corsia di sorpasso per decine di metri. Lungo la curva circolare, già dai primi metri, inizia il graduale "riallineamento" con il

centro corsia e il veicolo rientra in “zona verde” all’altezza dell’ultimo tratto dell’arco. Il guidatore nell’affrontare la curva è transitato quindi su tutte e cinque le strisce di competenza della sede stradale viaggiando per circa il 45% dello sviluppo della curva nella zona di centro corsia (zona verde), per circa il 30% sul centro-sinistra (zona blu) e per il 25% nelle restanti tre zone.

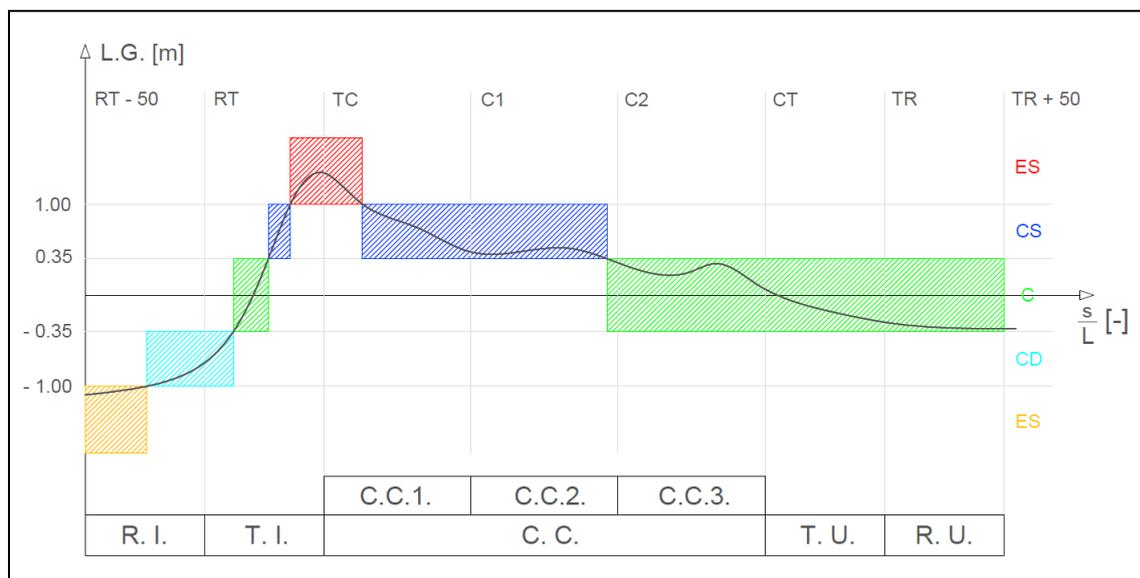


Figura 36. Rappresentazione della percentuale di occupazione zonale per un generico profilo di L.G.

Per eseguire un’analisi aggregata è necessario suddividere il campo di valori assunti dalle due grandezze in classi. In particolare, per la % di occupazione si è deciso di adottare 10 sottodomini di ampiezza pari al 10%, scelta frutto di un compromesso nato dall’esigenza di rappresentare in maniera significativa tutto il dominio e di poter studiare sotto campioni (per esempio tutte le curve di raggio R) di dimensione adeguata. Il *Dispersion of trajectory* può assumere solo idealmente i valori compresi tra 0 e 2,5 m, se si fa riferimento ai dati raccolti infatti, il massimo valore di DT registrato è di 1,31. Va precisato che il limite superiore teorico è definito dalla larghezza della striscia di competenza analizzata che nel nostro caso essendo di 6.75 m, comporta una variazione possibile pari a 5 m nel campo di valori del *Lane Gap*).

Per la suddivisione del dominio del *Dispersion of Trajectory* in classi, si faccia riferimento alla *Tabella 18* e *Tabella 19* nelle quali viene rappresentata la scala del *Dispersion of Trajectory Standard* (DT^s). Tale scala di dispersione è suddivisa in 10 classi di ampiezza pari a 0,1 m, ad eccezione dell’ultima estesa a 0,6 m sia per motivi di dimensione del campione che per facilità di lettura della scala (da 1 a 10). Le classi sono numerate da 1 a 10 in funzione dell’incremento del DT^s.

In particolare, le prime tre (in verde) sono rappresentate da traiettorie contenute principalmente in zona centrale con uscita dalla stessa nei tratti di rettifilo, mentre le classi 4 e 5 (in azzurro e blu) racchiudono quelle contenute in zona centro laterale della corsia.

Come vedremo meglio nel seguito, essendo il valore del DT^s mediato su tutte le curve di 0,41 m, le classi 4 e 5 rappresentano tipi di traiettorie a dispersione media contenuta nella corsia di marcia. Le restanti cinque classi (*Tabella 19*), rappresentano traiettorie che portano il veicolo ad occupare principalmente le strisce di competenza laterali della corsia, ma anche zone più periferiche della sede stradale come banchina e corsia opposta. Se la classe 6 (in giallo) rappresenta quindi un po' il limite tra traiettorie contenute nella corsia e non, al più il *Lane Gap* supera i limiti esterni di qualche centimetro e per poche decine di metri, le quattro restanti classi sono da considerarsi le più pericolose, in quanto la dispersione della traiettoria è tale da portare il veicolo ad uscire dalle linee di margine per parecchi centimetri e molte volte per un considerevole tratto di curva.

Tabella 18. Le prime 5 classi della scala del Dispersion of Trajectory Standard (DT^S) con relativi limiti ed esempi dei profili di lane gap.

Scala	Esempio 1	Esempio 2	Esempio 3
1	$DT^S = 0.08 \text{ m}$	$DT^S = 0.09 \text{ m}$	
	limiti [m]		
	(0.0 - 0.1)		
2	$DT^S = 0.11 \text{ m}$	$DT^S = 0.15 \text{ m}$	$DT^S = 0.18 \text{ m}$
	limiti [m]		
	(0.1 - 0.2)		
3	$DT^S = 0.22 \text{ m}$	$DT^S = 0.25 \text{ m}$	$DT^S = 0.28 \text{ m}$
	limiti [m]		
	(0.2 - 0.3)		
4	$DT^S = 0.32 \text{ m}$	$DT^S = 0.35 \text{ m}$	$DT^S = 0.38 \text{ m}$
	limiti [m]		
	(0.3 - 0.4)		
5	$DT^S = 0.42 \text{ m}$	$DT^S = 0.45 \text{ m}$	$DT^S = 0.48 \text{ m}$
	limiti [m]		
	(0.4 - 0.5)		

Tabella 19. Le 5 classi maggiori della scala del Dispersion of Trajectory Standard (DT^S) con relativi limiti ed esempi dei profili di lane gap.

Scala	Esempio 1	Esempio 2	Esempio 3
6	$DT^S = 0.52 \text{ m}$	$DT^S = 0.55 \text{ m}$	$DT^S = 0.58 \text{ m}$
	limiti [m]		
	(0.5 - 0.6)		
7	$DT^S = 0.62 \text{ m}$	$DT^S = 0.65 \text{ m}$	$DT^S = 0.68 \text{ m}$
	limiti [m]		
	(0.6 - 0.7)		
8	$DT^S = 0.72 \text{ m}$	$DT^S = 0.75 \text{ m}$	$DT^S = 0.78 \text{ m}$
	limiti [m]		
	(0.7 - 0.8)		
9	$DT^S = 0.82 \text{ m}$	$DT^S = 0.85 \text{ m}$	$DT^S = 0.88 \text{ m}$
	limiti [m]		
	(0.8 - 0.9)		
10	$DT^S = 0.93 \text{ m}$	$DT^S = 1.04 \text{ m}$	$DT^S = 1.15 \text{ m}$
	limiti [m]		
	(0.9 - 1.5)		

Calcolate le grandezze per tutte le 1154 osservazioni del campione, i dati sono stato organizzati in un foglio elettronico (*Figura 37*). Ogni riga rappresenta una singola osservazione mentre ogni colonna è relativa ad una caratteristica diversa, come per esempio il raggio, la lunghezza della curva, la dispersione della traiettoria o le % di occupazione zonali.

	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W	X	Y	Z	AA	AB	AC	AD	AE	AF		
1	Peso	Tracciato	Scenario	Curva	dir.	R	ω	L	Lcc	Δ	DVL	DT ^s	%ED tot	%CD tot	%C tot	%CS tot	%ES tot	%ED c.c.	%CD c.c.	%C c.c.	%CS c.c.	%ES c.c.											
2	1	A	AD	C1AD	SX	120	60	327,06	125,66	7,125	83,76	0,21	0,00	0,00	89,31	10,69	0,00	0,00	0,00	70,08	29,92	0,00											
3	1	A	AD	C9AD	SX	120	60	327,06	125,66	10,125	100,06	0,32	0,00	24,31	57,60	18,09	0,00	0,00	0,00	30,71	69,29	0,00											
4	1	A	AD	C18AD	DX	120	75	358,48	157,08	4,875	68,10	0,52	2,91	48,07	49,02	0,00	0,00	14,56	85,44	0,00	0,00	0,00											
5	1	A	AD	C10AD	DX	120	90	389,90	188,50	3,375	56,61	0,55	0,00	61,96	38,04	0,00	0,00	0,00	100,00	0,00	0,00	0,00											
6	1	A	AD	C17AD	SX	225	60	439,30	235,62	8,625	125,52	0,20	0,00	25,06	74,94	0,00	0,00	0,00	10,21	89,79	0,00	0,00											
7	1	A	AD	C3AD	SX	225	75	498,20	294,52	7,125	114,02	0,12	0,00	23,06	76,94	0,00	0,00	0,00	0,00	100,00	0,00	0,00											
8	1	A	AD	C7AD	SX	300	60	530,32	314,16	7,125	131,43	0,19	0,00	25,43	74,57	0,00	0,00	0,00	0,00	100,00	0,00	0,00											
9	1	A	AD	C16AD	SX	300	75	608,86	392,70	8,625	144,67	0,29	0,00	63,70	36,30	0,00	0,00	0,00	11,70	88,30	0,00	0,00											
10	1	A	AD	C12AD	SX	300	90	687,43	471,27	7,125	131,43	0,17	0,00	14,74	85,26	0,00	0,00	0,00	3,18	96,82	0,00	0,00											
11	1	A	AD	C14AD	SX	300	90	687,43	471,27	10,125	156,81	0,21	0,00	32,65	64,46	2,88	0,00	0,00	0,00	99,15	0,85	0,00											
12	1	A	AD	C13AD	SX	430	60	675,39	450,29	8,625	172,91	0,15	0,00	46,25	53,75	0,00	0,00	0,00	0,00	100,00	0,00	0,00											
13	1	A	AD	C6AD	SX	430	75	787,97	562,87	7,125	157,11	0,12	0,00	16,02	83,98	0,00	0,00	0,00	0,00	100,00	0,00	0,00											
14	1	A	AD	C5AD	SX	430	90	900,54	675,44	8,625	172,91	0,17	0,00	55,74	43,95	0,00	0,00	0,00	0,00	100,00	0,00	0,00											
15	1	A	AD	C1AD	SX	120	60	327,06	125,66	7,125	83,76	0,59	0,00	22,31	18,79	45,17	13,73	0,00	0,00	5,51	94,49	0,00											
16	1	A	AD	C9AD	SX	120	60	327,06	125,66	10,125	100,06	0,22	0,00	0,00	83,11	16,89	0,00	0,00	0,00	85,04	14,96	0,00											
17	1	A	AD	C18AD	DX	120	75	358,48	157,08	4,875	68,10	0,28	0,00	17,71	82,29	0,00	0,00	0,00	44,30	55,70	0,00	0,00											
18	1	A	AD	C10AD	DX	120	90	389,90	188,50	3,375	56,61	0,17	0,00	0,00	84,68	15,32	0,00	0,00	0,00	98,42	1,58	0,00											
19	1	A	AD	C17AD	SX	225	60	439,30	235,62	8,625	125,52	0,32	0,00	34,91	49,09	15,99	0,00	0,00	14,04	79,57	6,38	0,00											
20	1	A	AD	C3AD	SX	225	75	498,20	294,52	7,125	114,02	0,37	0,00	10,48	68,80	20,72	0,00	0,00	0,00	42,57	57,43	0,00											
21	1	A	AD	C7AD	SX	300	60	530,32	314,16	7,125	131,43	0,38	0,00	27,46	40,22	32,32	0,00	0,00	0,00	25,08	74,92	0,00											
22	1	A	AD	C16AD	SX	300	75	608,86	392,70	8,625	144,67	0,21	0,00	34,21	61,01	4,78	0,00	0,00	0,00	96,44	3,56	0,00											
23	1	A	AD	C12AD	SX	300	90	687,43	471,27	7,125	131,43	0,23	0,00	17,31	63,33	19,36	0,00	0,00	0,00	89,62	10,38	0,00											
24	1	A	AD	C14AD	SX	300	90	687,43	471,27	10,125	156,81	0,34	0,00	40,72	47,16	12,12	0,00	0,00	3,60	51,06	45,34	0,00											
25	1	A	AD	C13AD	SX	430	60	675,39	450,29	8,625	172,91	0,17	0,00	10,49	83,59	5,92	0,00	0,00	3,99	85,14	10,86	0,00											
26	1	A	AD	C6AD	SX	430	75	787,97	562,87	7,125	157,11	0,27	0,00	3,92	81,02	15,06	0,00	0,00	0,00	65,96	34,04	0,00											
27	1	A	AD	C5AD	SX	430	90	900,54	675,44	8,625	172,91	0,18	0,00	17,28	80,81	1,60	0,00	0,00	0,00	92,02	7,98	0,00											

Figura 37. Organizzazione del file Excel finalizzata alla costruzione di tabelle pivot.

La tabella precedente è stata poi utilizzata come sorgente per le tabelle pivot, le quali riassumono in maniera ben strutturata il comportamento generale in termini di DT^s o % di occupazione zonale. Le tabelle pivot suddividono il campione in funzione di una o più caratteristiche al fine di evidenziare eventuali relazioni tra gruppi diversi. Per una migliore lettura dei dati, sulla base delle precedenti tabelle, si sono realizzati due tipi di grafico con i quali è possibile confrontare i diversi comportamenti tenuti dai test driver nelle differenti situazioni. Per esempio, è possibile valutare le differenze di comportamento tenuto dai guidatori in curve di raggio, direzione o configurazione dell’ostacolo differente. Inoltre, permettono di osservare il comportamento in funzione dell’età o del sesso dei test driver.

La prima tipologia di grafici fornisce il numero di osservazioni di ciascuna classe di dispersione associate a un preciso sotto campione (per esempio tutte le osservazioni dei TD maschi) e confronta le varie “serie di dispersione” relative a una stessa variabile. La seconda tipologia rappresenta invece, i profili di occupazione delle cinque strisce di competenza della sede stradale i quali, danno indicazioni su quanto e per quanto tempo le zone di competenza vengono occupate. Per meglio comprenderne la lettura, in *Figura 38* vengono riportati le due tipologie di grafici.

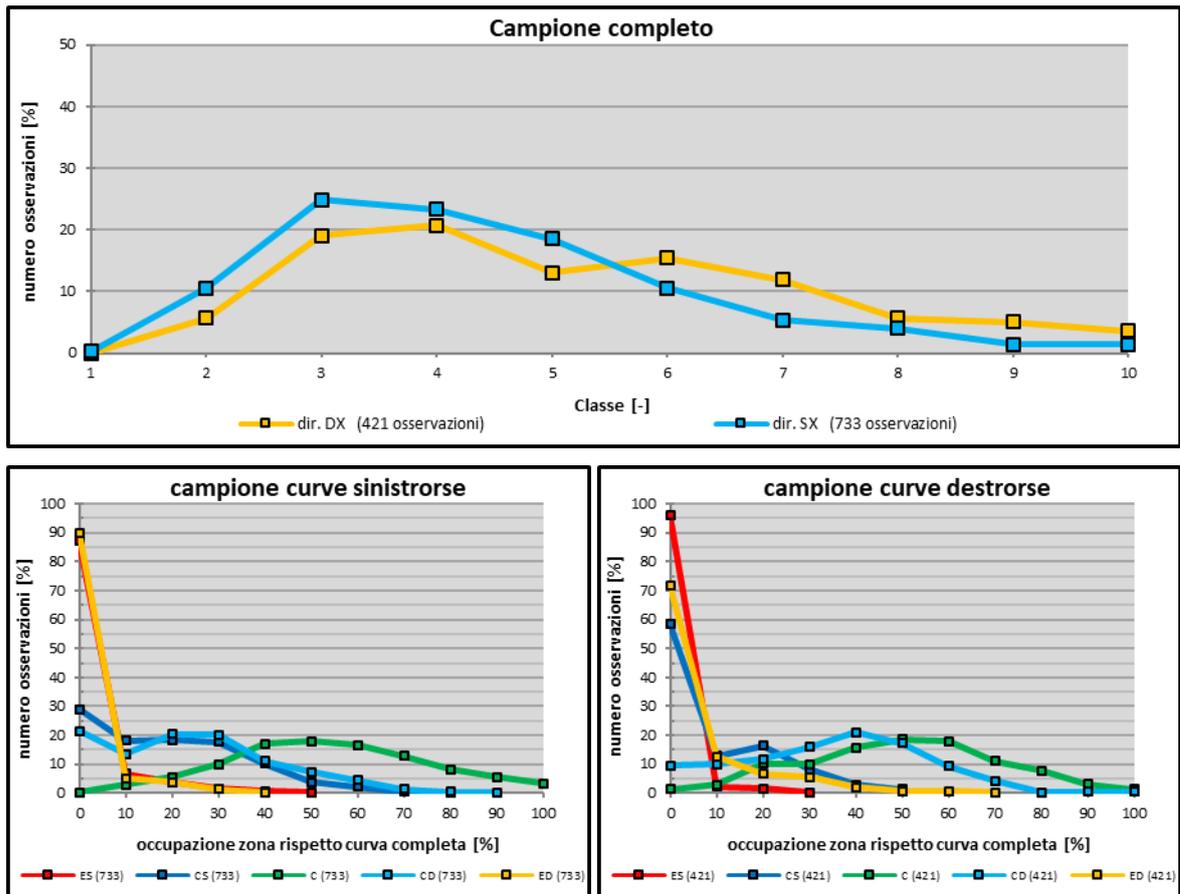


Figura 38. Confronto tra curve di direzione opposta in termini di dispersione della traiettoria (in alto) e delle percentuali di occupazione zonali (in basso).

In entrambi le situazioni rappresentate è preso in considerazione il campione completo delle 1154 osservazioni. In particolare, in alto si valuta l’influenza del raggio planimetrico in termini di *Dispersion of Trajectory Standard*, mentre in basso sono rappresentate le “curve di occupazione” delle cinque zone della sede stradale dove, sull’asse dell’ascisse viene riportata l’occupazione della zona (ES, CS, C, CD ed ED) mentre su quello delle ordinate il numero delle osservazioni, entrambe le grandezze vengono espresse in percentuale.

Dal grafico si può notare che i test driver affrontano le curve destrorse con una dispersione maggiore infatti, la relativa curva di dispersione risulta più piatta e mostra un maggior numero di osservazioni 5 classi di dispersione più elevate. Al contrario, per le restanti cinque classi, ovvero quelle relative alle traiettorie contenute nella corsia (vedi *Tabella 18*) la distribuzione delle curve sinistrorse è sempre maggiore di quella delle curve di direzione opposta. Inoltre, la distribuzione di quest’ultime ha una “deviazione” rispetto alla media maggiore e il picco delle osservazioni è relativo alla classe 4, la restante curva di distribuzione invece ha la forma di una gaussiana con massimo in corrispondenza della classe 3.

Soffermandoci invece sull'occupazione della sede stradale si nota che la zona maggiormente utilizzata è quella centrale, la curva relativa infatti (in verde nei grafici), è quella più spostata verso destra la quale, è caratterizzata da un numero di osservazioni maggiori in corrispondenza di classi di occupazione zonale maggiore. In entrambi i casi infatti si sono registrate traiettorie contenute nella zona C per tutto lo sviluppo della curva. Se nelle curve sinistrorse le zone periferiche della corsia (in azzurro e in blu) sono transitate più o meno allo stesso modo, nelle curve destrorse prevale invece l'utilizzo della zona di destra (in azzurro) con invasioni della banchina (in arancione) per anche il 70% dello sviluppo totale della curva. In particolare, nel 30% delle osservazioni (su 421) è stata occupata la banchina per almeno il 10% della curva. La corsia di sorpasso è invasa maggiormente nelle curve sinistrorse per al più il 50% della curva. Le curve di occupazione confermano quanto riscontrato nel grafico precedente, ovvero che le curve sinistrorse sono affrontate mantenendo la corsia in un numero maggiore di casi rispetto alle curve di direzione opposta, con invasioni delle zone esterne più contenute. Inoltre, esse evidenziano il maggior utilizzo delle zone di destra nelle curve di direzione destrorsa con invasioni della banchina in circa il 30 % dei casi.

Facciamo un passo indietro, abbiamo visto che il dominio della % di occupazione zonale è stato suddiviso in sottodomini di ampiezza pari al 10% cosicché per ogni osservazione è stato necessario determinare la classe della percentuale di occupazione per ogni zona. Ciascuna percentuale rappresenta il rapporto tra il tratto di curva transitato nella relativa zona e la lunghezza della curva stessa quindi, la somma dei rapporti delle cinque zone deve dare 100. Il calcolo della classe di percentuale eseguito in maniera banale (vedi *Tabella 20*) però, porta con sé un errore di fondo, ogniqualvolta il guidatore occupa più di una zona, ovvero quando almeno due percentuali delle cinque sono diverse da zero, si incrementa dal 10% fino al 40% il computo totale (quanto vengono occupate tutte e 5 le zone). In *Tabella 20* vengono riportate le dieci combinazioni per cui si registra tale incremento, è ovvio che all'aumentare delle zone occupate e della quota a parte che si suddividono le "unità", le somme delle percentuali classificate (in rosso) assumono scostamenti maggiori. Va sottolineato che il termine unità viene usato in maniera impropria in quanto è "compresa di virgola".

Tabella 20. Errore introdotto dalla classificazione semplice nelle combinazioni “critiche”.

n° zone	n° incrementi	Osservazioni						Classificazione semplice						
		% ES	% CS	% C	% CD	% ED	Σ [%]	Σ unità [%]	% ES'	% CS'	% C'	% CD'	% ED'	Σ' [%]
2	2	77	23	0	0	0	100	10	80	30	0	0	0	110
3	3	44	0	27	29	0	100	20	50	0	30	30	0	110
		32	0	0	45	23	100	10	40	0	0	50	30	120
4	4	18	14	39	0	29	100	30	20	20	40	0	30	110
		11	24	39	0	26	100	20	20	30	40	0	30	120
5	5	21	22	33	24	0	100	10	30	30	40	30	0	130
		6	19	28	39	8	100	40	10	20	30	40	10	110
		16	19	26	37	2	100	30	20	20	30	40	10	120
		21	24	27	11	17	100	20	30	30	30	20	20	130
		31	42	11	3	13	100	10	40	50	20	10	20	140

Per ovviare a ciò è stato necessario creare per le cinque % di occupazione zonale, un apposito algoritmo, in grado di individuare oltre la posizione degli zeri, le dieci precedenti combinazioni per ogni osservazione, e ridurre laddove è necessario una o più classi per avere un computo totale corretto (pari a 100). L'algoritmo fa in modo che la riduzione avvenga sempre per le percentuali i cui valori unitari sono i minori in modo tale che il processo di approssimazioni in classe conduca al minimo errore. Nei rari casi in cui ciò non è possibile, ovvero laddove due valori hanno unità coincidenti, la riduzione è applicata in maniera del tutto casuale. In *Tabella 21* viene mostrato come lavora l'algoritmo per le dieci combinazioni precedenti, in rosso sono segnalate le classi ridotte e in blu i valori di unità identiche nei cui casi la scelta è casuale. Per la stesura dell'algoritmo si rimanda all'*Appendice E*.

Tabella 21. Funzionamento dell'algoritmo per le combinazioni “critiche”.

n° zone	n° riduzioni	Osservazioni						Classificazione con algoritmo						
		% ES	% CS	% C	% CD	% ED	Σ [%]	Σ unità [%]	% ES'	% CS'	% C'	% CD'	% ED'	Σ' [%]
2	1	77	23	0	0	0	100	10	80	20	0	0	0	100
3	1	44	0	27	29	0	100	20	40	0	30	30	0	100
	2	32	0	0	45	23	100	10	30	0	0	50	20	100
4	1	18	14	39	0	29	100	30	20	10	40	0	30	100
	2	11	24	39	0	26	100	20	10	20	40	0	30	100
	3	21	22	33	24	0	100	10	20	20	30	30	0	100
5	1	6	19	28	39	8	100	40	0	20	30	40	10	100
	2	16	19	26	37	2	100	30	20	20	20*	40	0	100
	3	21	24	27	11	17	100	20	20	20	30	10	20	100
	4	31	42	11	3	13	100	10	30	40	10	0*	20	100

L'ultimo passo dell'analisi prevede infine la valutazione delle due grandezze rispetto la distanza di visuale libera che si ha nel tratto di curva circolare. Distanza funzione delle due caratteristiche geometriche dell'arco circolare R e Δ .

4.2.2 Campione delle osservazioni

Non si confonda il campione dei guidatori visto al *paragrafo 2.4.1* con quello delle osservazioni, quest'ultimo infatti racchiude le traiettorie tenute da ciascun TD nelle 36 curve affrontate. La distribuzione iniziale è ovviamente la stessa di quella del campione dei guidatori, ma avendo deciso di non includere nell'analisi alcune traiettorie viziate (*paragrafo 4.1*), la dimensione del campione delle osservazioni si è ridotta a 1154 variando di conseguenza la distribuzione delle sue caratteristiche.

In *Figura 39* viene riportata la suddivisione del campione in classi di età e in base al sesso. In particolare, più della metà delle osservazioni (56.16%) sono relative a guidatori di età compresa tra i 20 e i 30 anni, mentre del restante 44% circa, la classe di età più discriminata è quella compresa tra i 41 e i 50 anni con solo l'11.87%. Considerando invece il sesso, il 64% del campione riguarda guidatori maschi contro il 36% di femmine.

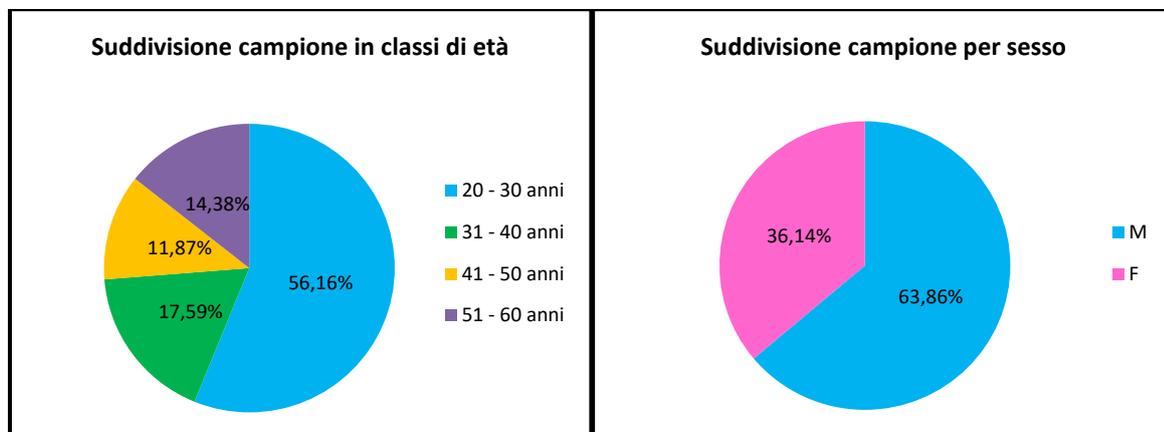


Figura 39. Suddivisione del campione delle osservazioni in classi di età (a sinistra) e in base al sesso (a destra).

Sicuramente più interessante è la suddivisione in base alle caratteristiche geometriche riportata in *Figura 40*. Il campione è costituito per il 63.5% da curve di direzione sinistrorsa, inoltre si hanno più curve di raggio 125 m e 430 m che rappresentano rispettivamente il 26% e il 28% del campione, mentre la classe più discriminata è quella relativa alle curve di raggio pari a 300 m che ne rappresenta il 22%. Se si considera invece la suddivisione del campione in base alla distanza D tra filo carreggiata e l'ostacolo, le osservazioni relative a curve con presenza di

ostacolo rappresentano l'88% del totale, che si suddivide in maniera quasi equa per le tre distanze dall'ostacolo. Definite le proprietà del campione e quindi le analisi meno affidabili (relative alle classi età 31-40, 41-50, 51-60 e alle curve con assenza di ostacolo) è ora possibile effettuare l'analisi.

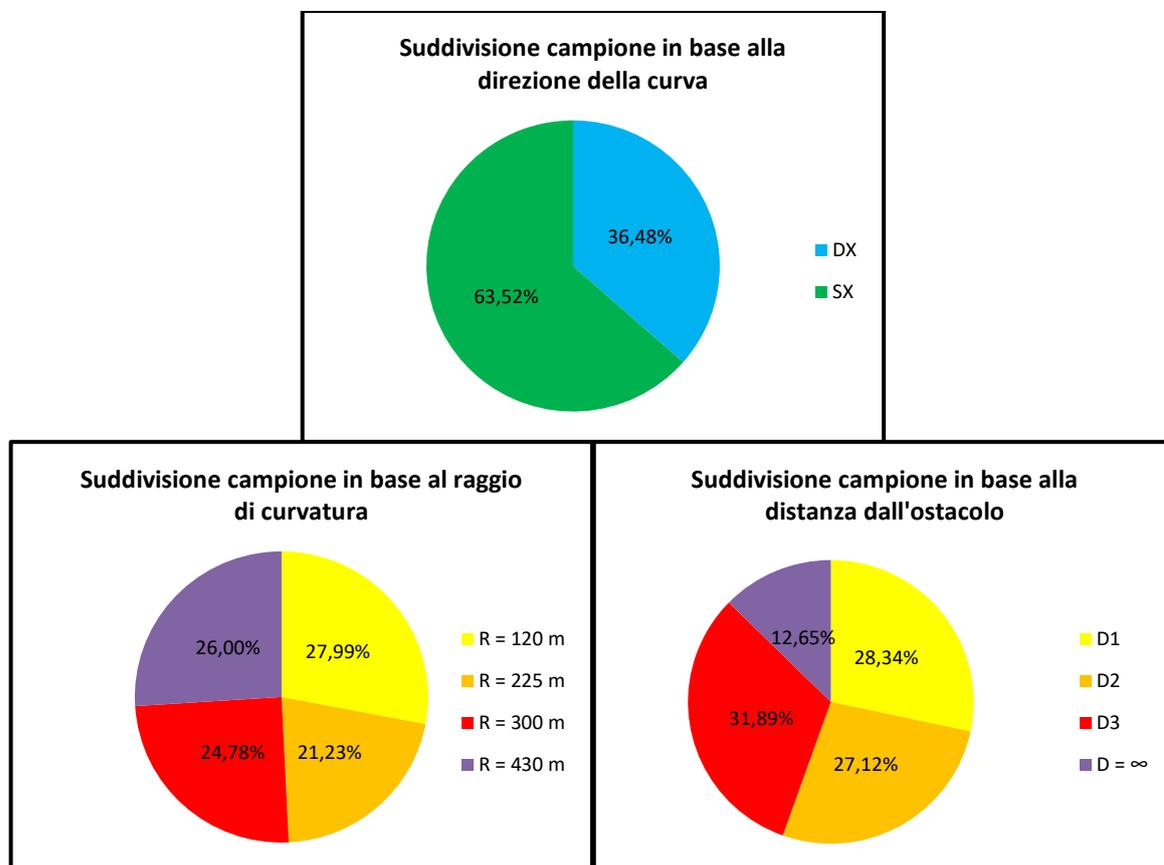


Figura 40. Suddivisione del campione delle osservazioni in base alle caratteristiche geometriche delle curve.

4.2.3 Analisi in funzione dell'età dei guidatori

a) Valutazione sull'intero tracciato

Prima di analizzare nel dettaglio il comportamento dei guidatori tenuto in curva, si vuole mostrare il comportamento generale degli stessi lungo tutto il tracciato. In *Tabella 22* viene riportata per ogni guidatore, la dispersione delle loro traiettorie tenute lungo gli scenari affrontati. I dati sono stati ordinati in funzione dell'età dei test driver per valutare l'influenza della stessa e sembrerebbe che i guidatori della classe più anziana adottino traiettorie caratterizzate da una dispersione significativamente maggiore, se per i più giovani la media è di 0.36 m, per la classe più anziana la stessa è di 0.51 m e in riferimento alla *Tabella 18* e la *Tabella 19* del *paragrafo 4.2.1* si può notare che si ha un aumento di 2 classi dispersione. Inoltre, per le due classi centrali le dispersioni medie sono rispettivamente di 0.42 m e 0.48 m.

Semberebbe quindi che all'aumentare dell'età i guidatori adottino traiettorie meno vicine all'asse della corsia di marcia.

Tabella 22. Valori del Dispersion of Trajectory Standard (DT^S) valutati per ogni test driver sull'intero scenario guidato.

TD	Età [anni]	Scenario						Media classe età
		AD	BD	ADNM	AI	BI	AINM	
TD29	20	\	0.38	0.32	\	\	\	0.36
TD37	21	0.49	\	\	\	\	0.39	
TD30	22	\	\	\	0.57	0.39	\	
TD32	22	0.31	\	\	\	0.32	\	
TD33	22	\	\	0.40	0.43	\	\	
TD26	24	\	\	0.35	0.37	\	\	
TD5	26	0.28	\	\	\	0.25	\	
TD14	26	0.35	\	\	\	0.36	\	
TD19	26	0.34	\	\	\	\	0.34	
TD23	26	0.31	\	\	\	0.29	\	
TD27	26	\	\	\	\	0.35	0.36	
TD3	27	\	\	\	0.25	0.30	\	
TD4	27	\	0.58	\	\	\	0.62	
TD10	27	0.30	\	\	\	\	0.32	
TD13	27	\	0.37	\	\	\	0.32	
TD20	27	\	0.42	0.39	\	\	\	
TD21	27	\	\	\	0.46	0.56	\	
TD28	27	0.23	\	\	\	\	0.27	
TD31	27	\	0.41	\	\	\	0.42	
TD34	27	0.32	0.31	\	\	\	\	
TD1	28	0.26	\	\	\	\	0.23	
TD2	30	\	0.39	0.39	\	\	\	0.42
TD35	30	\	\	0.56	0.47	\	\	
TD9	32	\	\	\	\	0.39	0.53	
TD18	34	\	\	\	\	0.27	0.26	
TD22	34	\	0.46	\	\	\	0.62	
TD38	34	\	0.51	0.45	\	\	\	
TD39	37	\	\	\	0.30	0.23	\	
TD16	40	0.67	0.58	\	\	\	\	0.46
TD41	40	0.39	\	\	\	0.43	\	
TD11	42	\	0.41	0.35	\	\	\	
TD15	44	\	\	0.34	0.32	\	\	
TD24	47	\	\	0.50	0.49	\	\	
TD6	48	\	\	0.48	0.52	\	\	
TD36	49	\	\	\	\	0.54	0.50	
TD25	53	0.49	0.42	\	\	\	\	
TD40	53	\	0.51	\	\	\	0.58	
TD17	54	\	\	0.57	0.54	\	\	
TD8	55	\	\	0.54	0.46	\	\	
TD12	55	\	\	\	0.43	0.47	\	
TD7	60	0.56	0.59	\	\	\	\	
Val. max.		0.67	0.59	0.57	0.57	0.56	0.62	
Val. min.		0.23	0.31	0.32	0.25	0.23	0.23	
Media		0.38	0.45	0.44	0.43	0.37	0.41	

b) Valutazione delle sole curve

È stato già ampiamente descritto il metodo di analisi e sono state definite le tipologie di grafici che si utilizzeranno per effettuare i vari confronti. In questo paragrafo viene valutata l'influenza dell'età sul posizionamento trasversale in curva. In particolare, si tratteranno in maniera duale

le due direzioni delle curve, inoltre le grandezze utilizzate per valutare tale posizionamento verranno analizzate in parallelo. Infatti, come già detto, il metodo del DT^s dà solo un'idea di quanto le traiettorie si discostano dalla mezzzeria della corsia di marcia, ma non fornisce indicazioni su quali siano le zone della sede stradale occupate durante la curva. Per ovviare a ciò, vengono riportati anche i grafici rappresentanti le % di occupazione zonale con i quali si può valutare per quanto, rispetto alla curva o ad un elemento, una determinata zona di competenza è stata occupata, dando inoltre un'idea dell'utilizzo delle zone esterne: corsia opposta e banchina. L'occupazione di tali zone può comportare dei rischi per la maggior vicinanza agli ostacoli fissi posti in banchina, e il rischio di collisioni con i veicoli provenienti dalla corsia opposta, oltre a influenzare il comportamento degli utenti prossimi a quello considerato.

Valutiamo dapprima come si distribuiscono le due grandezze in funzione dell'età dei guidatori, senza entrare nel dettaglio delle caratteristiche geometriche delle curve. In *Figura 41* sono riportate le curve di distribuzione delle quattro classi di età, per le curve destrorse (in alto) e quelle sinistrorse (in basso). Si può notare che i guidatori appartenenti alla classe di età più giovane adottano in entrambe le direzioni di curvatura, traiettorie con dispersione di gran lunga minore rispetto a quelle relative alle restanti tre classi. Al contrario, i dati di dispersione maggiore sono quelli relativi alla classe più anziana, per la quale si registrano notevoli traiettorie con dispersioni di classe elevata, più precisamente il 50% di esse ha una dispersione superiore alla classe 5. Soffermandoci ora sul grafico relativo al sotto campione di dimensione maggiore, quello relativo alle curve sinistrorse, si nota che con l'aumentare dell'età la relativa distribuzione si sposta verso classi di dispersione più elevate. Si può notare infatti che la curva relativa alla classe più anziana ha massimo in corrispondenza della classe 5 mentre le restanti in corrispondenza della classe 3, inoltre pur essendo caratterizzate le curve sinistrorse da una dispersione inferiore rispetto quelle della direzione opposta, per la classe più anziana si registra comunque il 12% di casi di traiettorie caratterizzate da una dispersione superiore alla 8. Se si sofferma sulle tre classi di dispersione minore si può notare invece come la relativa curva sia caratterizzata da percentuali nettamente più basse rispetto alle curve riferite alle restanti classi di età.

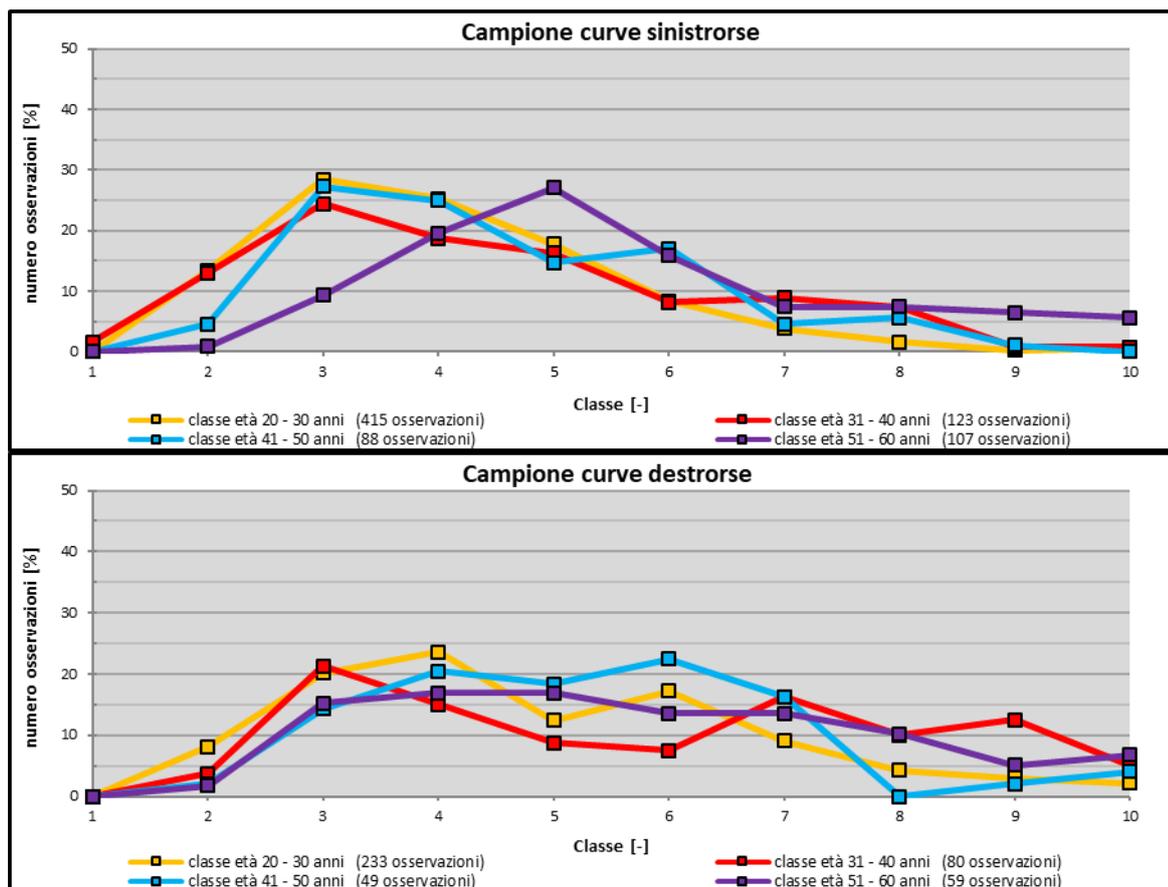


Figura 41. Curve di dispersione in funzione della classe di età dei guidatori: in alto quelle relative alle sole curve destrorse, mentre in basso quelle relative alle curve di direzione opposta.

Soffermandosi invece sull'occupazione della sede stradale, in *Figura 42* viene riportata la % di occupazione in funzione delle classi di età, per curve destrorse e sinistrorse. Si può notare che la zona maggiormente utilizzata per tutte le quattro classi di età è quella centrale, la curva relativa infatti, è quella più spostata verso destra la quale, è caratterizzata da un numero di osservazioni maggiori in corrispondenza di classi di occupazione zonale maggiore. Se nelle curve sinistrorse le zone periferiche della corsia (CS e CD) vengono utilizzate più o meno allo stesso modo, nelle curve destrorse prevale invece l'utilizzo della zona di destra (in azzurro). Concentrandosi sulle zone esterne, la corsia opposta viene occupata in misura minore rispetto la banchina, eccezion fatta per le curve sinistrorse affrontate dai guidatori più anziani. Inoltre, tale invasione è maggiore nelle curve sinistrorse mentre l'occupazione della zona di banchina è maggiore in quelle di direzione opposta.

Valutiamo ora come varia l'utilizzo delle zone in funzione dell'età dei guidatori. Si prendano in esame le sole curve sinistrorse, l'utilizzo della zona centrale della corsia decresce all'aumentare dell'età dei test driver infatti, le curve relative a tale zona si spostano verso classi di occupazione zonale minore. Si noti per esempio che, per le classi di età inferiore ai 41 anni

la zona centrale della corsia viene occupata per almeno il 90% dello sviluppo della curva, in circa il 23% totale dei casi contro solo l'1% per le osservazioni relative ai guidatori tra i 41 e i 50 anni. Infine, per la classe più anziana la zona centrale viene occupata al più per il 70% dello sviluppo totale. Se da una parte si riduce l'occupazione della zona centrale, dall'altra si ha un graduale aumento dell'occupazione della zona di centro destra, della banchina e della corsia opposta. Si può notare infatti che se per la classe di età più giovane la banchina viene invasa in solo il 5% dei casi e la corsia opposta nell'8%, per la classe più anziana le occupazioni sono rispettivamente del 19% e del 30%. Le curve relative alla zona di centro sinistra non presentano variazioni significative.

Per le curve destrorse, al crescere dell'età dei guidatori, si registra come nel caso precedente un minor utilizzo della zona centrale, un incremento significativo dell'uso della banchina e una crescita del numero di invasioni della corsia di sorpasso, seppur tale crescita sia del 10%. A differenza delle curve di direzione sinistrorse però, sembrerebbe che all'aumentare dell'età dei guidatori, si incrementa il transito nella zona di centro destra della corsia.

Le curve di occupazione confermano quindi quanto riscontrato nel grafico precedente, le curve sinistrorse vengono affrontate mantenendo la corsia in più casi rispetto alle curve di direzione opposta, con invasioni delle zone esterne più contenute. Inoltre, evidenziano il maggior utilizzo delle zone di destra nelle curve di direzione destrorsa, con invasioni delle zone esterne registrate per tutte e quattro le classi di età. Al crescere di quest'ultima quindi aumenta l'occupazione delle zone esterne e delle zone laterali a discapito di quella centrale.

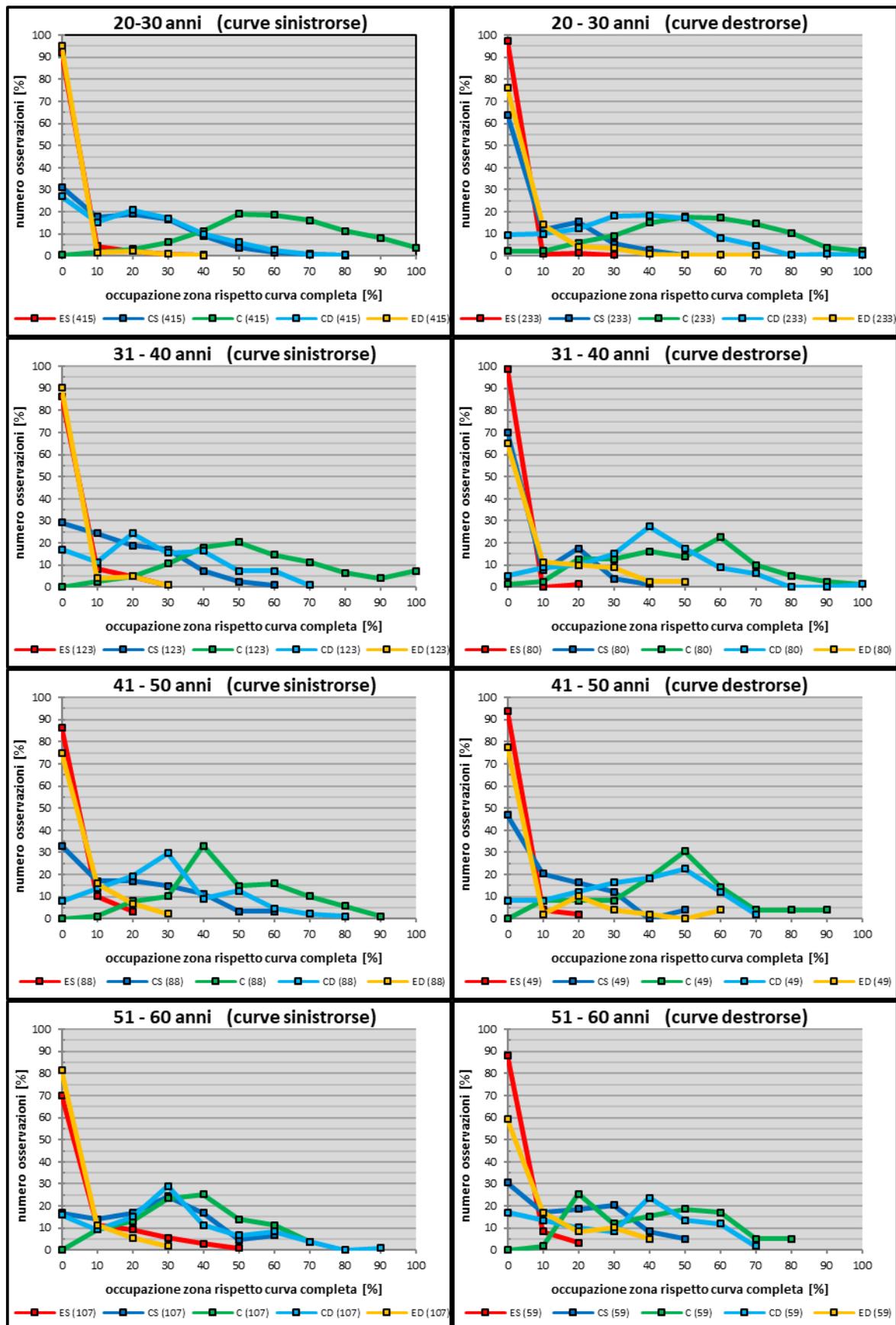


Figura 42. Curve di occupazione zonale in funzione della classe di età dei test driver differenziate per direzione della curva.

4.2.4 Influenza del raggio R delle curve differenziate per classi di età

Valutiamo ora per ogni classe di età come viene influenzata la posizione laterale in funzione del raggio di curvatura R della curva circolare in termini di dispersione della traiettoria (*Figura 43*). Possiamo notare che indipendentemente dall'età dei guidatori, all'aumentare del raggio R tale dispersione cresce infatti, le osservazioni si dispongono maggiormente nelle classi minori.

Nella *Figura 44*, *Figura 45*, *Figura 46* e *Figura 47* (pag. 101 – 104), vengono invece riportate per ogni classe di età, le curve di occupazione delle zone della sede stradale in funzione sempre del raggio di curvatura. Prendiamo in esame per ora le curve sinistrorse affrontate dalla sola classe dei più giovani (*Figura 44*). Sembrerebbe che all'aumentare del raggio (in figura dall'alto verso il basso) i guidatori adottino traiettorie più vicine all'asse, diminuiscono infatti l'invasione della corsia opposta e il transito nella zona di centro sinistra in favore di quella centrale. In particolare, le invasioni della corsia opposta registrate nelle curve di raggio più stretto si aggirano intorno al 20%, mentre in quelle di raggio 430 m non si registra nessun caso. L'utilizzo della zona sinistra decresce del 40% mentre la curva relativa a quella centrale si distribuisce verso valori più elevati di occupazione. Le curve di occupazione relative alla banchina sono invece molto simili, se nelle curve di raggio 120 m si registra l'1% di invasioni, nelle restanti curve la banchina viene invasa nel 5% dei casi. Si può dire lo stesso della zona destra della corsia, le variazioni di utilizzo si aggirano intorno al 70% con una variazione tra le classi di al più il 5%.

Si prenda ora in esame per la stessa classe, il comportamento lungo curve di direzione destrorsa. Anche in questo caso all'aumentare del raggio di curvatura le curve mostrano un utilizzo maggiore della zona di centro corsia e un leggero incremento di transito nella zona di sinistra. Il numero di invasioni della banchina invece decresce del 31% e l'utilizzo della zona di centro destra corsia viene occupata per tempi più brevi, la relativa curva infatti è distribuita verso % di occupazione minori. I dati relativi alla corsia opposta mostrano variazioni poco significative che si aggirano al più al 6%, se per le curve pie strette non si conta nessun caso di invasione, per i tre raggi più elevati si registrano invasioni nel 3%, 6% e 4% dei casi rispettivamente.

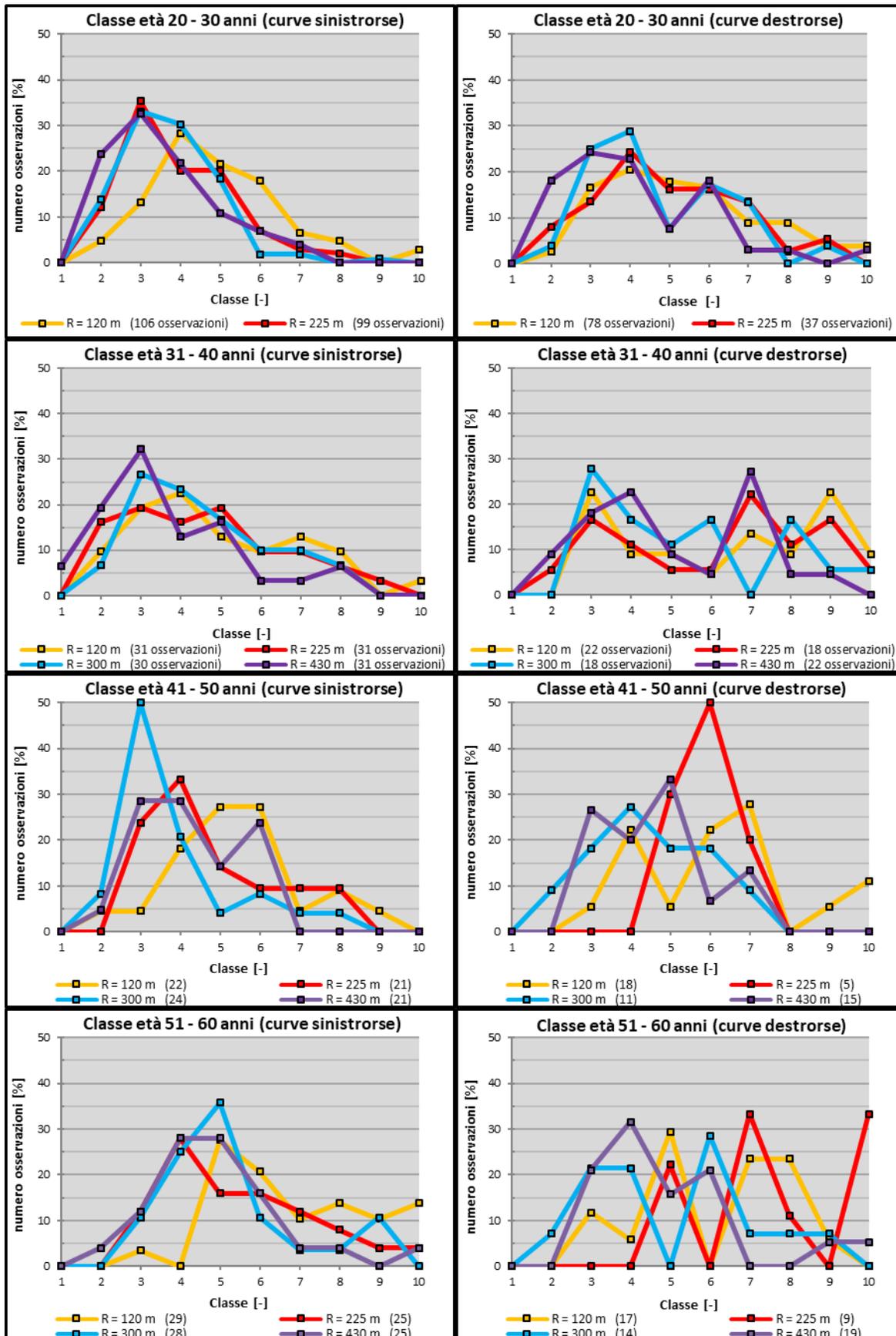


Figura 43. Curve di dispersione in funzione del raggio R delle curve, differenziate per classi di età.

Si faccia ora riferimento alla classe di età compresa tra i 31 e i 40 anni (*Figura 45*). Per le curve sinistrorse il discorso è analogo a quelle della classe precedente, sembrerebbe che all'aumentare del raggio i guidatori adottino traiettorie più vicine all'asse, diminuiscono infatti l'invasione della corsia opposta e il transito nella zona di centro sinistra in favore di quella centrale. In particolare, le invasioni della corsia di sorpasso registrate nelle curve di raggio più stretto si aggirano intorno al 30%, al contrario, in quelle di raggio 430 m non si registra nessun caso. L'utilizzo della zona sinistra decresce del 35% mentre la curva relativa a quella centrale si distribuisce verso valori più elevati di occupazione. Le curve di occupazione relative alla banchina sono anche in questo caso molto simili così come quelle relative alla zona di centro destra.

Si prenda ora in esame per la stessa classe, il comportamento lungo curve di direzione opposta. Anche in questo caso all'aumentare del raggio di curvatura le curve mostrano un utilizzo maggiore della zona di centro corsia e il numero di invasioni della banchina decresce seppur con entità minore rispetto la classe più giovane, la diminuzione è infatti del 22%. I dati relativi alla corsia opposta mostrano che tale zona non venga in genere occupata. A differenza della classe precedente le curve relative alle zone di centro destra e centro sinistra non presentano variazioni significative.

Si faccia ora riferimento alla classe di età successiva (*Figura 46*). Per le curve sinistrorse il discorso è analogo a quelle delle classi precedenti, sembrerebbe che all'aumentare del raggio i guidatori adottino traiettorie più vicine all'asse, diminuiscono infatti l'invasione della corsia opposta e il transito nella zona di centro sinistra in favore di quella centrale. In particolare, le invasioni della corsia di sorpasso registrate nelle curve di raggio più stretto si aggirano intorno al 30%, al contrario, in quelle di raggio 430 m si registrano solo nel 5% dei casi. L'utilizzo della zona sinistra decresce di addirittura il 45% mentre la curva relativa a quella centrale si distribuisce verso valori più elevati di occupazione. Le curve di occupazione relative alla banchina sono anche in questo caso molto simili per tutti e quattro i raggi di curvatura, ma se nei casi precedenti questa veniva utilizzata assai poco, in questo caso si registrano invasioni nel 10%, fino al 40% dei casi.

Si prenda ora in esame per la stessa classe, il comportamento lungo curve di direzione opposta. Come per le classi più giovani, anche in questo caso all'aumentare del raggio di curvatura le curve mostrano un utilizzo maggiore della zona di centro corsia e il numero di invasioni della banchina decresce del 25% circa. I dati relativi alla corsia opposta mostrano che tale zona venga invasa leggermente di più che nei casi precedenti, ma non sembra il suo utilizzo essere influenzato dal raggio di curvatura. Seppur in maniera meno evidente che nel caso dei

più giovani, l'utilizzo della zona di centro destra corsia viene occupata per tempi più brevi, la relativa curva infatti è distribuita verso % di occupazione minori. Per la classe precedente questo non si verifica.

Viene valutato infine come è varia l'occupazione zonale in funzione del raggio R per la classe dei più anziani. Con riferimento alle sole curve sinistrorse (*Figura 47*) sembrerebbe, come nei casi precedenti, che all'aumentare del raggio i guidatori adottino traiettorie più vicine all'asse, diminuiscono infatti l'invasione della corsia opposta e il transito nella zona di centro sinistra in favore di quella centrale. In particolare, le invasioni della corsia di sorpasso registrate nelle curve di raggio più stretto si aggirano intorno al 55%, e scendono del 50% in quelle di raggio 430 m. L'utilizzo della zona sinistra decresce del 20% circa, mentre la curva relativa a quella centrale si distribuisce verso valori più elevati di occupazione. Le curve relative alla banchina mostrano in questo caso un leggero aumento delle invasioni con il crescere del raggio di curvatura e come per il caso della classe precedente anche in questo caso si registrano un numero sufficiente di invasioni, che varia dal 10% fino al 25% circa dei casi. (per le curve di raggio più elevato).

Si prenda ora in esame per la stessa classe, il comportamento lungo curve di direzione opposta. Come per le classi più giovani, anche in questo caso all'aumentare del raggio di curvatura le curve mostrano un utilizzo maggiore della zona di centro corsia e il numero di invasioni della banchina decresce di quasi il 50%. Seppur in maniera meno evidente che nel caso dei più giovani, come per la classe di età precedente l'utilizzo della zona di centro destra corsia viene occupata per tempi più brevi al crescere del raggio R, la relativa curva infatti è distribuita verso % di occupazione minori. I dati relativi alla corsia opposta mostrano che tale zona venga invasa leggermente di più che nei casi precedenti, ma non sembra anche in questo caso che il suo utilizzo sia influenzato dal raggio di curvatura.

In sintesi, le curve di occupazione confermano quanto riscontrato nei grafici precedenti, sia per le curve sinistrorse che per quelle destrorse, si ha infatti un generale avvicinamento delle traiettorie all'asse della corsia di marcia con l'aumentare del raggio di curvatura. Più precisamente, si ha una riduzione dell'uso della zona esterna omonima della direzione della curva affrontata, ovvero nelle curve destrorse si ha una riduzione notevole delle invasioni di banchina mentre in quelle di direzione opposta si registra una riduzione considerevole della corsia opposta. Nelle curve di raggio maggiore infatti tali invasioni sono in numero nettamente inferiore. L'utilizzo della zona di centro destra è invece influenzato dal raggio di curvatura nei soli casi delle curve destrorse. Le relative curve di distribuzione sono in genere spostate verso % di occupazione minore. Questo accade per tutte e quattro le classi di età.

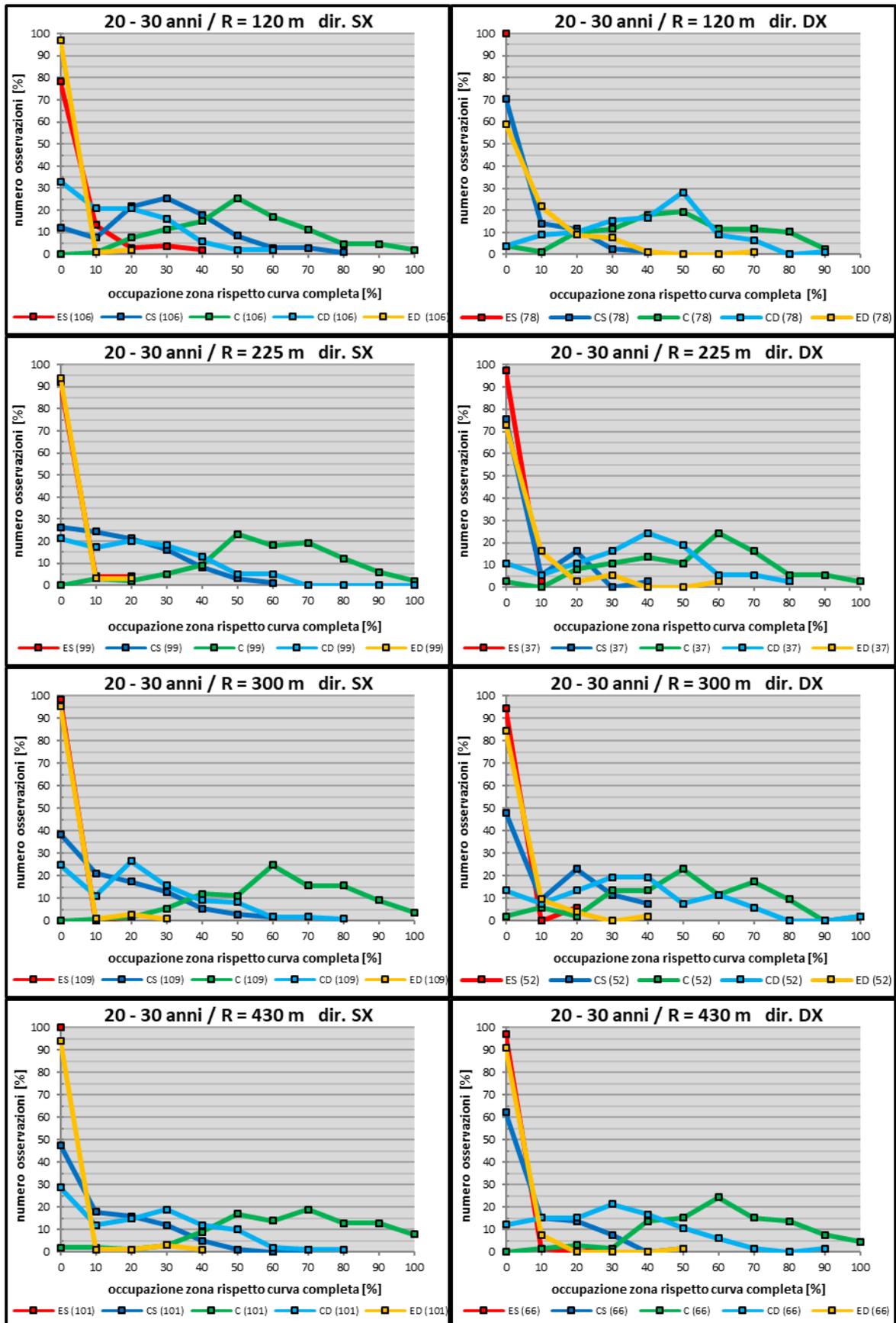


Figura 44. Curve di occupazione in funzione del raggio R per i soli guidatori di età compresa tra i 20 e i 30 anni.

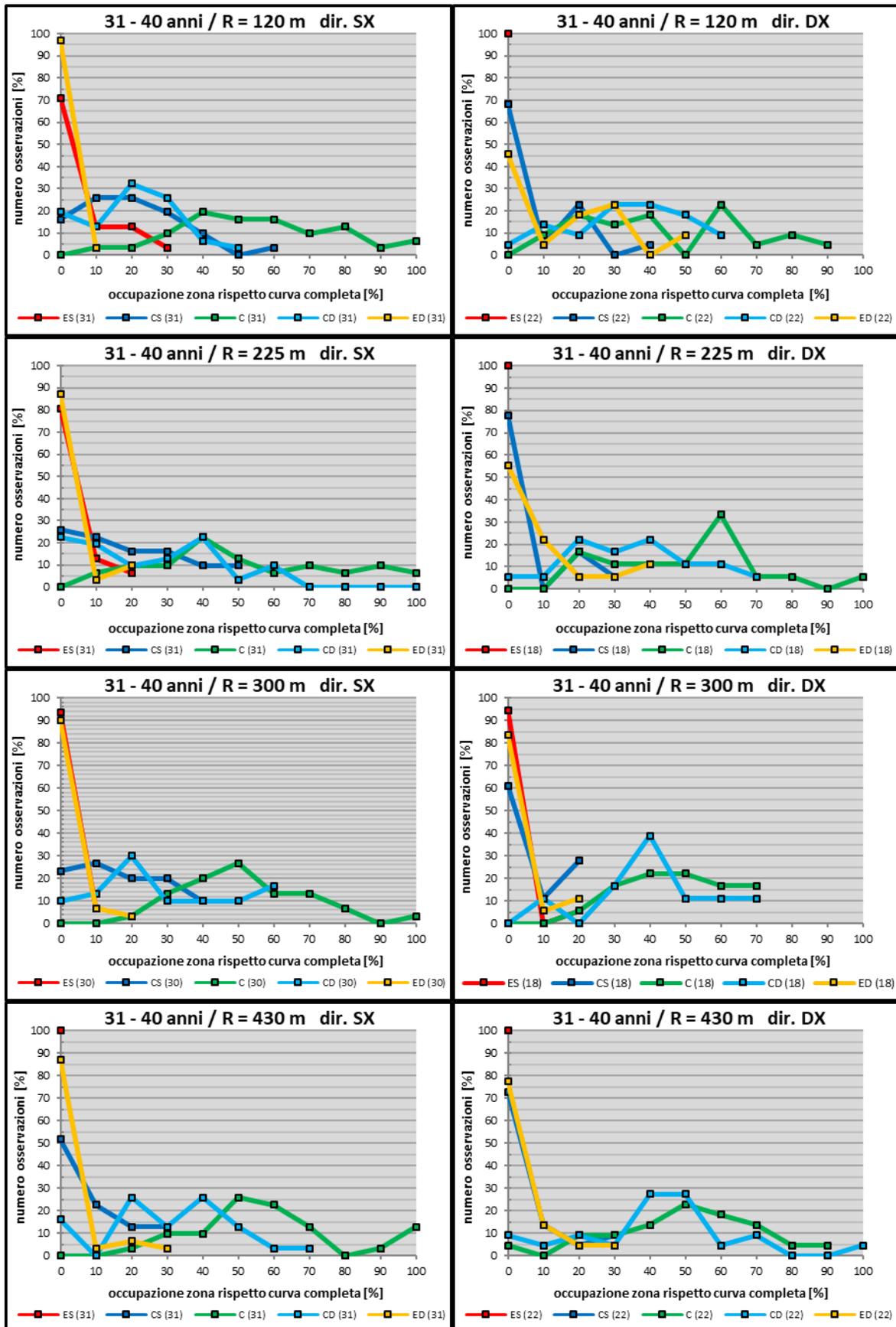


Figura 45. Curve di occupazione in funzione del raggio R per i soli guidatori di età compresa tra i 31 e i 40 anni.

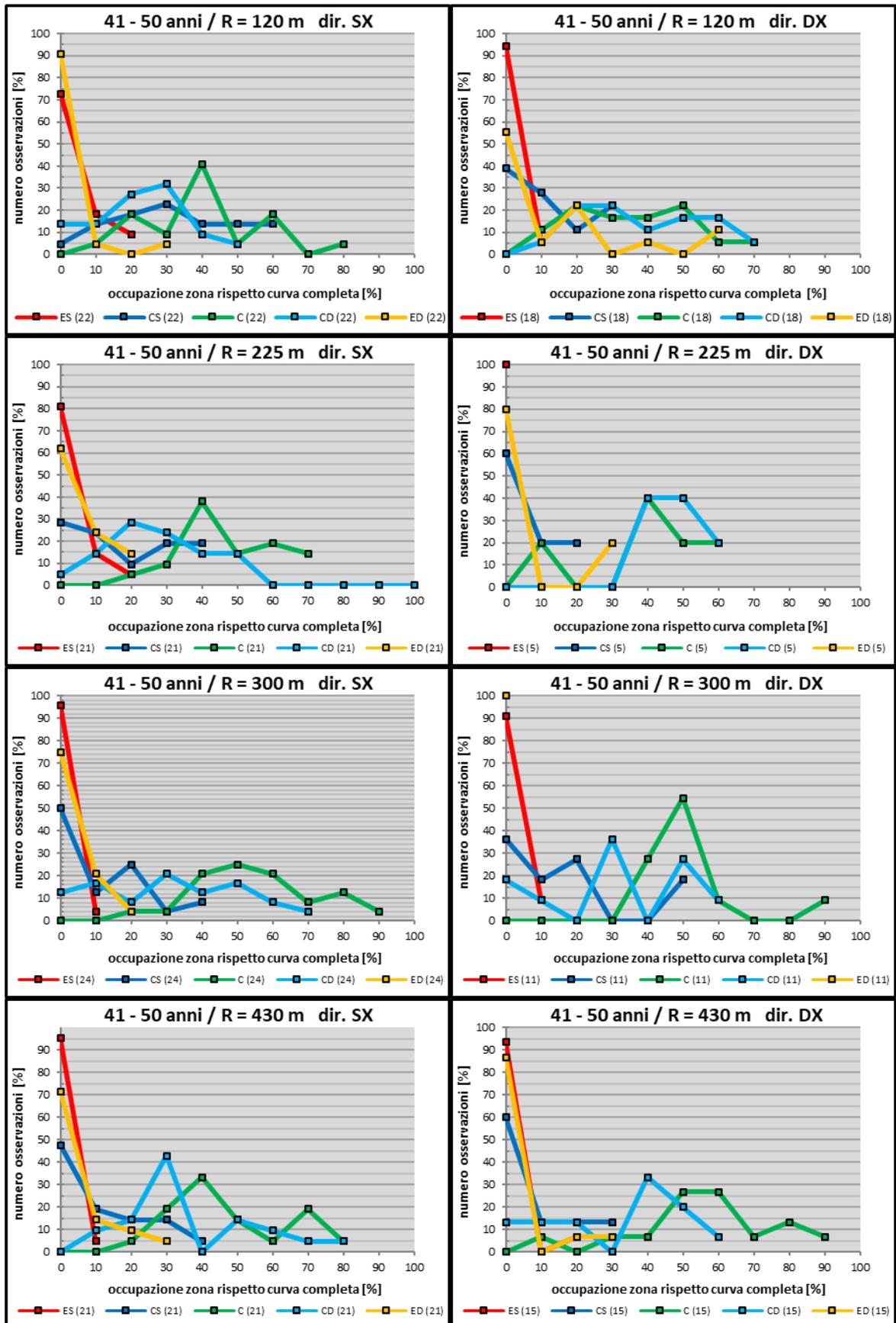


Figura 46. Curve di occupazione in funzione del raggio R per i soli guidatori di età compresa tra i 41 e i 50 anni

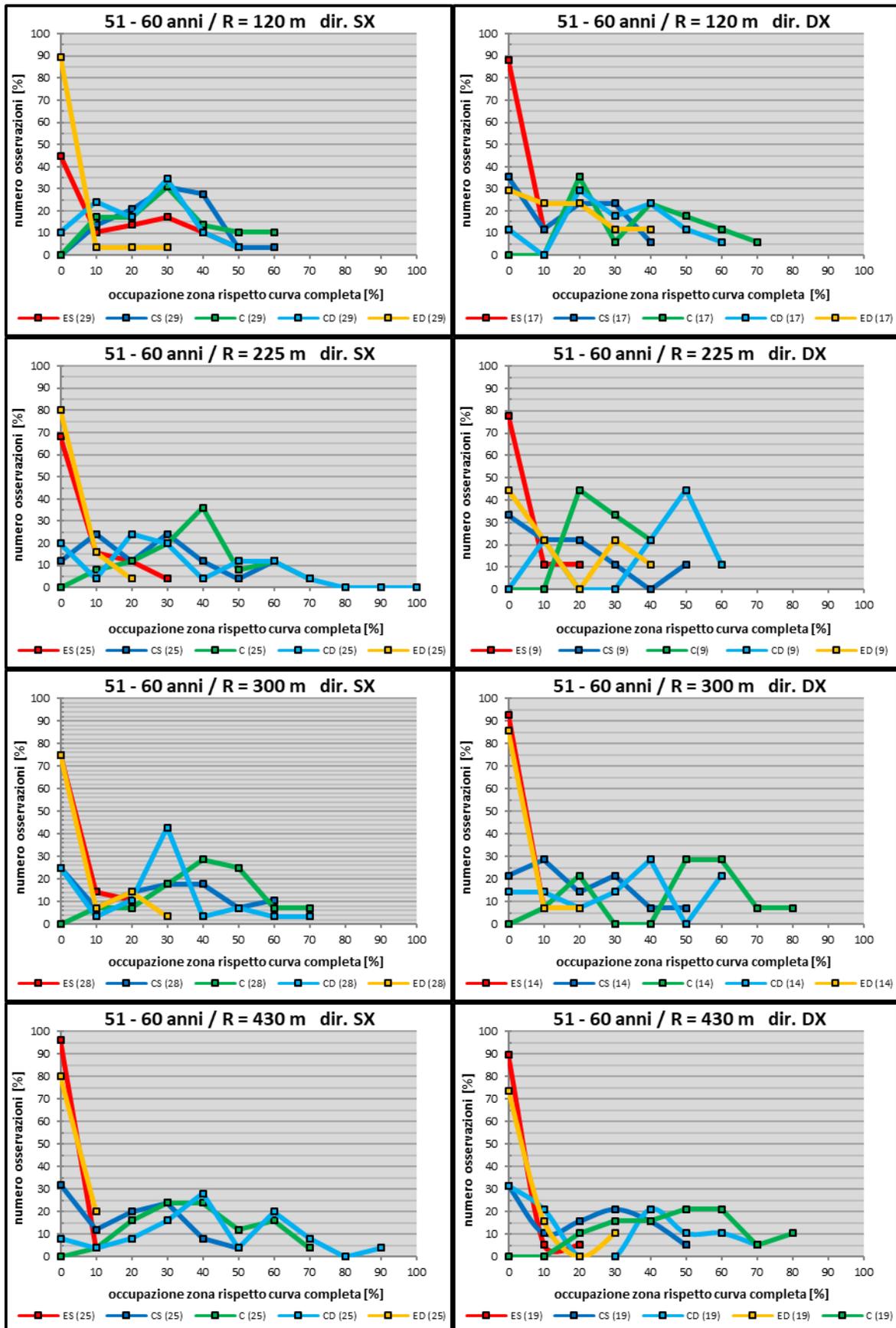


Figura 47. Curve di occupazione in funzione del raggio R per i soli guidatori di età compresa tra i 51 e i 60 anni.

4.2.5 Influenza della distanza Δd per le diverse classi di età

Si valuterà ora per ogni classe di età, l'influenza della distanza Δ sul posizionamento trasversale in curva in termini di dispersione delle traiettorie (*Figura 48*), ricordiamo che tale distanza è quella misurata tra il centro corsia e l'inizio dell'ostacolo rappresentato dal muro in pietrame. Il comportamento in funzione a tale distanza è sicuramente meno visibile rispetto il caso della variazione del raggio di curvatura. Sembrerebbe però, che nei casi più estremi, ovvero quelli in cui il muro è collocato a filo banchina e quelli relativi a curve senza ostacolo, le dispersioni tendano in genere a collocarsi verso classi di dispersione minore. Infatti, se per il primo caso ciò si verifica per tutte le classi di età e per entrambe le direzioni di curvatura (eccetto per le curve sinistrorse affrontate dai guidatori della classe di età 31-40 anni), nel caso di curve in assenza di ostacolo, ciò non si verifica per le curve sinistrorse affrontate dai guidatori più giovani e per le curve destrorse affrontate dai guidatori della classe di età appena superiore. Al contrario, nei restanti due casi in cui il muro è staccato dalla banchina, le osservazioni si distribuiscono in un numero sufficiente di casi anche nelle classi a dispersione maggiore. Sembrerebbe inoltre che questo si verifichi maggiormente all'aumentare della distanza Δ . Si noti inoltre, che quanto detto è visibile maggiormente per le curve destrorse, essendo le curve relative alla direzione opposta distribuite in una fascia più ristretta di classi, come si è già visto precedentemente.

Valutiamo ora l'influenza della distanza Δ tramite le curve di occupazione zonale (*Figura 49, Figura 50, Figura 51 e Figura 52* pag. 109 – 112). Facciamo inizialmente riferimento alle sole curve sinistrorse affrontate dai guidatori più giovani (*Figura 49*). Si registra un leggero aumento dell'invasione della corsia opposta e della zona di centro sinistra sia nel caso di Δ uguale a 7.125 m che in quello con Δ pari a 10.125 m. Al contrario per questi due casi viene evidenziata una leggera diminuzione dell'utilizzo della zona di centro e centro destra della corsia. Le curve relative alla banchina non sembrano influenzate, ma si registrano un numero maggiore di invasioni nel caso delle curve con assenza di ostruzione a lato. Le variazioni tra le varie curve di occupazione relative ad una medesima zona sono in questo caso poco significative come già evidenziato con il DT^s.

Se si fa riferimento alle sole curve destrorse invece, le variazioni sono chiaramente più evidenti. Nei casi di ostruzione posizionata a 1,5 e 3 m dalla banchina viene evidenziato il minor utilizzo della zona centrale, a favore delle zone di centrodestra e banchina. La corsia opposta viene invasa saltuariamente e con percentuali di occupazione rispetto la lunghezza totale che variano tra il 10% e il 30%.

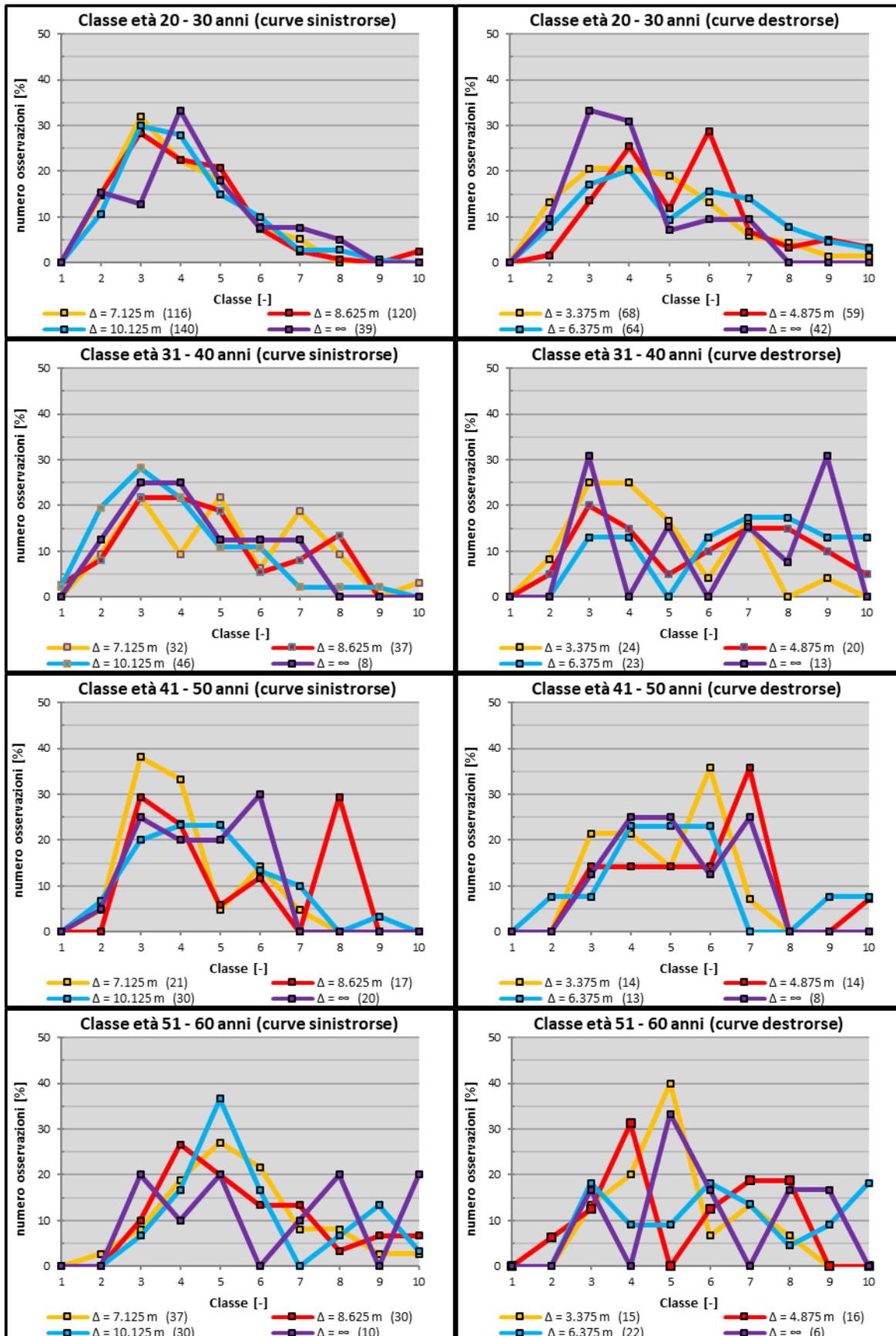


Figura 48. Curve di dispersione in funzione della configurazione dell'ostruzione delle curve, differenziate per classi di età.

Iniziamo ora ad analizzare il comportamento dei guidatori di età compresa tra i 31 e i 40 anni nell'affrontare una curva sinistrorsa (*Figura 50*). In assenza dell'ostacolo a lato si registra in maniera più evidente il comportamento del caso precedente, ovvero che le traiettorie seguono in maniera migliore l'asse della corsia e non si registrano invasioni delle zone esterne. Nelle curve con ostruzione a lato il comportamento è diverso rispetto al caso della classe di età inferiore. All'aumentare della distanza Δ dall'ostacolo le traiettorie tendono a seguire per più tempo la zona centrale.

Se si fa riferimento alle sole curve destrorse invece, si può notare che si riscontra un comportamento abbastanza simile a quello visto per la classe di età più giovane. Si evidenzia infatti il minor utilizzo della zona centrale, a favore delle zone di centrodestra e banchina nel caso di curve con ostruzione posizionata a 1.5 m e 3 m dalla banchina. La corsia opposta viene invasa saltuariamente e con percentuali di occupazione rispetto la lunghezza totale che variano tra il 10% e il 20%.

In *Figura 51* vengono riportate le curve di occupazione per i guidatori di età compresa tra i 41 e i 50 anni in funzione della configurazione dell'ostruzione. Si nota un leggero aumento del numero delle invasioni della corsia opposta e della banchina, ma soprattutto un incremento dell'utilizzo della zona di centro sinistra, sia nel caso di Δ pari a 7.125 m che in quello con Δ uguale a 10.125 m. Al contrario per questi due casi viene evidenziata una leggera diminuzione del transito nelle zone di centro e centro destra della corsia. Nelle curve prive di ostacolo i test driver tendono ad utilizzare maggiormente il centro corsia rispetto ai casi precedenti con uscite dai margini della corsia di marcia meno frequenti.

Se si fa riferimento alle sole curve destrorse anche in questo caso le variazioni tra le curve di occupazione relative alla medesima classe sono chiaramente più visibili. Nei casi di ostruzione posizionata a 1.5 m e 3 m dalla banchina viene evidenziato il minor utilizzo della zona centrale, a favore delle zone di centrodestra e banchina. La corsia opposta viene invasa saltuariamente e con percentuali di occupazione rispetto la lunghezza totale che variano tra il 10% e il 20%.

Si valuta infine come variano le curve di occupazione per la classe più anziana (*Figura 52*). In questo caso per le curve sinistrorse sembrerebbe che all'aumentare della distanza Δ dall'ostacolo vengano maggiormente utilizzate le zone di centro sinistra e corsia opposta. Le curve di occupazione relative alla banchina sono simili in tutti e quattro i casi mentre per quelle relative alla zona di centro destra si registra una distribuzione verso classi di occupazione più elevata nel caso nel caso di Δ pari a 8.625 m e una distribuzione verso classi di occupazione

minore nel caso di curve in assenza di ostacolo nelle quali si registra il massimo spostamento verso le zone di destra (centro destra e banchina).

Si faccia ora riferimento alle curve destrorse, anche in questo caso all'aumentare della distanza Δ dell'ostacolo si registra un maggior utilizzo delle zone omonime della direzione della curva. I test driver infatti tendono a occupare maggiormente le zone di centro destra e banchina a discapito della zona centrale e di quella di centro sinistra. Inoltre, le invasioni della corsia opposta sembrerebbero diminuire con l'aumentare della distanza Δ . Si registra un maggior utilizzo delle corsie di destra anche per le curve prive di ostacolo. In sintesi, sembrerebbe che in presenza di ostruzione visiva all'aumentare della distanza Δ aumenti la dispersione delle traiettorie mentre nei casi di curve prive di ostruzione la dispersione è dell'ordine di quelle registrate per le curve con muro a filo banchina, o leggermente superiore. Con riferimento alle curve di occupazione invece, sembrerebbe che per curve con ostacolo a lato all'aumentare della distanza Δ dall'ostacolo le traiettorie tendano ad occupare maggiormente le zone omonime della direzione di curvatura. Per esempio, nel caso di curve sinistrorse si registra all'aumentare della distanza Δ , un maggior utilizzo delle zone di sinistra (centrosinistra e corsia opposta) eccezion fatta per la classe di guidatori con età tra i 31 e i 40 anni per cui si riscontra un minor utilizzo delle zone più periferiche in favore di quella centrale. Nel caso di curve destrorse invece si registra sempre all'aumentare della distanza Δ un maggior utilizzo delle zone di destra (centrodestra e banchina). Nel caso di curve prive di ostacolo si ha un maggior uso della zona centrale a discapito di quelle più periferiche per tutti i guidatori con età inferiore a 51 anni. La classe più anziana fa registrare spostamenti trasversali maggiori nelle curve prive di ostacolo.

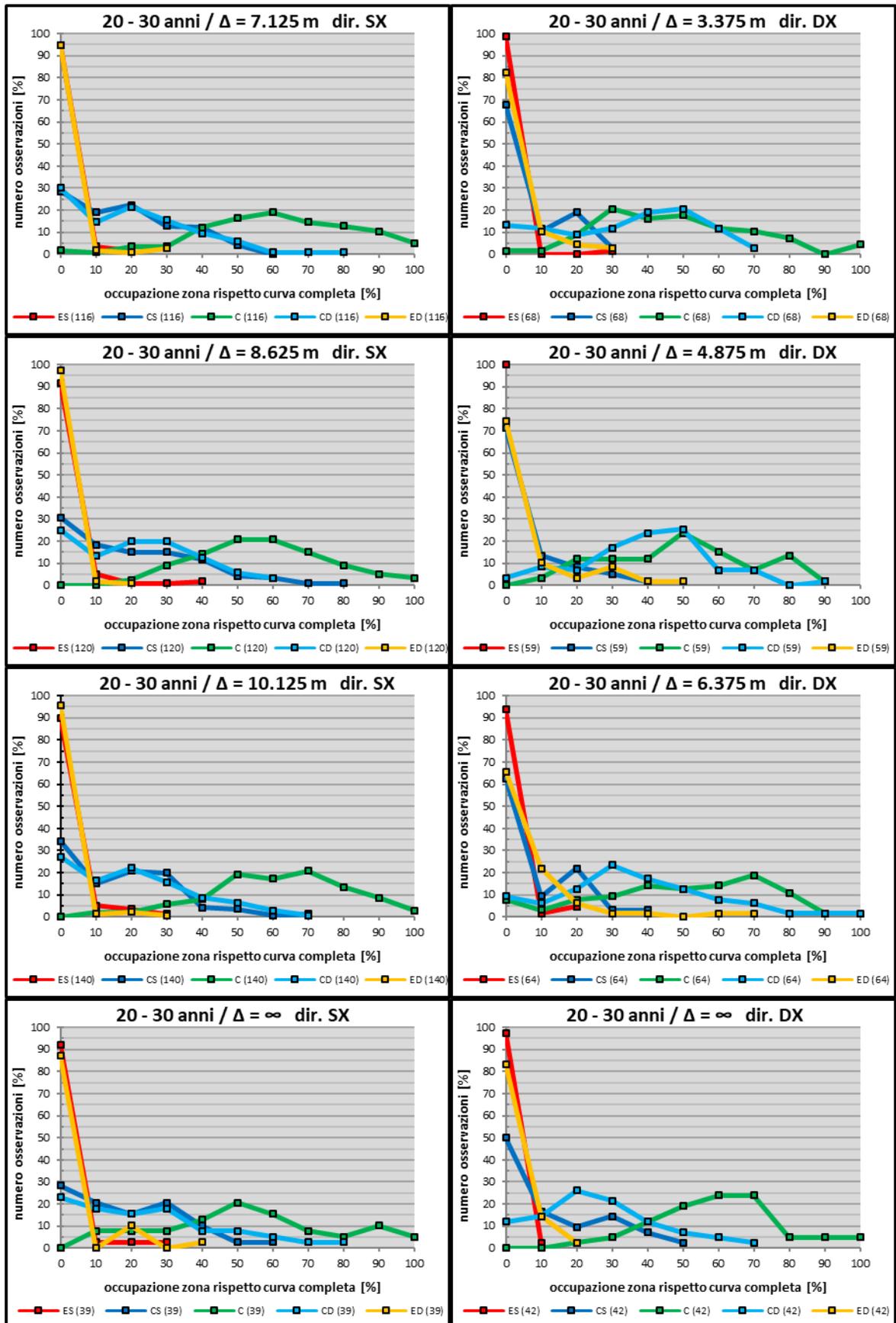


Figura 49. Curve di occupazione in funzione della configurazione dell'ostruzione delle curve per i soli guidatori di età compresa tra i 20 e i 30 anni.

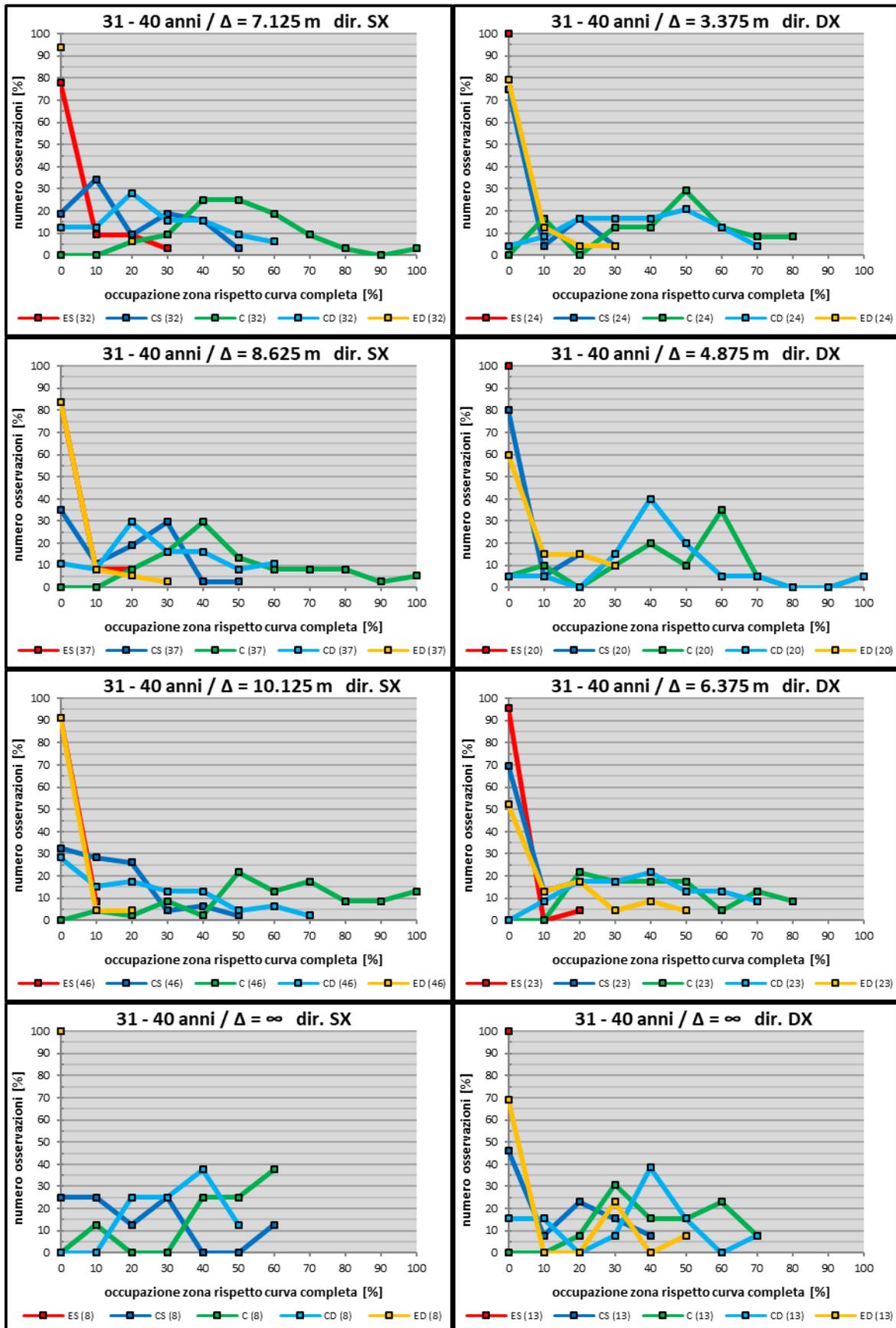


Figura 50. Curve di occupazione in funzione della configurazione dell'ostruzione delle curve per i soli guidatori di età compresa tra i 31 e i 40 anni.

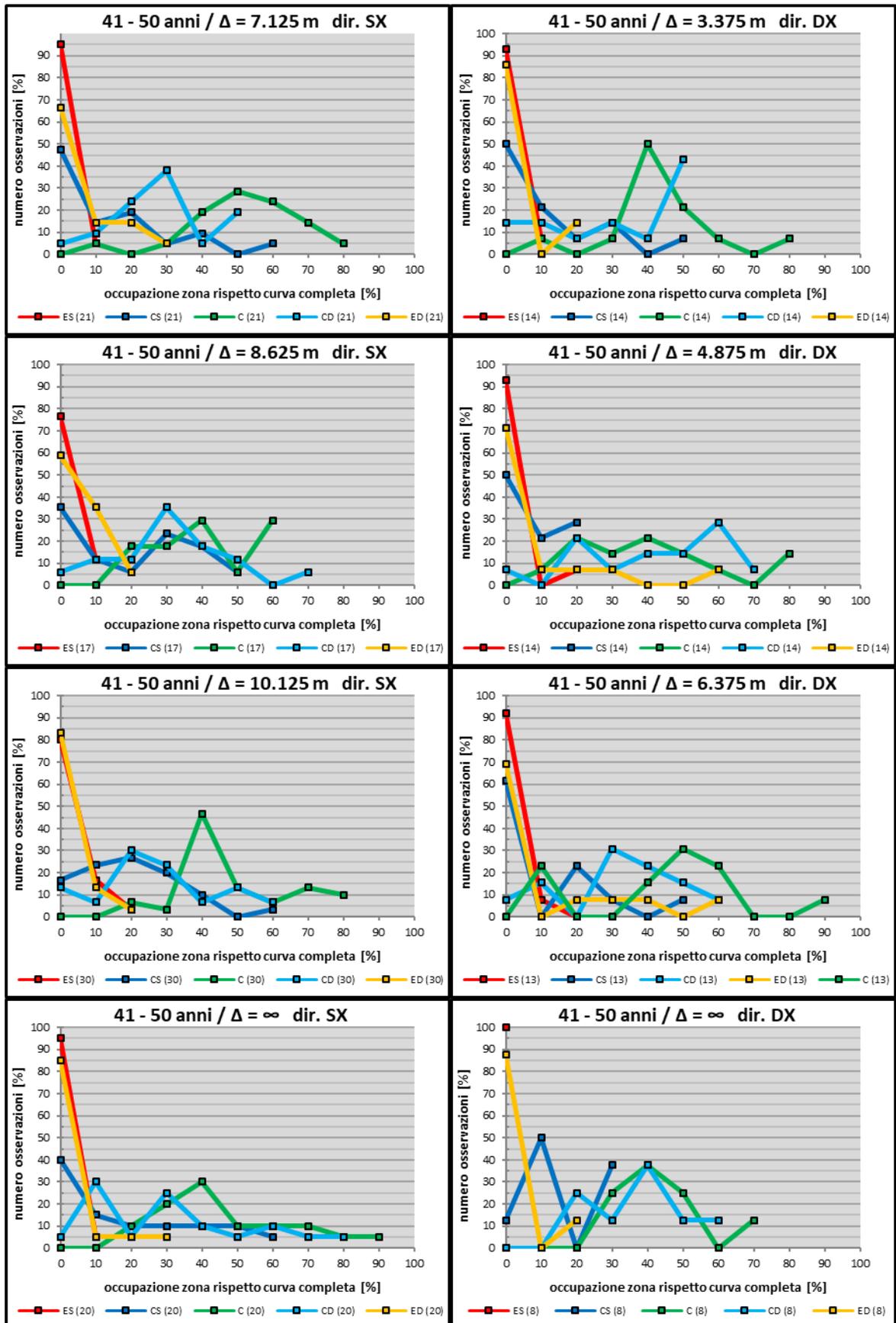


Figura 51. Curve di occupazione in funzione della configurazione dell'ostruzione delle curve per i soli guidatori di età compresa tra i 41 e i 50 anni.

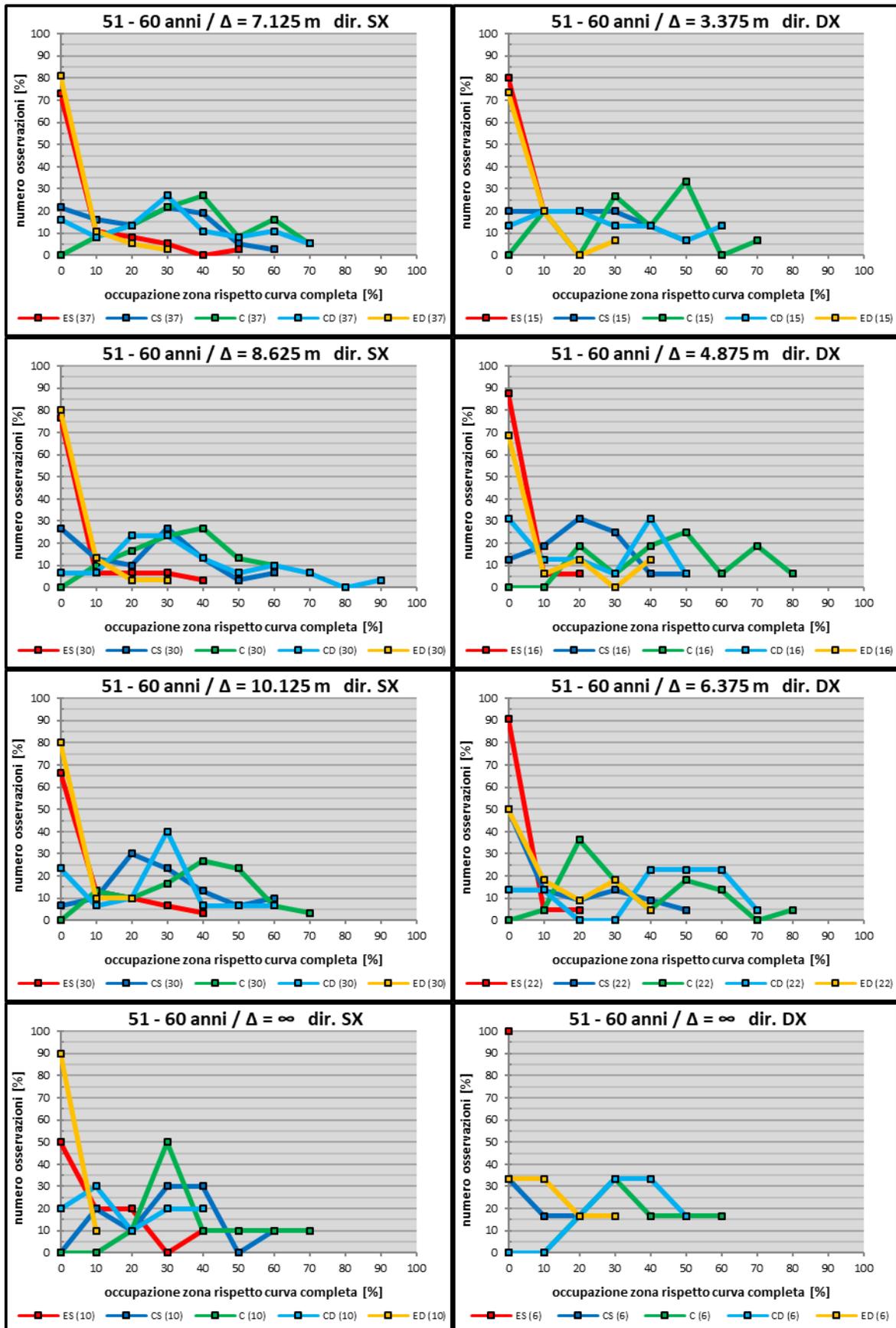


Figura 52. Curve di occupazione in funzione della configurazione dell'ostruzione delle curve per i soli guidatori di età compresa tra i 51 e i 60 anni.

4.2.6 Confronto per genere

Si ricerca in questa parte di analisi come varia il comportamento tra i due sessi. A tal proposito in *Figura 53* vengono riportate le curve di distribuzione del DT^s e le curve di occupazione relativi ad entrambi i sessi. Sembrerebbe che le curve di distribuzione abbiano all'incirca lo stesso andamento, non sembra quindi che ci sia influenza tra sesso dei guidatori e posizionamento trasversale. Vediamo però per completezza come varia l'occupazione delle zone e se tale metodo può dare qualche informazioni maggiori rispetto al metodo con il DT^s. Con riferimento alle sole curve sinistrorse sembrerebbe che gli uomini utilizzino leggermente di più le zone esterne alla corsia e le zone periferiche della stessa a discapito della zona centrale che viene invece utilizzata maggiormente dal sesso femminile. Nelle curve sinistrorse invece le zone di banchina e corsia di sorpasso vengono invase all'incirca allo stesso modo in entrambi i casi, ma si registra un maggior utilizzo della zona sinistra della corsia da parte del sesso maschile, a discapito anche qui della zona centrale.

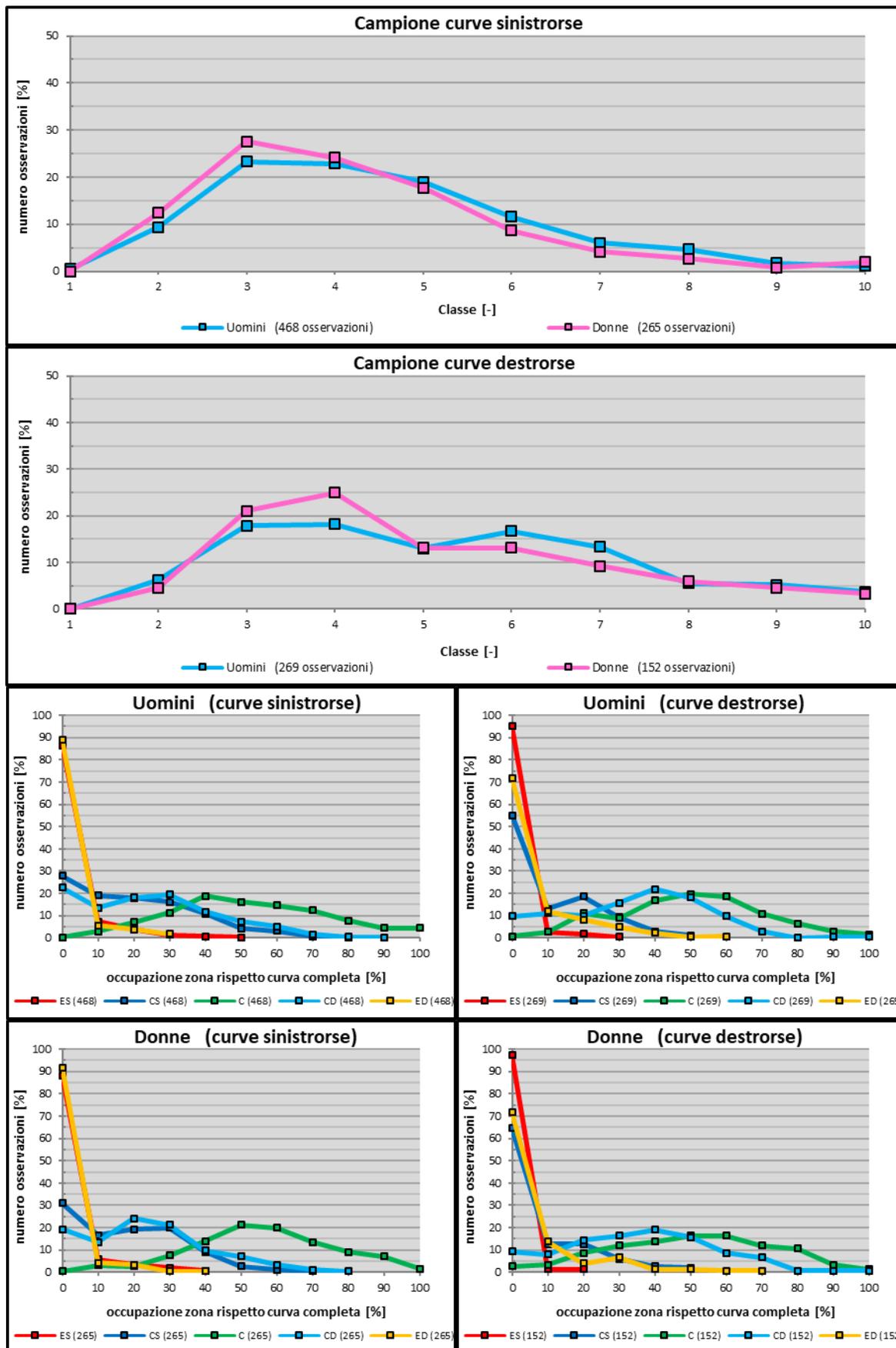


Figura 53. Curve di dispersione (in alto) e di occupazione (in basso) differenziate per sesso.

4.2.7 Influenza del raggio R differenziata per genere

Si valuta ora l'influenza del raggio di curvatura R differenziando i casi per i due sessi. L'analisi viene eseguita dapprima attraverso le curve di dispersione del DT^s (Figura 54). Sembra che per entrambi le direzioni di curvatura, all'aumentare del raggio R la dispersione delle relative traiettorie diminuisce, infatti le curve si spostano verso sinistra con l'incrementare dello stesso. Inoltre, si può notare che i test driver di sesso maschile nell'affrontare le curve di raggio minore (120 m) adottano nel 20% dei casi traiettorie con classe di superiore alla 6. Almeno in 1 caso su 4 nell'affrontare tali curve di direzione sinistrorsa i guidatori di sesso maschile invadono una zona esterna. Per l'altro sesso la percentuale scende al 15%. Se si considerano anche le traiettorie con un DT^s che ricade nella classe 6, il numero di osservazioni delle traiettorie più critiche si alza al 50% dei casi per il sesso maschile e al 25% per quello femminile.

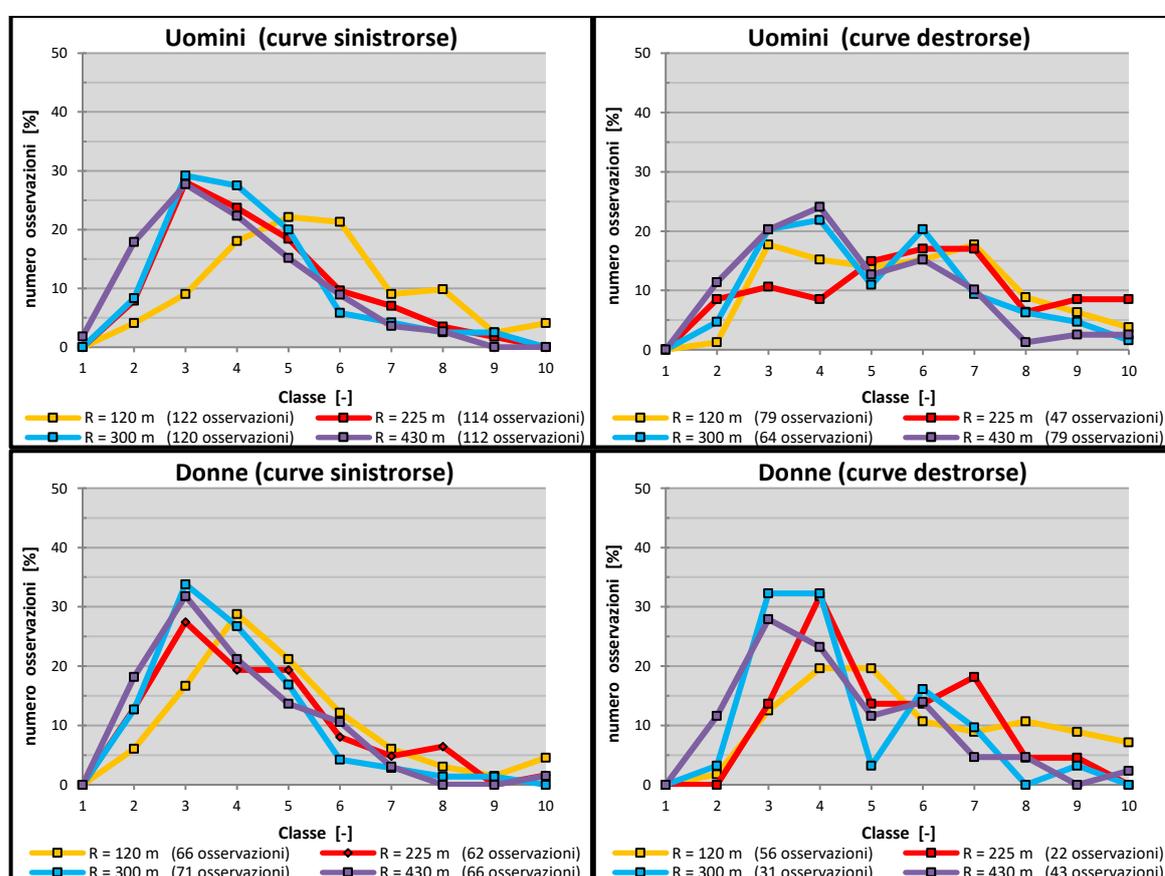


Figura 54. Curve di dispersione in funzione del raggio R delle curve, differenziate per sesso.

In Figura 55 e Figura 56 vengono riportate per entrambi i sessi, le curve di occupazione in funzione del raggio delle curve R, in particolare all'aumentare di quest'ultimo, i guidatori di entrambi i sessi tendono a seguire in modo migliore l'andamento della curva. Prendendo in esame le sole curve sinistrorse, si registra per gli uomini una riduzione delle invasioni della

corsia opposta del 32% e una diminuzione dell'utilizzo della zona destra della corsia del 15%. Per le donne le percentuali sono del 18 e del 30%. Inoltre, per entrambi le classi si registra un leggero aumento delle invasioni della banchina. Se i guidatori di sesso maschile tendono a tagliare maggiormente le curve più strette, transitando nelle zone di centro e centrosinistra della corsia e invadendo inoltre nel 33% dei casi la corsia opposta, i test driver del sesso opposto tendono a rimanere maggiormente in zona centrale e a occupare le zone periferiche (CS, CD) all'incirca nel medesimo modo. All'aumentare del raggio di curvatura invece, i guidatori di entrambi i sessi tendono a occupare maggiormente le zone di centro e centrodestra. In particolare, quest'ultima è utilizzata in più casi e per più tempo dai test driver di sesso femminile.

Anche per le curve destrorse il discorso è analogo infatti, all'aumentare del raggio diminuisce il transito nelle zone esterne e si incrementa l'occupazione della zona centrale, se per le curve di raggio più stretto si registrano invasioni della banchina in circa il 50% dei casi in quelle di raggio 430 m le stesse diminuiscono al 10% nel caso di sesso femminile e al 15% nel caso di quello maschile. Non si riscontrano per questa direzione di curvatura differenze sostanziali tra i due sessi anche se i guidatori di sesso femminile nell'affrontare le curve di raggio più elevato transitano per più tempo nella zona centrale rispetto a quelli del sesso opposto.

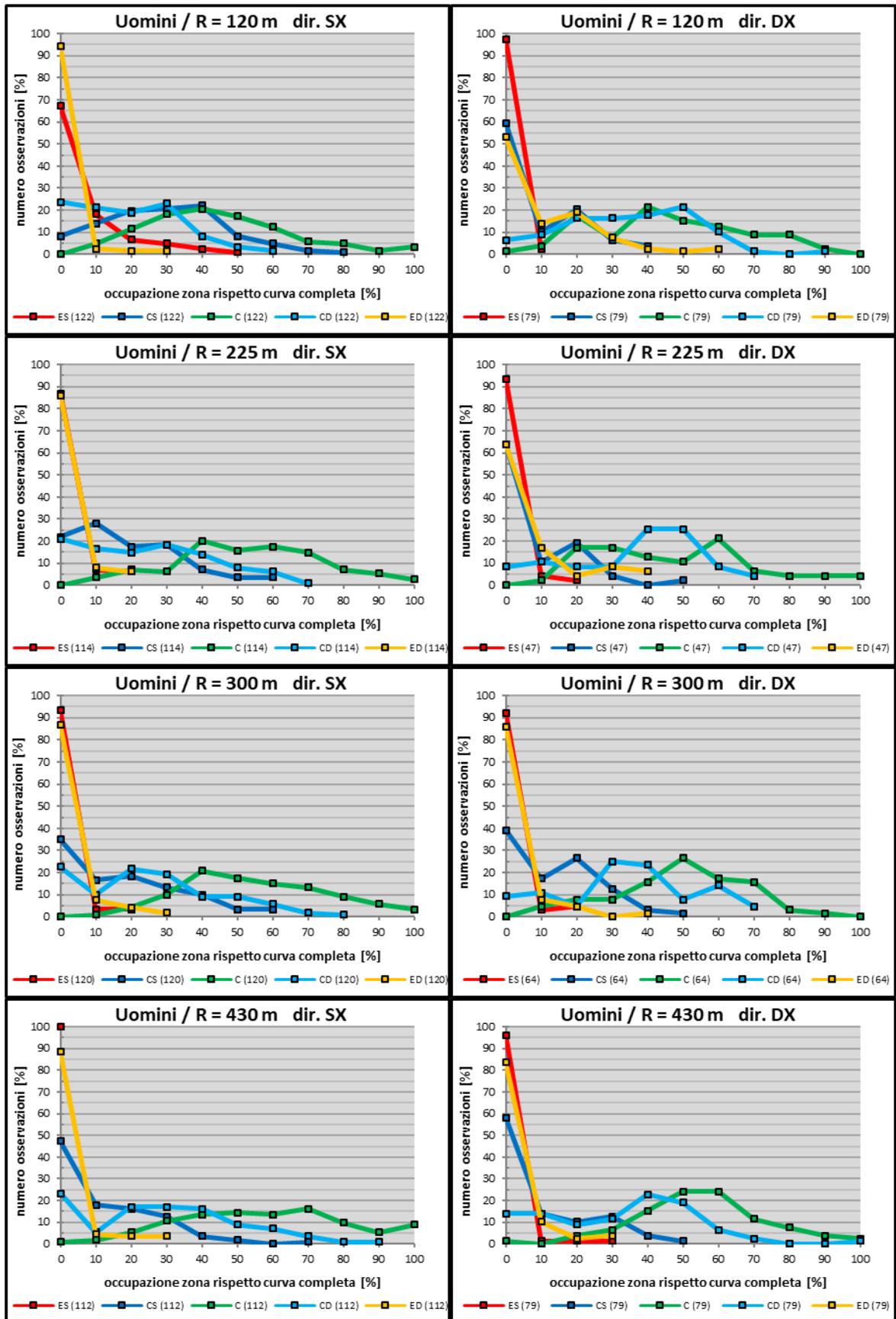


Figura 55. Curve di occupazione in funzione del raggio R delle curve per i soli test driver di sesso maschile.

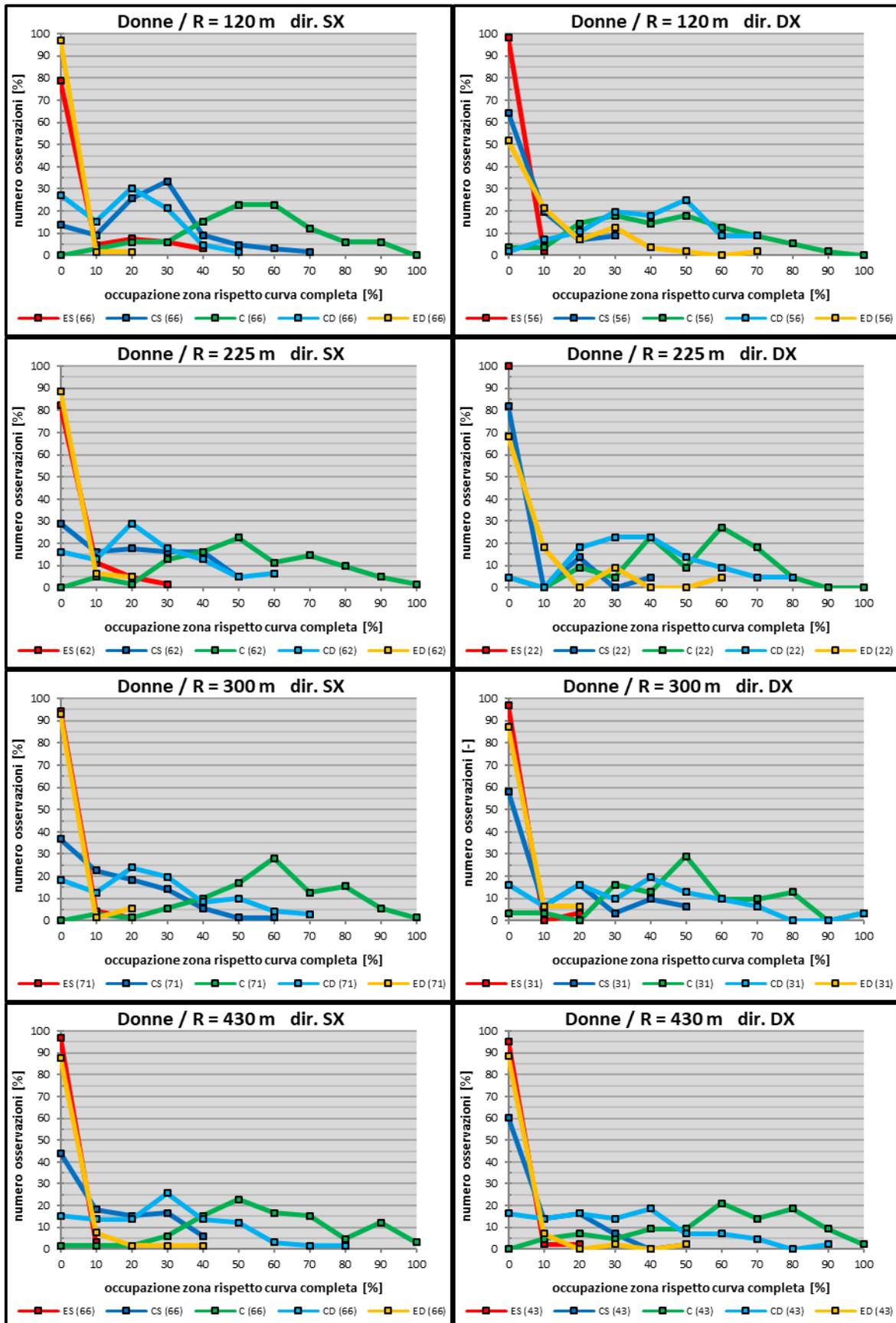


Figura 56. Curve di occupazione in funzione del raggio R delle curve per i soli test driver di sesso femminile.

4.2.8 Influenza della distanza Δ differenziata per genere

Analizziamo ora come la distanza Δ dell'ostacolo influisce sul posizionamento trasversale dei guidatori di entrambi i sessi (Figura 57), ricercando possibili differenze di comportamento. Prendendo in riferimento le sole curve sinistrorse non si notano per i guidatori di sesso maschile sostanziali variazioni nelle distribuzioni delle curve relative alle quattro diverse configurazioni dell'ostacolo. Diverso il comportamento dei guidatori di sesso femminile i quali adottano traiettorie a dispersione maggiore nelle curve prive di ostacolo. Se prendiamo in esame le curve destrorse sembrerebbe che i guidatori di sesso maschile tendono ad adottare traiettorie a dispersione maggiore all'aumentare della distanza Δ mentre per le donne il discorso è valido solo per le ultime tre classi di dispersione dove si registrano il 10% di casi sia in classe 9 che in classe 10 nel caso di Δ pari a 6.375 m.

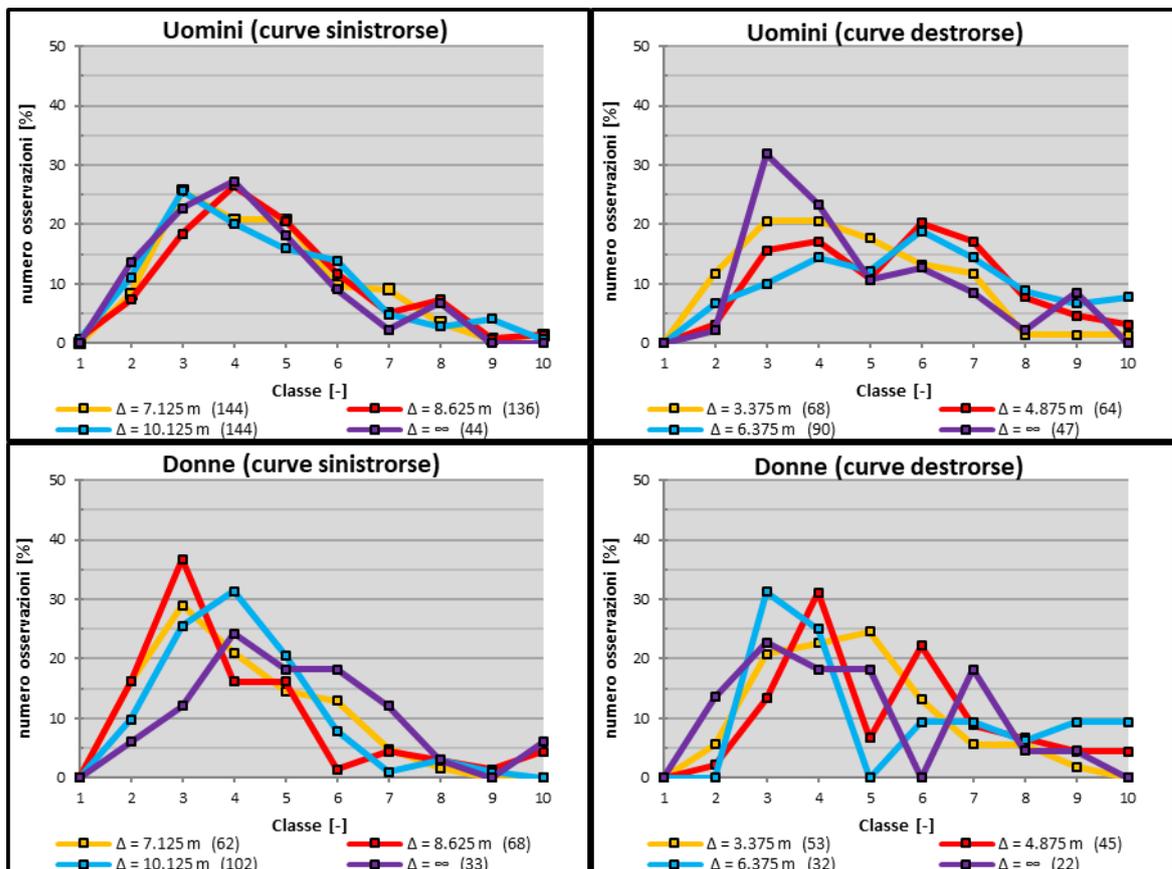


Figura 57. Curve di dispersione in funzione della configurazione dell'ostacolo delle curve, differenziate per sesso.

In Figura 58 e Figura 59 vengono rappresentate le curve di occupazione differenziate per i due sessi in funzione della distanza Δ . Analizzando la sola direzione sinistrorsa, non si

riscontrano sostanziali differenze di comportamento nei casi in cui la curva presenta l'ostruzione, mentre se i guidatori di sesso maschile affrontano le curve prive di ostacolo stando maggiormente in centro corsia, quelli di sesso femminile invadono le zone esterne in misura maggiore dei casi di curva con ostacolo e occupano le zone periferiche della corsia di marcia per più tempo rispetto ai guidatori di sesso opposto. Se si analizzano le curve di direzione destrorsa invece, sembrerebbe che all'aumentare della distanza Δ i guidatori di entrambi i sessi tendano ad utilizzare maggiormente la zona di centro destra e a invadere maggiormente la banchina. Nelle curve prive di ostacolo si registra per i guidatori di entrambi i sessi un comportamento analogo a quello registrato nelle curve con ostacolo posto a 3.375 m eccezion fatta che per il sesso femminile si registra un numero maggiore di invasioni della banchina.

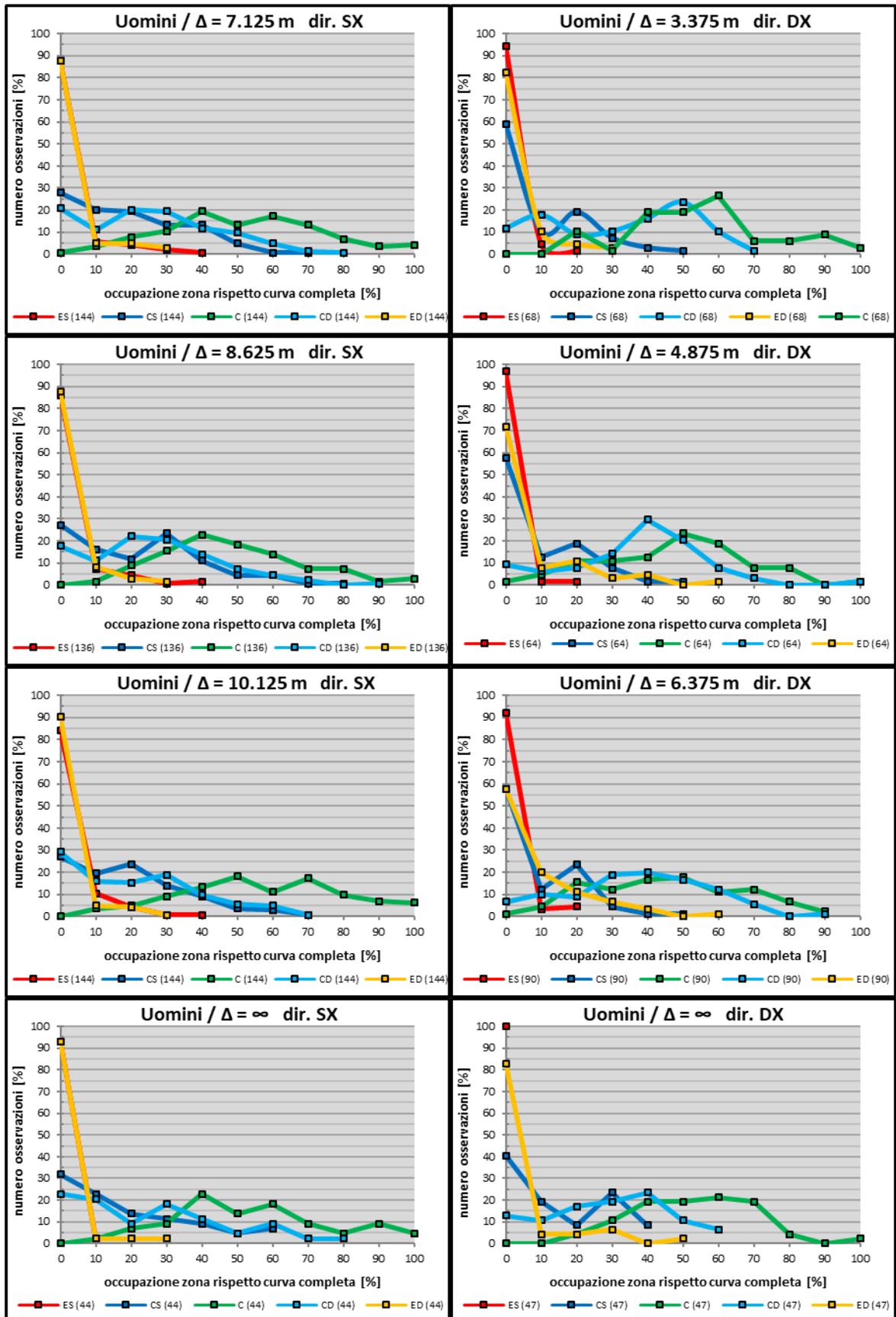


Figura 58. Curve di occupazione in funzione della configurazione dell'ostruzione delle curve per i soli guidatori di sesso maschile.

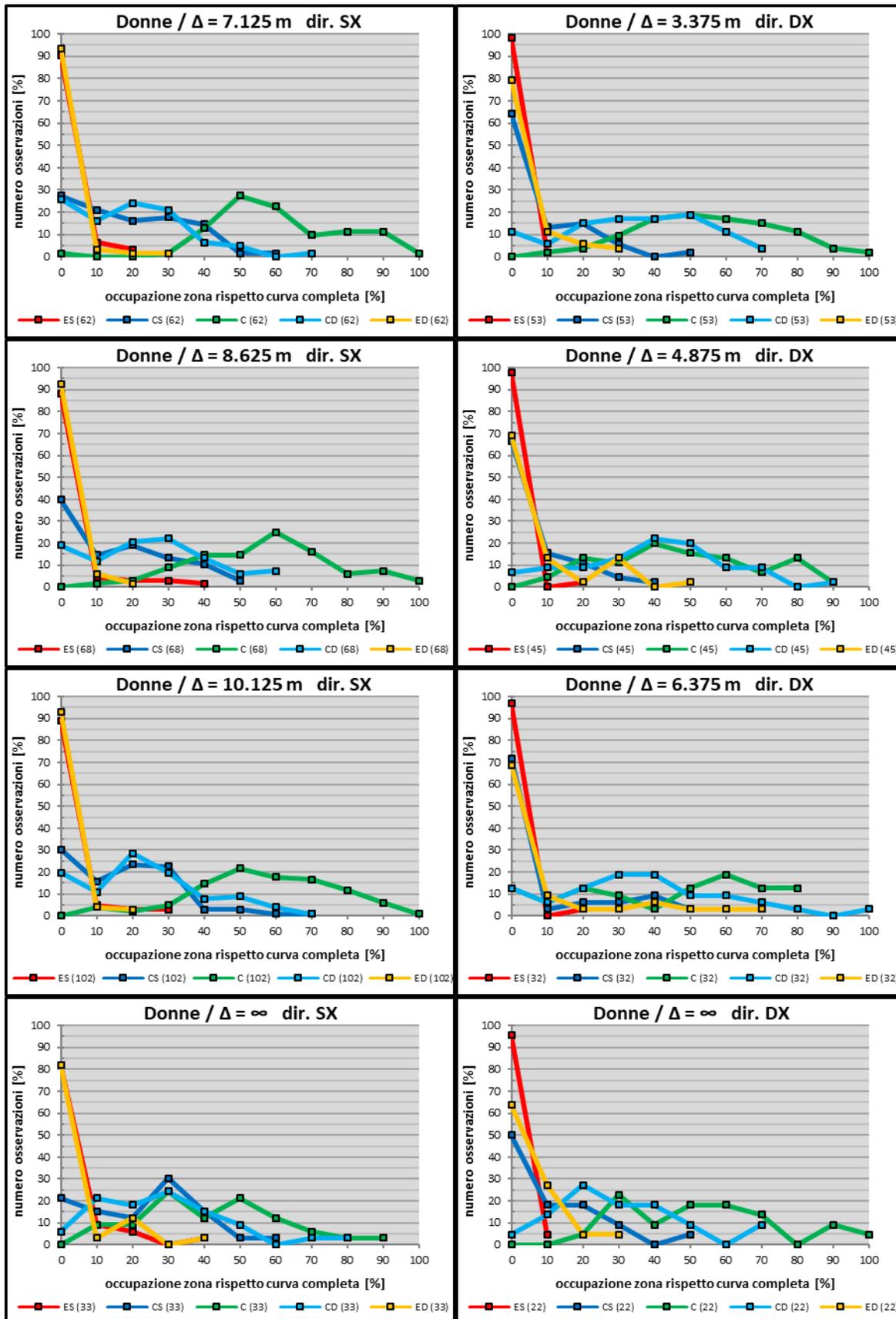


Figura 59. Curve di occupazione in funzione della configurazione dell'ostruzione delle curve per i soli guidatori di sesso femminile.

4.2.9 Influenza del raggio R delle curve

In questa parte di analisi si valuterà l'influenza del raggio R delle curve indipendentemente dall'età e dal sesso dei guidatori. A differenza dei casi precedenti, le valutazioni verranno fatte, oltre che per l'intero sviluppo della curva, anche per i singoli elementi, in modo da valutare che zone vengono occupate maggiormente nei vari tratti (rettilineo d'ingresso, transizione d'ingresso etc.).

a) Valutazione sull'intero sviluppo della curva

Come al solito si analizzeranno dapprima i dati di dispersione delle traiettorie i quali sono riportati in *Figura 60*. Si può notare in modo più chiaro quanto detto precedentemente, ovvero che per raggi di curvatura più stretti le traiettorie si discostano maggiormente dal centro corsia. Si può notare infatti che la curva di distribuzione relativa alle curve di raggio 120 m si dispone lungo le classi di dispersione più elevata in un numero maggiore di casi rispetto alle curve relative ai restanti raggi di curvatura. Inoltre, si può osservare che si registrano traiettorie caratterizzate da dispersioni di classe inferiore alla 4 in un numero inferiore di casi.

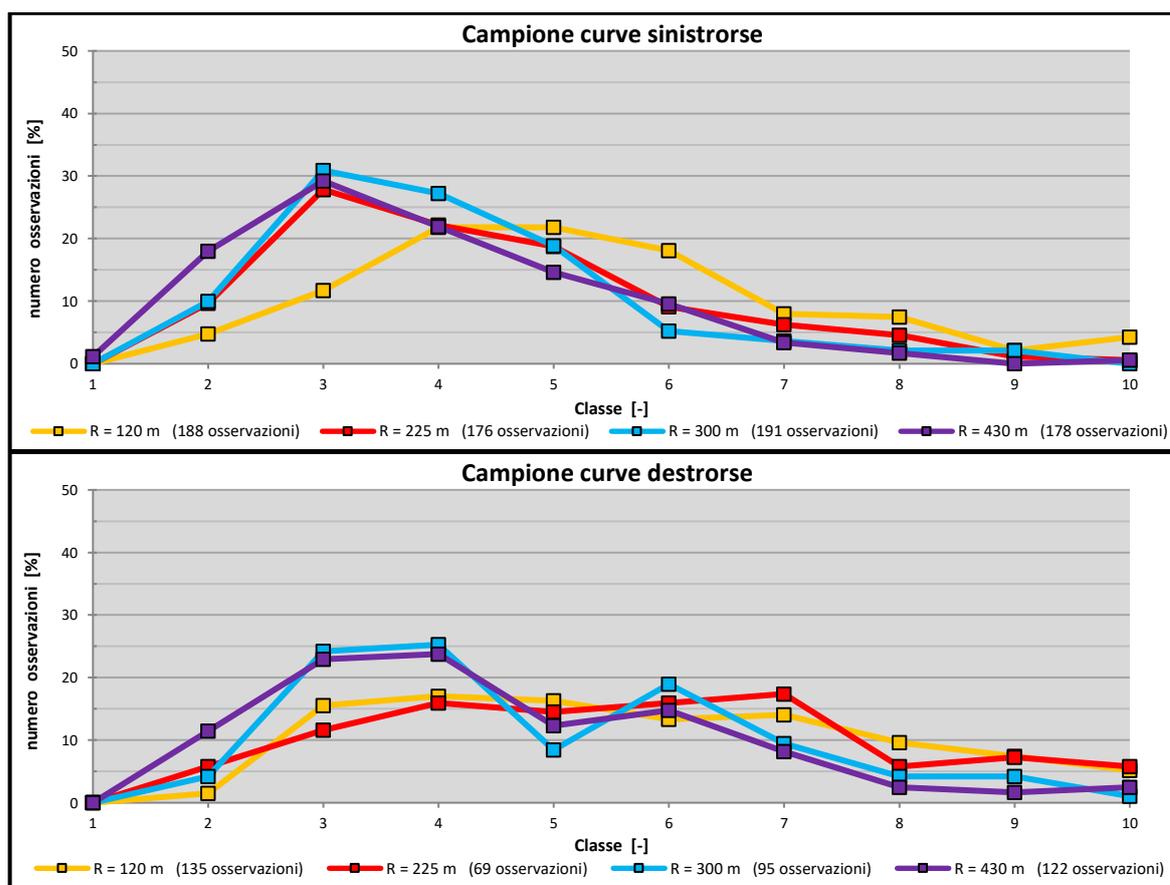


Figura 60. Curve di dispersione in funzione del raggio R delle curve.

Soffermandoci invece sull'occupazione della sede stradale delle curve sinistrorse (*Figura 61*) si può notare in maniera molto chiara la diminuzione dell'utilizzo della corsia opposta e della zona sinistra della corsia in favore della zona centrale principalmente e di quella destra. La zona esterna viene infatti invasa nel 30% dei casi per le curve di raggio 120 m e solo nel 5% per le curve di raggio 430 m mentre la riduzione dell'uso della zona di centrosinistra è del 35%. Nelle curve di raggio più ampio viene mantenuta maggiormente la zona centrale registrandosi un maggior numero di casi con percentuali di occupazione elevata. L'utilizzo della banchina invece, si incrementa del solo 7%.

Soffermandoci invece sull'occupazione della sede stradale delle curve destrorse (*Figura 61*) si può notare in maniera molto chiara la diminuzione dell'utilizzo della banchina e della zona destra della corsia in favore della zona centrale. La zona esterna viene infatti invasa nel 47% dei casi per le curve di raggio 120 m e solo nel 14% per le curve di raggio 430 m mentre la riduzione dell'uso della zona di centrosinistra è del 10%. Si noti che tale zona viene inoltre occupata per meno tempo. Nelle curve di raggio più ampio viene mantenuta maggiormente la zona centrale registrandosi un maggior numero di casi con percentuali di occupazione elevata. L'utilizzo della corsia opposta invece, rimane pressoché lo stesso.

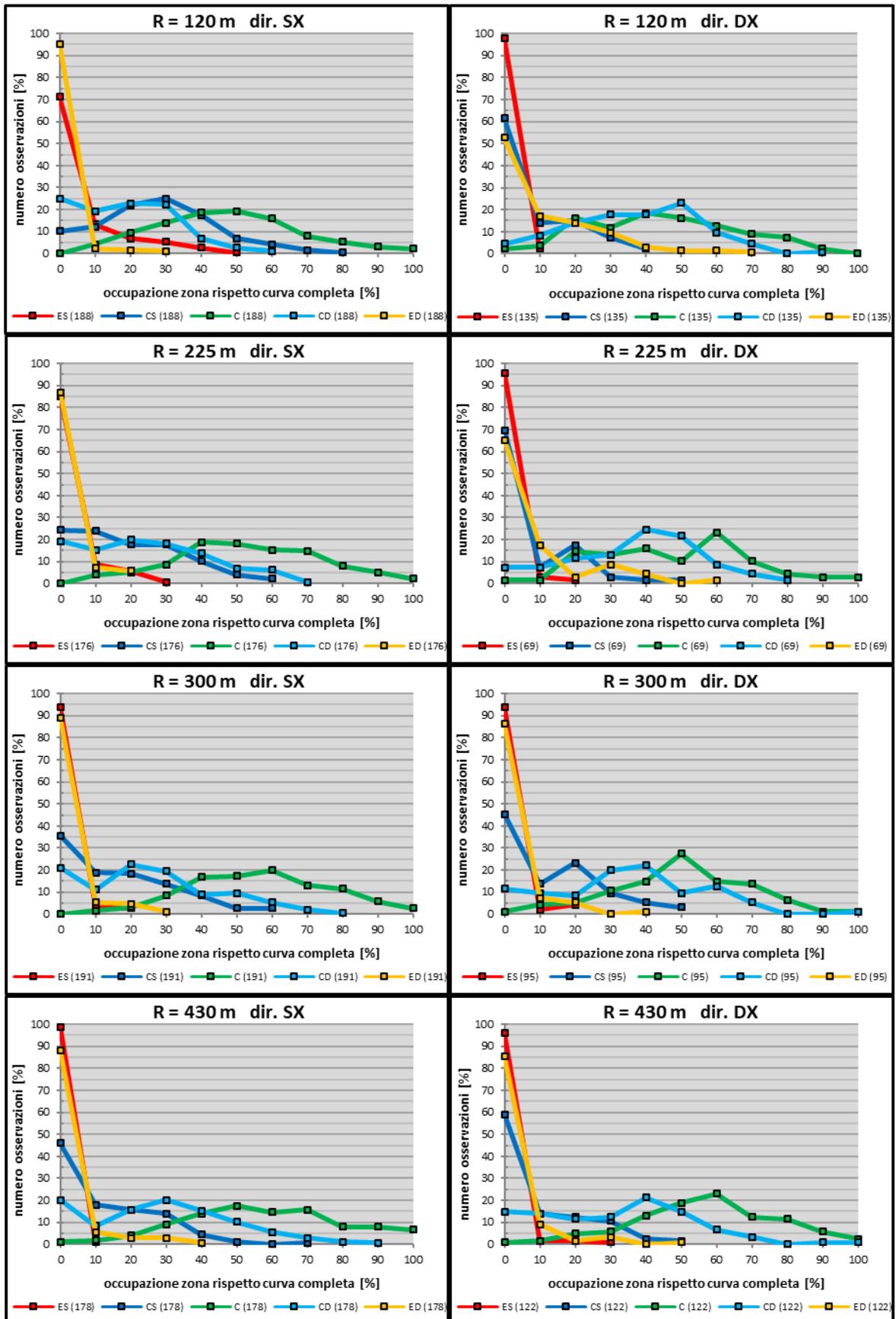


Figura 61. Curve di occupazione in funzione del raggio R delle curve.

b) Valutazione sui singoli elementi

Si proverà ora a valutare come varia la posizione trasversale nei vari elementi componenti le curve finora analizzate. Si ricorda che il termine curva è usato in maniera implicita in quanto è comprensivo anche dei 50 m di rettifilo d'ingresso e di uscita. L'analisi ha inizio con la valutazione del posizionamento trasversale lungo il solo tratto di curva circolare (*Figura 63*). Nelle curve sinistrorse si nota un utilizzo sostanziale delle zone di centro e centro sinistra. La corsia opposta viene generalmente invasa nelle curve di raggio 125 e 225 m. All'aumentare del raggio si incrementa l'uso della zona centrale e leggermente quello della zona di destra della corsia a discapito delle zone di sinistra (corsia opposta e centrosinistra). Nelle curve destrorse invece si tende ad adottare traiettorie che ricadono nella zona di centro centrodestra della corsia, con invasioni frequenti e di entità elevata. Si registrano infatti casi di invasione della banchina per tutto lo sviluppo della curva circolare. All'aumentare del raggio gli spostamenti trasversali si riducono e si incrementa l'utilizzo della corsia centrale (+15%) e leggermente quello della zona di centrosinistra. Si noti che i casi in cui le curve vengono percorse completamente in zona centrale aumentano dell'8% e che le curve di distribuzione relative a tale zona si spostano verso valori di occupazione maggiori. Al contrario si riducono le invasioni della banchina del 30% e l'utilizzo della zona di centrodestra del 10% anche se quest'ultima assieme a quella centrale risultano le zone maggiormente utilizzate.

Studiamo ora il comportamento tenuto dai guidatori nei restanti elementi componenti la curva, più precisamente si valuterà il comportamento nei tre tratti di curva circolare nel rettifilo e nella transizione d'ingresso e in quelli di uscita come rappresentato in *Figura 62*.

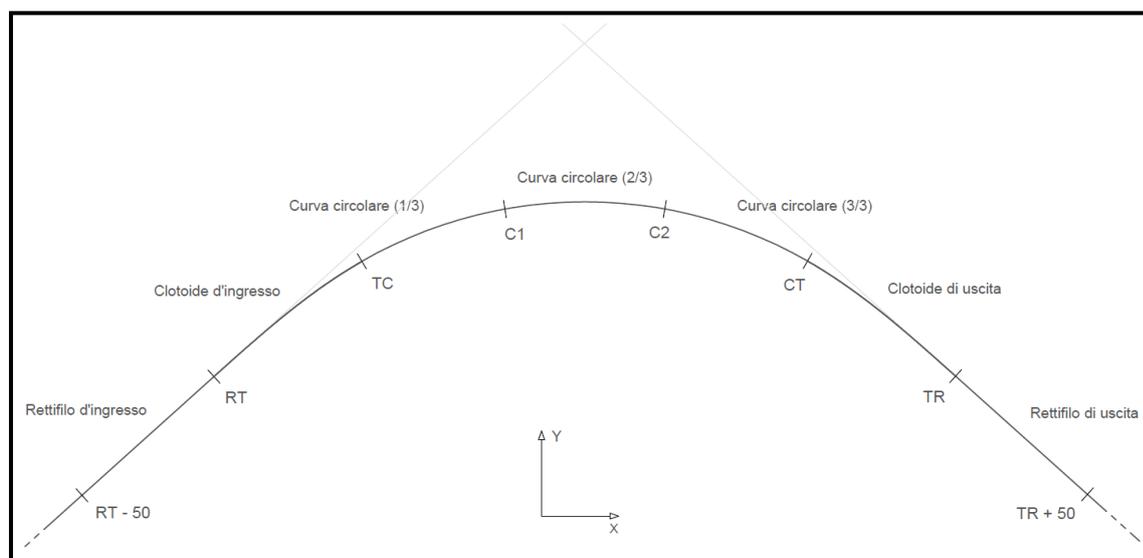


Figura 62. Suddivisione del raccordo in elementi con relativa rappresentazione dei punti di transizione

I relativi grafici sono riportati in *Appendice F*. Valutiamo allora come i vari guidatori si preparano per l'ingresso in curva, analizzando il solo rettilineo d'ingresso. Se nelle curve destrorse i guidatori si preparano ad affrontare la curva spostandosi principalmente nelle zone di centro e centro destra in quelle di direzione opposta si mantengono maggiormente nella zona centrale mentre un certo numero si spostano sul lato destro della corsia e un numero ridotto si sposta lungo il lato opposto. Non si registrano per entrambi i sensi di marcia variazioni significative delle curve di occupazione al variare del raggio di curvatura R .

Si valuti ora il comportamento d'ingresso in curva nel tratto di curva a raggio variabile. Nelle curve sinistrorse i test driver utilizzano maggiormente la zona centrale e la zona di centro sinistra. Nelle curve di direzione opposta invece prevale l'utilizzo della zona centrale e di quella di centro destra della corsia. Inoltre, per i due raggi di curvatura minore si registrano un numero significativo di casi in cui si invade la banchina. In entrambi i casi all'aumentare del raggio di curvatura si registra un leggero aumento dell'utilizzo della corsia centrale, e nel caso delle curve destrorse una riduzione del numero delle invasioni della banchina.

Si è già analizzato la sola curva circolare, ma essendo questo l'elemento ritenuto più importante si è deciso di analizzare tre tratti della curva circolare di uguale lunghezza. In particolare, lungo il primo tratto delle curve sinistrorse, i guidatori occupano maggiormente le zone di centro e centro sinistra della corsia. Ma si registrano anche un numero non trascurabile di casi di occupazione o invasione delle restanti zone. Le cinque curve di occupazione infatti si discostano con entità minori rispetto ai casi precedenti. Nelle curve di direzione opposta invece prevale l'utilizzo della zona centrale e di quella di centro destra della corsia. Inoltre, per i due raggi di curvatura minore si registrano un numero significativo di casi in cui si invade la banchina. All'aumentare del raggio di curvatura si registra un leggero aumento dell'utilizzo della corsia centrale, e una riduzione del numero delle invasioni delle zone esterne.

Lungo il secondo tratto si registra un utilizzo maggiore delle zone periferie della corsia omonime della direzione di curvatura, più precisamente nelle curve sinistrorse si occupano maggiormente le zone di centro e centrosinistra e si registrano un numero non trascurabile di invasioni della corsia opposta, specialmente per le osservazioni relative alle due curve più strette. Proprio come nel caso del primo tratto. Nelle curve di direzione opposta invece i guidatori prediligono le zone di centro e centro destra e invadono un numero considerevole di volte la banchina. Per entrambi i sensi di marcia all'aumentare del raggio di curvatura viene meno l'invasione delle zone esterne e si registrano traiettorie contenute maggiormente nella zona centrale. Sembrerebbe che tra gli elementi visti finora, il tratto centrale della curva circolare è quello nel quale si registra la maggior influenza del raggio di curvatura delle curve.

Quanto detto per il tratto centrale vale per anche per quello finale. Le curve di distribuzione sono molto simili così come le variazioni in funzione del raggio di curvatura.

Valutiamo ora come varia il posizionamento trasversale in uscita dalla curva circolare. Più precisamente nel tratto di transizione si possono fare le stesse considerazioni fatte per il primo tratto di transizione d'ingresso ma si registra un numero di invasioni maggiore delle zone esterne. Anche in questo caso con l'aumento del raggio di curvatura i guidatori adottano traiettorie contenute maggiormente nella corsia privilegiando la zona centrale.

Lungo il rettifilo di uscita delle curve sinistrorse il 40-45% dei test driver sono già rientrati nella zona centrale e ci rimangono lungo tutti 50 m successivi. Si registrano inoltre notevoli casi di percorrenza nelle sole zone periferiche della corsia. Nelle curve destrorse invece, i vari test driver percorrono il rettifilo di uscita occupando generalmente la zona centrale e/o quella di centro destra. Anche in questo caso si registrano significative invasioni delle zone esterne, specialmente della banchina.

Si evidenzierà ora come varia l'utilizzo della corsia nei diversi tratti della curva, in particolare, in *Figura 64* vengono riportate le variazioni per le osservazioni relative alle curve sinistrorse di raggio minore, ovvero 120 m. Nel tratto di avvicinamento alla curva si direbbe che i guidatori si spostano sul lato centro destro della corsia invadendo la banchina nel 5% dei casi, lungo la clotoide invece privilegiano maggiormente la zona centrale e incominciano a spostarsi sul lato sinistro della corsia. Il tratto iniziale della curva circolare presenta curve di occupazione poco discostate l'una dall'altra, in genere i guidatori si trovano sul lato sinistro o centrale della corsia e in alcuni casi invadono la corsia opposta, sul tratto di mezzercia invece si registra un notevole numero di spostamenti lungo il lato sinistro della corsia ed aumenta inoltre il numero delle invasioni del 15%. Le curve di distribuzione sono infatti molto più vicine tra loro rispetto al tratto precedente, dovuto al graduale spostamento verso le zone periferiche di sinistra. Lungo il tratto di uscita dalla curva circolare, si registra un incremento del 10 % di casi in cui i guidatori percorrono l'intero tratto in zona centrale. All'inizio della curva di transizione di uscita i guidatori si trovano nelle zone di centro e/o centrosinistra della corsia. Il 21% dei guidatori percorrono l'intera curva di transizione in centro corsia, mentre in rettifilo la percentuale sale a 37. In allontanamento dalla curva i guidatori tendono ad utilizzare quindi il centro corsia.

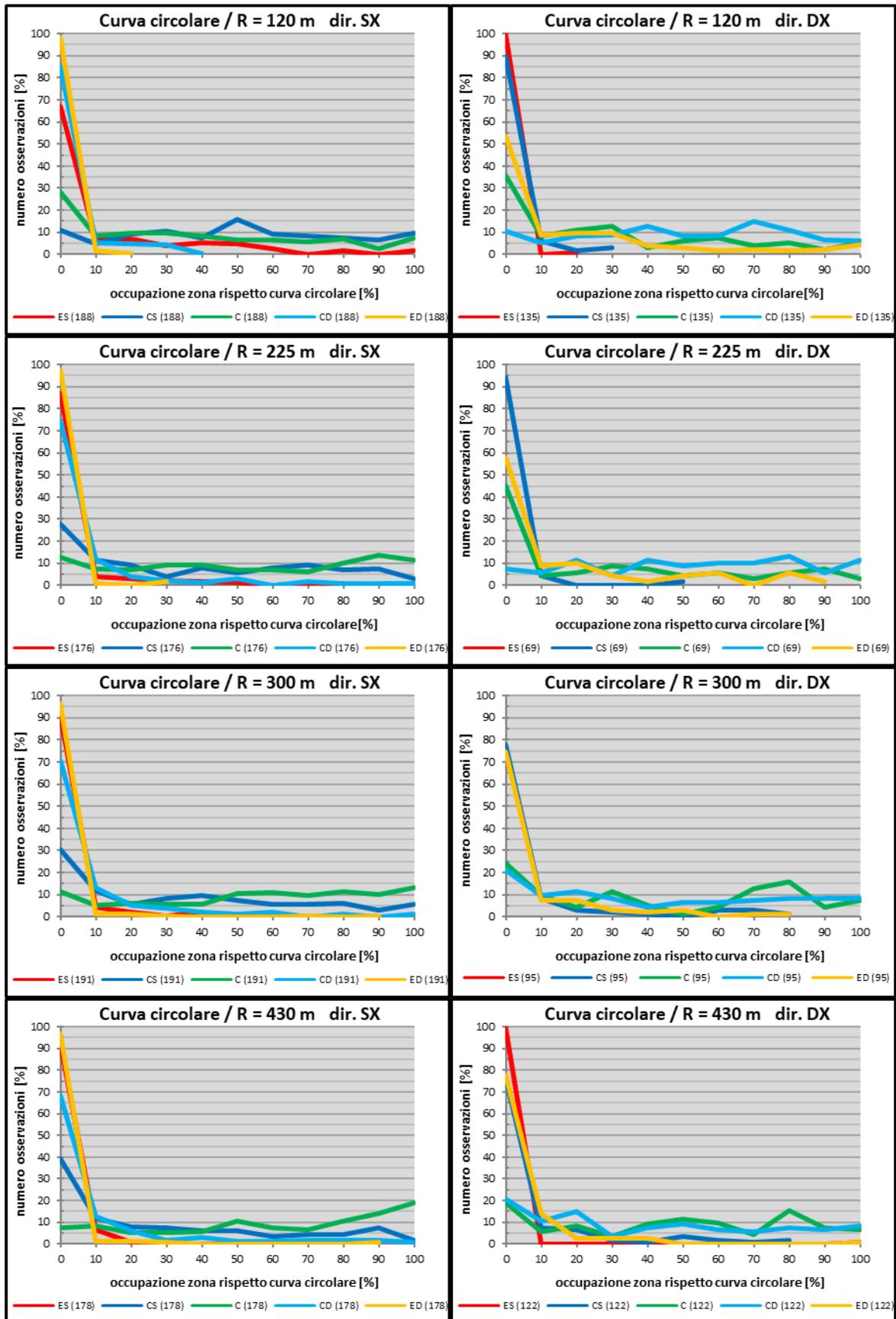


Figura 63. Curve di occupazione in funzione del raggio R delle curve relative al solo tratto di curva circolare.

Analizziamo ora il comportamento tenuto dai guidatori nelle curve di direzione destrorsa (*Figura 65*). Nel tratto di avvicinamento alla curva si direbbe che la maggior parte dei guidatori rimanga nella zona centrale, un'altra si sposta sul lato centrosinistra della corsia e una più piccola parte tenga il centrodestra. Si registrano rari casi di invasioni delle zone esterne. Lungo la clotoide invece una gran parte di guidatori si spostano nella zona di centrodestra. Si registrano inoltre il 26% di invasioni della banchina. Successivamente affrontano il primo tratto di curva circolare transitando maggiormente nelle zone di centro e centro destra e invadendo la banchina in circa il 30% dei casi. Inoltre, quest'ultima viene transitata per tutta la lunghezza del tratto in ben il 10% dei casi. Nel tratto successivo si registra uno spostamento verso le zone periferiche di destra, diminuisce infatti l'utilizzo della zona centrale a favore della zona di centrodestra che viene transitata per più tempo. È però nell'ultimo tratto che i guidatori tengono maggiormente le zone di destra, si pensi che nel 33% dei casi i guidatori hanno percorso l'intero tratto nella zona di destra della corsia di marcia. All'inizio della curva di transizione di uscita una buona parte di guidatori ritorna in centro corsia e il numero si incrementa lungo il rettilineo di uscita. Si noti infatti che il centro corsia viene utilizzato per tempi più lunghi rispetto alla zona di centrodestra la cui relativa curva ha valori elevati in classi di % di occupazione più bassa. Si registra inoltre il 20% di invasioni della banchina che viene occupata anche per tutto il tratto.

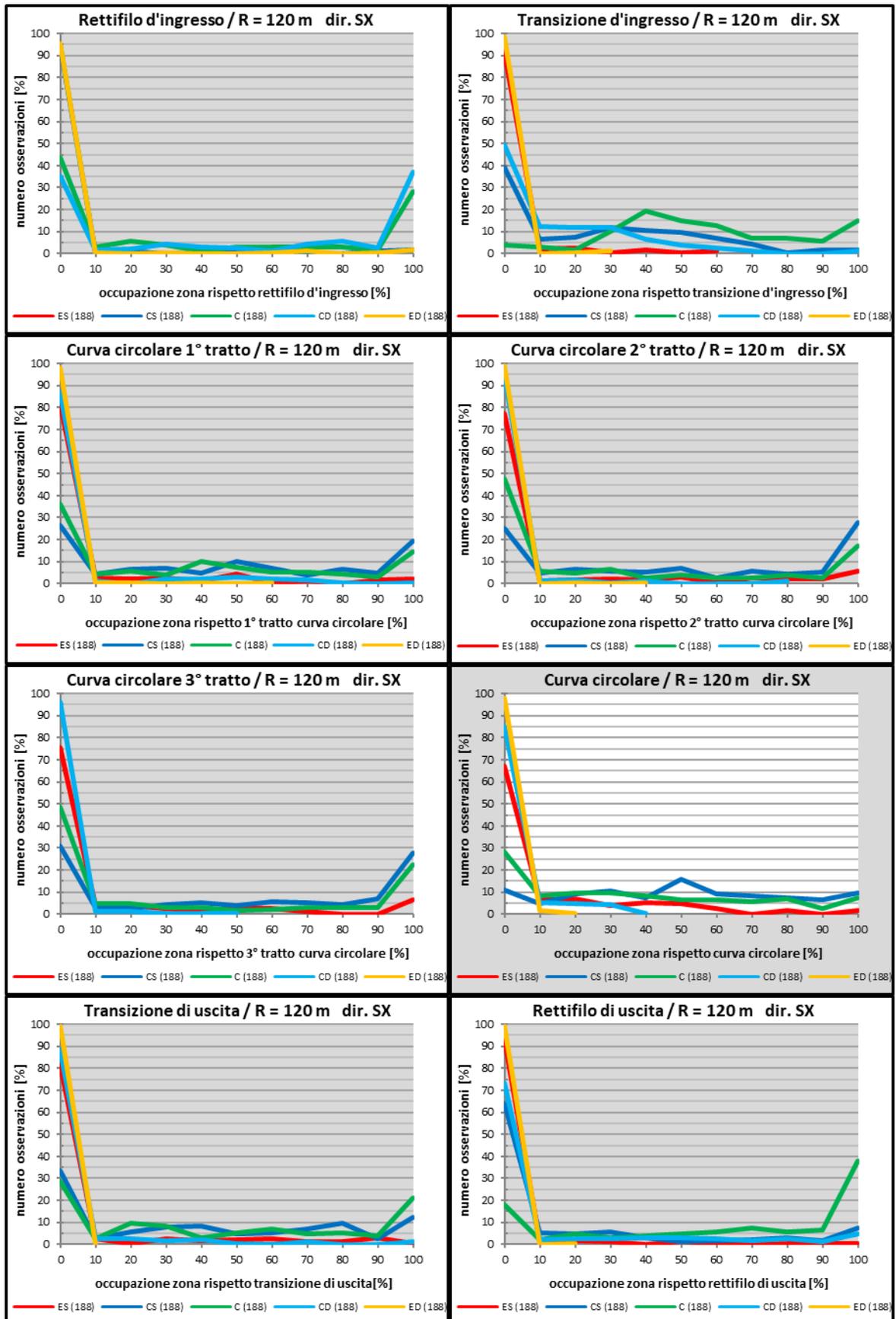


Figura 64. Comportamento in termini di occupazione zonale tenuto lungo i vari tratti componenti le sole curve sinistrorse di raggio 120 m.

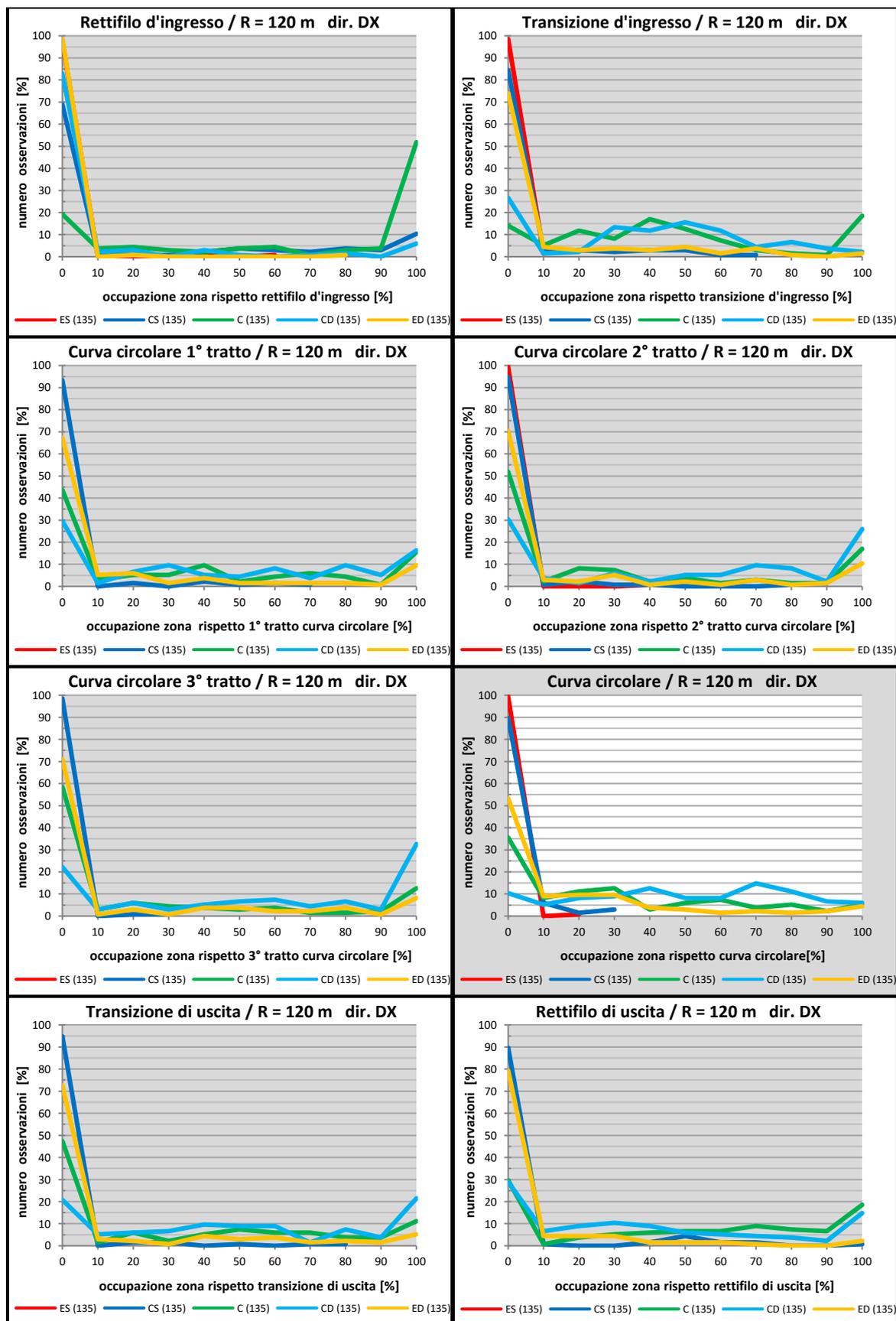


Figura 65. Comportamento in termini di occupazione zonale tenuto lungo i vari tratti componenti le sole curve destrorse di raggio 120 m.

4.2.10 Influenza della distanza Δ

Abbiamo valutato in che modo il raggio di curvatura influenza il posizionamento trasversale tenuto dai guidatori lungo una curva, indipendentemente dal sesso e dall'età. Nel presente paragrafo valuteremo invece se la distanza Δ dall'ostruzione posizionata a lato influisce sul posizionamento trasversale, e se si verifica un comportamento diverso in assenza della stessa. Le valutazioni verranno fatte oltre che per l'intero sviluppo della curva anche per i singoli elementi in modo da valutare che zone vengono occupate maggiormente nei vari tratti (rettilineo d'ingresso, transizione d'ingresso etc.).

a) Valutazione sull'intero sviluppo della curva

In *Figura 66* sono riportate le curve di distribuzione in funzione della distanza Δ dall'ostacolo. Come al solito differenziamo i casi in base alla direzione di curvatura, sembrerebbe che i test driver nell'affrontare le curve sinistrorse siano poco influenzati dalla distanza dell'ostruzione a lato e in assenza di questa aumenta il numero di traiettorie con dispersione superiore a 6. Per le curve destrorse invece, si registra all'aumentare della distanza Δ un leggero aumento del numero di traiettorie caratterizzate da un'elevata dispersione. Inoltre, in assenza dell'ostruzione sembrerebbe che le traiettorie si discostino meno dalla mezzeria. Il 30% dei guidatori infatti adotta traiettorie con dispersione di classe 3.

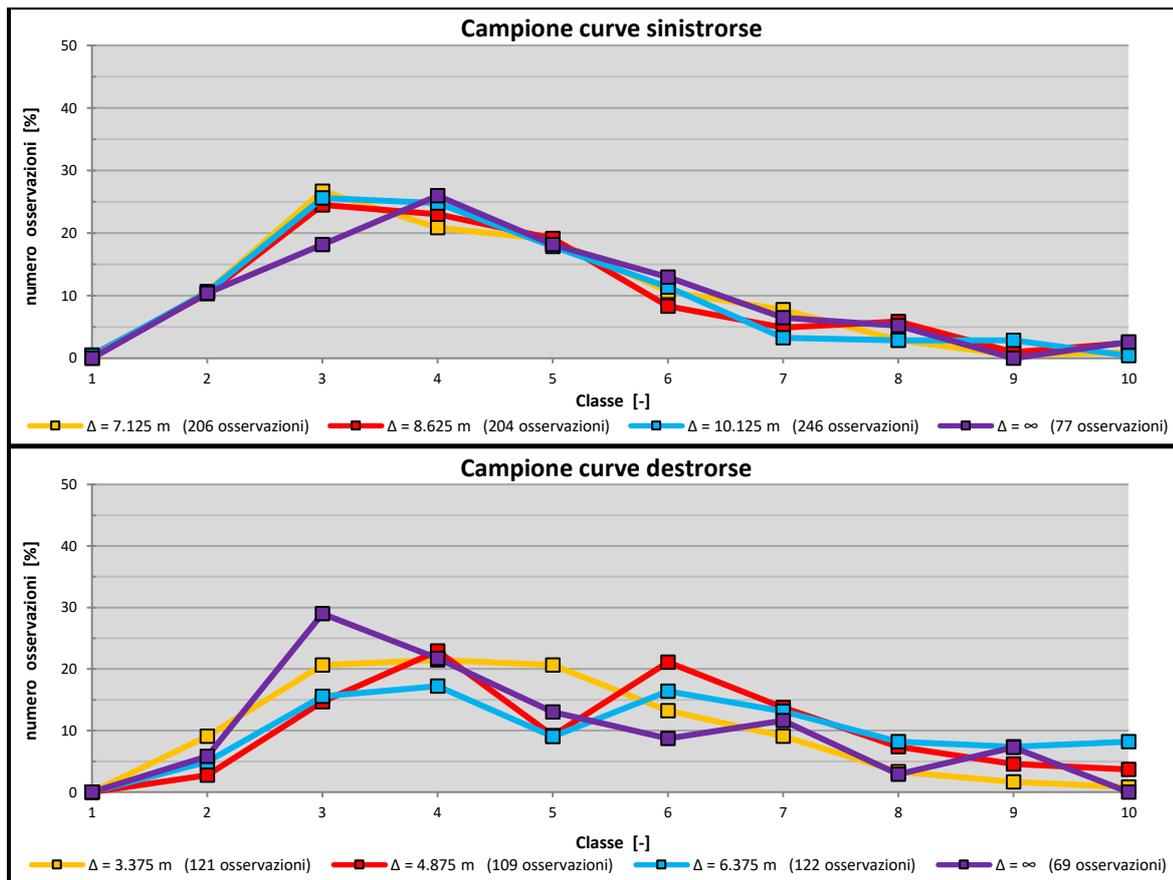


Figura 66. Curve di dispersione in funzione della configurazione dell'ostruzione delle curve.

Vediamo ora come varia l'occupazione delle zone. In *Figura 67* sono riportate le curve di occupazione indipendentemente da sesso ed età dei guidatori. Se si esamina il comportamento tenuto nelle curve sinistrorse, non si riscontrano particolari variazioni dell'utilizzo di tali zone in funzione della distanza dall'ostruzione, inoltre in assenza di quest'ultima non si verifica un significativo cambio di comportamento. Se si analizzano le curve di direzione destrorsa invece, sembrerebbe che all'aumentare della distanza Δ i guidatori tendano ad utilizzare maggiormente la zona di centro destra e a invadere maggiormente la banchina. Nelle curve prive di ostacolo invece si registra un comportamento analogo a quello registrato nelle curve con ostacolo posto a 3.375 m.

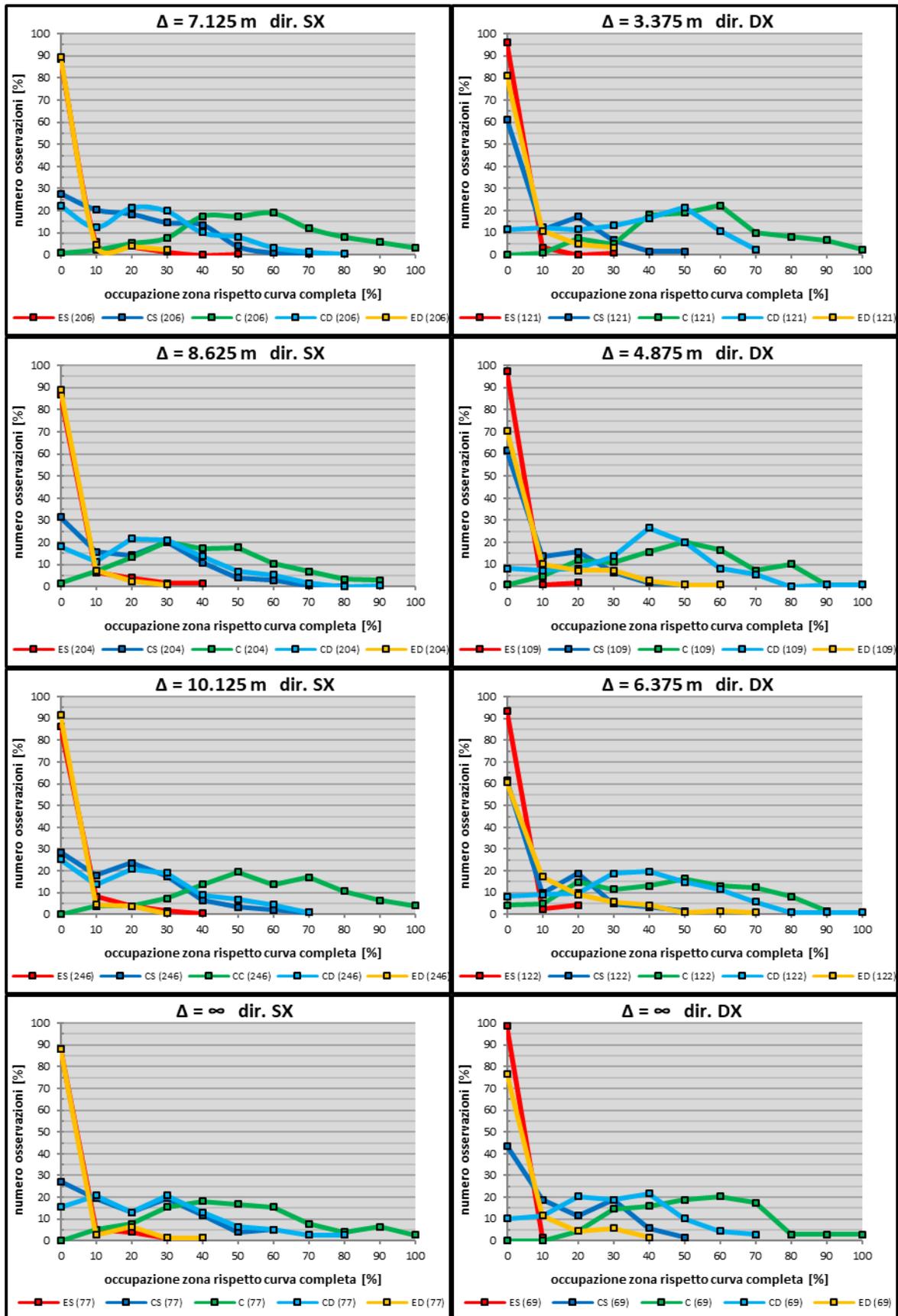


Figura 67. Curve di occupazione in funzione della configurazione dell'ostruzione delle curve.

c) Valutazione sui singoli elementi

Anche in questo caso l'analisi viene effettuata per mezzo dell'utilizzo delle curve di occupazione zonale, in particolare si analizzerà il comportamento dei vari test driver lungo i diversi tratti componenti la curva, in funzione della distanza Δ tra centro corsia e ostacolo, inoltre si valuterà il caso con assenza di ostruzione. Quello che si vuole vedere è come influisce la distanza Δ . Iniziamo allora a valutare l'influenza sugli spostamenti trasversali lungo l'intero tratto della curva circolare, in *Figura 68* ne vengono riportate le curve di occupazione. Si faccia presente che quelle relative ai restanti tratti componenti la curva sono riportate in *appendice F*.

Lungo l'intero tratto delle curve circolari sinistrorse non si registra influenza sul comportamento di guida in funzione di Δ , diverso il caso delle curve destrorse nelle quali si ha un incremento non trascurabile dell'utilizzo delle zone di centrodestra e di banchina. In particolare, si ha un incremento del 10% de casi in cui si transita nella zona di destra della corsia e si ha un incremento del numero delle invasioni del 25%.

Analizziamo come varia il comportamento dei test driver durante l'avvicinamento in curva. Lungo il rettilo la distanza Δ dall'ostruzione non influenza le curve di distribuzione, che rimangono piuttosto simili in entrambe le direzioni. Nell'affrontare curve sinistrorse prive di ostruzione il 40% dei guidatori si posiziona nella zona centrale durante l'avvicinamento, contro il 10% dei casi nelle curve con visione limitata. Inoltre, si ha una diminuzione del transito nella zona di centrodestra del 20%.

Lungo la curva di transizione si registra un comportamento in genere non influenzato per le curve sinistrorse eccezion fatta per le curve con ostruzione visiva a 4.875 m nel quale si ha un incremento del tempo di percorrenza nella zona centrale. I grafici relativi alle curve in direzione opposta invece mostrano che, all'aumentare della distanza Δ si ha un incremento del numero di test driver che occupano la sinistra della corsia per più tempo.

Analizziamo ora cosa accade nel tratto iniziale della curva circolare, sembrerebbe che all'aumentare della distanza i test driver rimangono per tempi più lunghi sulle zone periferiche della corsia e invadano maggiormente la corsia opposta nelle curve sinistrorse e la banchina in quelle destrorse. La variazione delle curve relative a quest'ultima zona risultano nettamente più marcate. Non si riscontra invece una sostanziale variazione dell'uso delle zone esterne opposte alla direzione della curva affrontata. Più precisamente la banchina per quelle destrorse e la corsia per quelle di direzione opposta.

Vediamo cosa accade invece nel tratto di mezzieria della curva circolare. Sembrerebbe anche in questo caso che l'incremento della distanza dall'ostacolo produca spostamenti

trasversali maggiori. In particolare, nelle curve sinistrorse si registra un leggero incremento del transito nella zona di destra della corsia e della corsia opposta, mentre in quelle sinistrorse si registra un netto incremento dell'utilizzo della zona di centrodestra e della banchina a scapito della zona centrale. In particolare, si registra un incremento della banchina del 20% mentre la diminuzione dell'utilizzo della zona centrale è del 20%.

Si consideri ora il tratto finale della curva circolare, per le curve sinistrorse non si riscontrano sostanziali variazioni delle curve di distribuzioni relative ad una medesima zona. Il comportamento tenuto nelle curve destrorse invece sembra risentire dell'aumento della distanza dall'ostacolo. Come nel tratto precedente si registra un aumento dell'utilizzo della zona di sinistra della corsia e un incremento delle invasioni della banchina. Le curve prive di ostacolo registrano valori simili a quelle con ostruzione a filo banchina ma si registra un aumento del 10% delle invasioni della zona di destra (banchina).

In uscita dalla curva circolare, più precisamente lungo la curva di transizione, si registra un comportamento in genere non influenzato per le curve sinistrorse mentre i grafici relativi alle curve in direzione opposta mostrano che, all'aumentare della distanza Δ si ha un incremento del numero di test driver che occupano la sinistra della corsia e aumenta anche il tempo di percorrenza. Già in questo tratto si registra che il 30% circa dei guidatori è già rientrato in centro corsia e ci permane per tutta la percorrenza del tratto.

Anche in uscita dalle curve si possono fare le stesse considerazioni sull'influenza della distanza Δ sul posizionamento trasversale. Nei primi 50 metri di rettilineo circa il 45% transita in zona centrale.

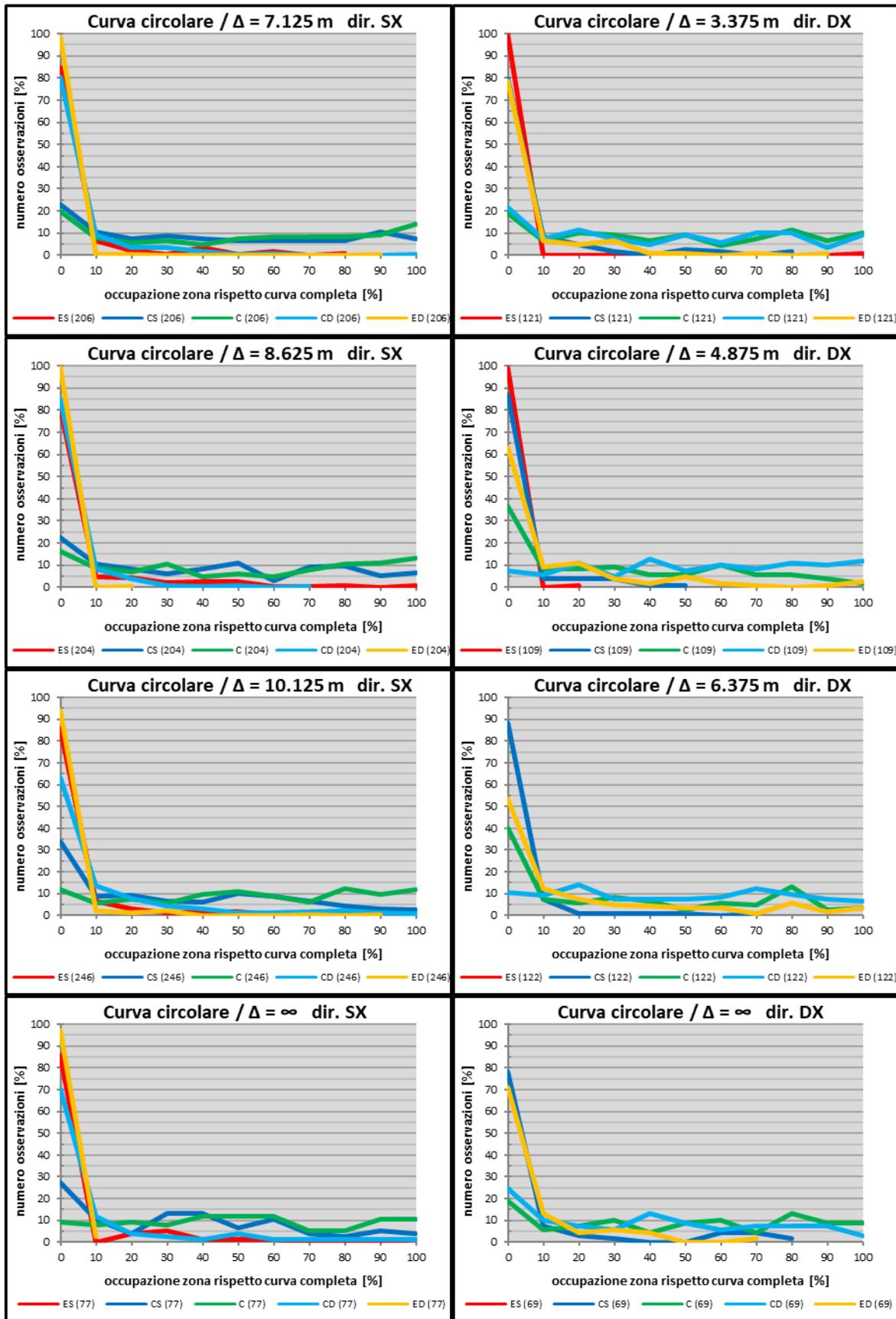


Figura 68. Curve di occupazione relative al solo tratto di curva circolare in funzione della configurazione dell'ostruzione.

4.2.11 Valutazione conclusiva sull'influenza dei parametri R e Δ

La valutazione sarà effettuata con i metodi visti in precedenza inoltre per la sola valutazione dell'influenza del raggio di curvatura, si analizzeranno i profili di Lane Gap delle singole osservazioni.

a) *Valutazione aggregata*

In questa parte di analisi si valuterà l'influenza dei parametri R e Δ fissando però di volta in volta la configurazione dell'ostruzione nel primo caso e il raggio delle curve nel secondo, in modo da valutare il comportamento dei guidatori al variare di un solo parametro geometrico, oltre ovviamente alla deviazione angolare ω la quale non influisce però sulla distanza di visibilità. Come al solito analizziamo dapprima il comportamento tramite la dispersione delle traiettorie. In *Figura 69* vengono riportate le curve di distribuzione per ogni configurazione dell'ostruzione e in assenza di essa, in funzione del raggio R. Indipendentemente dalla configurazione e dalla direzione di curvatura si può notare che nell'affrontare curve di raggio 120 m un gran numero di guidatori adottano traiettorie con dispersione maggiore rispetto le curve di raggio più elevato eccezion fatta nel caso di curve destrorse la cui ostruzione si trova a 3.375 m dove quanto riscontrato è meno visibile. Sembrerebbe però anche in questo caso che nell'affrontare curve di raggio 120 m i test driver adottino in genere traiettorie a dispersione più elevata. Prendiamo ora in esame invece le curve di raggio 430 m, ovvero quelle di raggio maggiore. Si può notare come per tutte le configurazioni le relative curve siano spostate verso traiettorie a dispersione minore e i relativi massimi sono in corrispondenza della classe 3 o al più della classe 4 (per $\Delta=4.875$ m e per $\Delta=6.375$ m). Inoltre, eccezion fatta per le curve destrorse prive di ostacolo, si registrano solo rari casi di traiettorie con dispersione superiore a 7, ovvero quelle traiettorie le quali invadono le zone esterne alla corsia di marcia. Nell'affrontare le curve di raggio intermedio invece, i guidatori adottano in genere traiettorie a dispersione simile anche se si registrano più casi a dispersione maggiore per le curve di raggio 225 m. Sembrerebbe quindi confermarsi il comportamento già riscontrato nelle indagini precedenti ovvero che, all'aumentare del raggio di curvatura R i guidatori adottano traiettorie caratterizzate da spostamenti trasversali minori.

Valutiamo ora sempre tramite la dispersione delle traiettorie come queste variano in funzione della distanza Δ dall'ostacolo e cosa cambia nel caso di curve prive di ostruzione. In particolare, in riferimento alla *Figura 70*, non si notano particolari differenze per le curve sinistrorse, infatti le curve relative alle diverse configurazioni dell'ostruzione tendono a gaussiane molto vicine tra loro con massimi in prossimità di classi di dispersioni molto simili.

Diverso invece il caso delle curve destrorse, sembrerebbe infatti che il comportamento dei guidatori venga influenzato dall'ostruzione e dalla distanza di essa dalla sede stradale. Prendendo in considerazione le sole curve di raggio 120 m si può notare infatti che nel caso di assenza dell'ostruzione e nel caso di ostacolo posto a filo banchina si registrano notevoli casi di traiettorie con dispersione di classe minore o uguale a 5 e le relative curve di distribuzione assumono all'incirca la forma di una gaussiana con massimi rispettivamente in classe 3 e 5. Mentre nei casi di curve con ostruzione distanziata dalla sede stradale si può notare che le relative curve di distribuzione sono più piatte, e si registrano più casi di traiettorie con dispersione di classe maggiore alla 5 rispetto ai casi precedenti: il 15% dei guidatori ha adottato traiettorie con dispersione di classe massima e un altro 15% traiettorie di classe 9. Anche nel caso di curve di raggio 225 m si può notare che all'aumentare della distanza Δ i guidatori adottino in più casi traiettorie con dispersione maggiore però a differenza del caso precedente anche per Δ pari a 3.375 m la curva è molto più schiacciata. Diverso il caso per le curve di raggio superiore dove sembrerebbe che in presenza di ostruzione il comportamento dei guidatori non vari significativamente all'aumentare della distanza Δ , ma si registrano ancora dispersioni minori delle traiettorie tenute nelle curve prive di ostacolo. Infine, nelle curve di raggio maggiore non si riscontrano significative variazioni come per le curve sinistrorse.

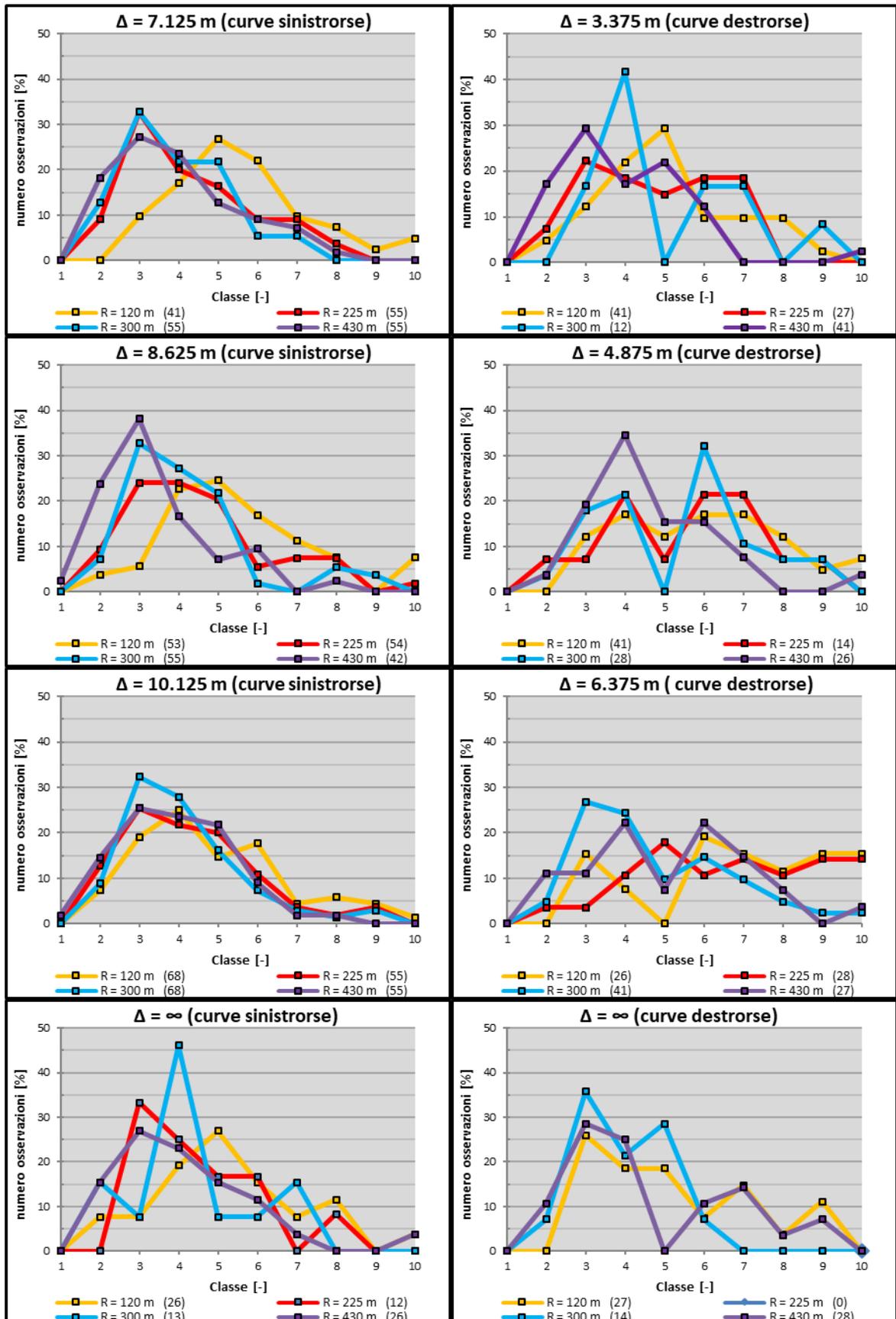


Figura 69. Curve di dispersione in funzione del raggio R delle curve, differenziate in base alla configurazione dell'ostacolo.

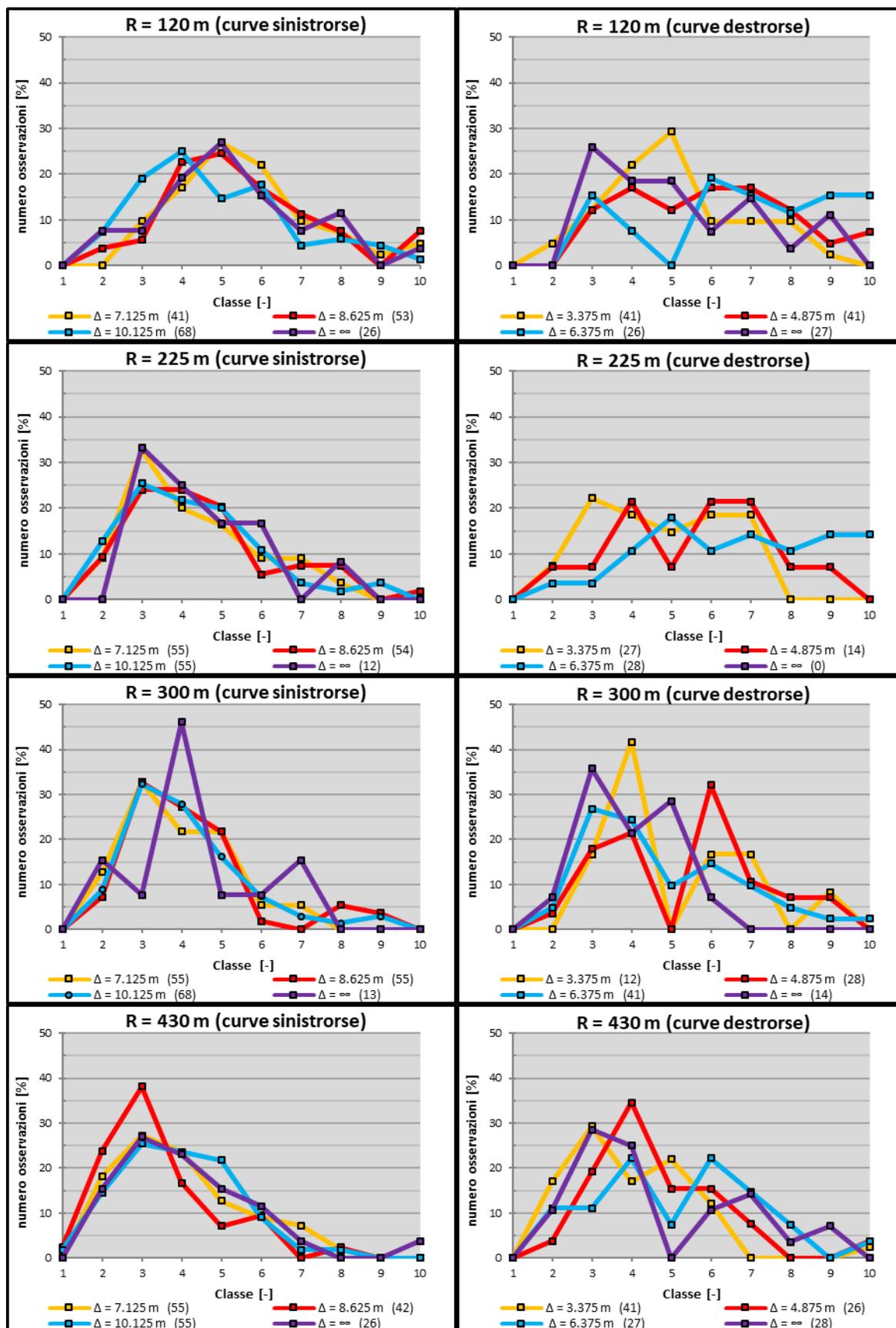


Figura 70. Curve di dispersione in funzione della configurazione dell'ostruzione, differenziate in base al raggio R delle curve.

Si valuta ora come varia invece l'occupazione zonale al variare del raggio di curvatura o della distanza Δ dall'ostacolo. In particolare, l'analisi sarà svolta in maniera duale trattando di volta in volta configurazioni dell'ostruzione differente. In *Figura 71* sono riportate le curve di occupazione relative alla configurazione con ostacolo posto a filo banchina, si può notare per entrambi le direzioni di curvatura che all'aumentare del raggio R i guidatori tendono ad invadere in un numero minore di casi e per meno tempo, le zone esterne alla corsia di marcia e a utilizzare maggiormente la zona centrale. Inoltre, si ha una significativa riduzione del transito nelle zone della corsia omonime alla direzione della curva affrontata. Si prenda in esame le sole curve sinistrorse, se per le curve di raggio 120 m si hanno invasioni della corsia opposta nel 35% dei casi e la zona di centrosinistra viene utilizzata nel 98% dei casi, per le curve di raggio 430 m non si registra alcuna invasione della corsia di sorpasso e si ha una riduzione dell'utilizzo della zona di centrosinistra significativa e pari al 34%. Sembrerebbe quindi confermarsi il comportamento già visto, e che all'aumentare del raggio di curvatura i guidatori tendono, nell'affrontare curve sinistrorse, a occupare maggiormente la zona centrale. Inoltre, se nelle curve di raggio 120 m, i test driver sono in genere posizionati sul centro sinistra della corsia nelle curve di raggio più elevato tendono ad utilizzare maggiormente il centrodestra. Si può notare infatti un aumento dell'11% dell'uso di tale zona e un incremento delle invasioni della banchina del 13%. Analizzando le curve di direzione destrorsa si possono trarre considerazioni molto simili infatti, all'aumentare del raggio di curvatura, i test driver tendono ad utilizzare maggiormente il centro corsia e le invasioni della banchina si riducono in maniera significativa. Se per le curve di raggio minore la percentuale delle occupazioni è del 35%, per le curve di raggio maggiore la stessa scende al 10%. In riferimento alle zone della corsia di marcia si registra una riduzione dell'uso della zona di centrodestra del 15%, la zona centrale viene utilizzata per tempi più lunghi mentre per la zona di centrosinistra non si registrano variazioni apprezzabili.

Valutiamo ora cosa accade variando la configurazione dell'ostruzione. In *Figura 72* sono riportate le curve di occupazione per le sole curve nelle quali il muro è posto a 1.5 m dalla banchina in funzione ovviamente del raggio di curvatura R . L'influenza di tale parametro è la medesima riscontrata nel caso delle curve precedenti per entrambi le direzioni di curvatura, ma si hanno ovviamente variazioni di entità differente. Si prenda in esame le sole curve sinistrorse, se per le curve di raggio 120 m si hanno invasioni della corsia opposta nel 32% dei casi e la zona di centrosinistra viene utilizzata nel 94% dei casi, per le curve di raggio 430 m non si registra alcuna invasione della corsia di sorpasso e si ha una riduzione dell'utilizzo della zona di centrosinistra significativa e pari al 52%. Si può notare che si ha una diminuzione maggiore

rispetto al caso delle curve con ostruzione posto a filo banchina. Inoltre, se nelle curve di raggio 120 m i guidatori sono in genere posizionati sul centro sinistra della corsia, anche in questo caso nelle curve di raggio più elevato tendono ad utilizzare maggiormente il centrodestra. Analizzando le curve destrorse si possono trarre anche in questo caso considerazioni molto simili infatti, all'aumentare del raggio di curvatura, i test driver tendono ad utilizzare maggiormente il centro corsia e le invasioni della banchina si riducono in maniera significativa. Se per le curve di raggio minore la percentuale delle occupazioni della banchina è del 46%, per le curve di raggio maggiore la stessa scende al 11%. In riferimento alle zone della corsia di marcia si registra una riduzione dell'uso della zona di centrodestra del 15% mentre la zona centrale viene utilizzata per tempi più lunghi.

Rispetto alle curve con ostruzione posizionata a filo banchina si riscontrano comportamenti leggermente differenti. In particolare, nell'affrontare le curve sinistrorse sembrerebbe che i guidatori tendano ad occupare per più tempo le zone di periferiche della corsia rispetto al caso precedente ed utilizzano meno quella centrale, anche se prevale come in precedenza l'utilizzo di quest'ultima. Ancora più evidente è la variazione di comportamento dei guidatori quando affrontano le curve di direzione opposta. Si registra infatti, per tutti e quattro i valori di raggio, un incremento del numero delle invasioni della banchina che viene inoltre percorsa per tempi significativamente più lunghi. Si noti per esempio che nelle curve destrorse di raggio 120 m si ha che tale zona viene invasa nel 46% dei casi e l'occupazione è anche del 60% rispetto la lunghezza totale della curva. Nelle curve con ostacolo posto a filo banchina invece le invasioni scendono al 34% e la stessa viene occupata per al massimo il 30% della curva. Inoltre, si registra una riduzione significativa dei tempi di occupazione della zona centrale e un incremento di quelli della zona di centrodestra.

Prendiamo ora in considerazione le curve con ostruzione posta a 3 m dalla banchina e iniziamo ad analizzare l'influenza del raggio di curvatura sul posizionamento trasversale. In *Figura 73* sono riportate le curve di occupazione relative a tali curve. Anche in questo caso al variare del raggio R si riscontra un comportamento simile ai casi precedenti, ovvero i guidatori tendono ad invadere in un numero minore di casi e per meno tempo, le zone esterne alla corsia di marcia e a utilizzare maggiormente la zona centrale. Inoltre, si ha una significativa riduzione del transito nelle zone della corsia omonime alla direzione della curva affrontata. Si prenda in esame le sole curve sinistrorse, se per le curve di raggio 120 m si hanno invasioni della corsia opposta nel 27% dei casi e la zona di centrosinistra viene utilizzata nel 84% dei casi, per le curve di raggio 430 m non si registra alcuna invasione della corsia di sorpasso e si ha una riduzione dell'utilizzo della zona di centrosinistra significativa e pari al 28%. Inoltre, se nelle

curve di raggio 120 m i guidatori sono in genere posizionati sul centro sinistra della corsia, anche in questo caso nelle curve di raggio più elevato tendono ad utilizzare maggiormente il centrodestra. Analizzando le curve destrorse si possono trarre anche in questo caso considerazioni molto simili infatti, all'aumentare del raggio di curvatura, i test driver tendono ad utilizzare maggiormente il centro corsia e le invasioni della banchina si riducono in maniera significativa. Se per le curve di raggio minore la percentuale delle occupazioni della banchina è del 73%, per le curve di raggio maggiore la stessa scende al 30%. In riferimento alle zone della corsia di marcia si registra una riduzione dell'uso della zona di centrodestra del 15% mentre la zona centrale viene utilizzata per tempi più lunghi.

Rispetto al caso delle curve con ostruzione posizionata a 1.5 m dalla banchina, la variazione di comportamento è meno netta per le curve sinistrorse ma risulta significativa per quelle di direzione opposta. In riferimento a quest'ultime si registra infatti, per tutti e quattro i valori di raggio, un incremento del numero delle invasioni della banchina che viene inoltre percorsa per tempi significativamente più lunghi. Si noti per esempio che nelle curve destrorse di raggio 120 m si ha che tale zona viene invasa nel 73% dei casi e l'occupazione è anche del 70% rispetto la lunghezza totale della curva. Inoltre, si registra una riduzione significativa dei tempi di occupazione della zona centrale e un incremento di quelli della zona di centrodestra. Nelle curve di raggio 120 m e 225 m prevale l'utilizzo della corsia di centrodestra confermandosi il fatto che i guidatori si spostino maggiormente sulla destra all'aumentare della distanza dell'ostacolo. Nelle curve sinistrorse si ha invece un comportamento analogo al caso delle curve con ostacolo posto a 1.5 m dalla banchina.

Finora si sono considerate le sole curve nelle quali a lato è posizionata una ostruzione che limita la visibilità. Vediamo ora invece come varia il comportamento dei guidatori quando affrontano curve prive di ostruzione. In *Figura 74* sono riportate le curve di occupazione relative a tali curve, si può notare che anche in questo caso al variare del raggio R si riscontra un comportamento simile ai casi precedenti per entrambi le direzioni di curvatura.

Rispetto al caso delle curve con ostruzione si registra una sostanziale variazione solo per le curve destrorse, lungo le quali i guidatori tendono ad occupare per tempi più lunghi la zona centrale riducendosi quindi l'utilizzo della zona di centrodestra e della banchina. Nelle curve sinistrorse si ha invece un incremento delle invasioni della banchina nei soli casi delle curve di raggio 120 m e 225 m nelle quali si registra un leggero incremento dell'utilizzo delle zone periferiche della corsia.

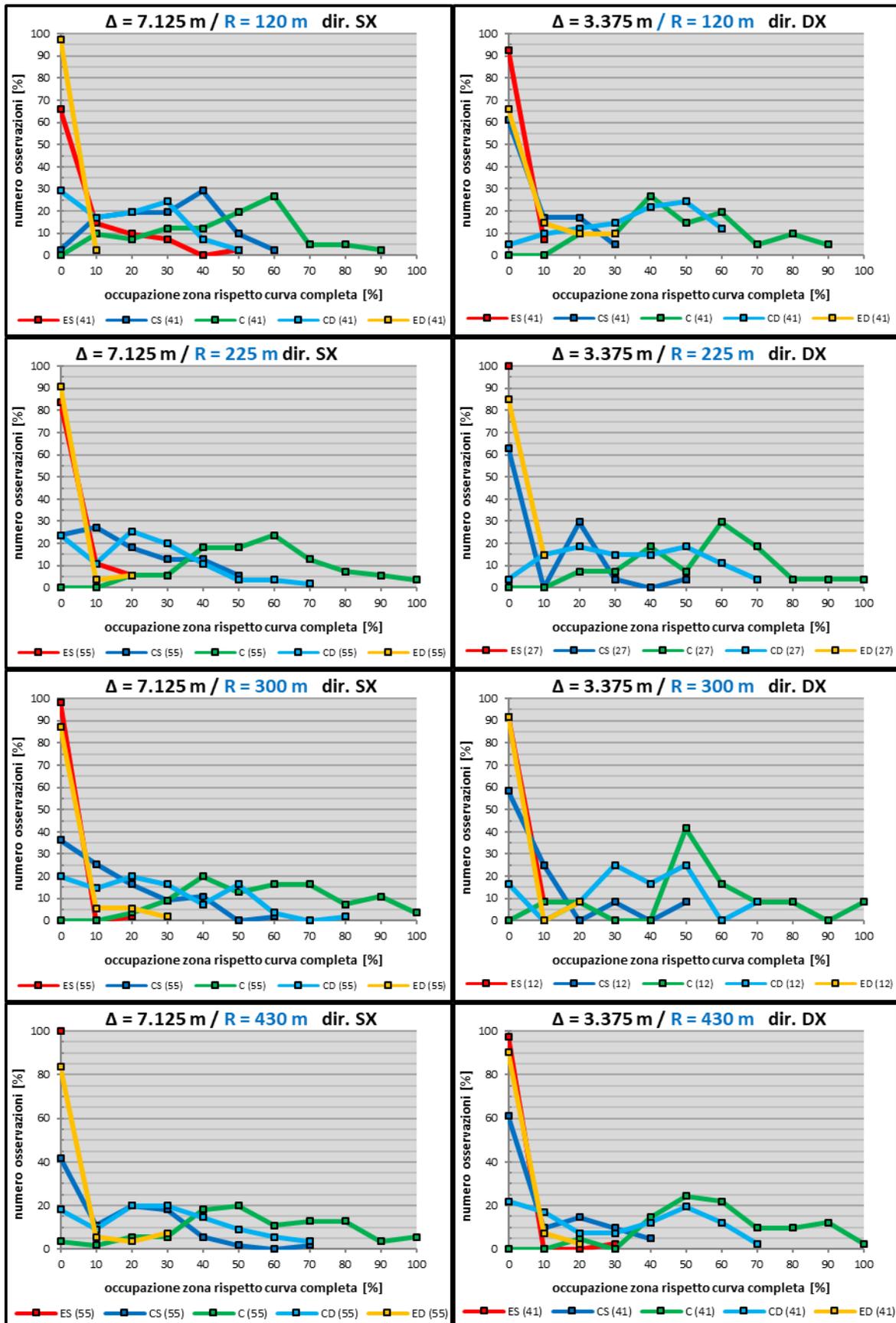


Figura 71. Curve di occupazione in funzione del raggio R e relative alle sole curve con ostruzione posta a filo banchina.

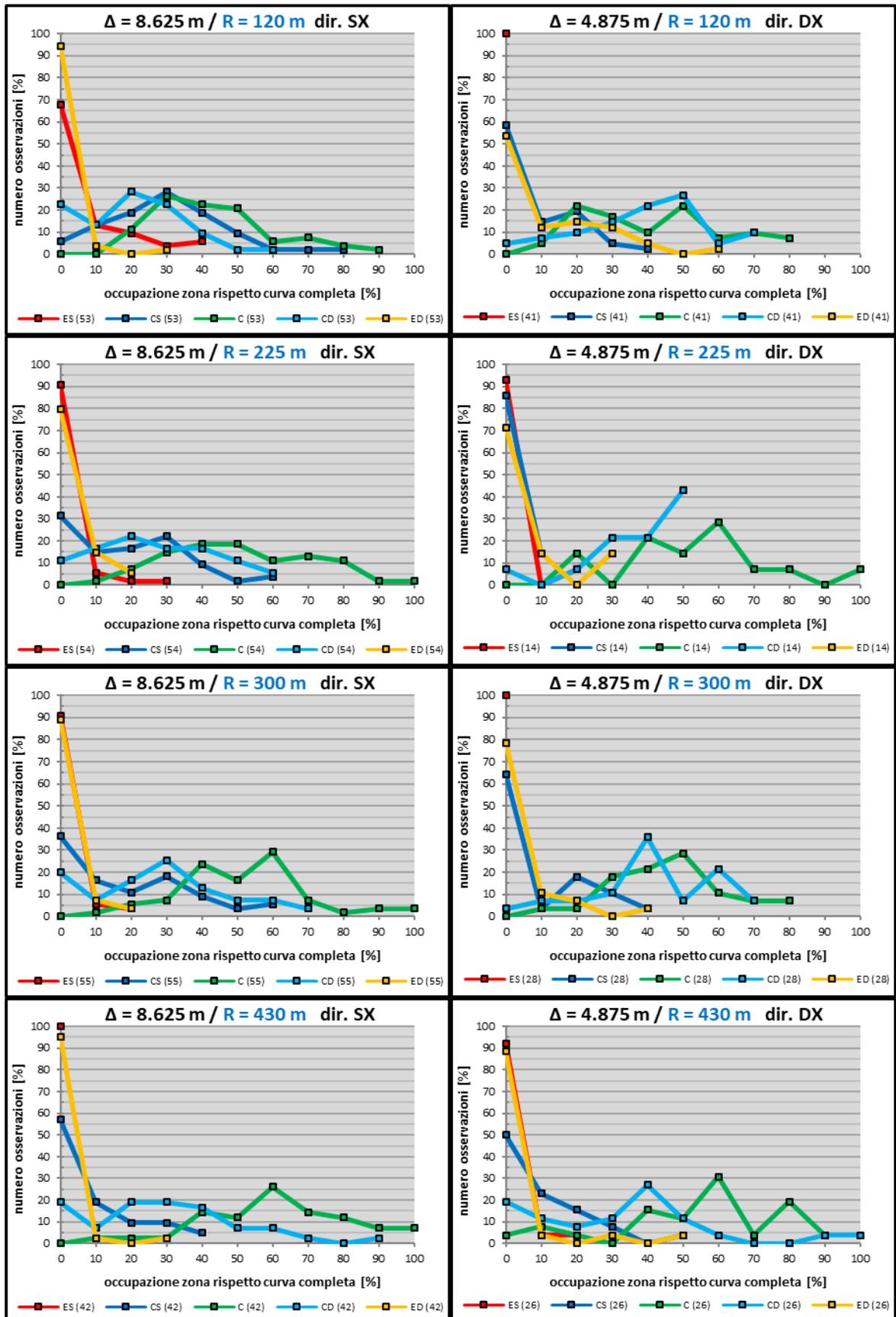


Figura 72. Curve di occupazione in funzione del raggio R e relative alle sole curve con ostruzione posta a 1,5 m dalla banchina.

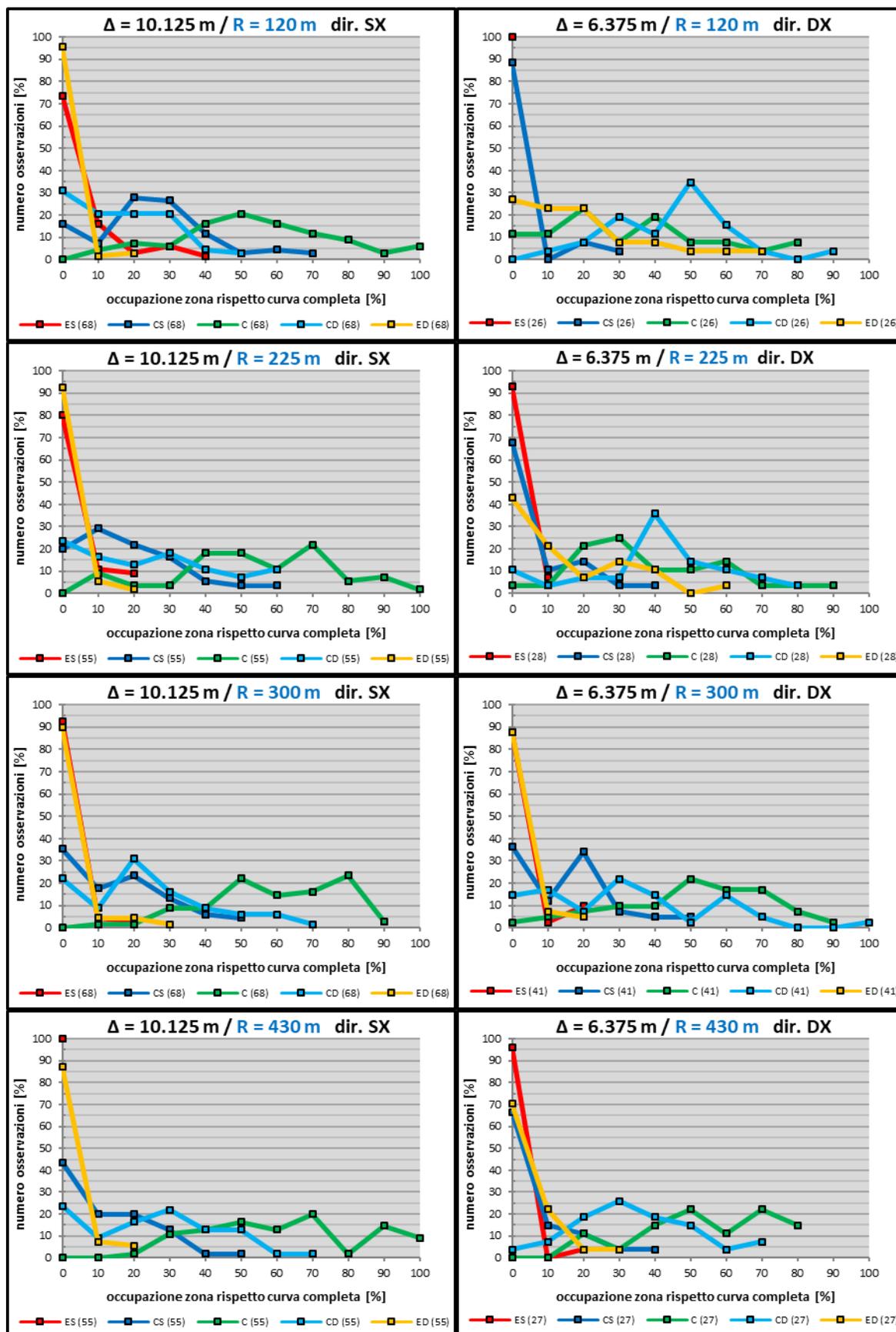


Figura 73. Curve di occupazione in funzione del raggio R e relative alle sole curve con ostruzione posta a 3 m dalla banchina.

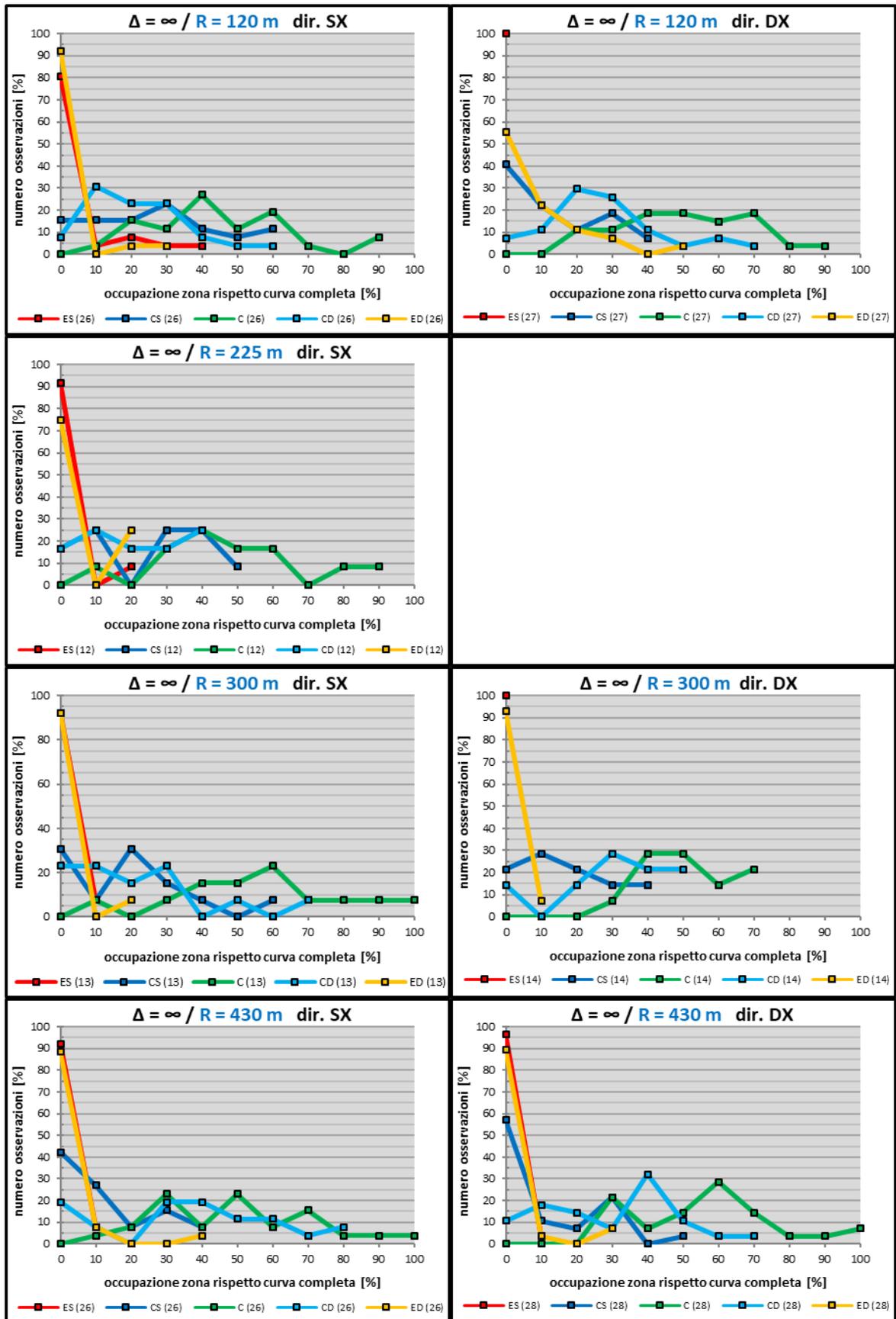


Figura 74. Curve di occupazione in funzione del raggio R e relative alle sole curve prive di ostruzione visiva.

b) Valutazione sui singoli profili di Lane Gap

Si è visto che all'aumentare del raggio delle curve la tendenza dei guidatori è quella di adottare traiettorie con dispersione minore, le quali transitano raramente o per pochi istanti le zone esterne della corsia. Si è visto infatti che si registra un incremento dell'utilizzo e dell'occupazione della zona centrale, a discapito delle zone omonime la direzione di curvatura. Si vuole dimostrare come tale comportamento sia visibile anche sui profili di Lane Gap delle singole curve. Nella *Figura 75* e *Figura 76* sono riportati i profili relativi alle stesse 10 curve affrontate rispettivamente dal TD2 e dal TD27 differenziate in base al raggio R. Con la linea continua si sono identificate le curve destrorse mentre con quella tratteggiata le curve della direzione opposta. Si può notare che in entrambi i casi e per entrambi le direzioni di curvatura, il comportamento è il medesimo di quello riscontrato nella valutazione aggregata, se infatti nel caso delle curve di raggio più stretto i guidatori invadono la banchina per tratti molto estesi, nelle curve di raggio maggiore percorrono tutto lo sviluppo della curva all'interno della corsia di marcia. Inoltre, si può notare che il comportamento varia in funzione del raggio di curvatura nei soli tratti di curva circolare e curva di transizione mentre non si riscontra una variazione di comportamento lungo i rettifili di avvicinamento e di uscita.

Abbiamo visto inoltre che i guidatori si preparano ad affrontare la curva già lungo il rettilo di avvicinamento. Proviamo a valutare tale comportamento anche sui profili di Lane Gap per confermare quanto riscontrato. Anche in questo caso nelle curve sinistrorse i test driver tendono ad occupare la zona di destra della corsia mentre nelle curve destrorse gli stessi rimangono più centrati ma spostati comunque sul lato di centrosinistra. Si può notare inoltre che nel tratto di curva circolare i guidatori occupano in genere le zone omonime alla direzione, se per esempio nelle curve destrorse le traiettorie transitano nelle zone di centro, centrodestra e banchina in quelle della direzione opposta i guidatori transitano nelle zone di centro, centrosinistra invadendo anche la corsia opposta. Infine, si può osservare che lo spostamento dalla zona tenuta in avvicinamento, alle zone occupate nel tratto di curva circolare, avvenga in genere lungo il tratto di clotoide. Lo stesso si può dire in uscita dalla curva circolare anche se in alcuni casi lo spostamento inizia già nella mezzeria o nella parte finale della stessa. L'analisi è stata effettuata ovviamente per tutti e 41 i guidatori e per la maggior parte di esse valgono le considerazioni fatte per i TD2 e TD27. I relativi profili sono riportati in *appendice G*.

Non viene riportata l'analisi sull'influenza della distanza Δ dall'ostacolo in quanto è di difficile interpretazione e le variazioni di comportamento sono poco visibili.

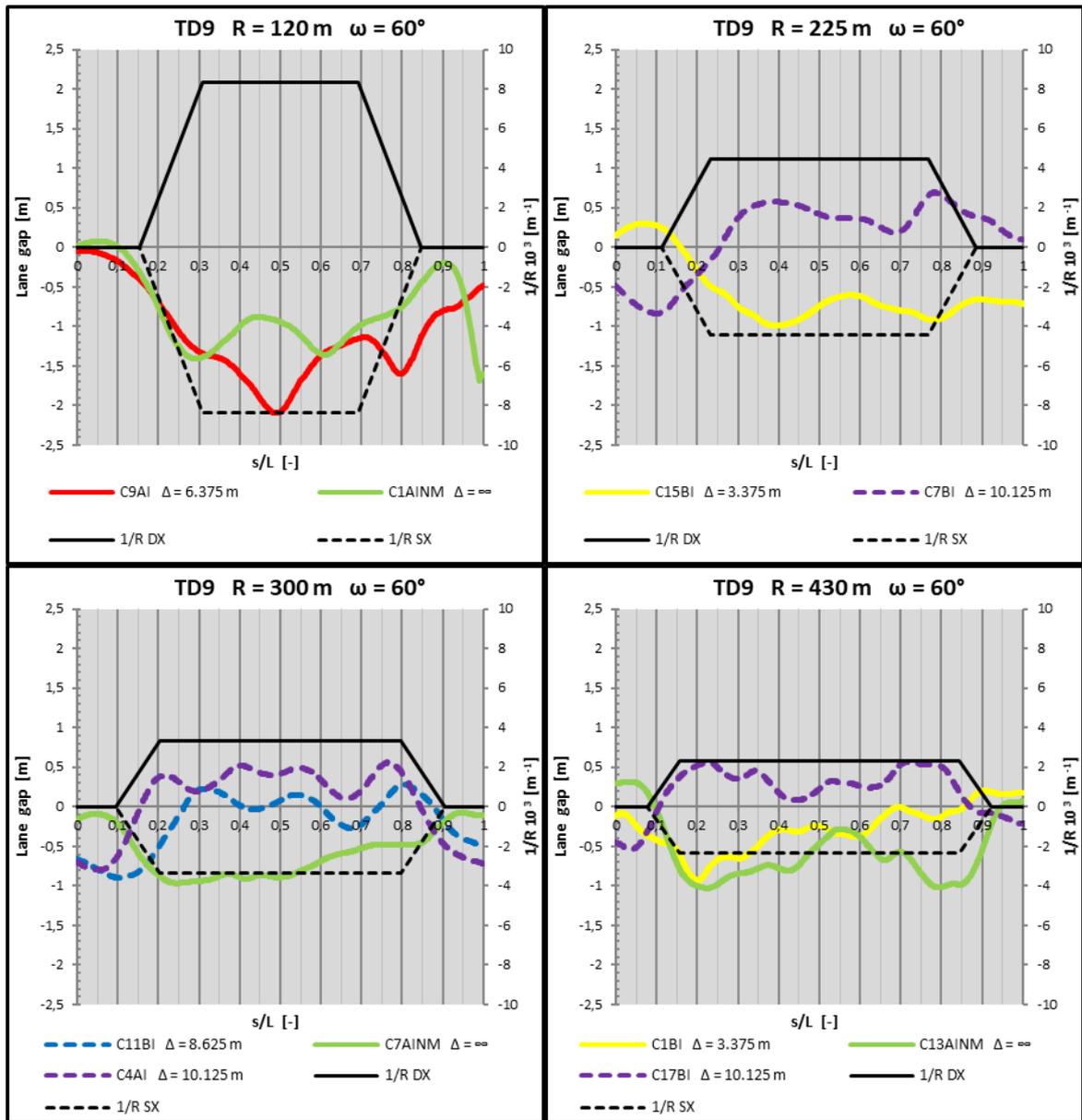


Figura 75. Profili di L.G. relative alle curve con angolo di deviazione di 60° affrontate dal TD9, differenziate in base al raggio di curvatura R.

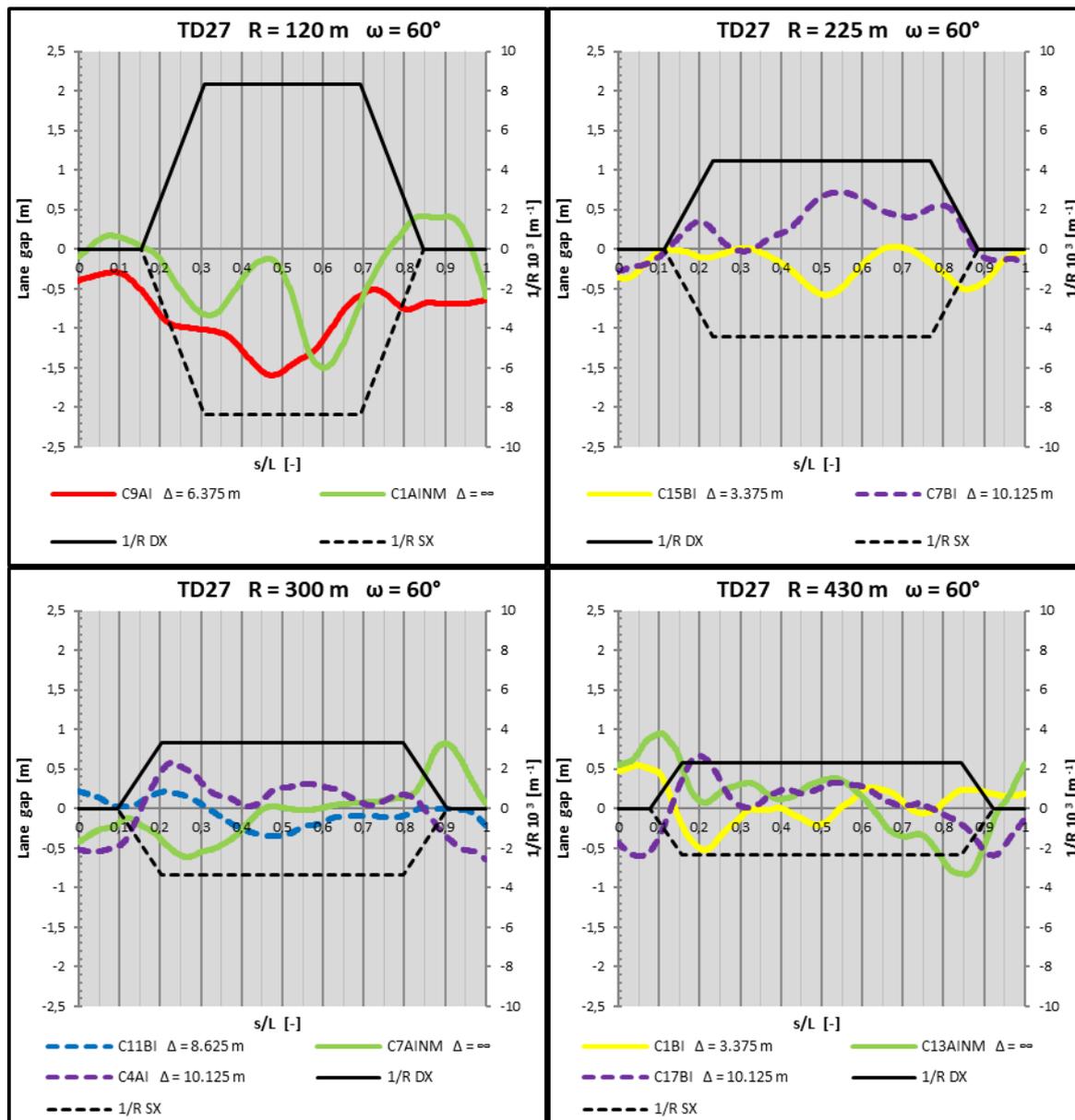


Figura 76. Profili di L.G. relative alle curve con angolo di deviazione di 60° affrontate dal TD27, differenziate in base al raggio di curvatura R.

4.2.12 Influenza della DVL

Valutiamo infine come varia il comportamento dei test driver in funzione della distanza di visuale libera disponibile del tratto di curva circolare, la quale è ottenuta dalle varie combinazioni possibili di raggio e configurazione dell'ostruzione. Anche in questa parte di analisi ci svincoleremo dalla variabile angolo di deviazione ω che come già provato in precedenza non influisce sulla distanza di visuale libera. Il comportamento dei test driver viene valutato studiando come varia la dispersione delle traiettorie e l'occupazione della sede stradale, per le diverse combinazioni possibili di raggio e distanza D dall'ostruzione. In particolare, per ciascuna di queste curve si è valutata l'occupazione media espressa in percentuale delle cinque

zone di competenza della sede stradale, e la dispersione media delle traiettorie, e le si sono espresse in funzione della distanza di visuale libera risultante dalle caratteristiche della curva. I grafici risultanti verranno studiati da due punti di vista differenti, infatti, se dapprima si valuterà il comportamento dei guidatori in funzione del raggio di curvatura, successivamente si valuterà lo stesso in funzione della distanza D dall'ostacolo. Risulta ovvio che in entrambi i casi si valuterà implicitamente l'influenza della distanza di visuale libera.

Iniziamo l'analisi adottando come grandezza di studio la dispersione media standardizzata sulla lunghezza della curva e valutiamo inizialmente l'influenza del raggio delle curve (*Figura 77*). Si può notare come per entrambe le direzioni di curvatura la dispersione media delle traiettorie decresce indipendentemente dalla presenza dell'ostruzione e della sua distanza dalla sede stradale. In particolare, per la direzione sinistrorsa si registra una riduzione significativa della dispersione media nel caso di curve con ostruzione posizionata a filo banchina o a 1.5 m, pari rispettivamente a 0.17 m e 0.21 m, e una diminuzione inferiore e pari a 0.09 m quando la stessa è posizionata a 3 m.

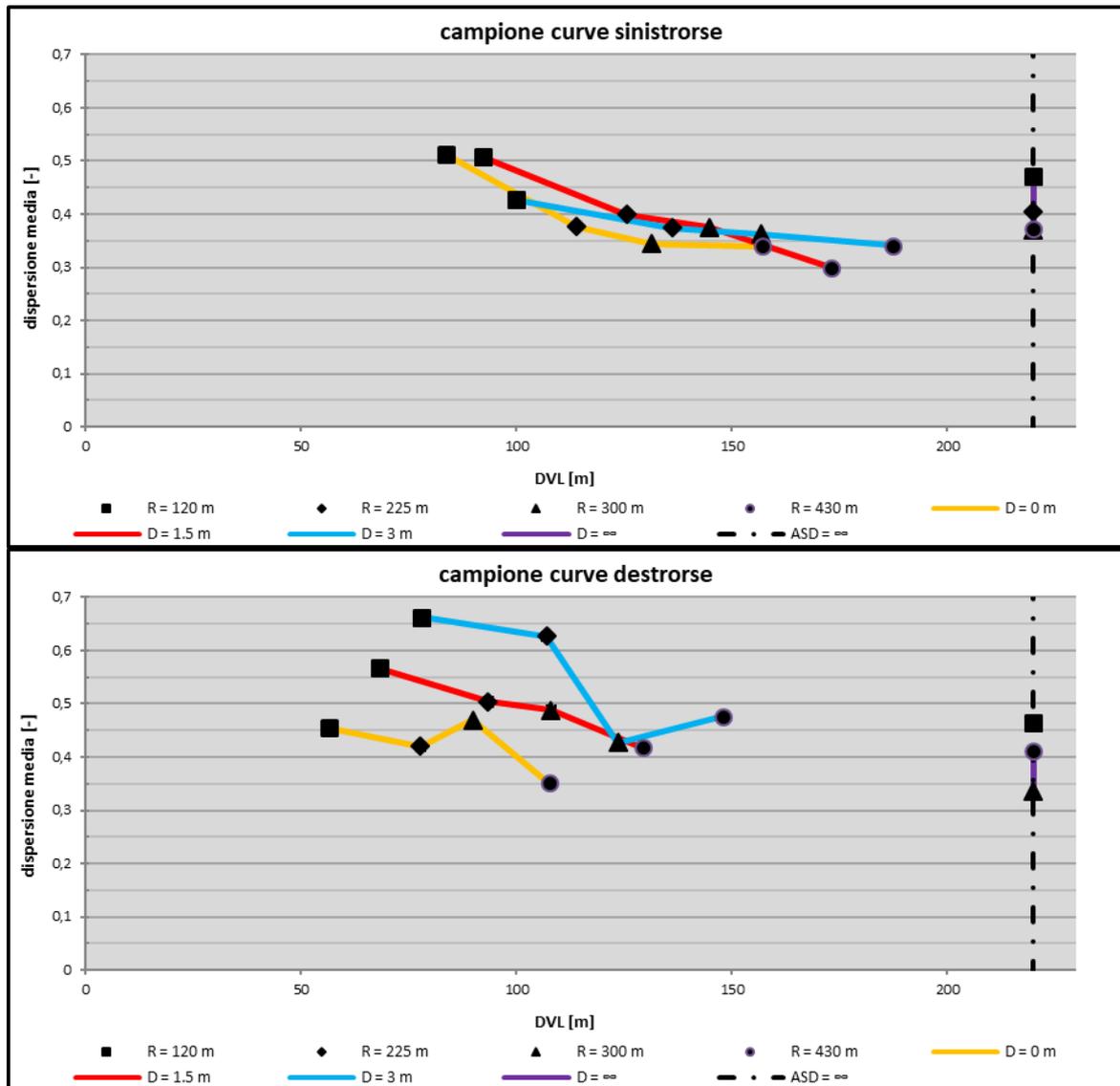


Figura 77. Dispersione media delle traiettorie espressa in funzione della distanza di visuale libera (DVL), per diverse combinazioni di raggio R e configurazione dell'ostruzione (dipendenza da R).

Anche la posizione dell'ostruzione influisce in maniera significativa sulla dispersione media delle traiettorie (Figura 78). Sembra infatti che nelle curve di direzione sinistrorsa all'aumentare della distanza dell'ostruzione dalla sede stradale i test driver adottino traiettorie con dispersione notevolmente inferiori nel solo caso delle curve di raggio più piccolo, mentre per le curve di direzione opposta si registra un incremento significativo della dispersione media tranne che per le curve di raggio pari a 300 m. Sembra inoltre che la posizione dell'ostruzione determini variazioni di comportamento più significative nelle curve di raggio più stretto, 120 m e 225 m.

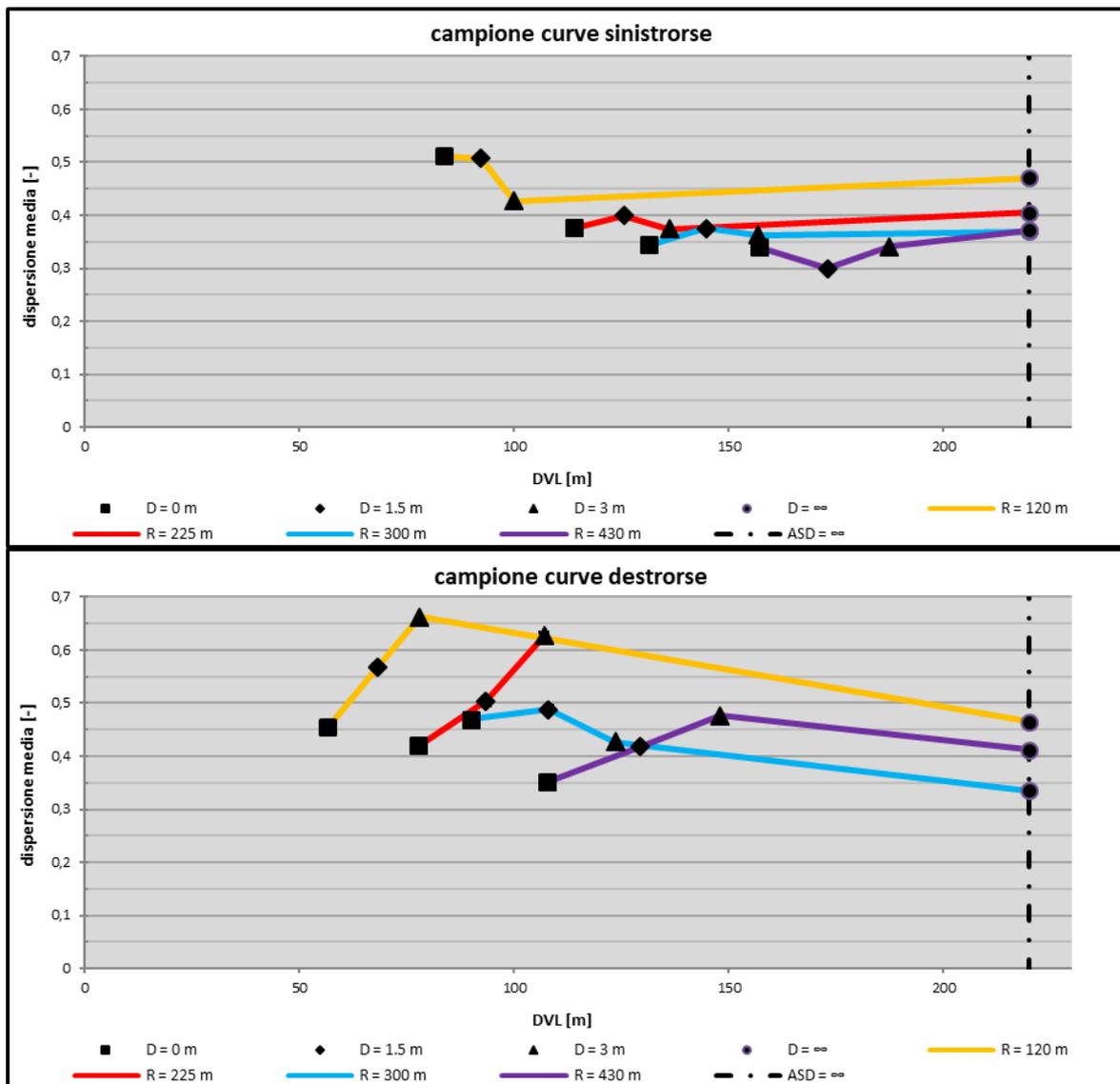


Figura 78. Dispersione media delle traiettorie espressa in funzione della distanza di visuale libera (DVL), per diverse combinazioni di raggio R e configurazione dell'ostruzione (dipendenza da Δ).

Valutiamo ora il comportamento in termini di occupazione zonale concentrando sulle sole curve sinistrorse (Figura 79 e Figura 80). Si può notare che all'aumentare del raggio di curvatura e quindi della distanza di visuale libera, l'occupazione media della zona centrale aumenta, in particolare si registra un aumento dell'8% nelle curve con l'ostruzione posto a filo banchina e in quelle in cui il muro è posizionato a 3 m dalla sede stradale, e un incremento del 18% nel caso di D pari a 1.5 m. Anche nel caso di curve prive di ostruzione si registra un aumento dell'occupazione media che risulta maggiore nel caso delle curve di raggio 300 m. Oltre ad un aumento significativo dell'occupazione della zona centrale si può notare che i guidatori tendano ad occupare per più tempo anche la zona di centrodestra, si registrano infatti incrementi che vanno dal 9% al 15%. Si puntualizza inoltre che l'occupazione media della zona

centrale è all'incirca il doppio di quella di centrodestra. Al contrario, la zona di centrosinistra viene occupata mediamente per circa il 30% nelle curve di raggio più piccolo e solo per il 10% – 15 % nelle curve di raggio 430 m. Inoltre, si registra una riduzione dell'occupazione della corsia opposta del 6% – 8% con valori all'incirca nulli per curve di raggio 430 m e un leggero incremento dell'occupazione della banchina. Le considerazioni fatte valgono per tutte le configurazioni dell'ostruzione.

Per le curve destrorse il comportamento è all'incirca simile a quello per le curve di direzione opposta, infatti in riferimento alla *Figura 81* e *Figura 82*, si può notare anche in questo caso un significativo incremento dell'occupazione media della zona centrale. In particolare, si registra per le curve con D pari a 3 m un incremento dell'occupazione di tale zona di addirittura il 21%. Anche in questo caso si registrano riduzioni dell'occupazione delle zone omonime la direzione di curvatura, specialmente della banchina. Non si registrano variazioni significative dell'uso delle zone opposte alla direzione di curvatura. Si può inoltre notare che rispetto alle curve sinistrorse si ha un maggior spostamento sul lato omonimo della direzione di curvatura, e si registrano invasioni prolungate della banchina le quali tendono ad annullarsi nelle curve di raggio 430 m. Anche in questo caso le considerazioni valgono per la totalità delle configurazioni dell'ostruzione.

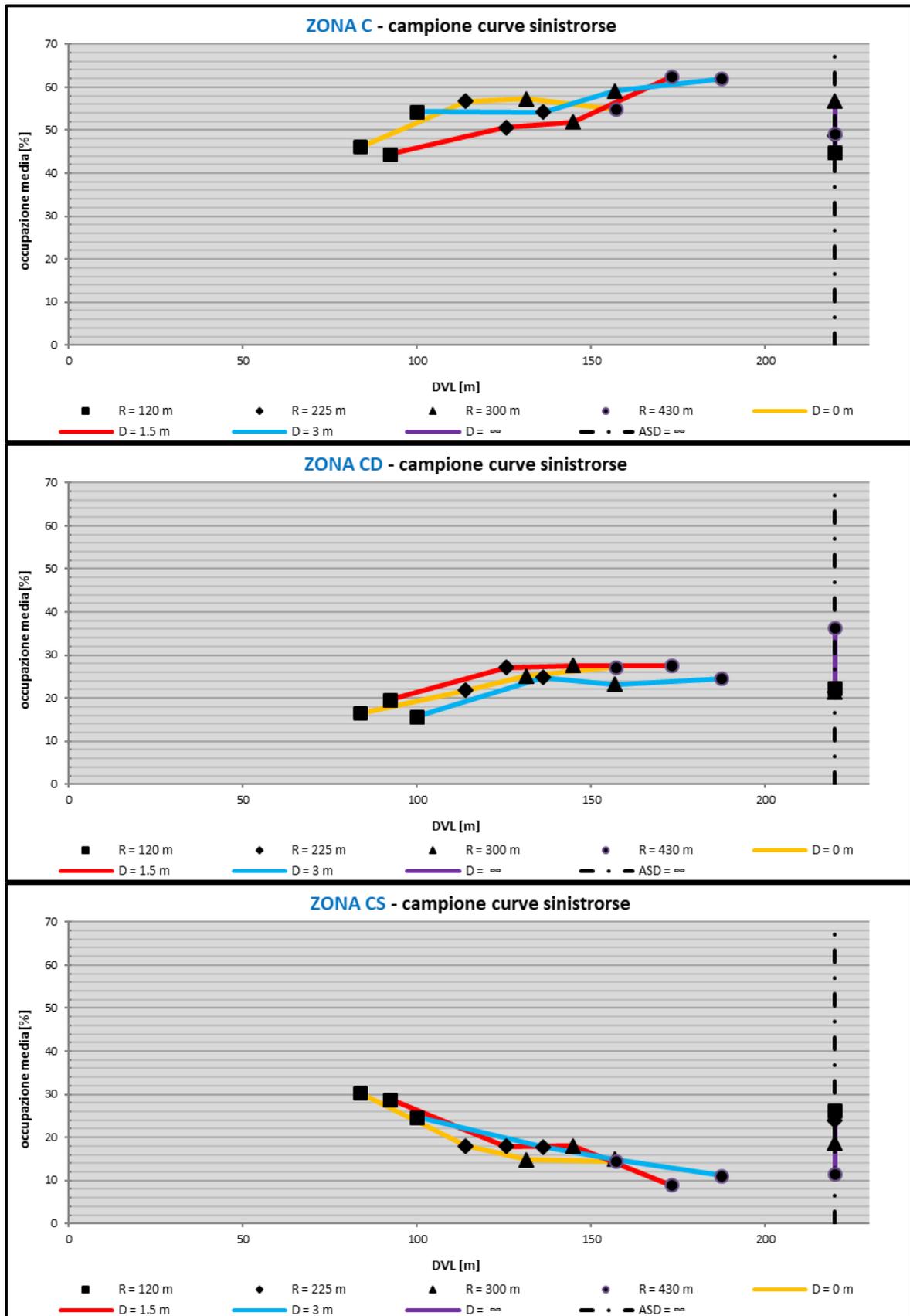


Figura 79. Occupazione media delle zone della corsia di marcia espressa in funzione della distanza di visuale libera (DVL), per diverse combinazioni di raggio R e configurazione dell'ostruzione (dipendenza da R nelle curve destrorse).

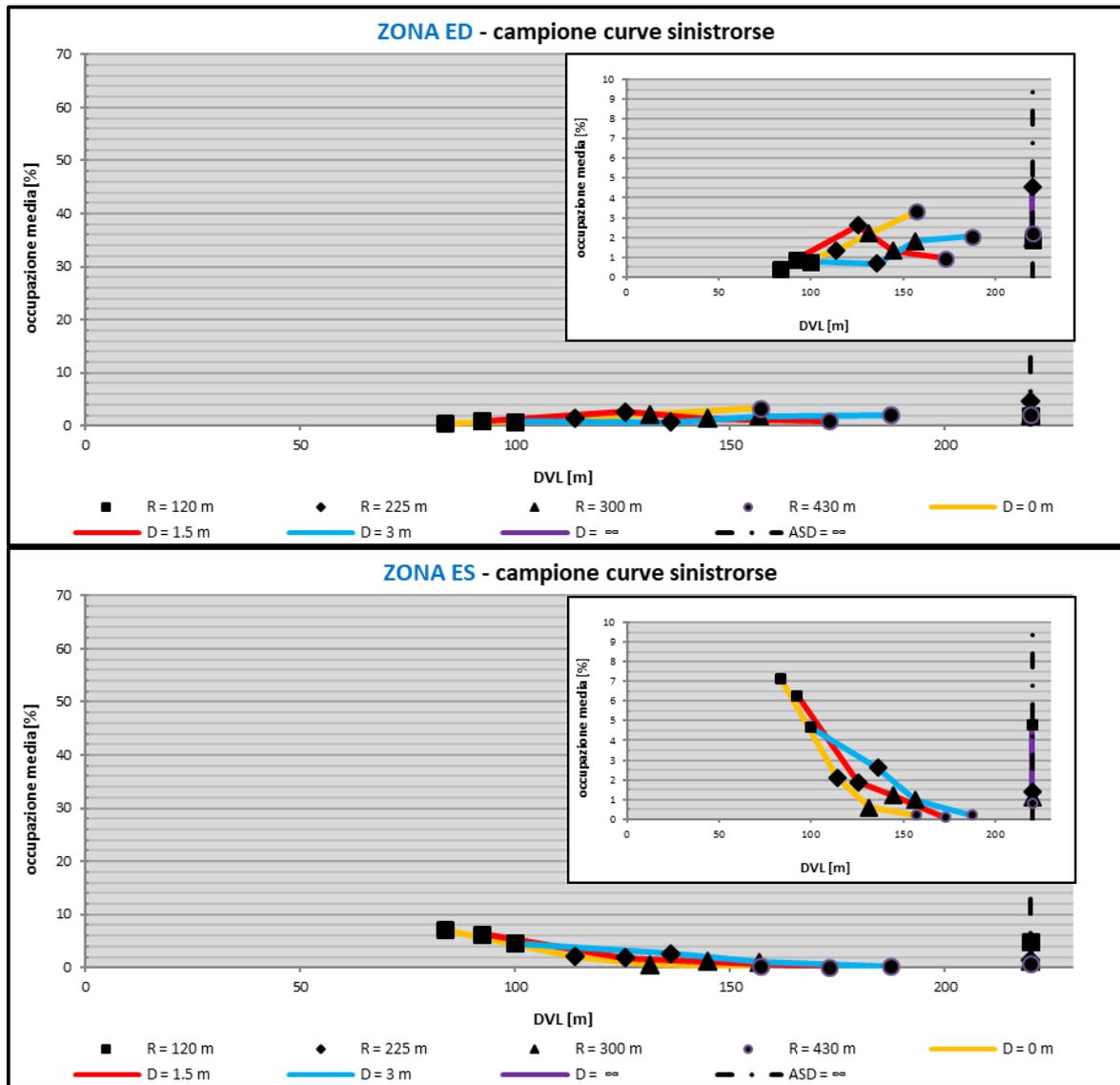


Figura 80. Occupazione media delle zone esterne espressa in funzione della distanza di visuale libera (DVL), per diverse combinazioni di raggio R e configurazione dell'ostruzione (dipendenza da R nelle curve sinistrorse).

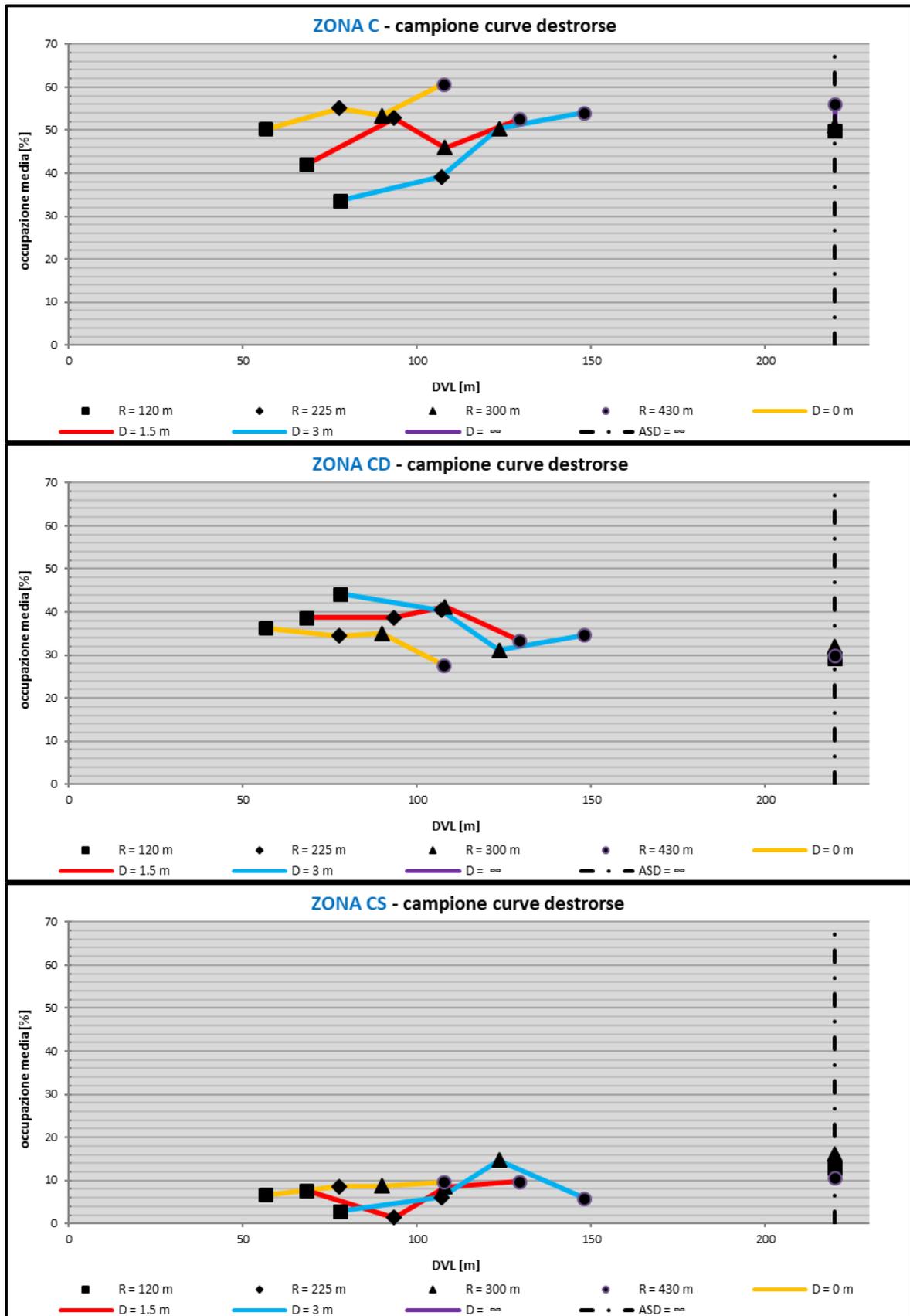


Figura 81. Occupazione media delle zone della corsia di marcia espressa in funzione della distanza di visuale libera (DVL), per diverse combinazioni di raggio R e configurazione dell'ostruzione (dipendenza da R nelle curve destrorse).

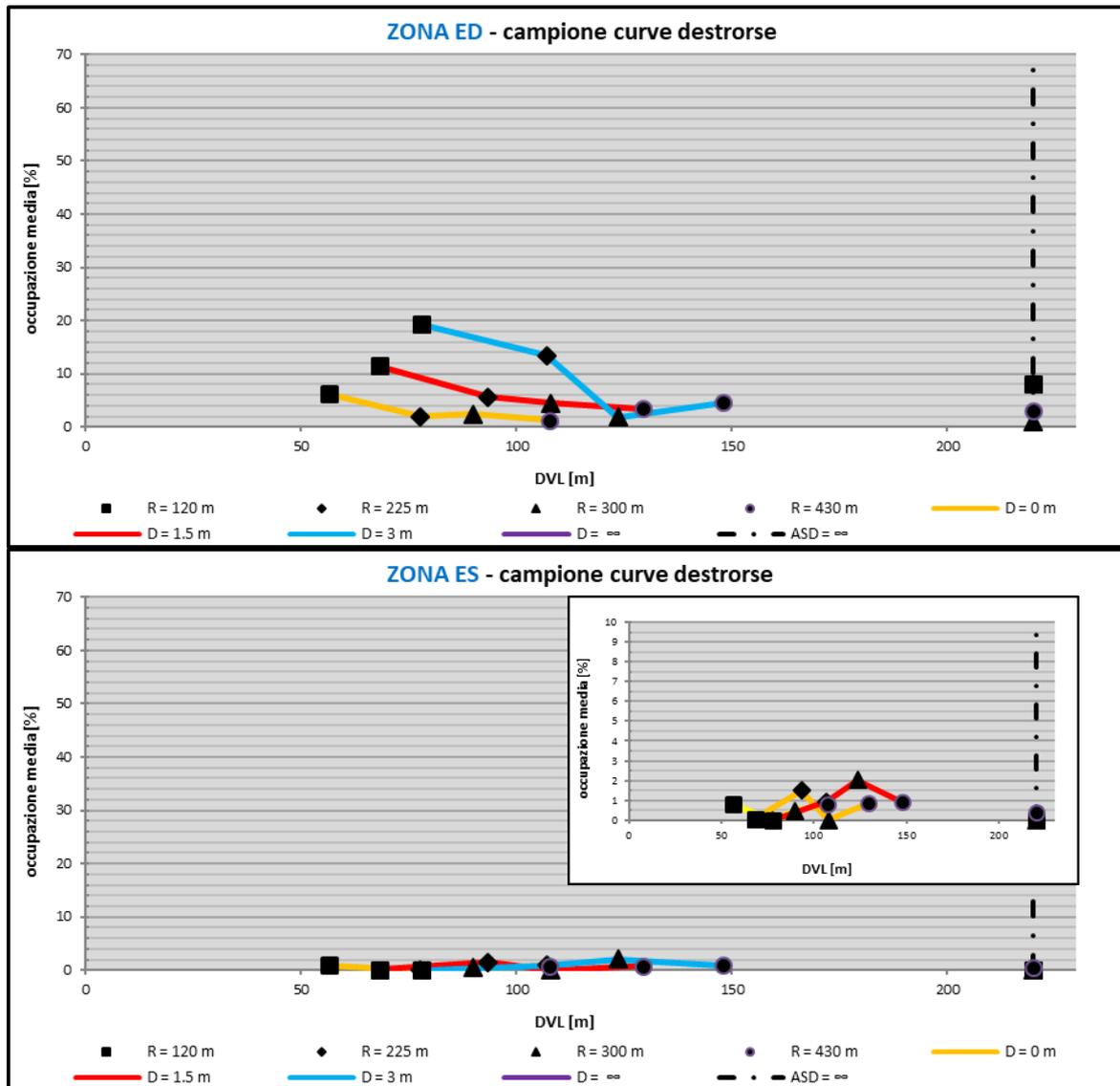


Figura 82. Occupazione media delle zone esterne espressa in funzione della distanza di visuale libera (DVL), per diverse combinazioni di raggio R e configurazione dell'ostruzione (dipendenza da R nelle curve destrorse).

Gli stessi grafici possono essere visti da un altro punto di vista in modo da valutare il comportamento dei guidatori in funzione della distanza D dall'ostacolo e nel caso di curve prive di ostruzione. Si faccia riferimento alla Figura 83 e Figura 84, sembrerebbe che il comportamento dei guidatori quando affrontano le curve di direzione sinistrorsa sia influenzato solo leggermente dalla posizione dell'ostruzione. Si può però notare che per il raggio più piccolo e il raggio maggiore si registra un incremento dell'occupazione della zona centrale, una diminuzione dell'occupazione delle zone periferiche della corsia e dell'uso della corsia opposta. Nelle curve prive di ostacolo sempre per gli stessi valori di raggio sembrerebbe invece adottare un comportamento simile alle curve con ostacolo posto a filo banchina. Va precisato inoltre che

l'ostruzione visiva influisce in maniera più rilevante nelle curve di raggio più piccolo ovvero quelle da 120 m.

Nelle curve di direzione sinistrorsa la posizione dell'ostruzione influisce in maniera rilevante solo per le curve di raggio 120 m, al contrario nelle curve di direzione opposta (vedi *Figura 85* e *Figura 86*) la variazione della distanza dall'ostacolo influisce in maniera significativa sull'occupazione media della sede stradale. Si può notare infatti, che all'aumentare della distanza D del muro dalla sede stradale i guidatori occupino per meno tempo la zona centrale della corsia spostandosi sul lato destro della sede stradale e invadendo maggiormente la zona di banchina. Inoltre, si ha una leggera riduzione dell'occupazione della zona di centrosinistra. Le considerazioni valgono per tutte le curve con ostruzione a lato, eccetto per quelle di raggio 300 m. Quando invece affrontano curve prive di ostacolo sembrerebbe che gli stessi adottino traiettorie più contenute nella corsia e un miglior allineamento con la stessa, si noti infatti che si registra una diminuzione dell'uso della zona di centrodestra e un incremento di quella opposta.

Infine, in *Figura 87* viene riportata per entrambe le tipologie di curva (verso sinistra e destra) la dispersione della traiettoria di ciascuna osservazione in funzione della distanza di visuale libera. Da tale grafico si nota che all'aumentare della DVL la dispersione media delle traiettorie tenute lungo le curve sinistrorse con visione limitata tende a diminuire. Nelle curve destrorse tale comportamento non si verifica in quanto il maggior scostamento dell'ostruzione della sede stradale (incremento della DVL) induce psicologicamente i conducenti ad adottare traiettorie maggiormente disperse rispetto l'asse di progetto; ciò significa che i guidatori esprimono una naturale tendenza a costeggiare l'ostruzione visiva lungo il lato interno della curva.

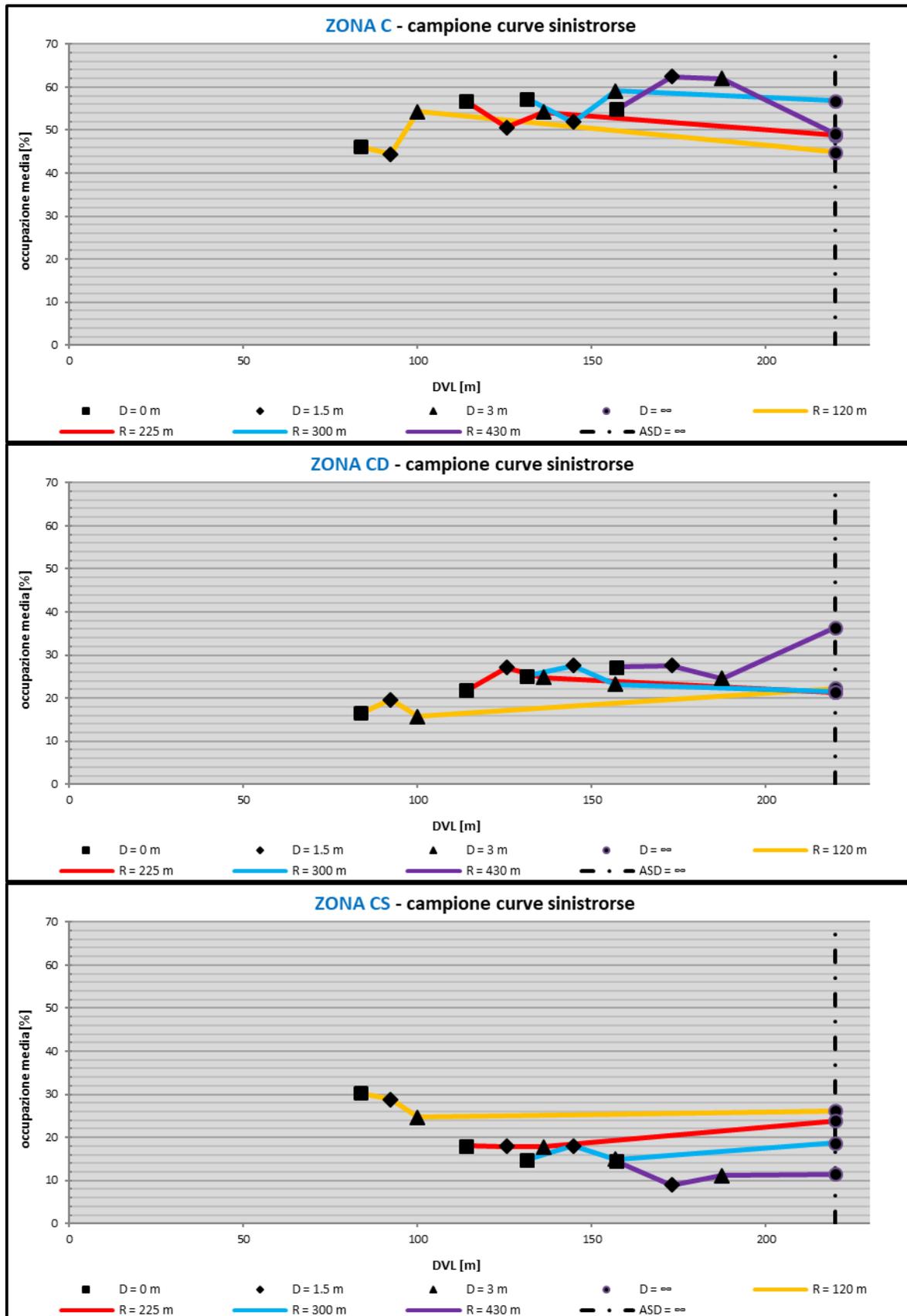


Figura 83. Occupazione media delle zone della corsia di marcia espressa in funzione della distanza di visuale libera (DVL), per diverse combinazioni di raggio R e configurazione dell'ostruzione (dipendenza da Δ nelle curve sinistrorse).

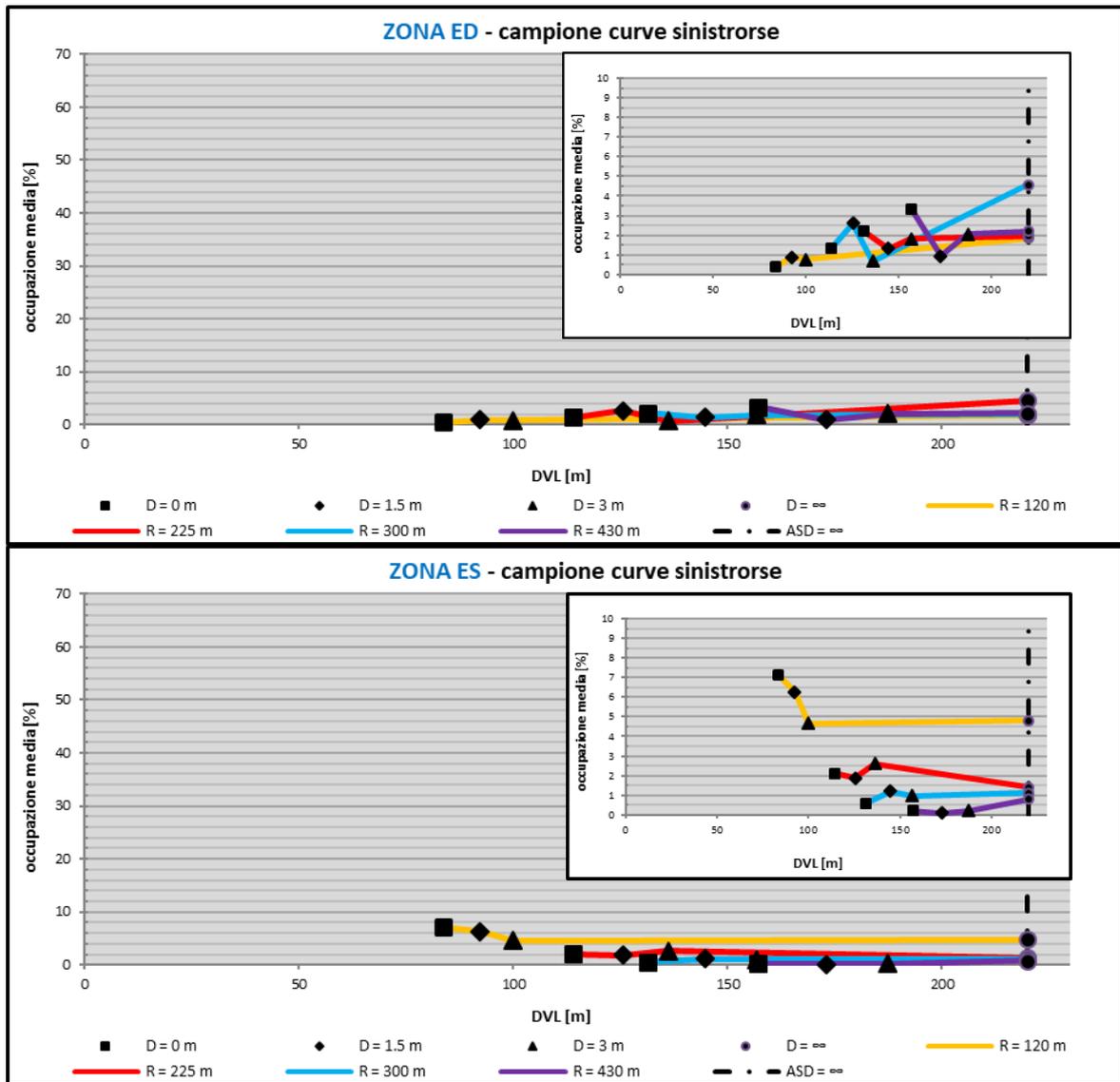


Figura 84. Occupazione media delle zone esterne espressa in funzione della distanza di visuale libera (DVL), per diverse combinazioni di raggio R e configurazione dell'ostruzione (dipendenza da Δ nelle curve sinistrorse).

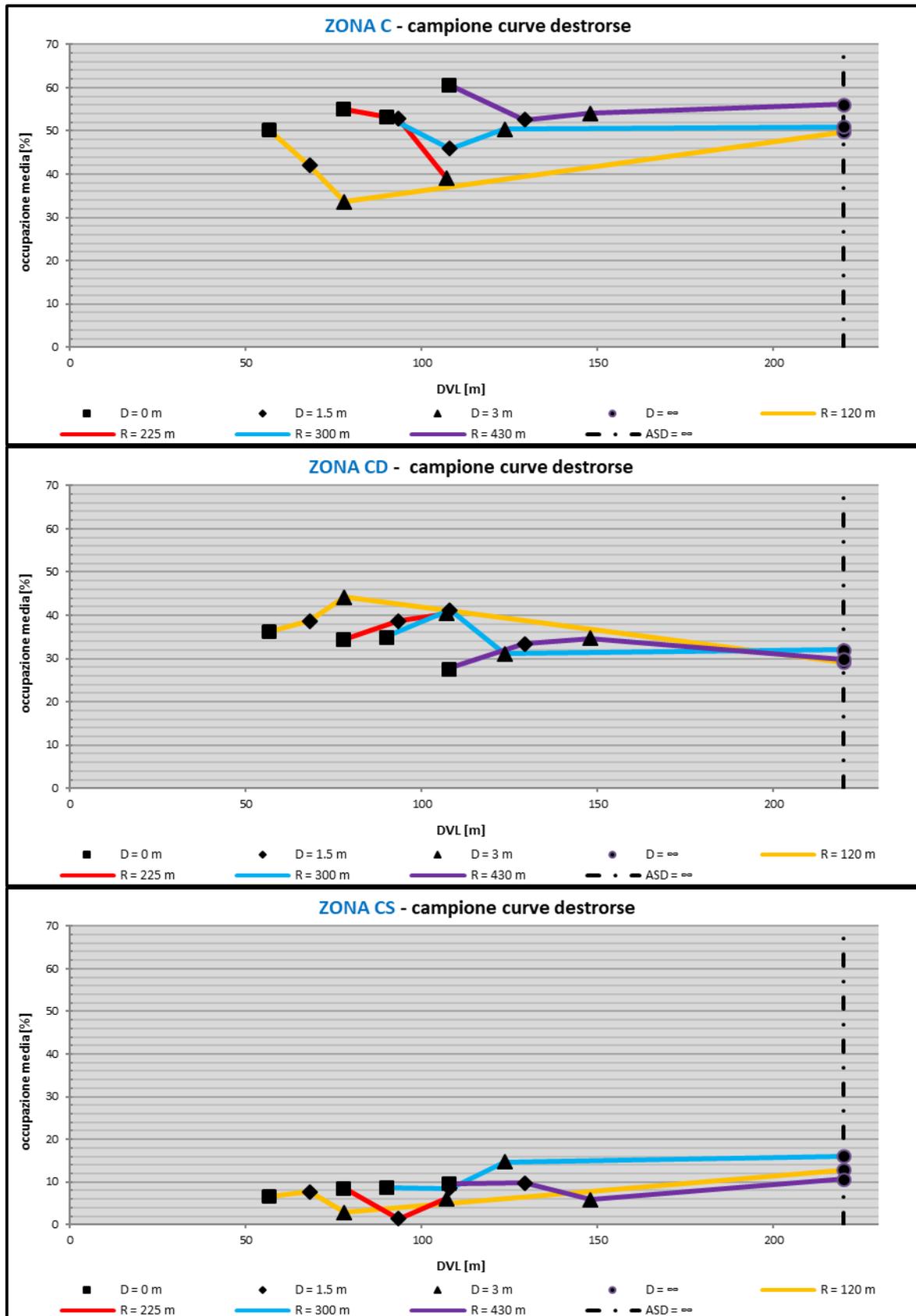


Figura 85. Occupazione media delle zone della corsia di marcia espressa in funzione della distanza di visuale libera (DVL), per diverse combinazioni di raggio R e configurazione dell'ostruzione (dipendenza da Δ nelle curve destrorse).

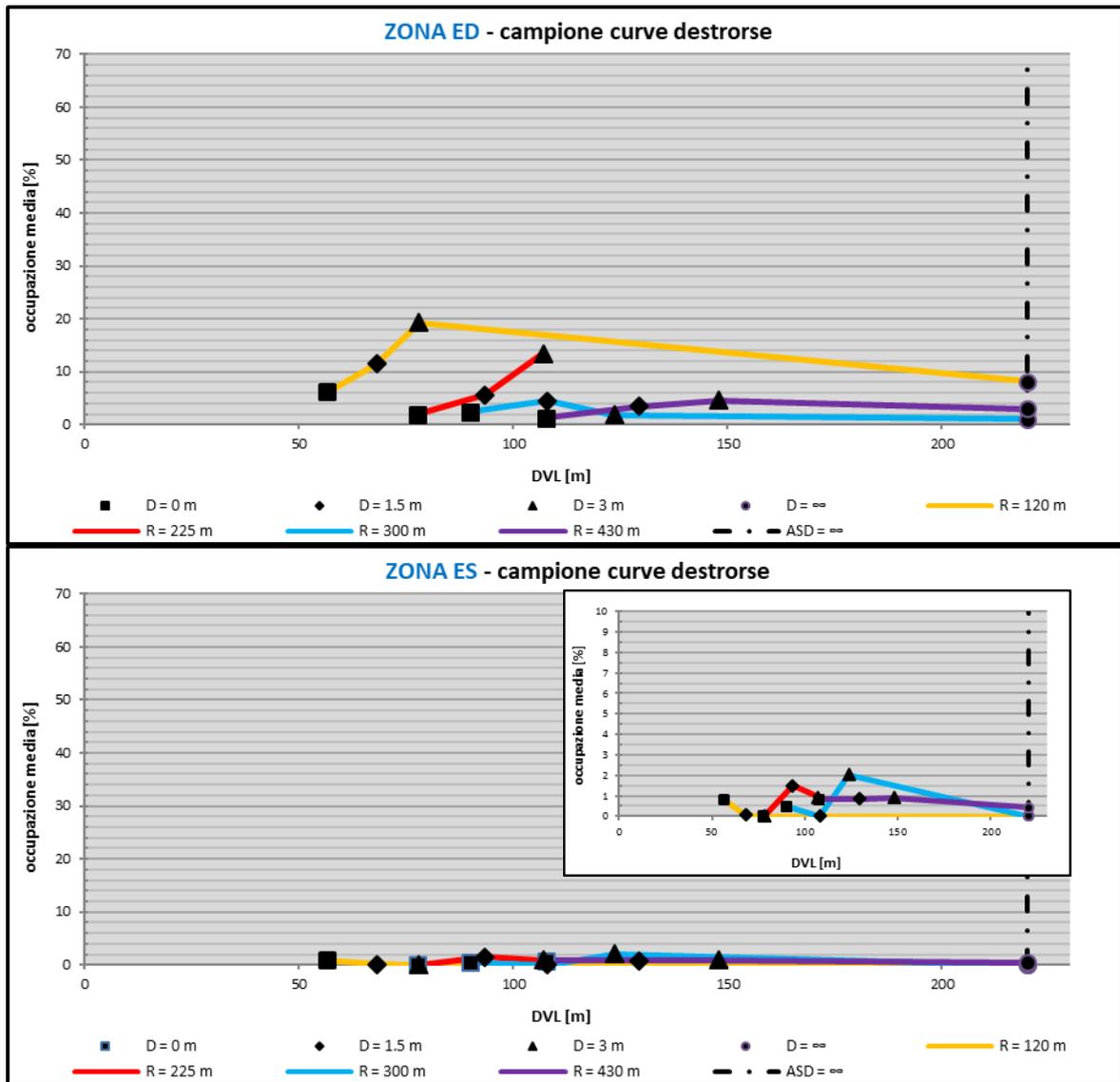


Figura 86. Occupazione media delle zone esterne espressa in funzione della distanza di visuale libera (DVL), per diverse combinazioni di raggio R e configurazione dell'ostruzione (dipendenza da Δ nelle curve destrorse).

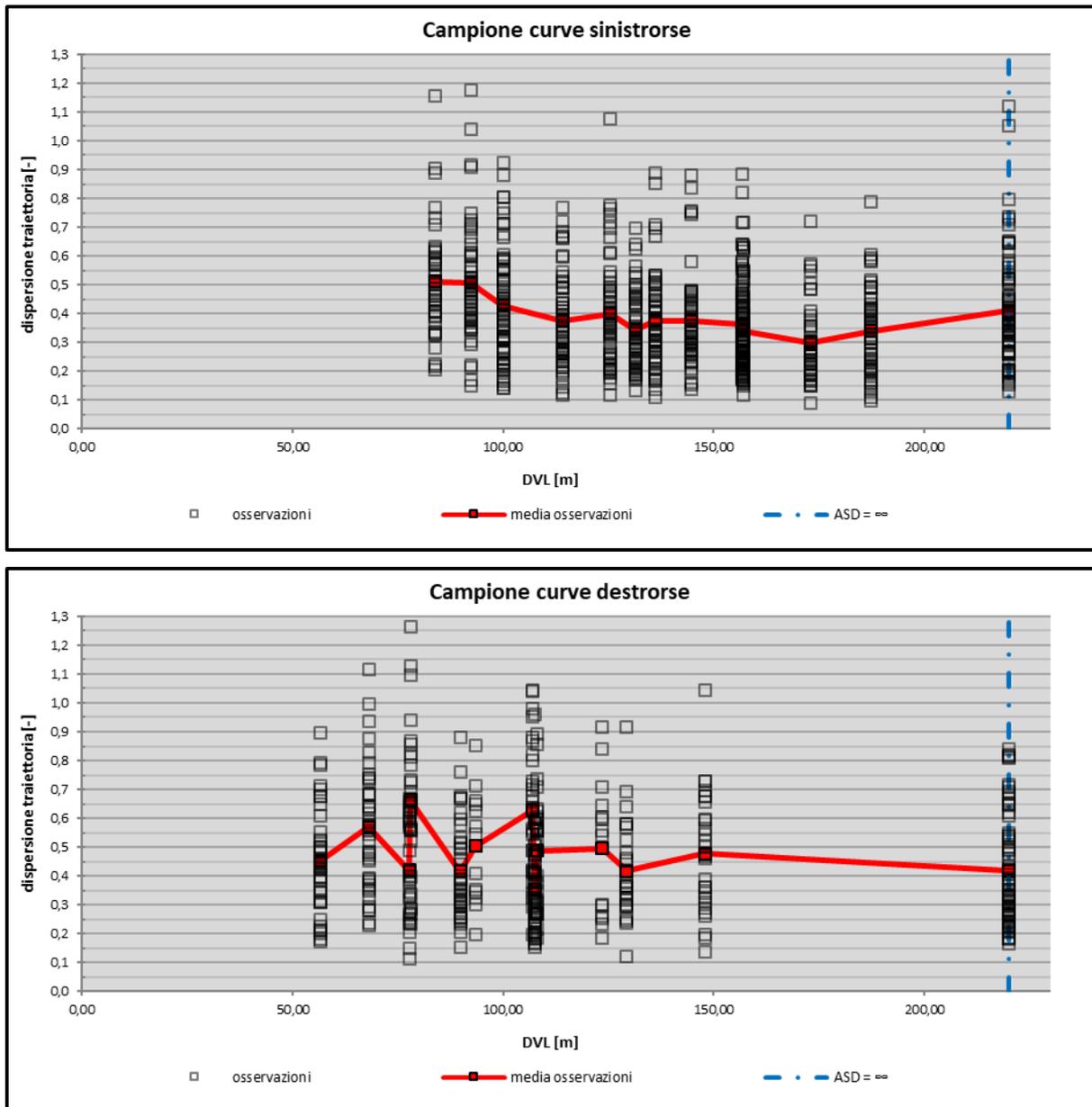


Figura 87. Dispersione delle traiettorie espresse in funzione della distanza di visuale libera (DVL): in alto il campione relativo alle curve sinistrorse, in basso quello delle curve destrorse. In rosso, la media calcolata per le dispersioni relative al medesimo valore di DVL.

4.3 Analisi delle traiettorie

Fino a qui si è lavorato con variabili strettamente legate al posizionamento trasversale, si sono analizzati i profili di *Lane Gap* dei 41 guidatori, si è eseguita un'analisi sul comportamento tenuto in curva in termini di dispersione della traiettoria e occupazione della sede stradale. In particolare, si è valutato come vengono affrontate dai test driver curve con differente distanza di visuale libera. Quest'ultima ottenuta dalle diverse combinazioni di raggio R e configurazione dell'ostruzione. Si è inoltre valutata l'occupazione della sede stradale nei singoli tratti componenti la curva ricercando lungo quale elemento e come la distanza di visuale libera

influisce sulla traiettoria. Infine, si sono ricercati possibili differenze di comportamento tra guidatori di età o sesso differente. Quello che si farà in questa parte di analisi è invece analizzare i dati caratteristici della traiettoria, raccolti durante le simulazioni.

4.3.1 Metodo di analisi

Il software acquisisce oltre ai dati di posizione X_G e Y_G del baricentro del veicolo, l'*Heading Angle* (o azimuth), ovvero l'angolo sotteso dalla direzione del veicolo e l'orizzontale, e la curvatura della traiettoria. Nella prima parte di analisi ispirandosi allo studio di Gikas e Stratakos (2012) si calcoleranno per ogni guida i parametri caratteristici della traiettoria a partire proprio dalle posizioni X_G e Y_G . In particolare, il valore di azimuth α_i per un generico punto i viene calcolato utilizzando la seguente formula:

$$\alpha = \arctan\left(\frac{dx}{dy}\right) \cdot \frac{180^\circ}{\pi}$$

dove dx e dy rappresentano le componenti delle coordinate x e y dal punto $(i-1)$ al punto i . Il profilo dell'azimuth rispetto a quello delle coordinate planimetriche permette un miglior rilevamento degli elementi costituenti il tracciato in quanto si ha una variazione più brusca nel passaggio da un elemento al successivo. In tale profilo i rettifili sono identificati dai tratti costanti, le curve circolari da quelli lineari mentre le clotoidi sono rappresentate dai tratti parabolici. La fase successiva prevede la costruzione dei profili delle curvature i cui valori sono ottenuti dalla seguente:

$$\frac{1}{R} = \dot{\alpha} = \frac{\alpha_{i+1} - \alpha_i}{s_{i+1} - s_i}$$

dove s_i e s_{i+1} si rappresentano la progressiva del punto i e di quello successivo. In particolare, la curvatura assume valori costanti e nulli in corrispondenza dei rettifili, costanti e diversi da zero lungo i tratti circolari e assume andamento lineare lungo le curve di transizione. L'ultimo passo consiste nella costruzione dei profili del tasso di variazione delle curvature, i cui valori sono ottenuti come:

$$\ddot{\alpha} = \frac{\dot{\alpha}_{i+1} - \dot{\alpha}_i}{s_{i+1} - s_i}$$

In tali profili, gli elementi a curvatura costante sono ovviamente rappresentati da tratti nulli mentre le clotoidi sono caratterizzate da un tasso di variazione costante. Per comprendere meglio la relazione tra le tre precedenti grandezze, nella *Figura 88* viene riportato un esempio dei relativi profili.

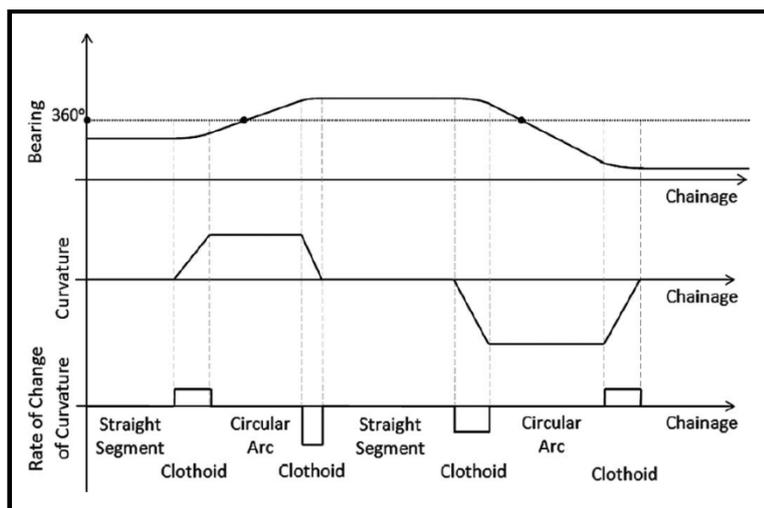


Figura 88. Correlazione tra Heading Angle (Bearing), curvatura e variazione della curvatura dell'asse di progetto (Gikas V. & Stratakos J. marzo 2012).

Successivamente a partire dalle curvature di progetto dei tracciati si stimeranno le curvature delle traiettorie c_T per mezzo del modello utilizzato nello studio di Cerni G. & Bassani M. (gennaio 2017) il quale è strutturato come media mobile, ponderata attraverso coefficienti di ripartizione i cui valori, diminuiscono all'aumentare della distanza dal punto in esame. In particolare, l'equazione di modello è la seguente:

$$c_{T,i} = \frac{\sum_{h=i-n}^{h=i+n} c_{AB,h} \cdot p_h}{\sum_{h=i-n}^{h=i+n} p_h}$$

dove c_{AB} rappresenta la curvatura di progetto e i coefficienti p_h rappresentano i fattori di ripartizione, o pesi del modello, mentre n indica il numero di punti precedenti e seguenti indagati per stimare passo dopo passo la curvatura c_T . Il modello prevede la discretizzazione della curvatura di progetto in una sequenza di punti spaziali. Si può notare che la curvatura c_T è stimata come una combinazione lineare dei valori di c_{AB} vicino ai punti h -esimi. Questi punti sono associati ai coefficienti di ripartizione i quali diminuiscono progressivamente dal valore di riferimento 100, per il punto h -esimo, ai punti $i - n$ (precedente) e $i + n$ (seguito) secondo le seguenti:

$$p_{i+j} = \frac{p_{i+(j-1)}}{Y'}$$

$$p_{i-j} = \frac{p_{i-(j+1)}}{Y''}$$

dove j varia tra 1 ed n . Y' e Y'' sono i due coefficienti di calibrazione i quali modulano l'effetto memoria dell'allineamento orizzontale già guidato (Y'') e quello osservato che deve ancora essere affrontato (Y'). La calibrazione dei parametri è stata effettuata minimizzando la somma delle differenze di curvatura al quadrato e adottando un intervallo di 1 m tra i vari punti.

Se fino adesso si è lavorato su tutta la lunghezza del tracciato, l'ultimo passo dell'analisi prevede la valutazione delle traiettorie dei guidatori adottate lungo i tratti di curva circolare. In particolare, si mostrerà il confronto tra i raggi delle curve di progetto e i raggi di curvatura della traiettoria rilevata, mediata sullo sviluppo del tratto di curva circolare secondo la seguente formula:

$$R_k = \frac{1}{\bar{c}_k}$$

dove \bar{c}_k è la curvatura media osservata:

$$\bar{c}_k = \frac{\sum_{i=1}^n c_{i,k}}{n}$$

4.3.2 Processo di derivazione delle traiettorie

Si mostrerà ora il risultato delle operazioni di derivazione delle posizioni X_G e Y_G del baricentro del veicolo. Va precisato che a causa del diverso sistema di riferimento del software, l'heading angle α è calcolato come in precedenza e successivamente shiftato di 90° . In *Figura 89* e *Figura 90* vengono mostrati i profili delle tre grandezze relativi alle guide dello scenario ADNМ dei TD2 e TD17 rispettivamente, dal profilo relativo all'azimuth della traiettoria si possono distinguere chiaramente i rettilinei e le curve circolari, mentre le curve di transizione essendo caratterizzate da un breve sviluppo sono meno visibili ma coincidono con i tratti parabolici. Il processo di derivazione si porta con sé un rumore che risulta di entità massima per il tasso di variazione della traiettoria, il processo successivo del modello proposto da Gikas V. Stratakos J. è proprio quello di eliminare tale rumore per ricostruire la linea di centro corsia in applicazioni stradali e ferroviarie. Dal confronto dei profili di curvatura e tasso di variazione dei due guidatori si può osservare che il test driver 17 adotta traiettorie caratterizzate da curvature e variazioni della stessa maggiori. Si noti che quest'ultimo ha 54 anni mentre il test driver 2 ne ha 30, e in riferimento ai profili in *appendice H* sembrerebbe che i guidatori più anziani guidino con correzioni caratterizzate da curvature di entità maggiore. Ciò va a supporto di quanto detto al paragrafo 4.2.3 ovvero che i test driver più anziani adottino traiettorie più disperse rispetto l'asse della corsia. Inoltre, in tali profili è possibile notare comportamenti particolari come per esempio sorpassi o deviazioni dovute alla presenza degli ostacoli posti a lato. Per i profili dei restanti test driver si rimanda alla relativa *appendice H*.

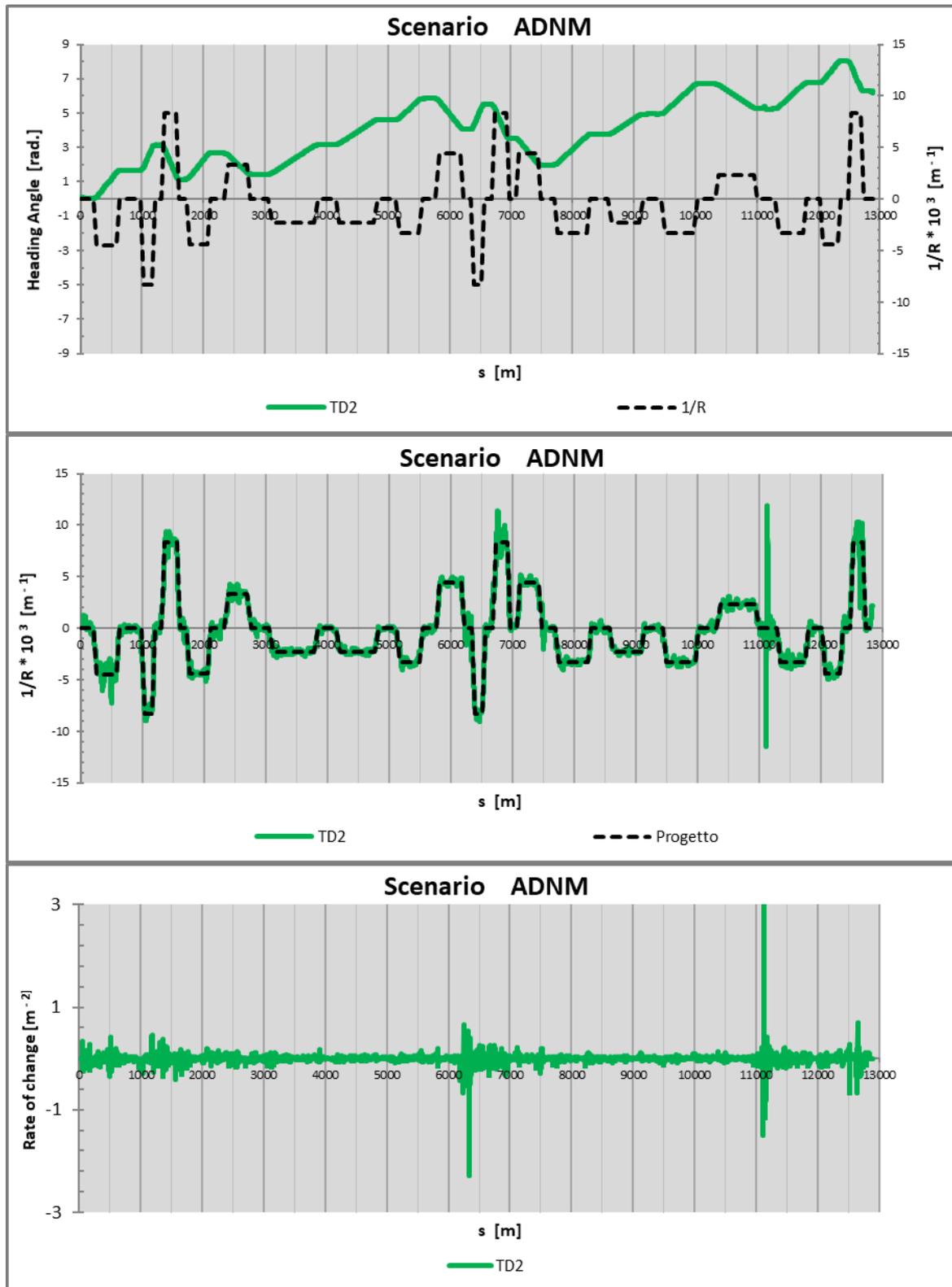


Figura 89. Risultati del processo di derivazione delle posizioni per la guida dello scenario ADN M effettuata dal TD2: in alto il profilo dell'Heading Angle, in centro quello della curvatura mentre in basso la variazione della curvatura.

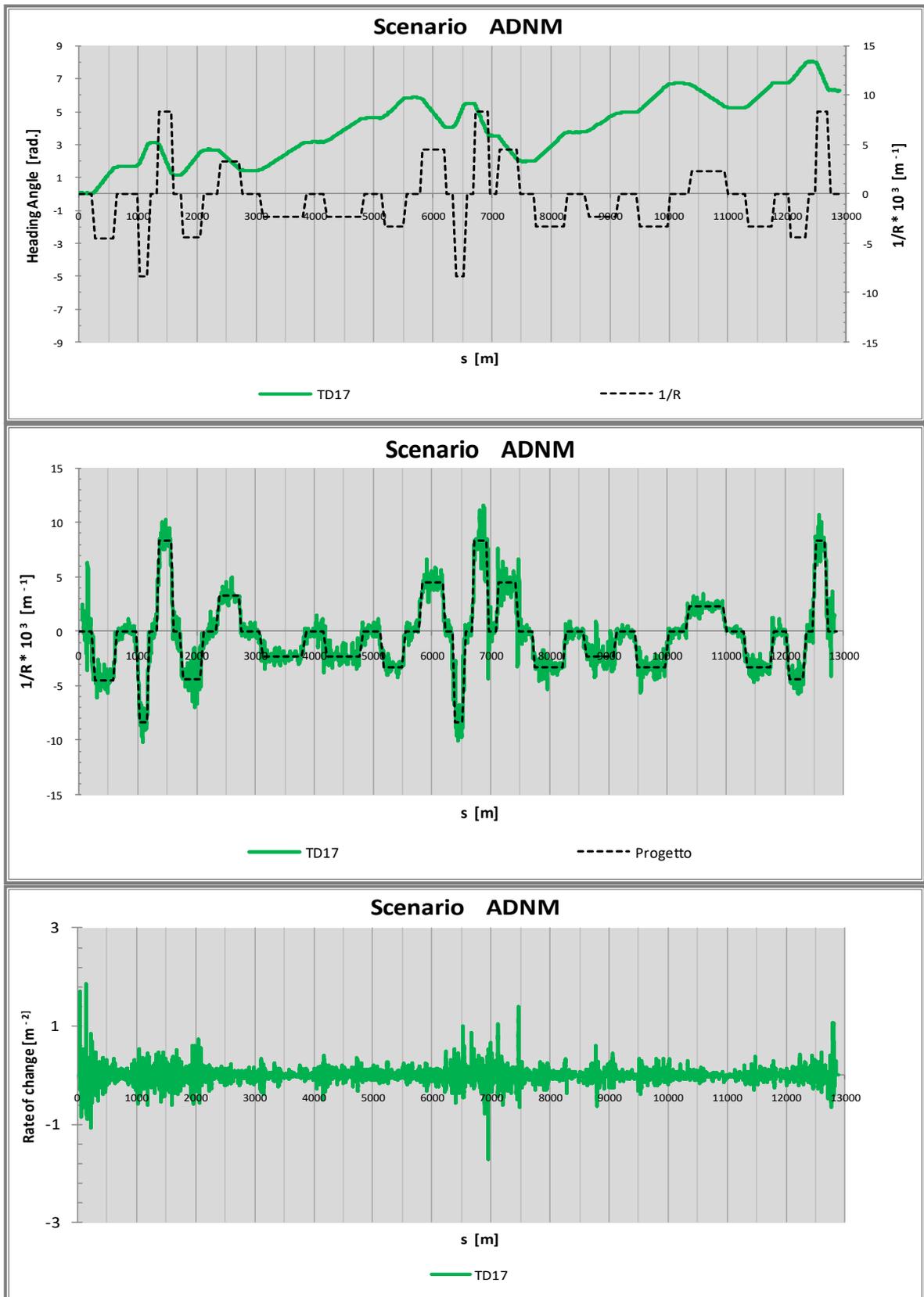


Figura 90. Risultati del processo di derivazione delle posizioni per la guida dello scenario ADN M effettuata dal TD17: in alto il profilo dell'Heading Angle, in centro quello della curvatura mentre in basso la variazione della curvatura.

Infine, in *Figura 91* vengono riportati i relativi profili dei parametri caratteristici delle traiettorie tenute dal test driver 2 lungo due curve del tracciato ADNM di differente raggio.

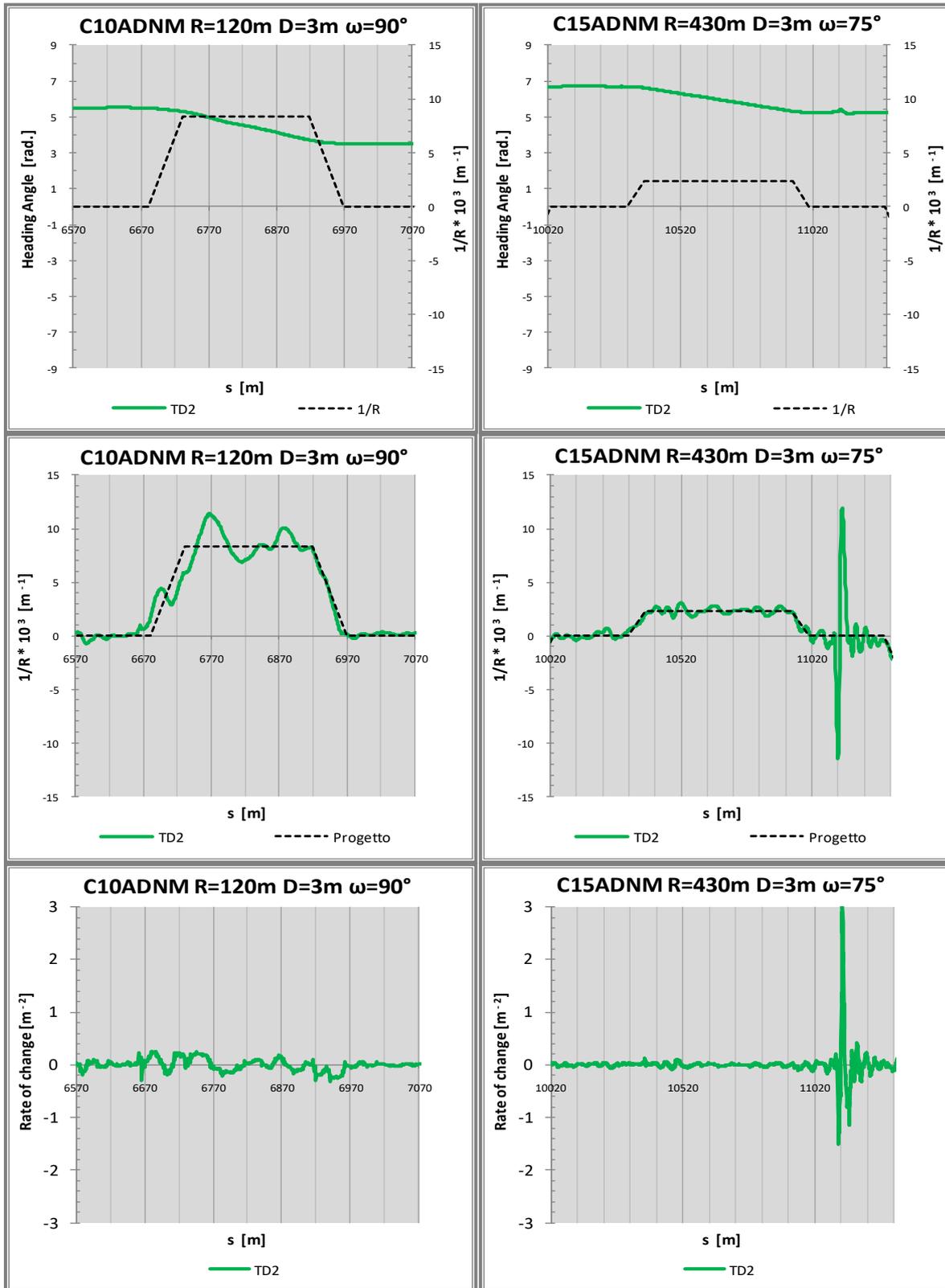


Figura 91. A sinistra i tre diagrammi relativi ad una curva di raggio 120 m, a destra gli stessi relativi ad una curva di raggio 430 m nella quale il TD2 sorpassa un veicolo posto sulla banchina.

Più precisamente, i grafici di sinistra sono relativi ad una curva di raggio 120 m mentre quelli di destra si riferiscono a una curva di raggio maggiore ovvero di 430 m. Il confronto tra il percorso della guida reale con la curvatura di progetto mostra che il conducente tende ad anticipare l'azione sul volante prima del punto di curvatura in accordo con gli studi di Stewart D. (1977), Godthelp (1986), Bonneson (2000) e Cerni – Bassani (2017). I grafici relativi alla curva C15ADNM (a destra) mostrano il sorpasso di un veicolo fermo in banchina.

4.3.3 Stima delle curvature c_T delle traiettorie

In questa parte di analisi si adotterà il modello di Cerni e Bassani per ricostruire le curvature operative delle traiettorie dei test driver lungo tutto lo sviluppo del tracciato esclusi i primi e gli ultimi 100 m lungo i quali la curvatura è influenzata rispettivamente dall'immissione in corsia e dalla sosta in piazzola. Nel loro studio i due autori hanno dimostrato la bontà di tale modello utilizzando dati registrati per mezzo di veicoli dotati di GPS a doppia frequenza, in questo caso invece valideremo il modello adottando direttamente le curvature delle traiettorie registrate dal software. La calibrazione dei modelli è stata effettuata analizzando lo sviluppo completo dei tracciati e risulta quindi influenzata dagli errori di guida e dai valori di curvatura in prossimità delle curve escluse dall'analisi precedente.

In *Tabella 23* sono riportati per ogni test driver, i coefficienti di ripartizione del modello differenziati per scenario, i cui valori distinguono le calibrazioni dei modelli delle singole guide. A parte in due casi, segnalati in rosso nella tabella in quanto corrispondenti a guide con fuoriuscita di strada, i restanti coefficienti hanno valori prossimi all'unità e le differenze tra gli stessi non sono significative. Avendo ottenuto valori dello stesso ordine di grandezza di quelli ottenuti da Cerni e Bassani nella loro esperienza, il presente lavoro di tesi ha rafforzato la validità del modello. Si noti inoltre, che le variazioni tra i coefficienti di scenari differenti sono minime dimostrando ancora una volta la bontà del modello. I tracciati infatti sono stati costruiti utilizzando curve con i medesimi quattro valori di raggio R e tre di deviazione ω , inoltre in tale operazione si è cercato di ottenere una distribuzione piuttosto omogenea delle curve nei due tracciati. L'andamento delle curvature è quindi differente, ma i valori assunti dalla curvatura sono molto simili. Se per i tracciati A/ADNM la curvatura media è di $4.73 \cdot 10^3 \text{ m}^{-1}$ quella del tracciato B è di $4.34 \cdot 10^3 \text{ m}^{-1}$.

Tabella 23. Coefficienti di ripartizione dei modelli predittivi delle traiettorie per ciascun scenario guidato dai test driver

TD	Età [anni]	Scenario											
		AD		BD		ADNM		AI		BI		AINM	
		Y'	Y''										
TD1	28	1.114	1.086									1.116	1.084
TD2	30			1.110	1.105	1.090	1.084						
TD3	27							1.155	1.104	x		1.314	
TD4	27			1.054	1.040							1.052	1.041
TD5	26	1.139	1.102							1.163	1.102		
TD6	48					1.067	1.051	1.067	1.052				
TD7	60	1.113	1.086	1.157	1.102								
TD8	55					1.101	1.072	x	x				
TD9	32									1.090	1.061	1.082	1.061
TD10	27	1.077	1.059									1.087	1.067
TD11	42			1.171	1.150	1.142	1.116						
TD12	55							1.100	1.068	1.102	1.075		
TD13	27			1.084	1.059							1.084	1.059
TD14	26	1.084	1.070							1.100	1.077		
TD15	44					1.075	1.061	1.063	1.050				
TD16	40	1.081	1.063	1.090	1.082								
TD17	54					1.093	1.061	1.101	1.068				
TD18	34									1.101	1.070	1.062	1.048
TD19	26	1.169	1.149									1.105	1.083
TD20	27			1.115	1.086	1.096	1.085						
TD21	27							1.089	1.063	x	1.182		
TD22	34			1.101	1.079							1.051	1.042
TD23	26	1.101	1.085							1.184	1.123		
TD24	47					1.079	1.070	1.093	1.068				
TD25	53	1.085	1.066	1.082	1.056								
TD26	24					1.110	1.106	1.143	1.114				
TD27	26									1.120	1.097	1.071	1.057
TD28	27	1.160	1.116									1.160	1.104
TD29	20			1.176	1.118	1.098	1.075						
TD30	22							1.142	1.116	1.180	1.137		
TD31	27			1.074	1.052							1.047	1.035
TD32	22	1.078	1.061							1.451	1.226		
TD33	22					1.117	1.089	1.150	1.104				
TD34	27	1.089	1.076	1.096	1.080								
TD35	30					1.102	1.070	1.099	1.066				
TD36	49									1.190	1.097	1.134	1.074
TD37	21	1.095	1.074									1.101	1.074
TD38	34			1.094	1.065	1.102	1.076						
TD39	37							1.162	1.121	1.205	1.121		
TD40	53			1.078	1.055							1.095	1.064
TD41	40	1.089	1.084							1.111	1.089		
Val. max.		1.169	1.149	1.176	1.150	1.142	1.116	1.162	1.121	1.451	12.974	1.160	1.104
Val. min.		1.077	1.059	1.054	1.040	1.067	1.051	1.063	1.050	1.090	1.061	1.047	1.035
Media		1.105	1.084	1.106	1.081	1.098	1.078	1.114	1.083	1.166	1.126	1.089	1.064
Y'								1.113					
Y''								1.086					

Nella *Figura 92* vengono rappresentate le curvature di progetto, quelle osservate e quelle modellate per i primi 2km degli scenari AI, BI e ADNМ guidati rispettivamente dai test driver 3, 9 e 2. Ogni grafico è relativo quindi ad un modello e ad un tracciato differente e si può osservare che in tutti i casi si ha una buona stima delle curvature. Il confronto tra il percorso della guida reale o di quello stimato con la curvatura di progetto mostra anche in questo caso che i conducenti tendono ad anticipare l'azione sul volante prima del punto di curvatura in accordo con i quattro studi citati in precedenza.

Nella *Figura 93* viene invece mostrato il confronto tra le osservazioni e gli output del modello relativo alla guida dello scenario ADNМ del test driver 17. Anche in questo caso si può notare la buona correlazione tra le due curvature, la maggior parte dei dati infatti sono prossimi alla linea di eguaglianza confermando che il modello può prevedere con precisione la curvatura delle traiettorie reali.

I due grafici in *Figura 94* invece rappresentano il confronto tra i raggi delle curve del tracciato e i raggi della traiettoria media osservata. Il grafico di sinistra mostra il caso del solo TD5 mentre quello di destra si riferisce al campione completo rappresentato dalle 1154 osservazioni. In entrambi i casi si riscontra il comportamento ottenuto da Bassani M. e Cerni G. ovvero che per bassi valori di raggio, la differenza con i raggi della traiettoria è minima. Per questo motivo per avere una migliore visione del comportamento, in *Figura 95* vengono riportati per alcuni test driver, il confronto tra le differenze dei due raggi e i raggi di progetto delle curve. Sembrerebbe che nella maggior parte dei casi R_k è maggiore del raggio di progetto, confermando che i guidatori tendono ad usare un più grande raggio rispetto a quello progettato. Inoltre, sembrerebbe che i test driver adottino nelle curve destrorse raggi di curvatura di entità maggiore rispetto alle curve sinistrorse, infatti i valori riferiti alle tre configurazioni $\Delta_1 = 7.125$ m, $\Delta_2 = 8.625$ m $\Delta_3 = 10.125$ m sono in genere maggiori dei valori delle restanti configurazioni relativi alle curve sinistrorse. Sembrerebbe anche che all'aumentare del raggio di progetto della curva, la differenza tra questo e il raggio della traiettoria aumenta. Per i confronti dei raggi delle traiettorie dei restanti test driver si rimanda all'*appendice I*.

Infine, in *Figura 96* viene mostrata la stessa tipologia di grafico rappresentante però l'intero campione. Anche in questo caso si può notare l'aumento della differenza tra i due raggi all'incrementare del raggio R. Dagli stessi non si riscontrano particolari differenze di curvatura in funzione della configurazione dell'ostacolo. Va precisato che la serie relativa alle curve prive di ostacolo ($\Delta = \infty$) assume valori compresi tra quelli delle curve sinistrorse e destrorse in quanto costituita dalle curve di entrambe le direzioni.

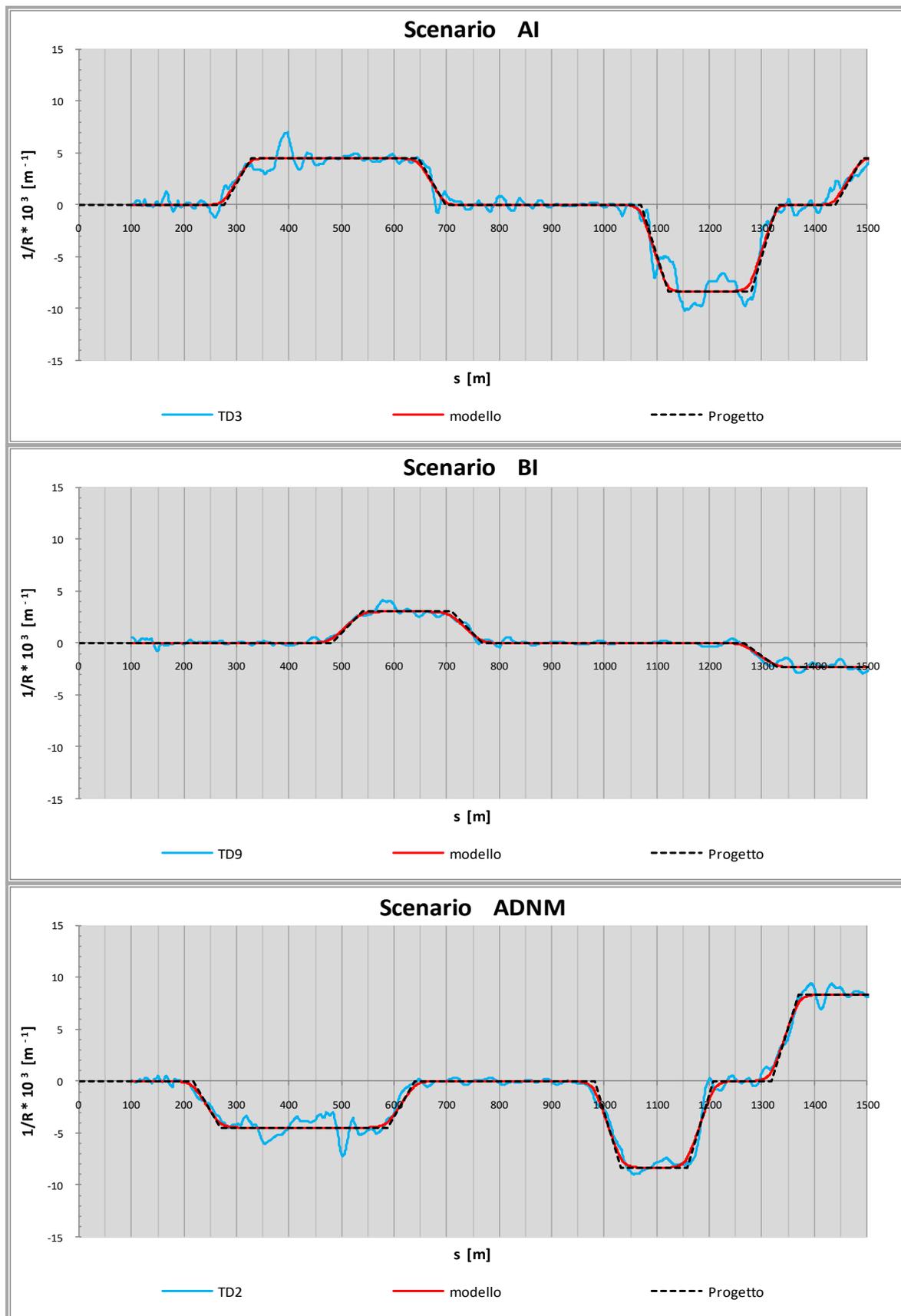


Figura 92. Confronto tra la curvatura di progetto, quella osservata e quella stimata per i primi 1500 m dei tracciati AI BI e ADNM guidati rispettivamente dai TD 3,9 e 2.

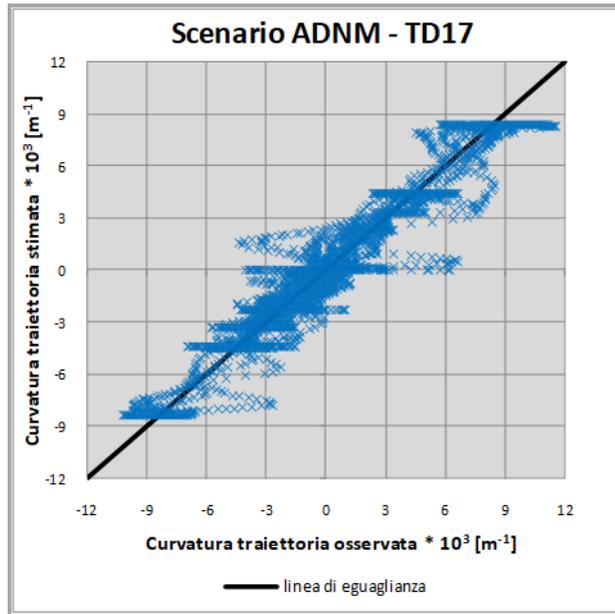


Figura 93. Confronto tra i valori di curvatura osservata e stimata per il modello relativo allo scenario ADNM guidato dal TD17

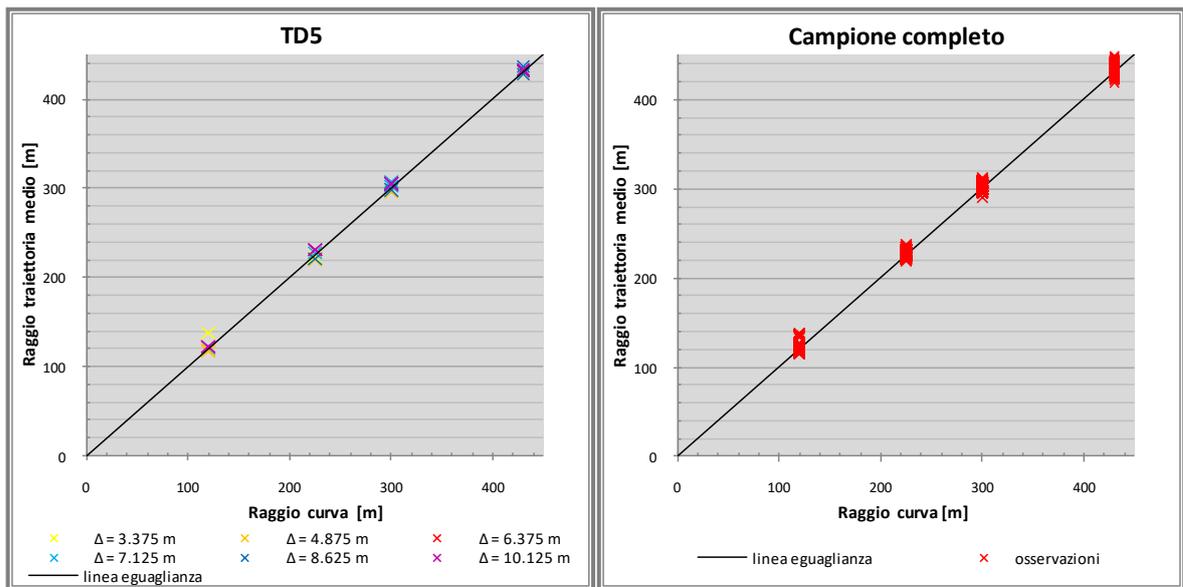


Figura 94. Confronto tra i raggi di progetto delle curve e i raggi medi delle traiettorie tenute dal TD5 (a sinistra) e dall'intero campione (a destra).

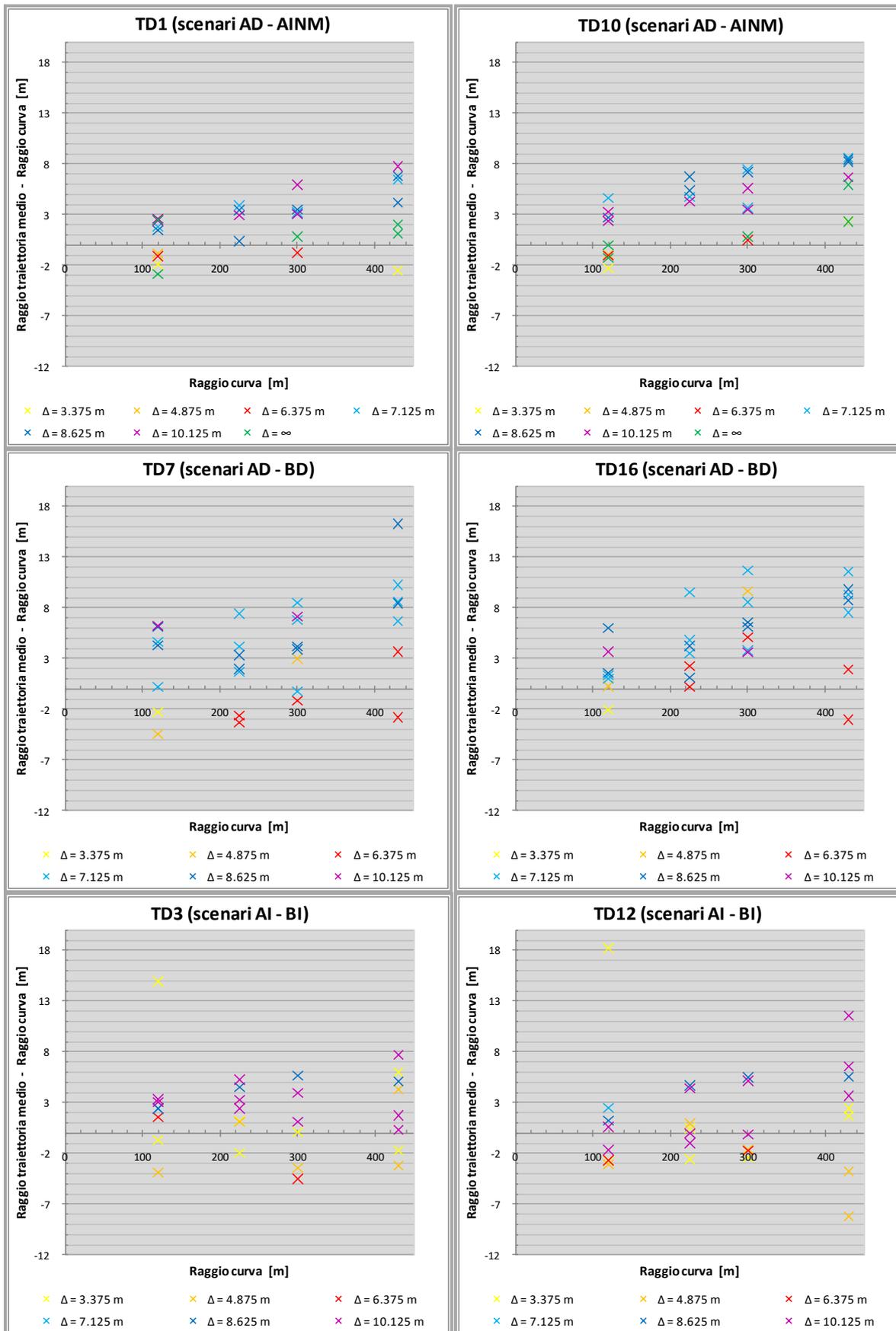


Figura 95. Confronto tra i raggi di progetto delle curve e la differenza dei raggi (di progetto e delle traiettorie) per sei diversi test driver.

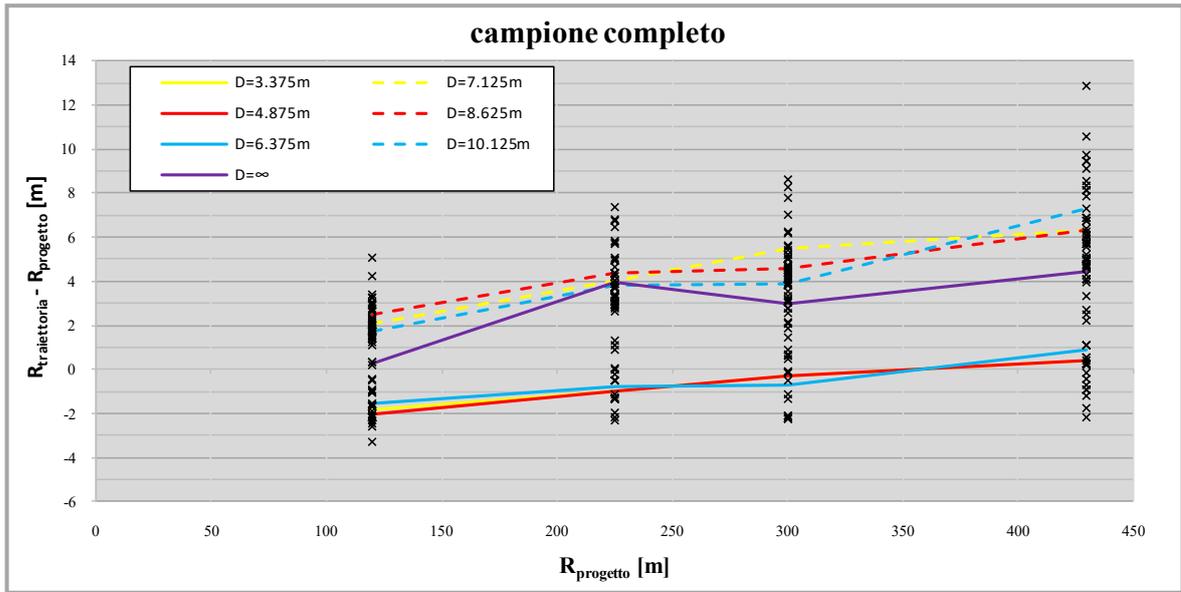


Figura 96. Confronto tra i raggi di progetto delle curve e la differenza dei raggi (di progetto e delle traiettorie) per l'intero campione.

5 CONCLUSIONI

Nel presente lavoro di tesi si sono studiati gli effetti della distanza di visuale libera (DVL) sul comportamento longitudinale del guidatore in curva in termini di traiettoria, grazie alla realizzazione di un esperimento al simulatore di guida a base fissa del Politecnico di Torino. Negli esperimenti la visuale è stata limitata da un muro posto lungo il lato interno delle curve, il quale è stato anche posizionato a differenti distanze dalla sede stradale al fine di ricreare diverse condizioni per curve del medesimo raggio planimetrico. Si sono considerate come variabili indipendenti:

- i. il raggio di curvatura (R),
- ii. la distanza (Δ) dal centro della corsia all'ostruzione visiva posta a lato, e
- iii. l'angolo di deviazione (ω) del tratto circolare del raccordo planimetrico.

Questo ha permesso di progettare e realizzare un certo numero di curve dalla combinazione dei parametri precedenti e caratterizzate da una ben nota DVL. Al fine di valutare tutte le condizioni di visibilità sono stati realizzati sei scenari di guida e ciascun guidatore ne ha guidati due, affrontando in totale trentasei differenti curve. I 41 test driver partecipanti alla sperimentazione hanno prodotto dati per ben 1476 curve, ridotte a 1154 in seguito all'eliminazione di quelle osservazioni influenzate da errori di guida. In ciascun esperimento, sono stati registrati dati sul posizionamento trasversale del veicolo nella corsia, e sulla traiettoria del veicolo in termine di posizione, orientamento e curvatura rispetto all'asse longitudinale della corsia di marcia. Sono state anche monitorate le condizioni fisiche di ciascun guidatore per mezzo di sensori biometrici, e a ciascuno dei soggetti sono stati somministrati questionari per derivare informazioni sull'eventuale insorgenza di fenomeni di affaticamento e malessere, nonché alcune valutazioni soggettive riguardo l'esperimento condotto. Dalle informazioni dei dati biometrici e da quelle ricavate dai questionari somministrati si osserva quanto segue:

- l'esperimento non ha condizionato negativamente lo stato psicofisico del guidatore; i soggetti coinvolti si sono ben adattamenti alle condizioni di guida simulata senza la manifestazione di alterazioni significative dell'attività galvanica della pelle, della temperatura e della frequenza cardiaca;
- gli scenari progettati con gli accorgimenti dello studio di Carle (2016) non hanno causato particolari disagi, se non in casi isolati, e in maniera comunque modesta e non invalidante su tutti i guidatori;

- a giudizio dei guidatori, gli elementi maggiormente condizionanti la DVL sono risultati essere il raggio delle curve e la presenza del muro posto lungo il margine interno delle stesse curve.

I dati raccolti sul posizionamento trasversale del veicolo (*lane gap*, L.G.) sono stati analizzati con diverse metodologie. Oltre ad una visione diretta dei profili di L.G., si è valutato per ciascuna osservazione la dispersione rispetto alla traiettoria ideale coincidente con il centro corsia, e l'occupazione zonale della sede stradale, con particolare attenzione alla valutazione dell'utilizzo delle zone esterne la corsia di marcia (banchina e corsia opposta). Tramite queste due grandezze è stato possibile confrontare i comportamenti in funzione dell'età e del sesso dei guidatori, e delle caratteristiche del raccordo planimetrico (R e Δ), e quindi della DVL. In particolare, dall'analisi sul posizionamento trasversale si osserva che:

- all'aumentare del raggio R , i conducenti tendono a seguire in maniera migliore l'asse della corsia e le invasioni delle zone esterne diminuiscono drasticamente (-30%). Ciò si verifica per entrambe le tipologie di curva (verso sinistra e destra): più precisamente, per le curve sinistrorse con visione limitata si registra una riduzione della dispersione media delle traiettorie di 0,15 m (-30%), 0,20 m (-40%), e 0,10 m (-20%) rispettivamente per distanze dell'ostruzione pari a 0, 1,5 m e 3 m dalla banchina, e una riduzione di 0,10 m (-20%) nelle curve prive di muro. Nelle curve destrorse le stesse riduzioni sono pari a 0,10 m (-20%), 0,15 m (-30%) e 0,20 m (-30%) all'aumentare della distanza del muro, e pari a 0,05 m (-10%) in quelle prive di ostruzione;
- nelle curve di raggio più piccolo ($R = 120$ m) i soggetti tendono a tagliare le curve, occupando le zone interne nel tratto di raccordo circolare e invadendo banchina o corsia opposta in un numero considerevole di casi, in accordo con lo studio di Calvi (2015b); nelle curve di raggio maggiore ($R = 430$ m) i conducenti percorrono la curva rimanendo in corsia, ma spostati leggermente sul lato esterno, indipendentemente dal verso di percorrenza;
- all'aumentare della distanza Δ si registra per le sole curve destrorse un aumento della dispersione media delle traiettorie, dovuto ad un generale spostamento dei conducenti verso le zone esterne della sede stradale (verso l'ostruzione). Tale spostamento è maggiore nelle curve di raggio 120 m e 225 m. Per le curve sinistrorse si registra invece una diminuzione di 0,1 m (-20%) della dispersione nel solo caso delle curve di raggio 120 m, dovuta al fatto che i guidatori seguono meglio

l'asse della corsia di marcia. Nelle curve di raggio maggiore, i guidatori percepiscono meno l'effetto dell'ostruzione visiva che progressivamente si allontana dalla loro traiettoria, non influenzando il loro posizionamento trasversale;

- nelle curve prive di ostruzione, la dispersione media delle traiettorie assume valori intermedi tra il caso di ostruzione posta a filo banchina ($D = 0$) e quello delle curve con ostruzione posizionata a 3 m dalla sede stradale;
- l'influenza del raggio R delle curve e della distanza Δ dell'ostruzione influiscono sul posizionamento trasversale nei soli tratti di curva circolare e di clotoide. In particolare, nei raccordi circolari si nota una maggiore influenza dei parametri geometrici R e Δ nella mezzeria dell'arco e nel suo tratto finale. Lungo i rettifili contigui al raccordo planimetrico non si registrano invece variazioni di comportamento;
- all'aumentare della DVL la dispersione media delle traiettorie tenute lungo le curve sinistrorse con visione limitata tende a diminuire. Nelle curve destrorse tale comportamento non si verifica in quanto il maggior scostamento dell'ostruzione della sede stradale (incremento della DVL) induce psicologicamente i conducenti ad adottare traiettorie maggiormente disperse rispetto l'asse di progetto; ciò significa che i guidatori esprimono una naturale tendenza a costeggiare l'ostruzione visiva lungo il lato interno della curva.

Si può inoltre osservare che:

- i conducenti tendono ad adottare traiettorie con dispersioni maggiori nelle curve destrorse in quanto, non percependo l'ingombro del veicolo vengono indotti a spostarsi maggiormente verso destra;
- nel tratto di avvicinamento al raccordo (ultimi 50 m), i guidatori si preparano ad affrontare le curve sinistrorse spostandosi in genere sul lato destro della corsia, mentre quando affrontano le curve destrorse tendono a conservare la traiettoria al centro corsia;
- i conducenti iniziano a impostare la curva nel tratto di clotoide, alla fine della quale i guidatori si trovano in genere sul lato interno.

Le suddette osservazioni sono valide per la totalità dei guidatori, indipendentemente dalla loro età e sesso.

Sembrerebbe però che:

- all'aumentare dell'età crescano la dispersione delle traiettorie rispetto l'asse di progetto e le invasioni delle zone esterne; tale comportamento si registra in genere lungo tutto il tracciato, ma è in prossimità delle curve che l'aumento delle dispersioni è più significativo; nelle curve sinistrorse le invasioni della banchina aumentano del 14% mentre quelle della corsia opposta del 22%, passando dalla classe 20-30 alla classe 51-60; nelle curve destrorse si registra invece un incremento del 20% e del 10% rispettivamente;
- i guidatori di sesso femminile si avvicinano maggiormente alla traiettoria ideale, specialmente nelle curve di raggio ridotto, dove i guidatori maschi tendono a seguire traiettorie più interne alle curve; nelle curve prive di limitazione alla visuale, invece, la situazione è invertita, e sono proprio i guidatori maschi ad adottare traiettorie con dispersione inferiore.

L'ultima parte dell'analisi, suddivisa principalmente in due parti, ha visto il trattamento dei dati caratteristici delle curvature. Si è dapprima ricostruito l'orientamento, la curvatura e la sua variazione tramite il processo di derivazione delle posizioni X_G e Y_G (Gikas e Stratakos, 2012). Successivamente, a partire dalle curvature di progetto dei tracciati, si sono stimate le curvature delle traiettorie c_T per mezzo del modello predittivo di Cerni e Bassani (2017). Da quest'ultima analisi si osserva che:

- i guidatori più anziani guidano con correzioni della traiettoria caratterizzate da curvature di entità maggiore; ciò conferma l'osservazione sulla maggiore dispersione delle traiettorie rispetto l'asse della corsia, per la classe di età 51-60;
- avendo ottenuto valori dei coefficienti di calibrazione (Y' e Y'') dello stesso ordine di grandezza di quelli ottenuti da Cerni e Bassani (2017), il presente lavoro di tesi rafforza l'idea che le differenze di comportamento devono essere valutate sulle piccole variazioni dei due coefficienti;
- i coefficienti di modello sono stati calibrati su ciascuna guida; il modello predittivo considerato restituisce risultati con buona correlazione con le curvature misurate, confermando la buona capacità predittiva del modello considerato;
- il confronto tra curvatura misurata (o predetta) e la curvatura di progetto conferma l'anticipazione dell'azione sul volante prima del punto di curvatura, in accordo con gli studi di Stewart (1977), Godthelp (1986), Bonneson (2000) e gli stessi Cerni e Bassani (2017);

- dal confronto delle curvature di progetto con quelle misurate si osserva che per valori di raggio inferiori a 300 m, la differenza con i raggi della traiettoria è minima, mentre all'aumentare del raggio di progetto della curva la differenza tra i due raggi aumenta;
- infine, nella maggior parte dei casi il raggio medio delle traiettorie è superiore al raggio di progetto, confermando che i guidatori tendono sempre ad usare un più grande raggio rispetto a quello progettato; inoltre, i test driver adottano raggi di traiettoria di superiori nelle curve destrorse rispetto alle curve sinistrorse.

Va comunque ricordato che i risultati derivano da esperimenti effettuati al simulatore i cui limiti principali sono legati al minor rischio percepito dai conducenti durante la guida e dall'assenza di accelerazioni laterali in curva. Tuttavia, lo studio conferma che la traiettoria di guida è fortemente condizionata dalle informazioni visive derivanti dalla geometria stradale percepita nella visione prospettica.

Approfondimenti sperimentali sono necessari per il proseguimento della ricerca in questo specifico settore. Al riguardo, si suggerisce di estendere il campo di variazione di DVL oltre i 200 m, considerando curve di raggio maggiore oltre a distanze dell'ostruzione dalla traiettoria maggiori rispetto ai valori considerati in questa sperimentazione. Inoltre, si potrebbe valutare l'influenza dell'ostruzione posta sul lato esterno che di fatto non limitano la DVL ma che possono produrre effetti significativi sul comportamento del guidatore, e sulla sua capacità di impostazione della traiettoria di marcia. La ricerca sarebbe poi ulteriormente ampliabile investigando gli effetti della limitazione della visuale sul piano altimetrico, sulla forma e l'altezza delle ostruzioni laterali, diverse tipologie di sezione stradale, ed ancora diverse condizioni di illuminamento ambientale e atmosferiche.

Gli sviluppi futuri saranno certamente utili per addivenire ad una migliore conoscenza degli effetti operativi e comportamentali prodotti dalla geometria stradale, non solo di quella riferibile all'asse e alla composizione trasversale della carreggiata, ma anche quella dei margini laterali che attualmente non sono tenuti opportunamente in considerazione nelle vigenti regole di progettazione.

BIBLIOGRAFIA

- Auberlet J. et al. (2009). The impact of perceptual treatments on lateral control: A study using fixed-base and motion-base driving simulators. *Accident Analysis and Prevention*, 42 (2010) 166–173
- Banzi M. (2009). *Getting Started with Arduino*, in *Make Books*, prima edizione, pp. 128.
- Banzi M. (2009). *BetaBook, il manuale di Arduino*, in *Apogeo*, versione β .
- Banzi M. (2012). *Arduino La guida ufficiale*, in *Tecniche Nuove*, pp. 140.
- Bella, F. (2013). Driver perception of roadside configurations on two-lane rural roads: Effects on speed and lateral placement. *Accident Analysis & Prevention*, 50, 251-262.
- Bonneson J.A. (2000). Kinematic Approach to Horizontal Curve Transition Design. *Transportation Research Record 1737*, Paper No. 00-0590.
- Calvi A. (2015a). A study on driving performance along horizontal curves of rural roads. *Journal of Transportation Safety & Security*, 7(3), 243-267.
- Calvi A. (2015b). Does Roadside Vegetation Affect Driving Performance? Driving Simulator Study on the Effects of Trees on Drivers' Speed and Lateral Position. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, (2518), 1-8.
- Carle A. (2016). Indagine sperimentale sulla valutazione degli effetti di disagio percepiti nella guida simulata. Tesi di Laurea Magistrale, Politecnico di Torino.
- Cerni G. & Bassani M. (2017). Naturalistic driving data collection to investigate into the effects of road geometrics on track behavior. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 77, 1-15.
- CookingHacks, 2017. *e-Health Sensor Platform V2.0 for Arduino and Raspberry Pi*.
- Coutton-Jean C. (2009). The role of edge lines in curves driving. *Transportation Research Part F* 12 (2009) 483–493.
- Decreto del presidente della Repubblica 16 dicembre 1992, n. 495, “Regolamento di esecuzione e di attuazione del nuovo codice della strada”. Segnali complementari (Art.42 Codice della strada).
- Decreto Ministeriale 5 novembre 2001, n. 6792, “Norme funzionali e geometriche per la costruzione delle strade”
- Gikas V. & Stratakos J. (2012). A Novel Geodetic Engineering Method for Accurate and Automated Road/Railway Centerline Geometry Extraction Based on the Bearing Diagram and Fractal Behavior. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, 13(1), 115-126.

- Godthelp H. (1986). Vehicle Control During Curve Driving. *Human factors*, 1986, 28(2), 211-221.
- Majocchi S. (2016). *Primi Passi in Arduino con la scheda Genuino UNO*, Edizione gratuita in CC-BY-ND-NC scaricabile da bit.ly/PPcGUbsM, pp. 115.
- Majocchi S. (2012), *Arduino UNO Programmazione avanzata e Librerie di sistema*, in *Vispa Edizioni*, pp. 224.
- Margolis M. (2011). *Arduino progetti e soluzioni*, in *Tecniche Nuove*, pp. 625.
- Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti, (2001). Norme funzionali e geometriche per la costruzione delle strade. *Decreto Ministeriale*, 6792.
- National Highway Traffic Safety Administration. (1989). General Estimates System 1989. A Review of Information on Police-Reported Traffic Crashes in the United States. *National Highway Traffic Safety Administration, Washington, DC*.
- National Highway Traffic Safety Administration, (1991). General Estimates System. A Review of Information on Police- Reported Traffic Crashes in the United States. *Washington, DC: U.S. Department of Transportation, National Highway Traffic Safe-ty Administration*.
- National Highway Traffic Safety Administration, (2008). Fatality analysis reporting system. Retrieved from <http://www-nrd.nhtsa.dot.gov/Pubs/811171.pdf>
- Noble J. (2005). *Programming Interactivity: A Designer's Guide to Processing, Arduino, and open Framework*, in *O'Reilly Media*, prima edizione, pp. 768.
- Salussolia A. (2017). *Indagine sperimentale al simulatore di guida riguardante l'influenza della distanza di visuale libera sulla velocità operativa*. Tesi di Laurea Magistrale, Politecnico di Torino.
- Schmidt M. (2011). *Il manuale di Arduino*, in *Apogeo*, pp. 242.
- Sciamanna L. (2010). *Arduino il microprocessore per tutti*, in *Sandit*, pp. 140.
- Spacek P. (2005). Track Behavior in Curve Areas: Attempt at Typology.
- Stewart D. (1977). The case of the left-hand bend. *Highway Eng.* 24 (6), 12-17.
- Xiao, R. M., Yun, W. G., & Xu, T. B. (2007). Driving safety on long-even-straight-line road on highland. *Chang'an Daxue Xuebao (Ziran Kexue Ban)*, 27 (3), 76-79.

Appendice A) Moduli e questionari

Informativa e dati personali

PRESENTAZIONE DELL'ATTIVITA' DI RICERCA

Torino, novembre 2016

Il Dipartimento di Ingegneria dell'Ambiente, del Territorio e delle Infrastrutture (DIATI) del Politecnico di Torino svolge attività di ricerca nell'ambito della Sicurezza Stradale. Lo scorso anno è stato acquisito un Simulatore di Guida di supporto a questa attività, ed è stato costituito il *Laboratorio di Sicurezza Stradale e Simulazione*. Il gruppo di ricerca che opera nel Laboratorio è costituito oltre che dallo scrivente anche dagli ing.ri Lorenzo Catani e Luca Tefa.

Le specifiche finalità della ricerca sono di analizzare il comportamento del guidatore in funzione degli stimoli di varia natura (visivi, acustici, tattili) che riceve anche per il tramite del veicolo dall'ambiente stradale. Ciò può avvenire o su veicoli strumentati nel traffico ordinario, o a bordo di un Simulatore in cui si simulano eventi di guida in un contesto virtuale molto simile a quello reale. L'uso di un Simulatore offre una serie di vantaggi: da un lato lo sperimentatore ha una totale capacità di controllo degli eventi e acquisisce dati di risposta del guidatore a costi inferiori rispetto a quelli connessi con l'uso di veicoli reali; dall'altro il campione di guidatori coinvolto nell'esperimento è soggetto a un rischio di incidente nullo.

Recenti indagini sul Simulatore sono state redatte al fine di determinare, in primo luogo, la validità dello strumento nei confronti della velocità e della traiettoria adottate dai guidatori, in secondo luogo, le cause e le metodologie di riduzione della cosiddetta "*simulation sickness*" (disagio da simulazione).

L'attività di sperimentazione che ti viene proposta è finalizzata allo studio del comportamento del guidatore nei confronti della distanza di visibilità disponibile. L'esperimento prevede la compilazione di questionari informativi, lo svolgimento di test cognitivi e la guida su due tracciati di interesse, per un impegno totale di circa 45 minuti.

La simulazione potrebbe generare stati di malessere.

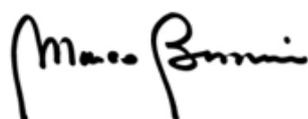
Al fine di formare il campione di *test drivers* idoneo alla ricerca, se acconsenti sarai sottoposto a un breve questionario (pag. 3) e ti dovrai rendere disponibile per effettuare gli esperimenti in laboratorio. I dati che saranno raccolti saranno diffusi solo in forma aggregata e del tutto anonima ("Informativa sulla privacy", pag. 4).

I risultati saranno divulgati per soli scopi scientifici senza fini di lucro, saranno presentati in convegni e pubblicati su tesi di Laurea e articoli di riviste scientifiche, come già anticipato, in forma aggregata e rigorosamente anonima.

L'accesso ai locali del Laboratorio ti sarà consentito solamente se accompagnato da soggetti autorizzati. Preciso, infine, che la partecipazione a questa attività è del tutto volontaria, e non è soggetta ad alcun compenso economico.]

Nel caso in cui tu fossi interessato a partecipare alla ricerca, ti chiederei cortesemente di restituirmi i due moduli di pagina 3 e 4 compilati e firmati.

Ti ringrazio in anticipo per l'attenzione che presterai a questa iniziativa, e della gentile disponibilità che ci vorrai riservare,



QUESTIONARIO PER ATTIVITA' DI RICERCA CON L'USO DEL SIMULATORE DI GUIDA

Nome e Cognome

Sesso M F

Anno di nascita

Telefono (cellulare) e-mail

Anno di conseguimento della patente di guida

km percorsi in un anno (media)

n° di incidenti in cui si è stati coinvolti

Livello di istruzione licenza media inferiore qualifica professionale triennale
 diploma scuole superiori laurea 1° livello o diploma universitario
 laurea 2° livello o vecchio ordinamento
 specializzazioni/master post laurea 2° livello/dottorato

Familiarità con l'uso di software di guida (es. videogiochi) SI NO

Il sottoscritto desidera essere ricontattato per altri esperimenti di ricerca con il simulatore di guida in futuro

SI NO

Luogo e data Firma

INFORMATIVA SULLA PRIVACY

Gentile Signore/a,

ai sensi del D. Lgs. n. 196/2003 "Codice in materia di protezione dei dati personali", il trattamento delle informazioni che La riguardano sarà improntato ai principi di correttezza, liceità e trasparenza, tutelando la Sua riservatezza e i Suoi diritti.

Ai sensi dell'art. 13 del predetto decreto, Le forniamo le seguenti informazioni.

1. RACCOLTA DEI DATI.

La raccolta dei dati avviene attraverso la compilazione del "Questionario per attività di ricerca con l'uso del simulatore di guida".

Si considerano sensibili i dati personali idonei a rivelare l'origine razziale ed etnica, le convinzioni religiose, filosofiche o di altro genere, le opinioni politiche, l'adesione a partiti, sindacati, associazioni od organizzazioni a carattere religioso, filosofico, politico o sindacale, nonché i dati personali idonei a rivelare lo stato di salute e la vita sessuale".

La informiamo, in ogni caso, che eventuali dati sensibili da Lei volontariamente messi a disposizione nel suddetto questionario potranno essere oggetto di trattamento unicamente per le finalità di seguito indicate.

Il trattamento di eventuali dati sensibili relativi alla Sua persona sarà comunque subordinato al Suo espresso consenso, riportato in calce alla presente informativa.

2. FINALITA' DEL TRATTAMENTO.

Il trattamento dei dati personali – ivi compresi eventuali dati sensibili – raccolti tramite il suddetto questionario avviene unicamente per scopi di ricerca scientifica, consentendo ai soggetti autorizzati al trattamento di costruire un campione di guidatori con caratteristiche idonee all'attività in esame.

3. MODALITA' DEL TRATTAMENTO.

Il trattamento dei dati si svolgerà in conformità con quanto previsto dal D. Lgs. n. 196/2003 e sarà effettuato sia manualmente, con supporti cartacei, sia con l'ausilio di mezzi informatizzati. I dati saranno conservati sia in archivi cartacei sia in archivi elettronici. In ogni caso il trattamento dei dati avverrà con logiche strettamente correlate alle finalità indicate e con modalità che garantiscano la sicurezza e la riservatezza dei dati medesimi, attraverso l'adozione di misure idonee ad impedire l'alterazione, la cancellazione, la distruzione, l'accesso non autorizzato o il trattamento non consentito o non conforme alle finalità della raccolta.

4. COMUNICAZIONE E DIFFUSIONE DEI DATI.

I dati personali acquisiti saranno trattati solamente dai soggetti autorizzati – ricercatori, responsabili e incaricati del trattamento – con modalità manuali e/o automatizzate, tali da garantire la sicurezza e la riservatezza degli stessi. In ogni caso, i Suoi dati personali non saranno soggetti a diffusione. Come espresso all'art. 8 dell'All. A4 del D. Lgs. n. 196/2003, "è consentito diffondere i dati anche mediante pubblicazione dei risultati statistici soltanto in forma aggregata ovvero secondo modalità che non rendano identificabili gli interessati neppure tramite dati identificativi indiretti".

6. DURATA DEL TRATTAMENTO.

Il trattamento dei dati è effettuato per il tempo necessario al conseguimento degli scopi per cui sono stati raccolti.

7. DIRITTI DELL'INTERESSATO.

In qualsiasi momento l'interessato potrà esercitare i diritti di cui all'art. 7 del D. Lgs. n. 196/2003. Ogni comunicazione può essere inviata al prof. Marco Bassani, Politecnico di Torino, Dipartimento di Ingegneria dell'Ambiente, del Territorio e delle Infrastrutture, corso Duca degli Abruzzi, 24 – 10129 Torino (marco.bassani@polito.it, o marco.bassani@pec.polito.it).

CONSENSO

Letta l'informativa, acconsento al trattamento dei miei dati personali ed, espressamente, al trattamento di eventuali dati sensibili, per il conseguimento delle su esposte finalità.

Acconsento Non acconsento

Inoltre, acconsento al trattamento dei risultati delle esperienze di guida svolte e alla loro pubblicazione su tesi di Laurea Magistrale e/o pubblicazioni scientifiche in forma aggregata e rigorosamente anonima.

Acconsento Non acconsento

Luogo e data Firma

Pre-simulazione

Nome e CognomeORA.....

Indicare lo stato generale di salute:

pessimo buono ottimo

E' attualmente in buona salute? SI NO

Se no, di cosa soffre?

Ha assunto medicinali nelle precedenti 24h? SI NO

Se si, quali? (è sufficiente la categoria)

.....

E' affetto da malattie croniche (asma, diabete, ansia, allergia...)? SI NO

Se si, quali?

Quanto tempo fa ha consumato l'ultimo pasto?oreminuti

Ha assunto bevande alcoliche? SI NO

Utilizza dispositivi per la correzione visiva? SI NO

Attualmente li indossa? SI NO

Se si, quali? Occhiali Lenti a contatto

Post-simulazione

QUESTIONARIO PER ATTIVITA' DI RICERCA CON L'USO DEL SIMULATORE DI GUIDA QUESTIONARIO DI POST-SIMULAZIONE

Nome e CognomeORA.....

Indicare se attualmente percepisce uno o più dei seguenti sintomi¹:

- | | | | | |
|----------------------------------|------------------------------------|--------------------------------|-----------------------------------|----------------------------------|
| - Generale disagio | <input type="checkbox"/> per nulla | <input type="checkbox"/> lieve | <input type="checkbox"/> moderato | <input type="checkbox"/> intenso |
| - Fatica | <input type="checkbox"/> per nulla | <input type="checkbox"/> lieve | <input type="checkbox"/> moderato | <input type="checkbox"/> intenso |
| - Mal di testa | <input type="checkbox"/> per nulla | <input type="checkbox"/> lieve | <input type="checkbox"/> moderato | <input type="checkbox"/> intenso |
| - Stanchezza visiva | <input type="checkbox"/> per nulla | <input type="checkbox"/> lieve | <input type="checkbox"/> moderato | <input type="checkbox"/> intenso |
| - Difficoltà nella messa a fuoco | <input type="checkbox"/> per nulla | <input type="checkbox"/> lieve | <input type="checkbox"/> moderato | <input type="checkbox"/> intenso |
| - Incremento di salivazione | <input type="checkbox"/> per nulla | <input type="checkbox"/> lieve | <input type="checkbox"/> moderato | <input type="checkbox"/> intenso |
| - Incremento di sudorazione | <input type="checkbox"/> per nulla | <input type="checkbox"/> lieve | <input type="checkbox"/> moderato | <input type="checkbox"/> intenso |
| - Nausea | <input type="checkbox"/> per nulla | <input type="checkbox"/> lieve | <input type="checkbox"/> moderato | <input type="checkbox"/> intenso |
| - Difficoltà di concentrazione | <input type="checkbox"/> per nulla | <input type="checkbox"/> lieve | <input type="checkbox"/> moderato | <input type="checkbox"/> intenso |
| - Intontimento | <input type="checkbox"/> per nulla | <input type="checkbox"/> lieve | <input type="checkbox"/> moderato | <input type="checkbox"/> intenso |
| - Visione offuscata | <input type="checkbox"/> per nulla | <input type="checkbox"/> lieve | <input type="checkbox"/> moderato | <input type="checkbox"/> intenso |
| - Capogiro (a occhi aperti) | <input type="checkbox"/> per nulla | <input type="checkbox"/> lieve | <input type="checkbox"/> moderato | <input type="checkbox"/> intenso |
| - Capogiro (a occhi chiusi) | <input type="checkbox"/> per nulla | <input type="checkbox"/> lieve | <input type="checkbox"/> moderato | <input type="checkbox"/> intenso |
| - Vertigini | <input type="checkbox"/> per nulla | <input type="checkbox"/> lieve | <input type="checkbox"/> moderato | <input type="checkbox"/> intenso |
| - Sensibilità di stomaco | <input type="checkbox"/> per nulla | <input type="checkbox"/> lieve | <input type="checkbox"/> moderato | <input type="checkbox"/> intenso |
| - Disturbi digestivi | <input type="checkbox"/> per nulla | <input type="checkbox"/> lieve | <input type="checkbox"/> moderato | <input type="checkbox"/> intenso |
| - Altro | | | | |

Il suo comportamento di guida (velocità e traiettoria adottate) è stato condizionato dalla distanza di visuale libera di fronte a sé? SI NO

Se SI, quali elementi hanno influenzato il suo comportamento?

- | | |
|---|---|
| <input type="checkbox"/> Presenza di ostacoli in banchina | <input type="checkbox"/> Presenza del muro a lato |
| <input type="checkbox"/> Curve destrorse | <input type="checkbox"/> Curve sinistrorse |
| <input type="checkbox"/> Raggio delle curve | <input type="checkbox"/> Sviluppo delle curve |
| <input type="checkbox"/> Altro..... | |
-
-
-

¹ Simulator Sickness Questionnaire

Sulla base della precedente domanda, le è rimasta impressa una situazione particolare? SI NO

(es. curva destrorsa di medio raggio con muro a ridosso della banchina)

Se SI, ne fornisca una breve descrizione.

.....
.....
.....
.....

In alcune situazioni ha provato particolare difficoltà a guidare in termini di controllo del veicolo e scelta della traiettoria?

SI NO

Se SI, per quale motivo?

.....
.....
.....

Per guidatori alla prima esperienza con il simulatore di guida

Esprimere un giudizio sull'interazione con i dispositivi audio-visivi e meccanici:

- | | | | |
|--|----------------------------------|--------------------------------|---------------------------------|
| - Riproduzione del campo visivo | <input type="checkbox"/> pessimo | <input type="checkbox"/> buono | <input type="checkbox"/> ottimo |
| - Percezione degli specchietti | <input type="checkbox"/> pessimo | <input type="checkbox"/> buono | <input type="checkbox"/> ottimo |
| - Veridicità degli effetti sonori | <input type="checkbox"/> pessimo | <input type="checkbox"/> buono | <input type="checkbox"/> ottimo |
| - Veridicità della strumentazione di bordo | <input type="checkbox"/> pessimo | <input type="checkbox"/> buono | <input type="checkbox"/> ottimo |
| - Risposta del volante | <input type="checkbox"/> pessimo | <input type="checkbox"/> buono | <input type="checkbox"/> ottimo |
| - Risposta del cambio | <input type="checkbox"/> pessimo | <input type="checkbox"/> buono | <input type="checkbox"/> ottimo |
| - Percezione dell'acceleratore | <input type="checkbox"/> pessimo | <input type="checkbox"/> buono | <input type="checkbox"/> ottimo |
| - Percezione del freno | <input type="checkbox"/> pessimo | <input type="checkbox"/> buono | <input type="checkbox"/> ottimo |

Di quali elementi/strumenti si è servito per valutare la velocità di marcia?

- Contachilometri
 Monitor laterali
 Altro:

Familiarità con l'uso di software di guida (es. videogiochi)? SI NO

Se SI, ha avuto un approccio simile?

per nulla poco-lieve abbastanza-moderata molto

Consigli e suggerimenti per le esperienze di ricerca future

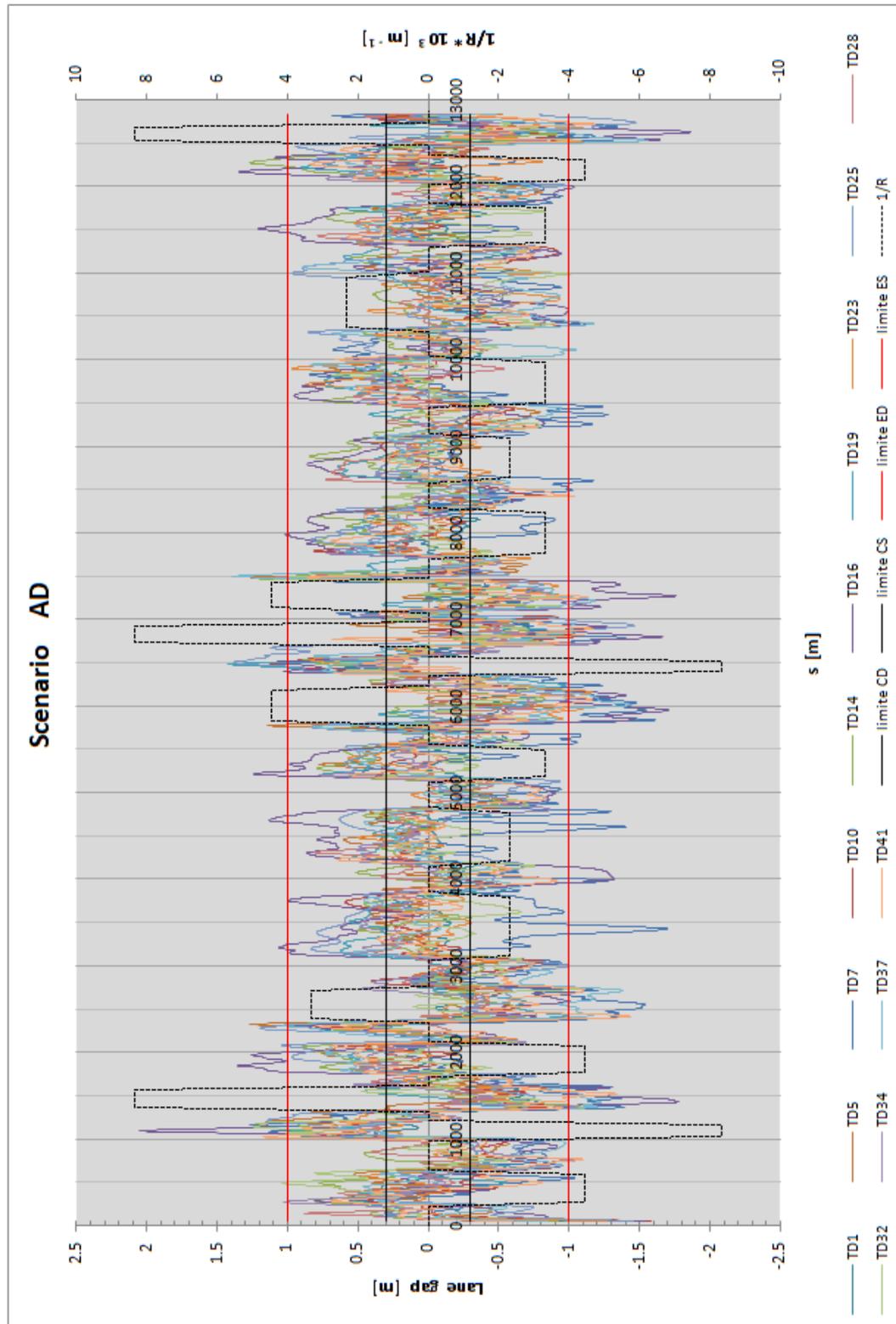
.....
.....
.....

In relazione all'esperienza avuta, parteciperebbe ad altri esperimenti di simulazione?

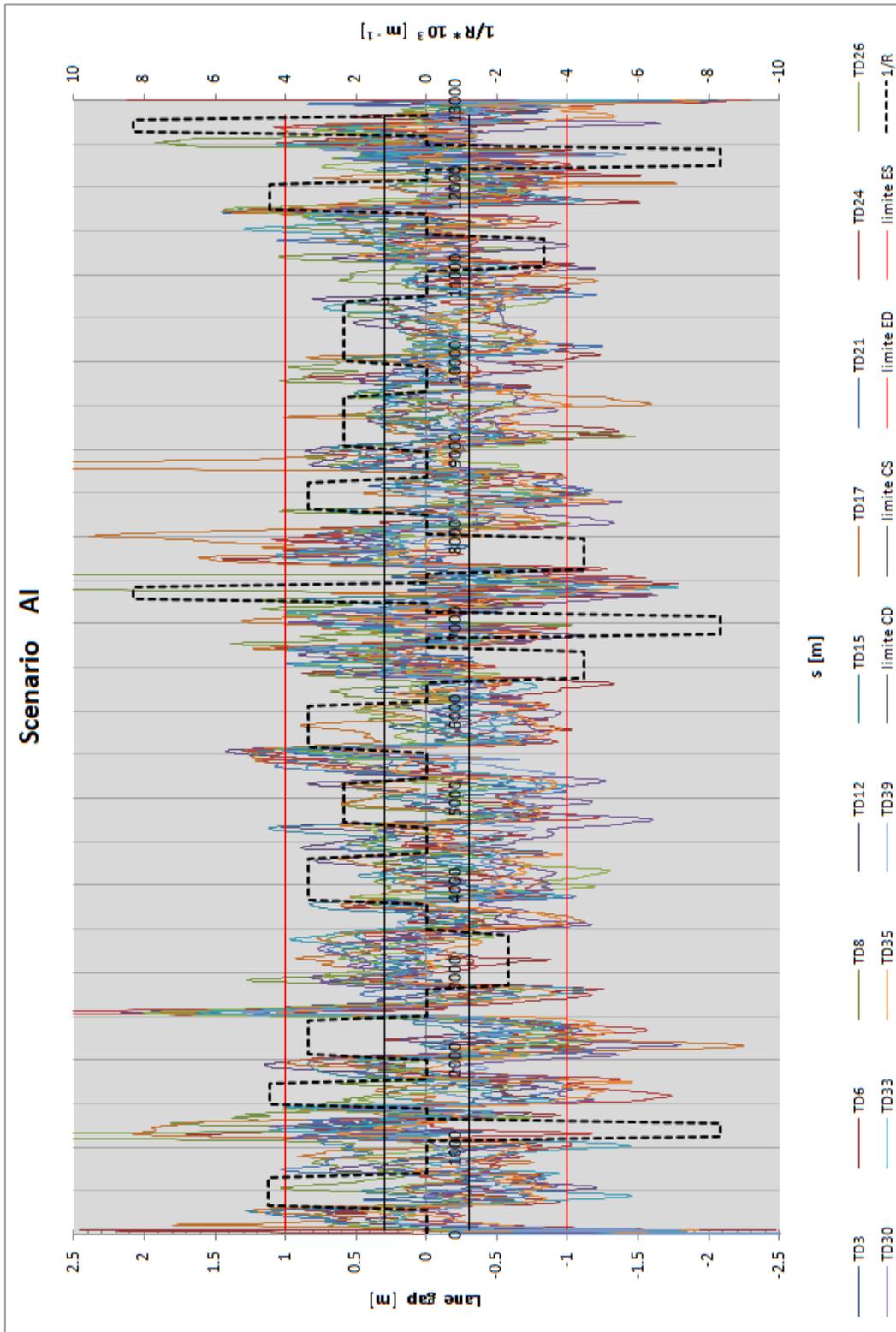
SI NO

Appendice B) Profili Lane Gap intero tracciato

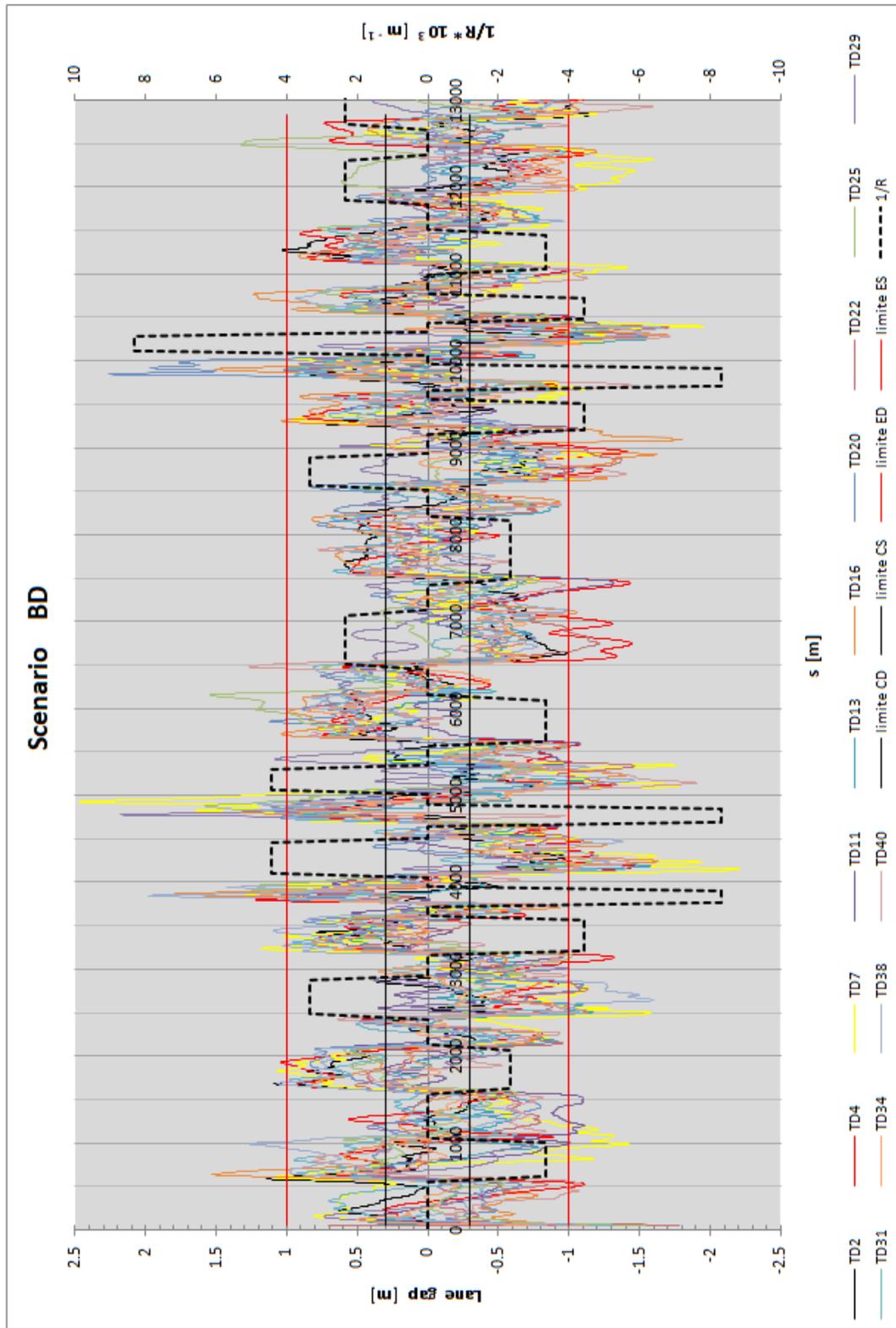
Scenario AD



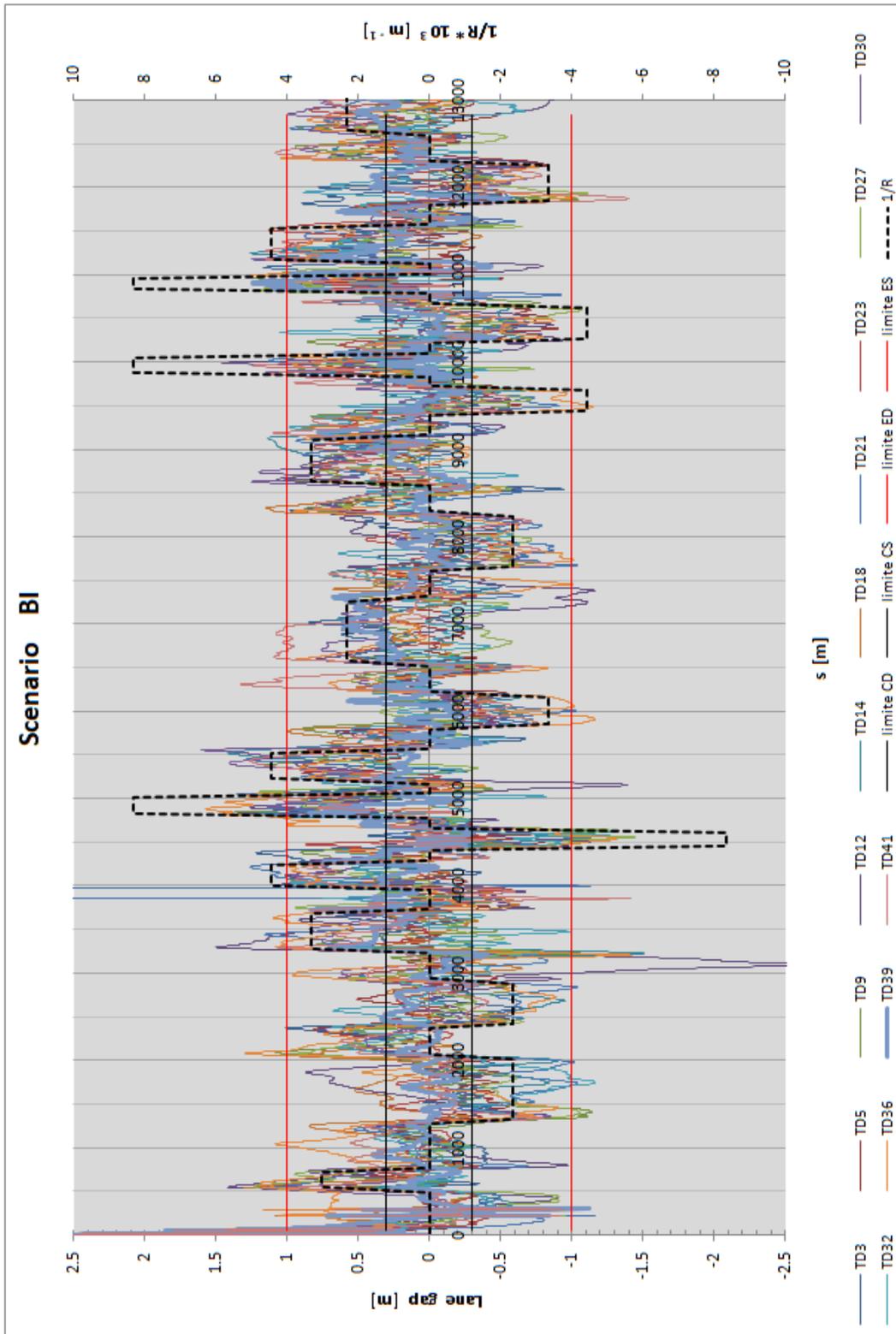
Scenario AI



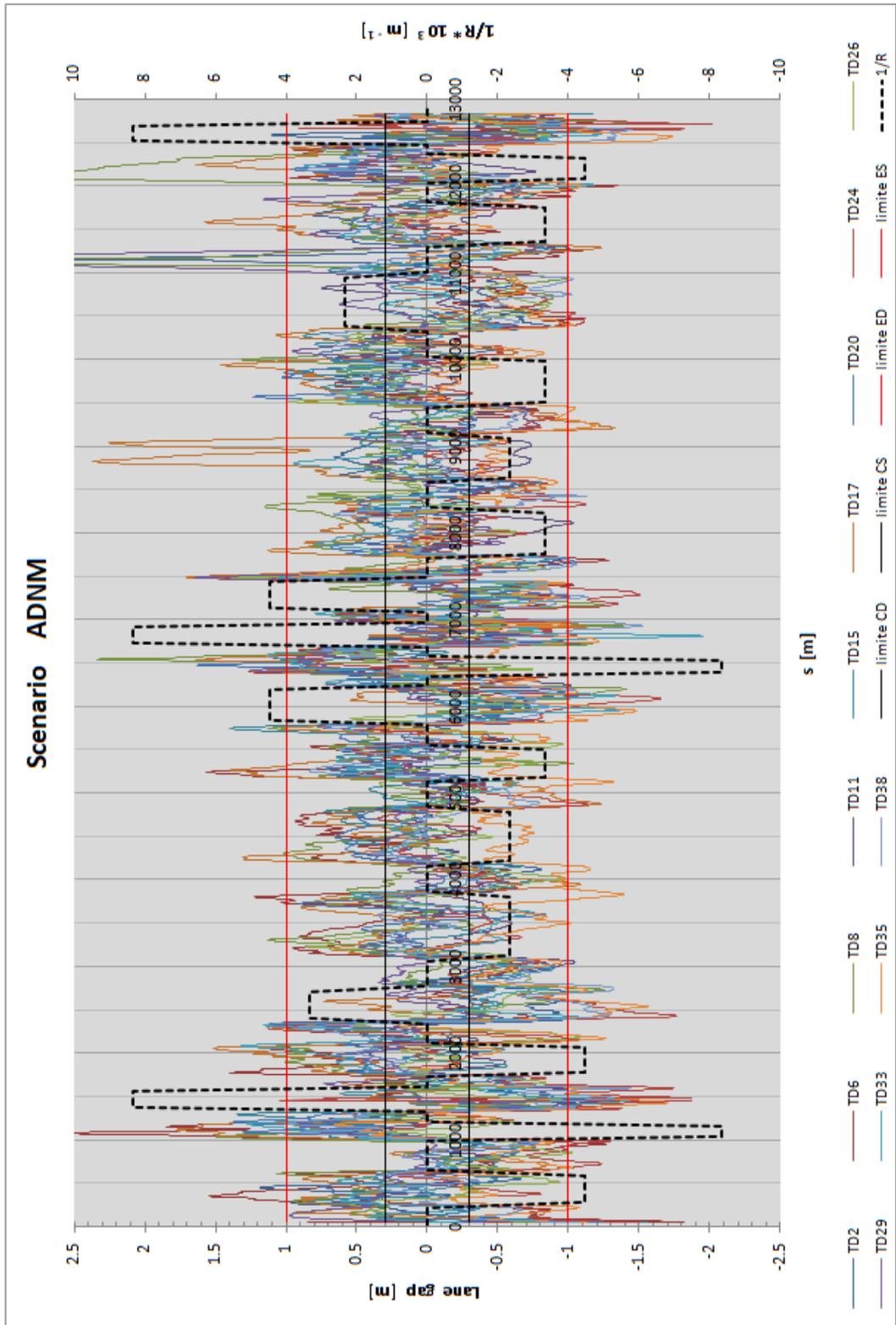
Scenario BD



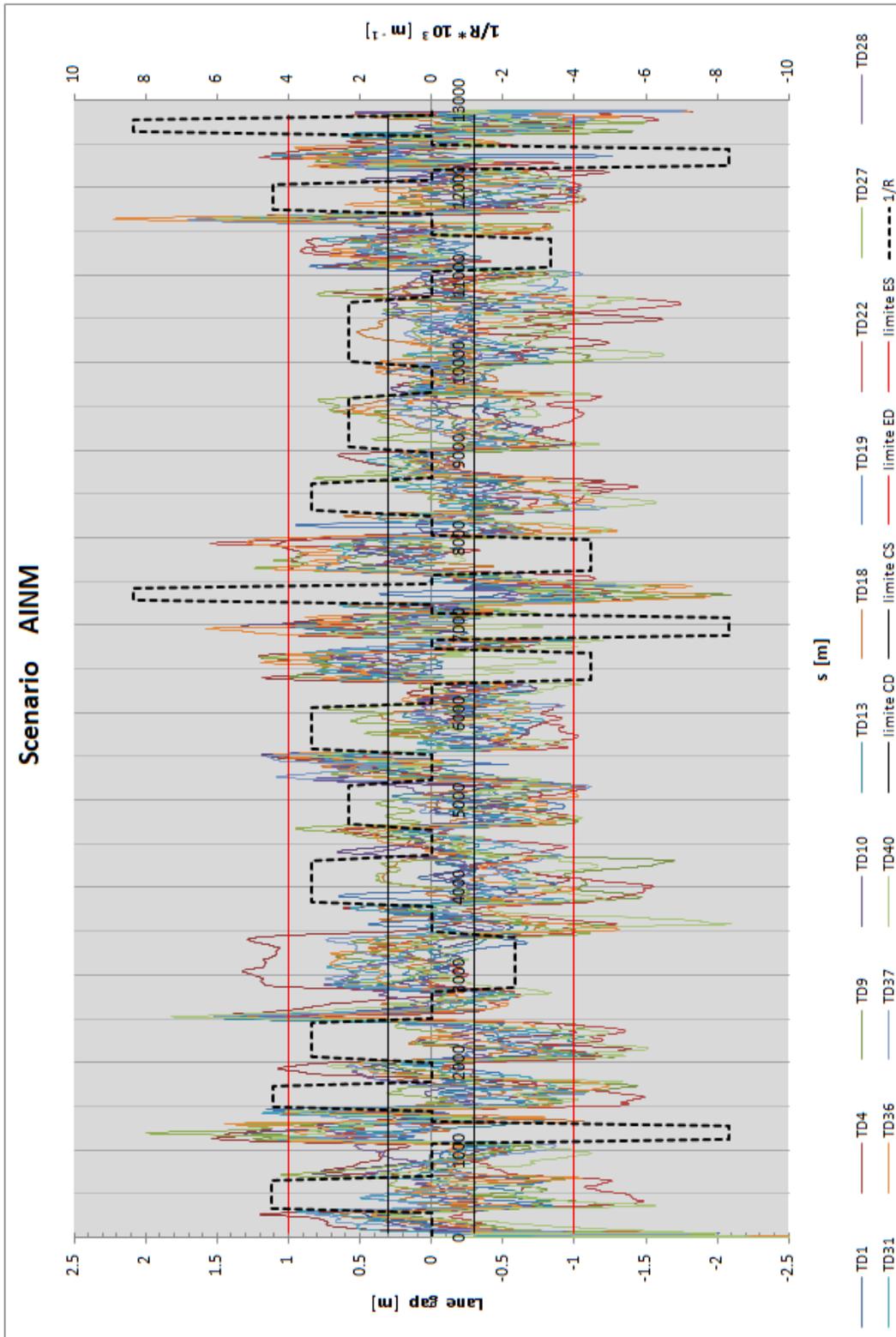
Scenario BI



Scenario ADN

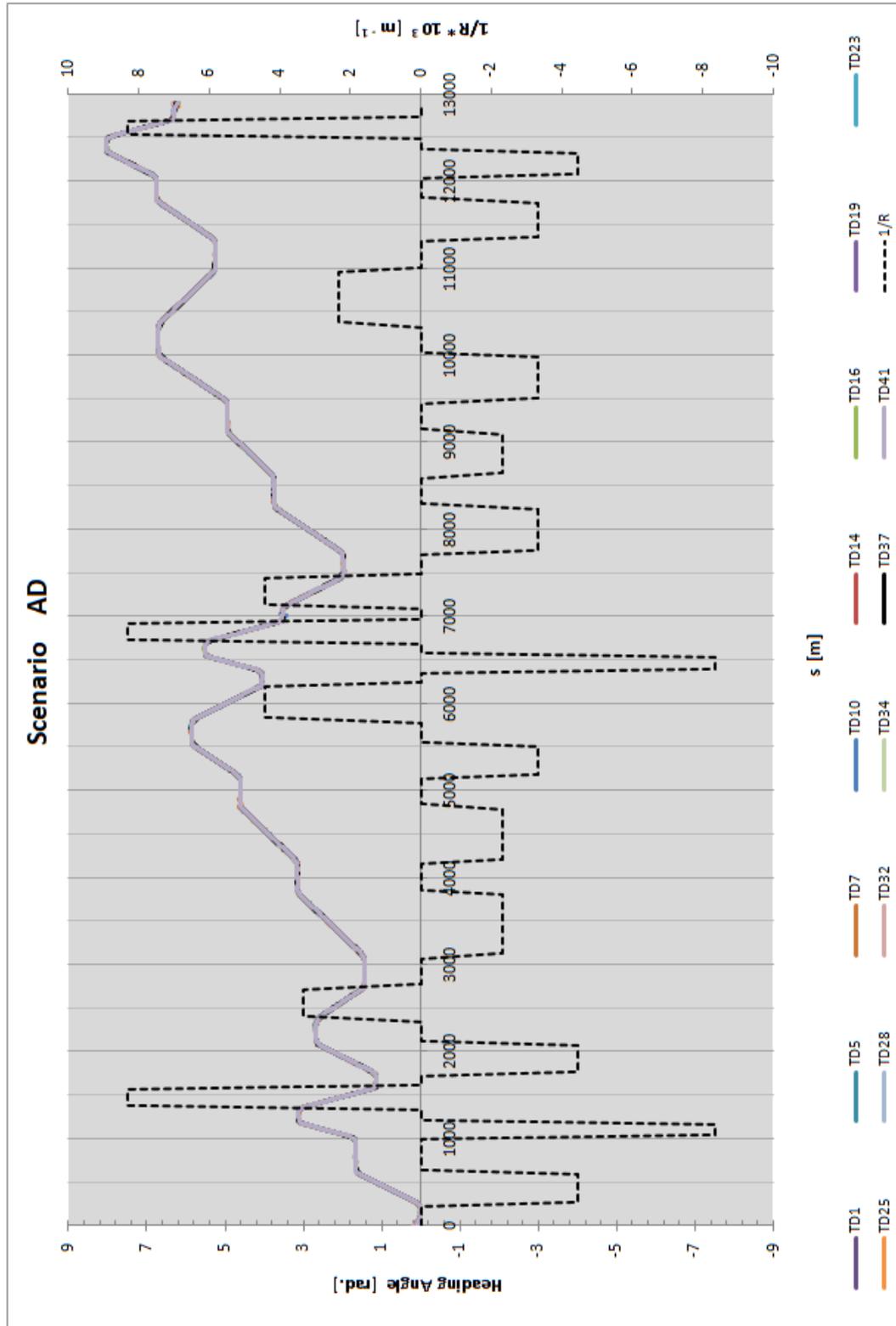


Scenario AINM

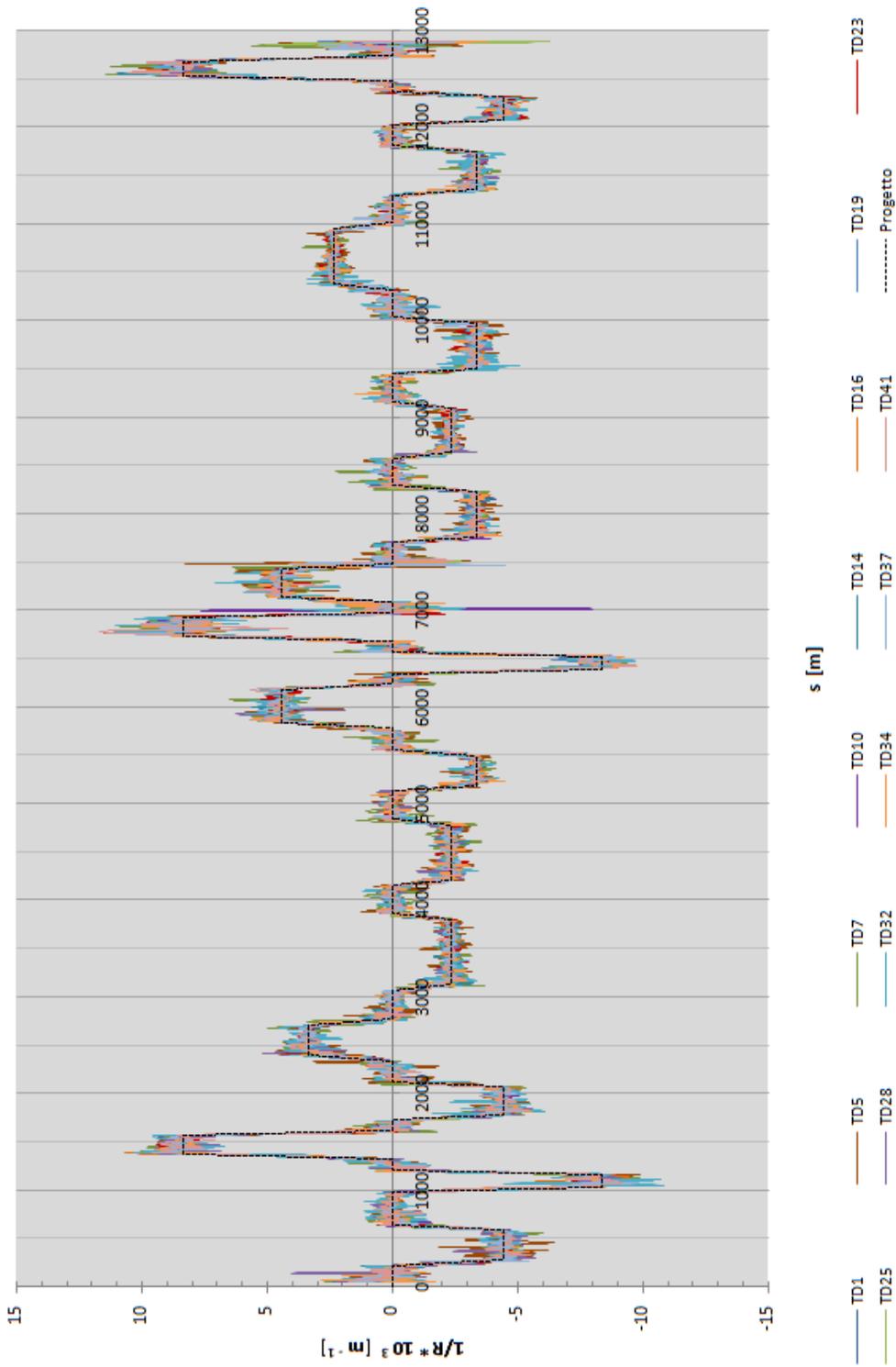


Appendice C) Profili Heading Angle e curvatura delle traiettorie intero tracciato

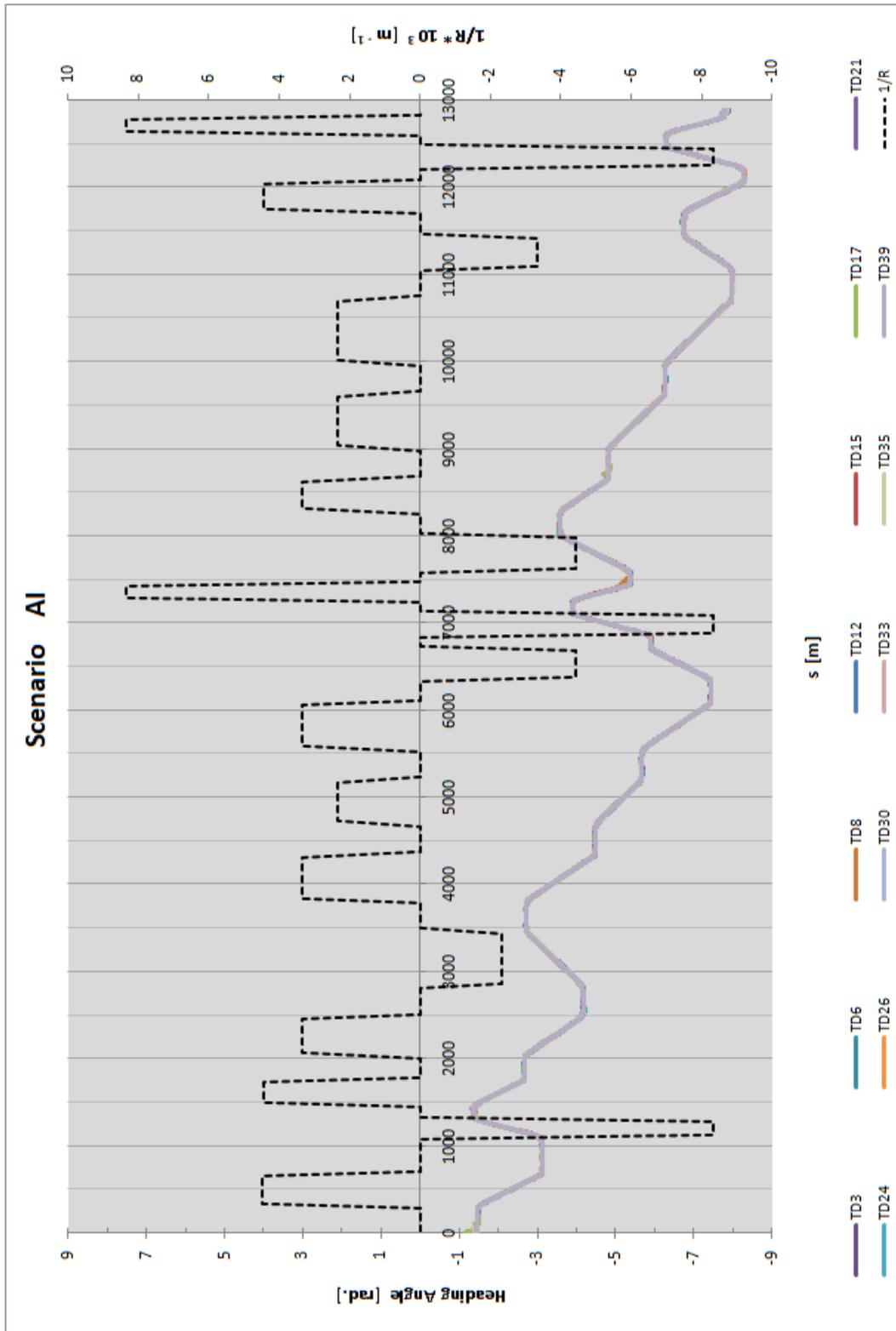
Scenario AD



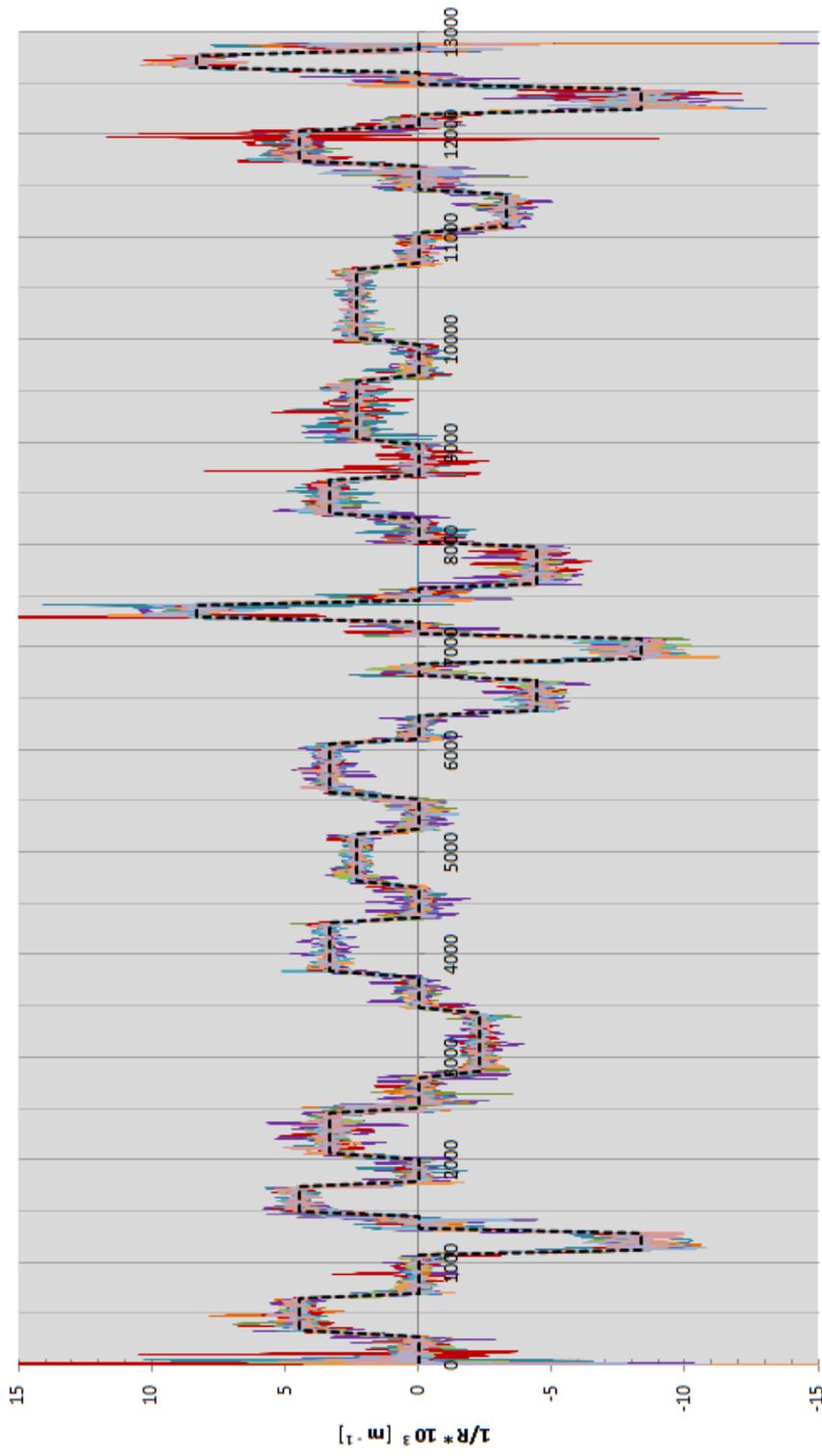
Scenario AD



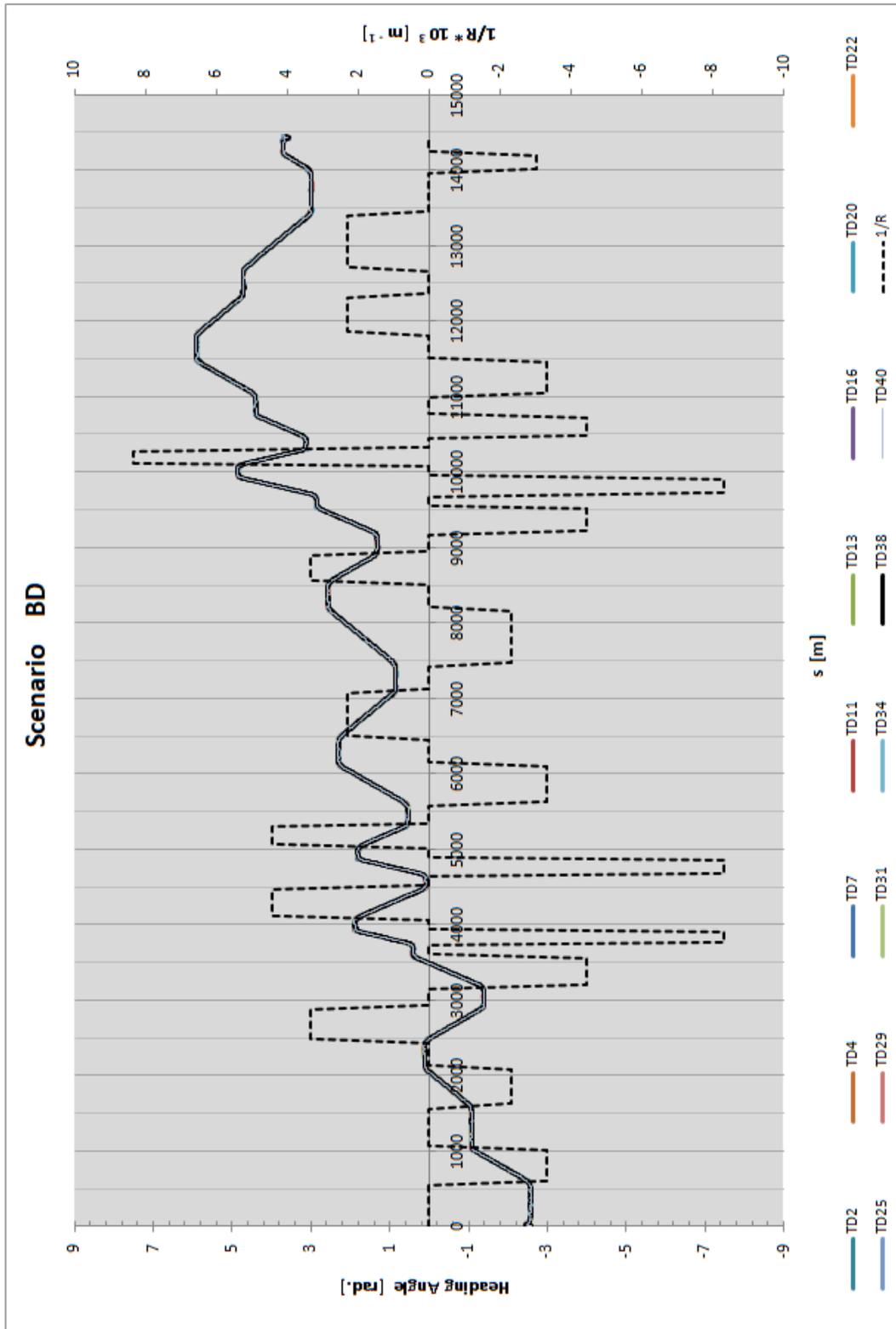
Scenario AI



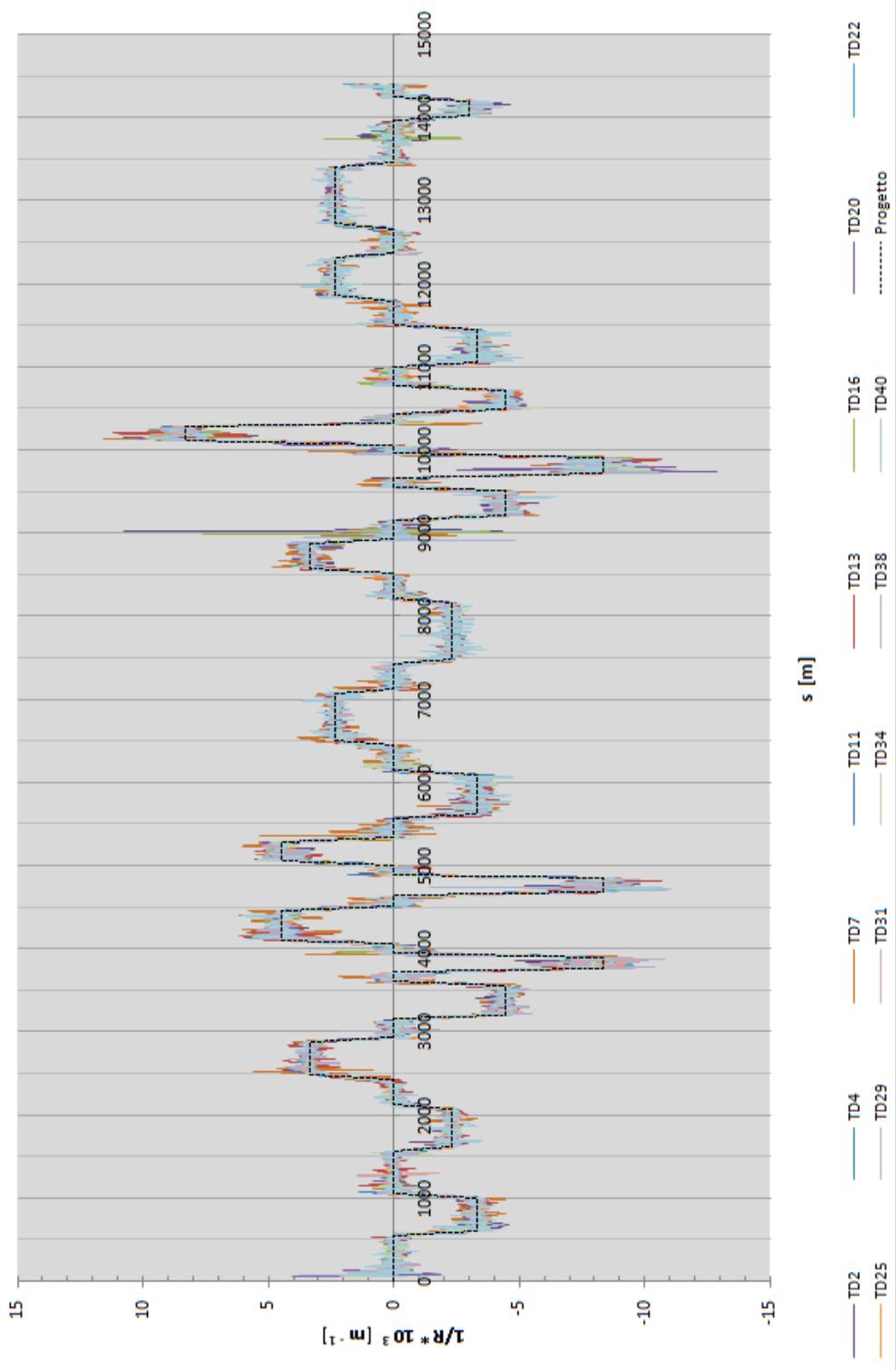
Scenario AI



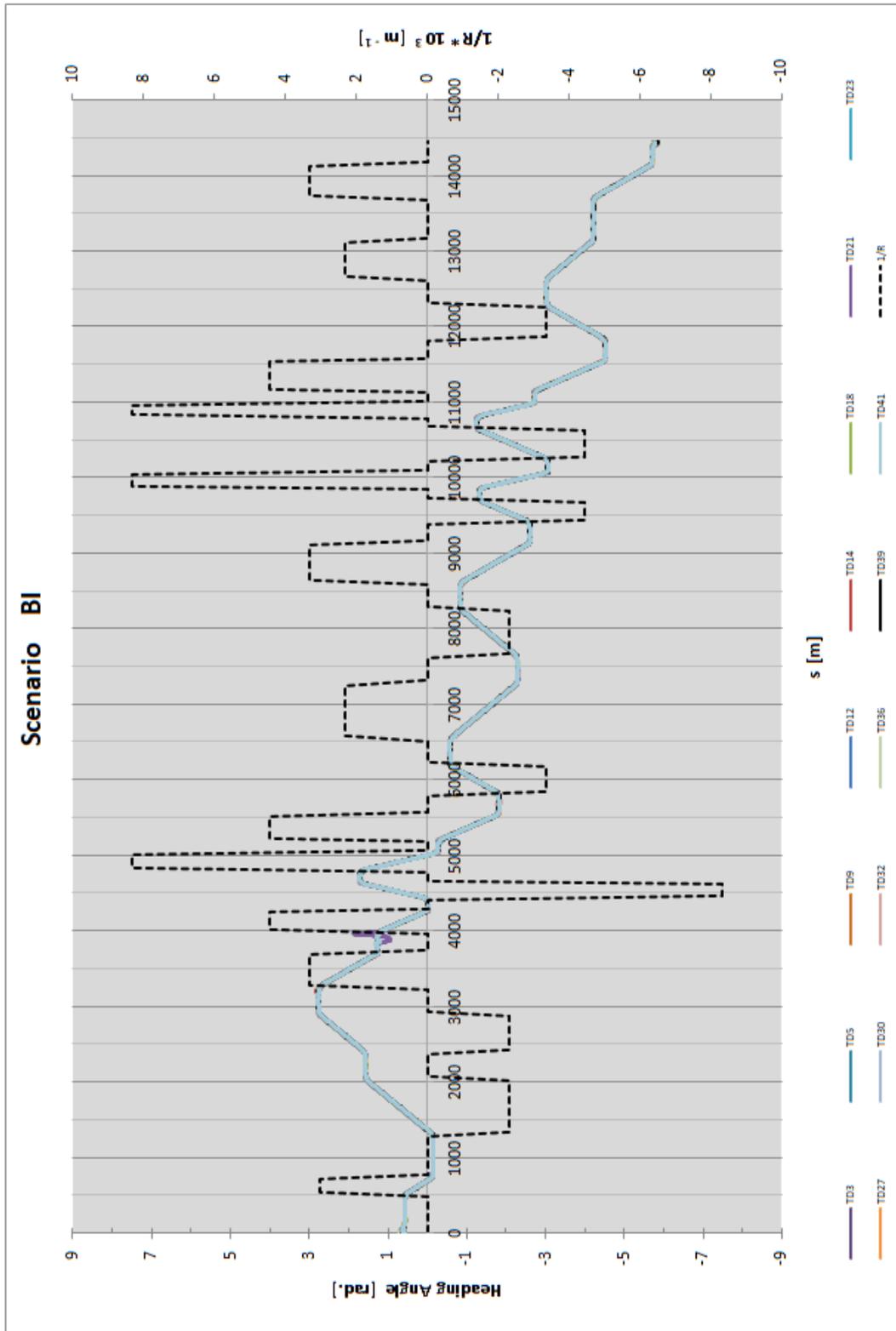
Scenario BD



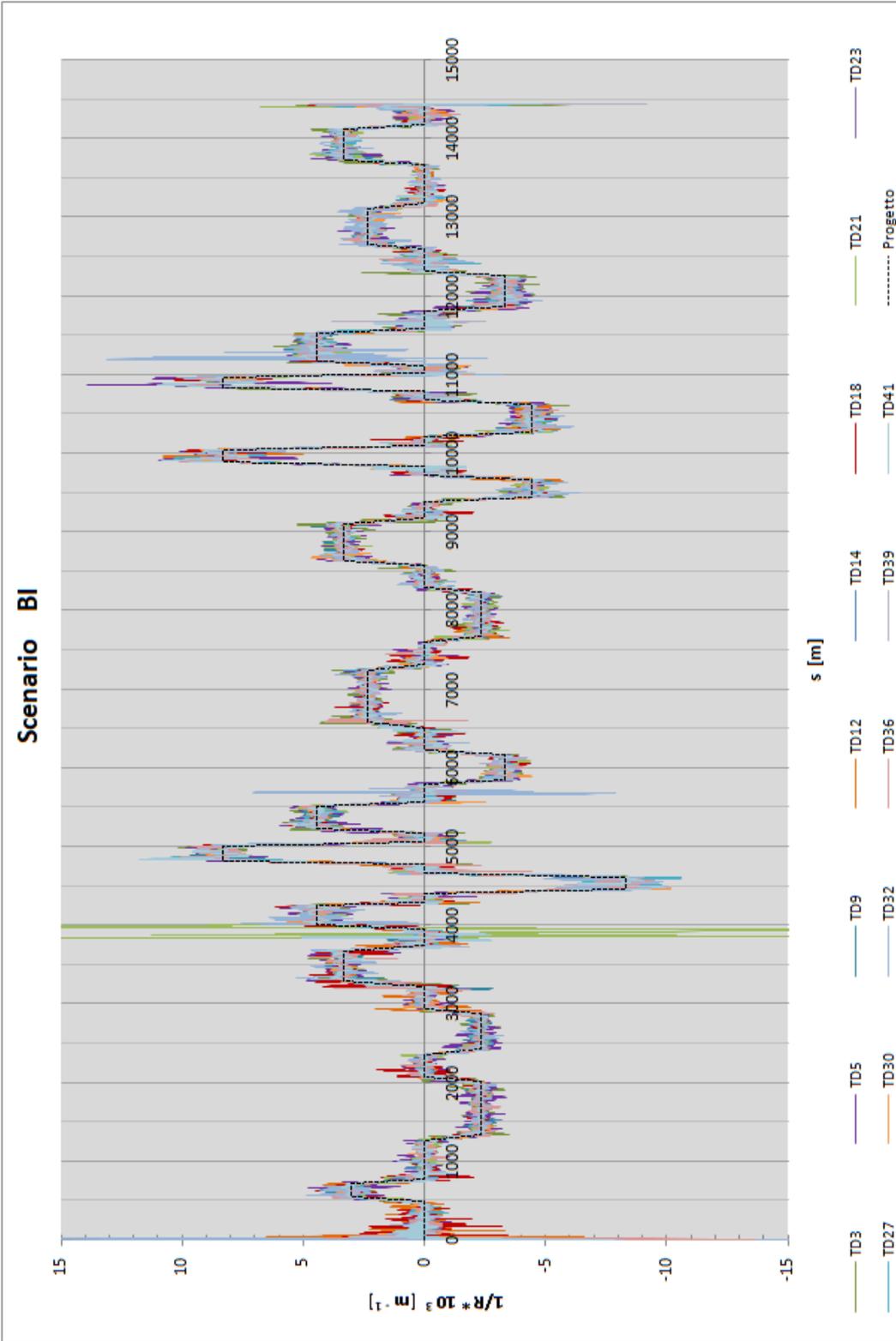
Scenario BD



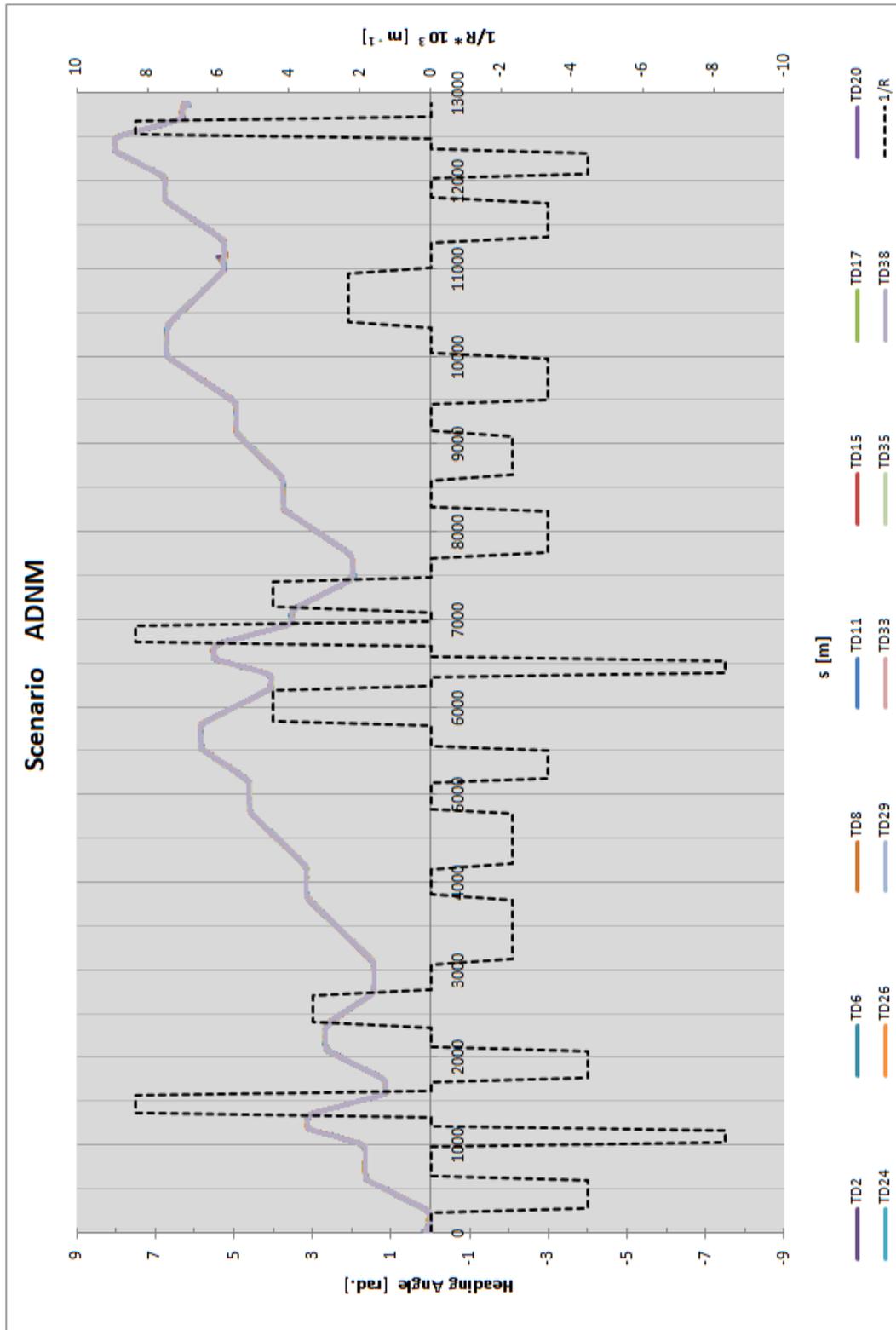
Scenario BI



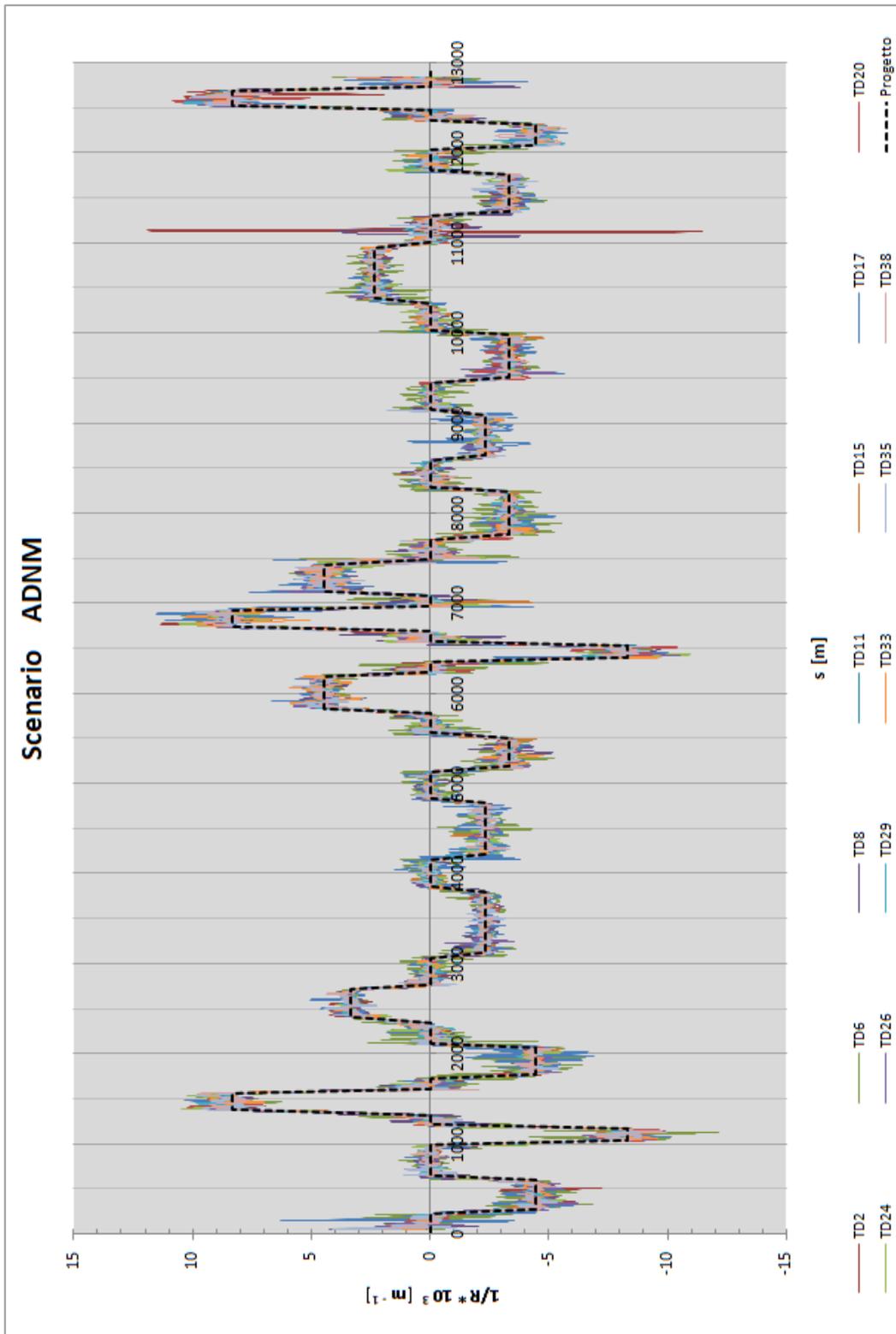
Scenario BI



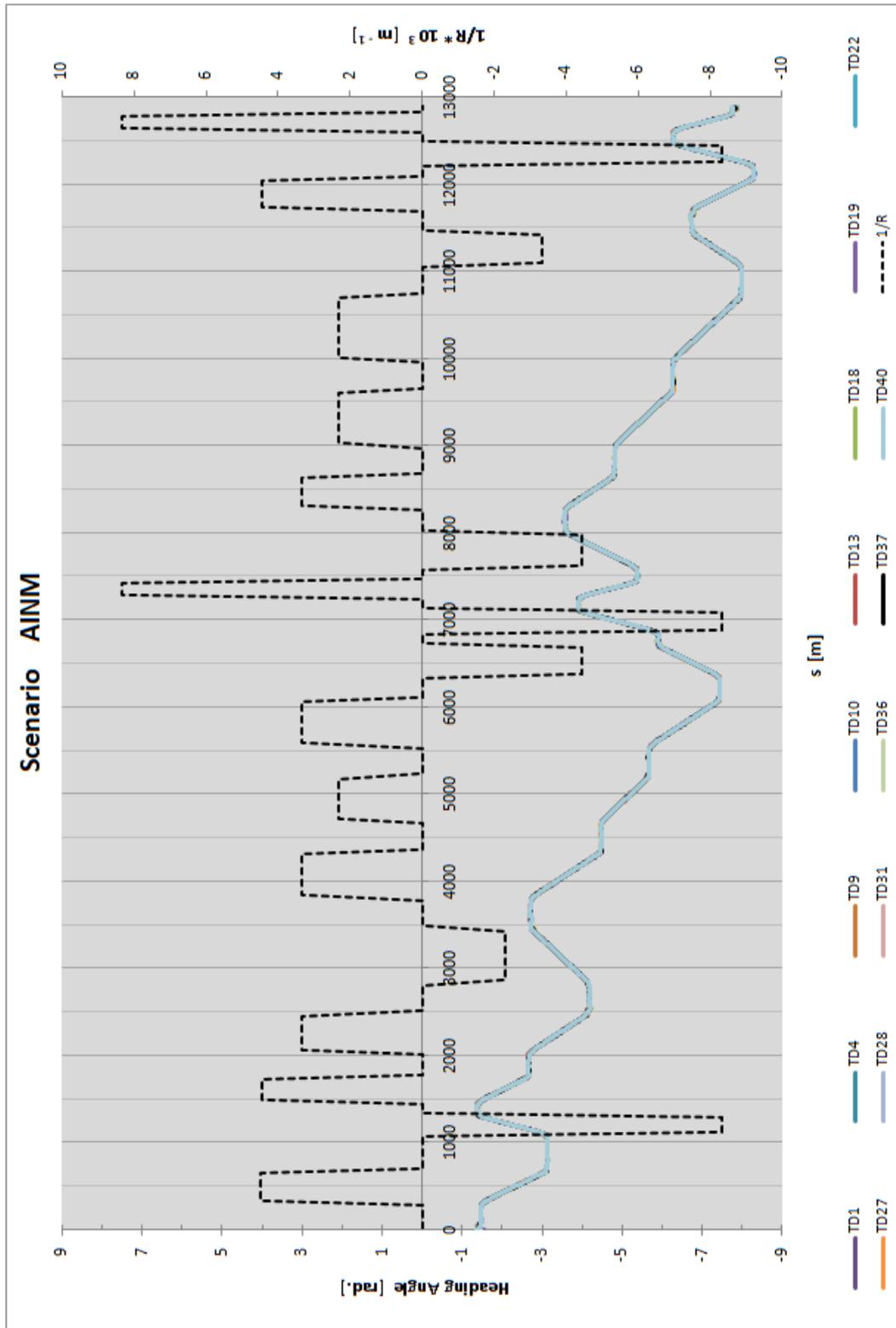
Scenario ADNM



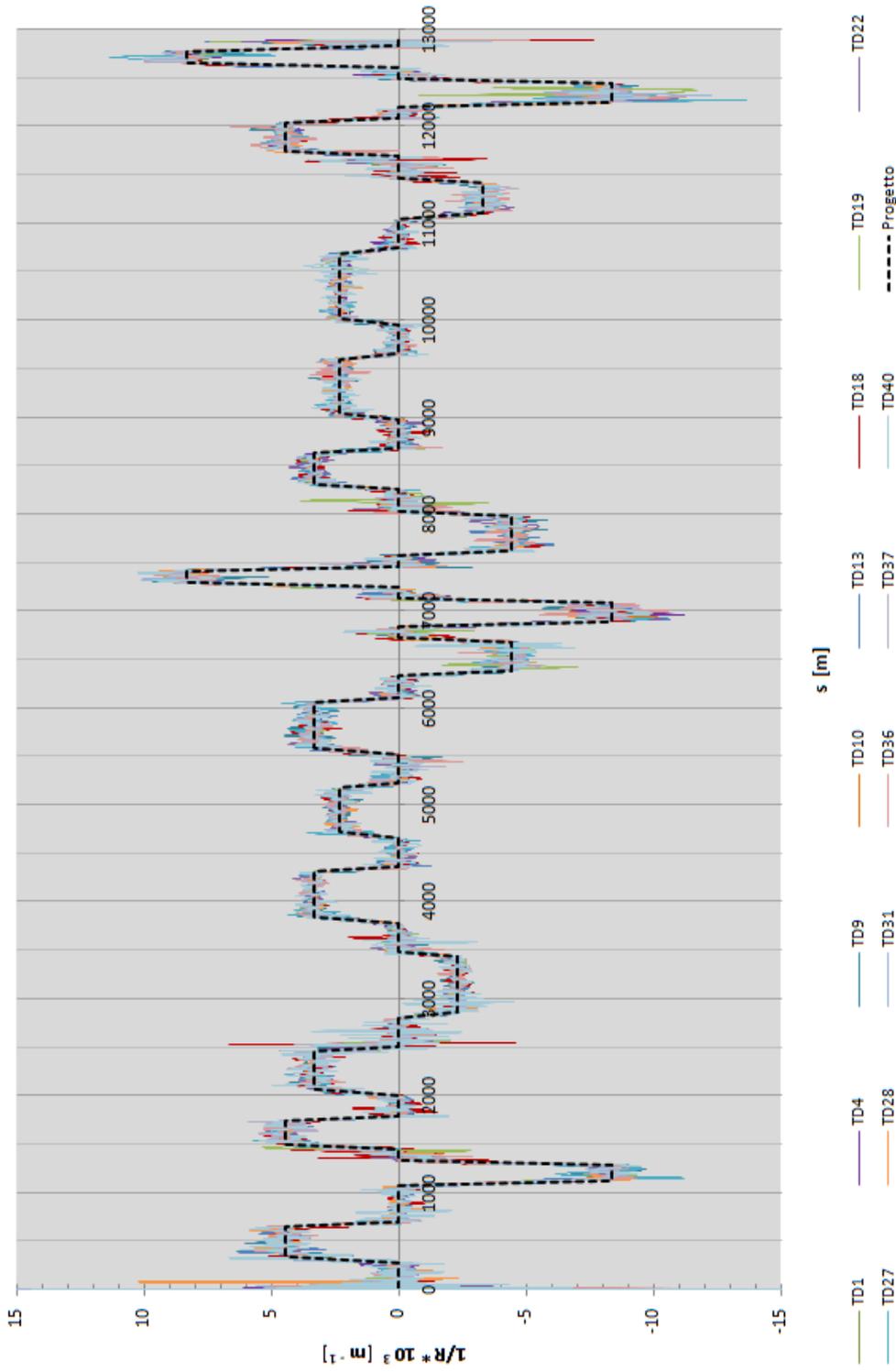
Scenario ADNM



Scenario AINM

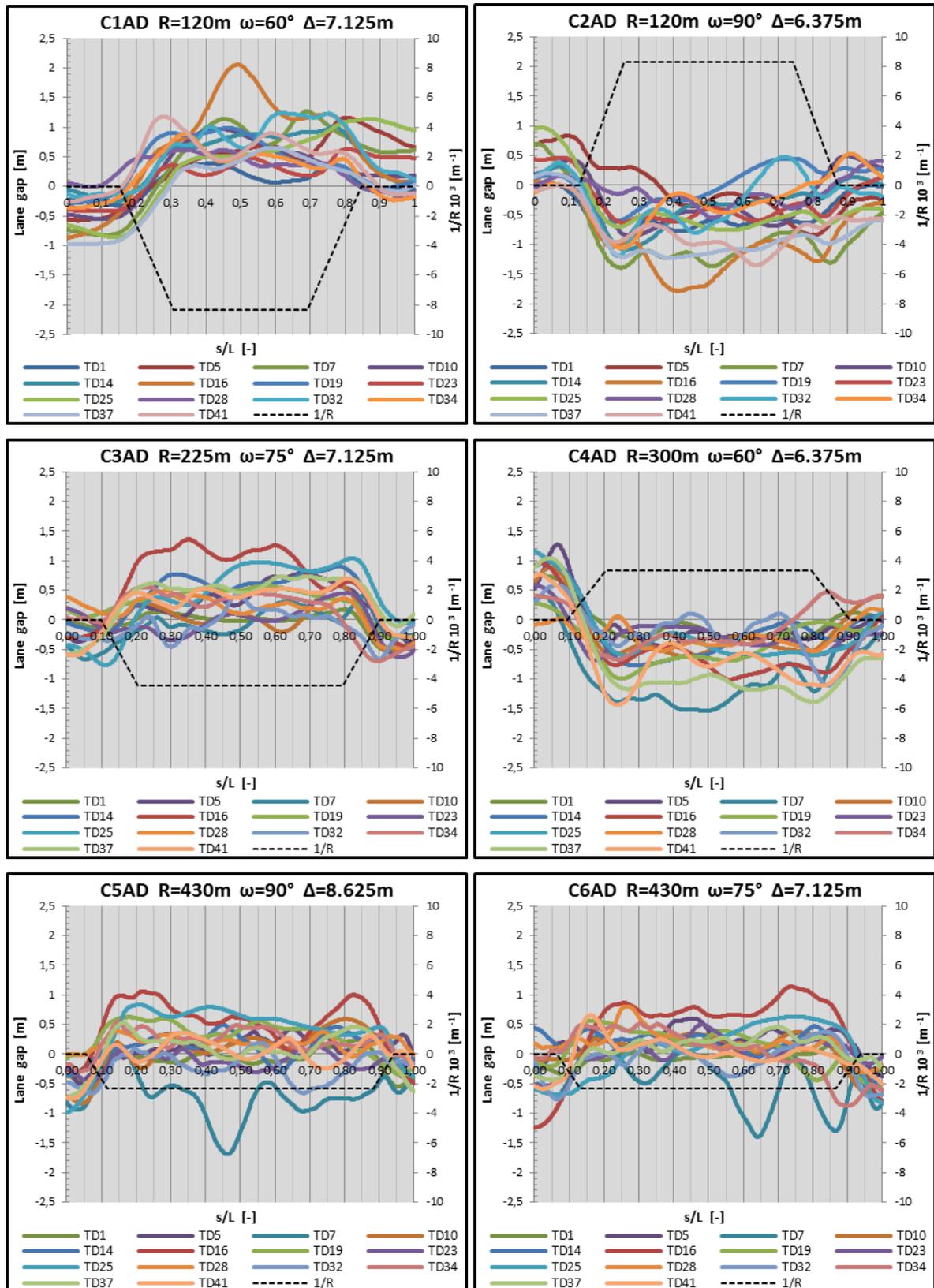


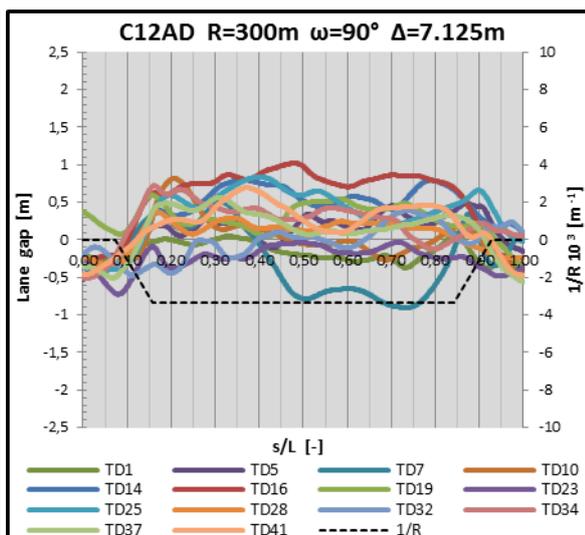
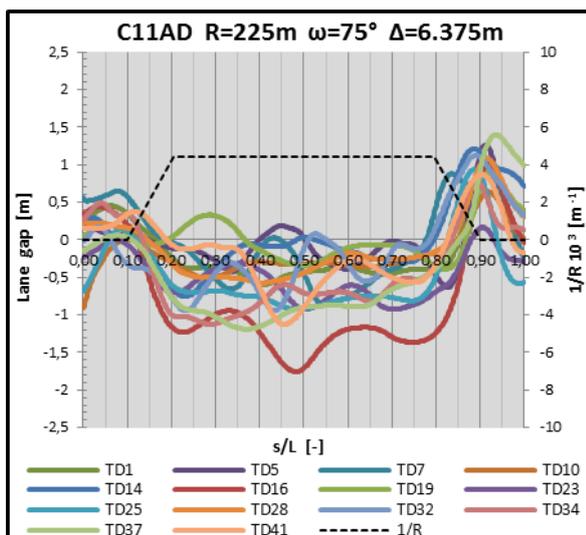
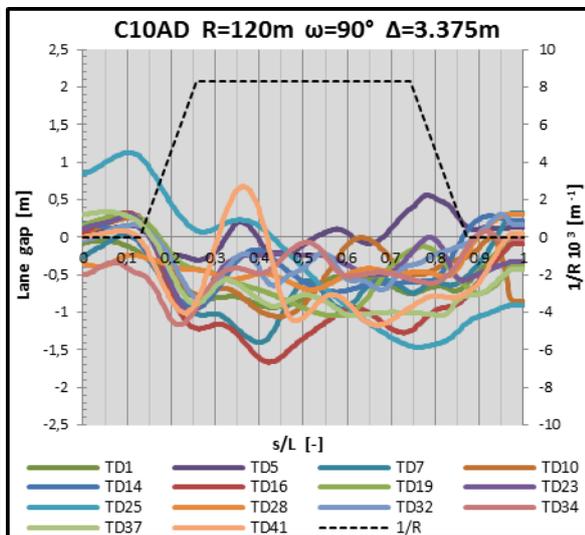
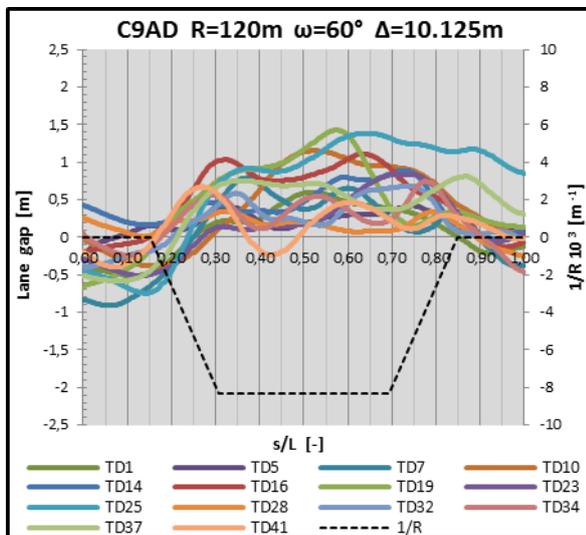
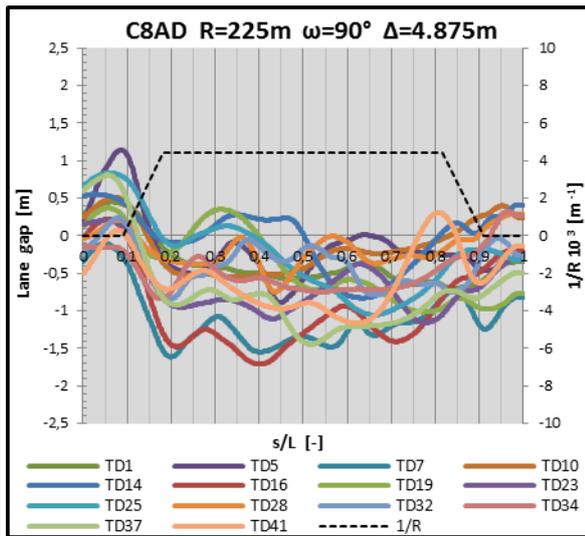
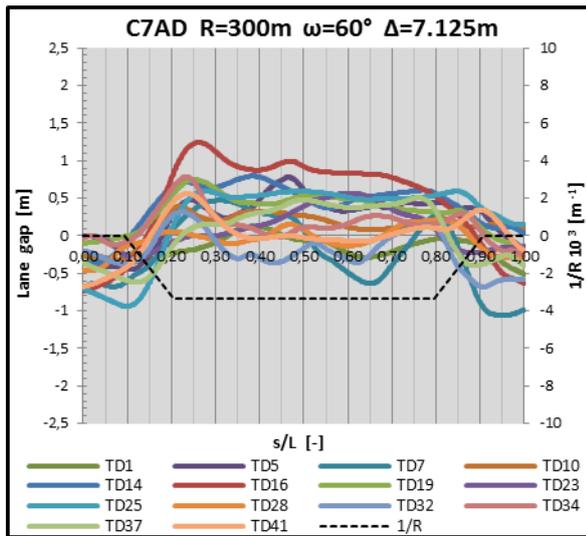
Scenario AINM

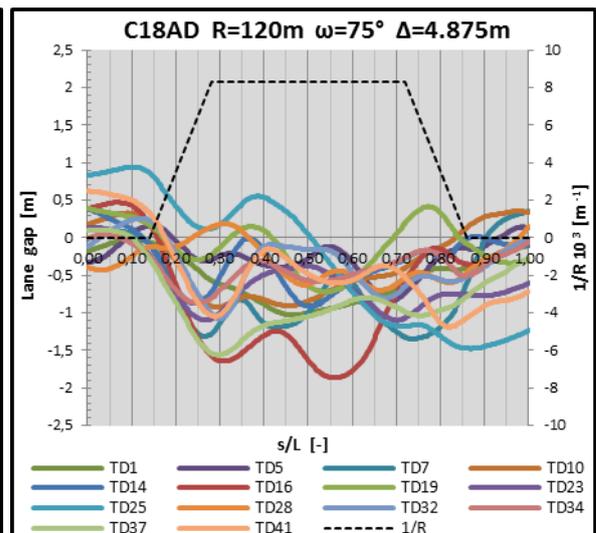
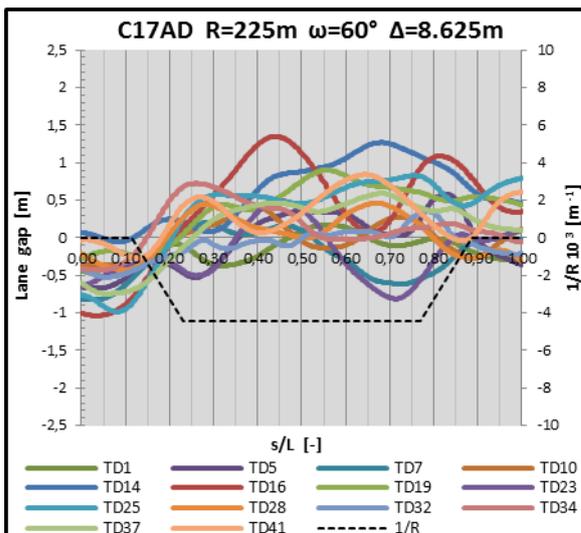
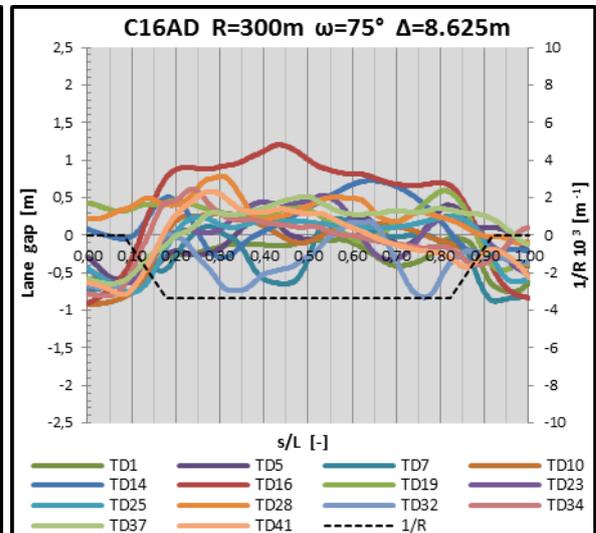
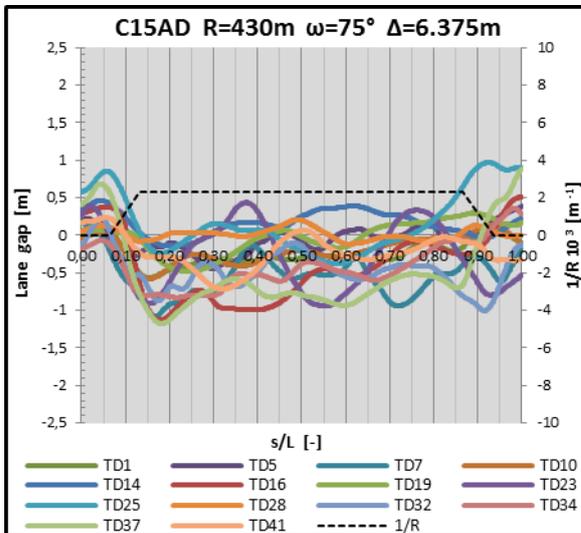
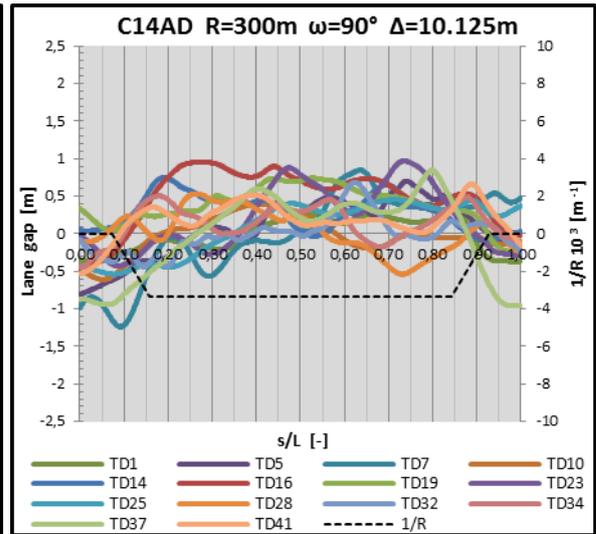
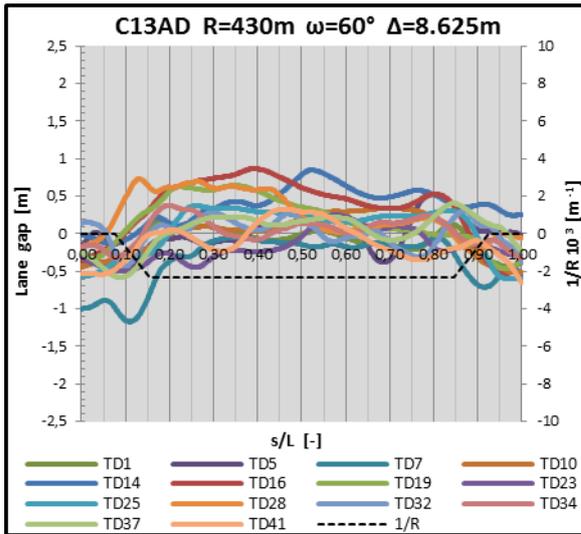


Appendice D) Profili lane gap singole curve

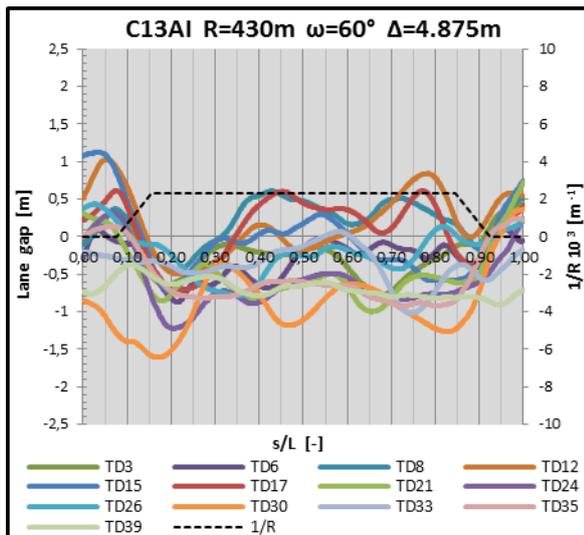
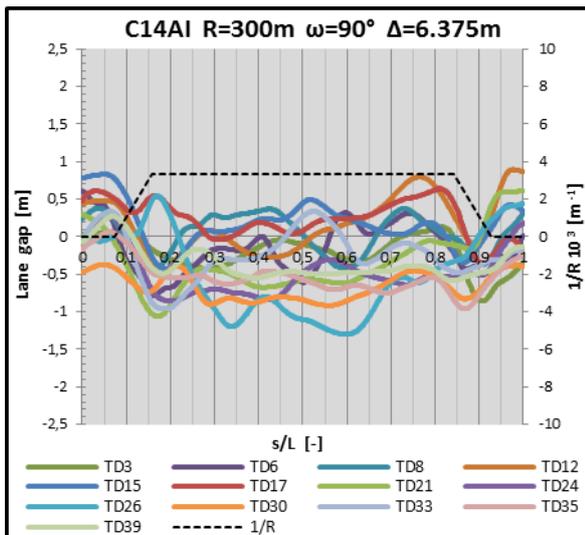
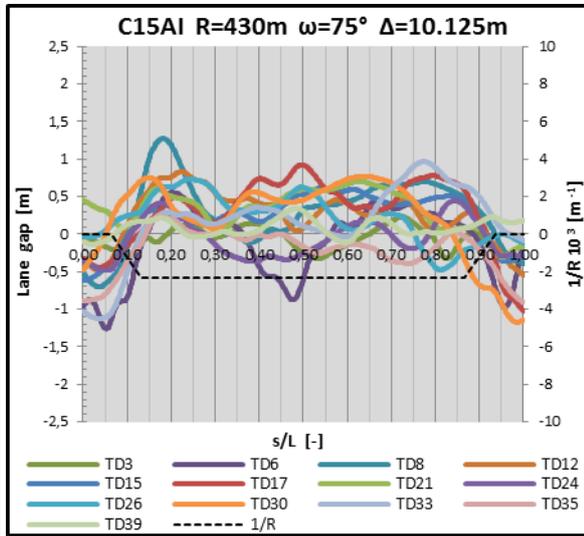
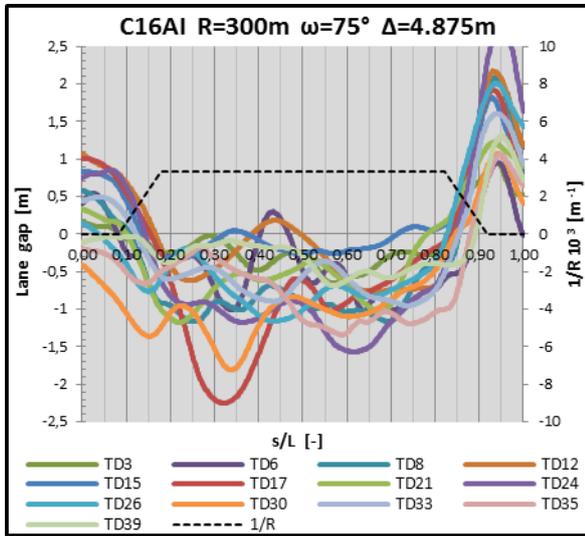
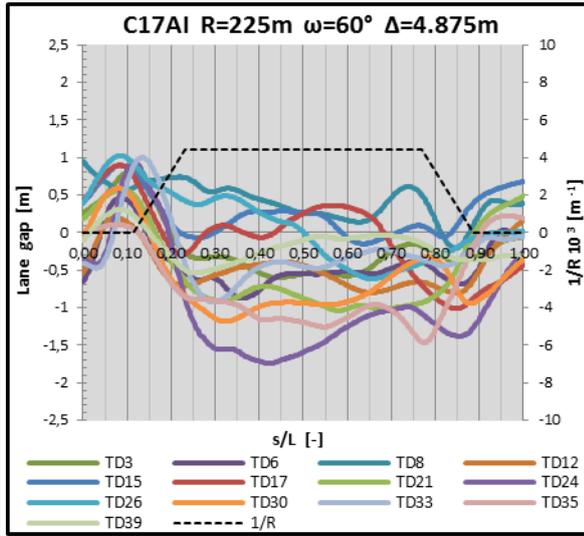
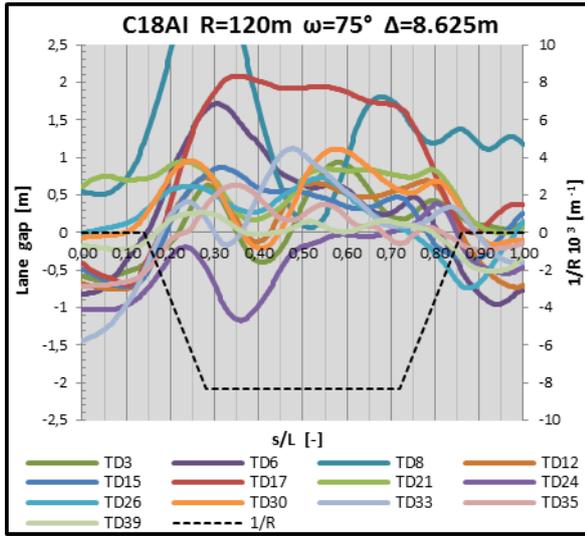
Scenario AD

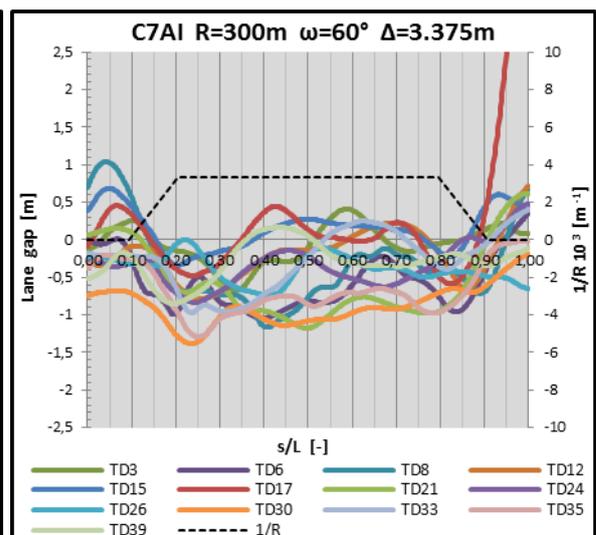
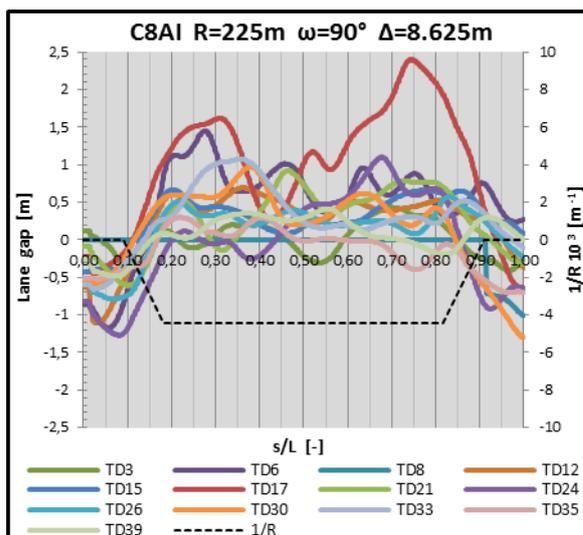
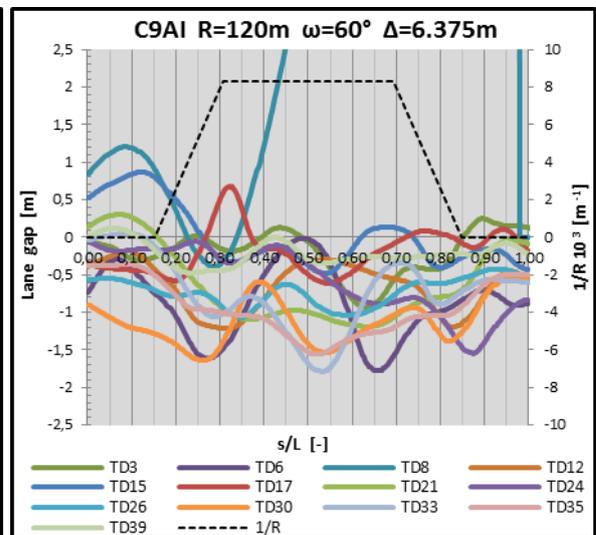
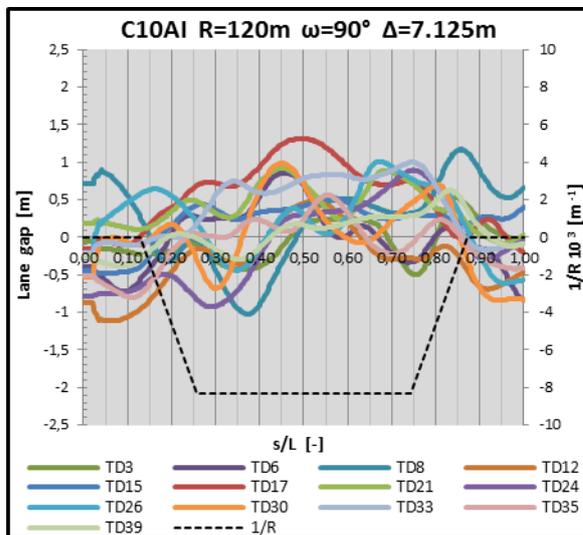
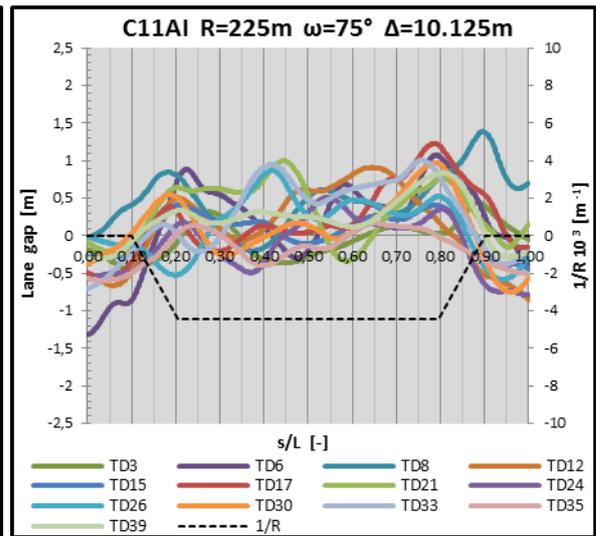
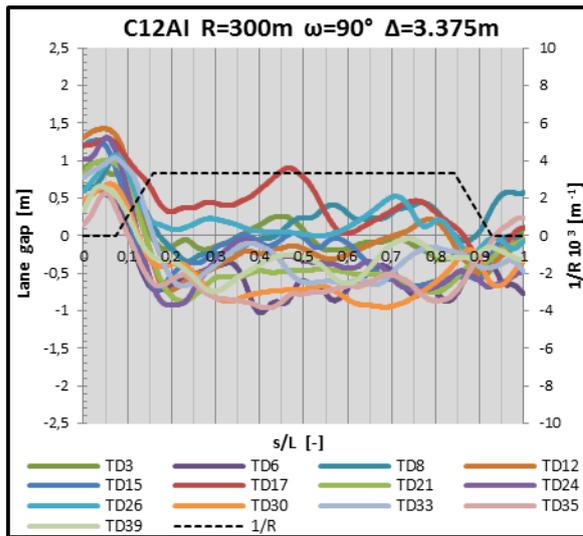


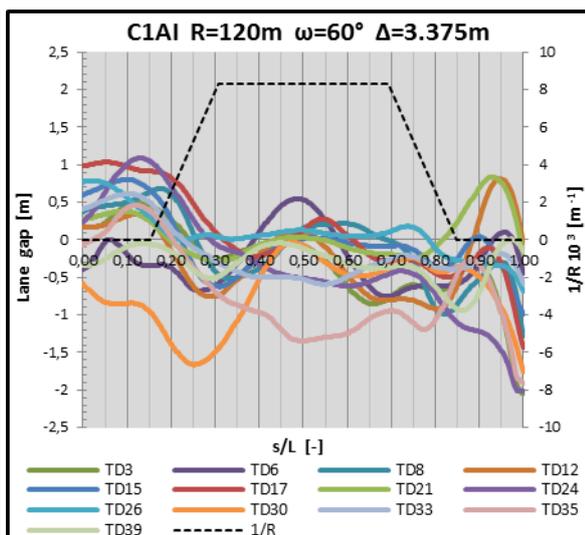
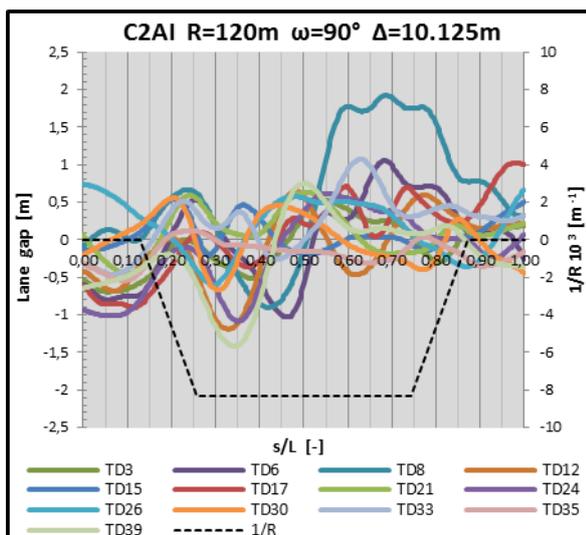
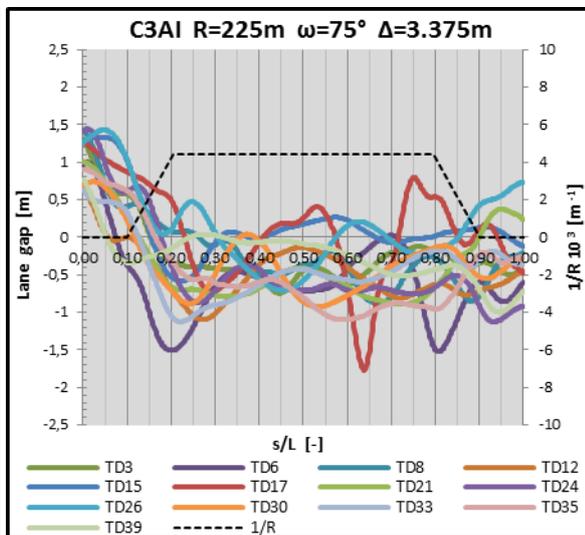
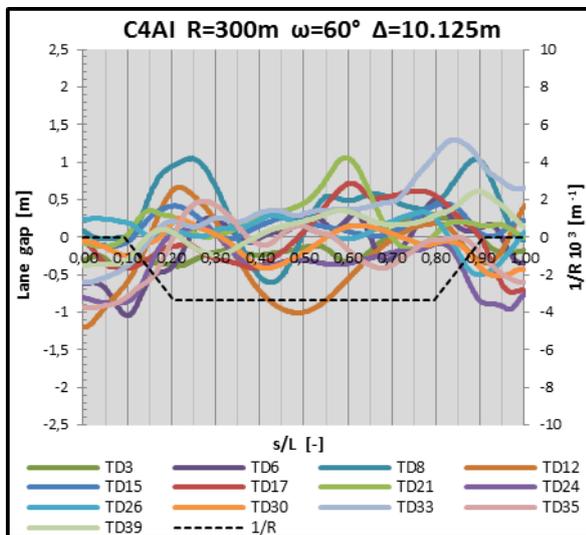
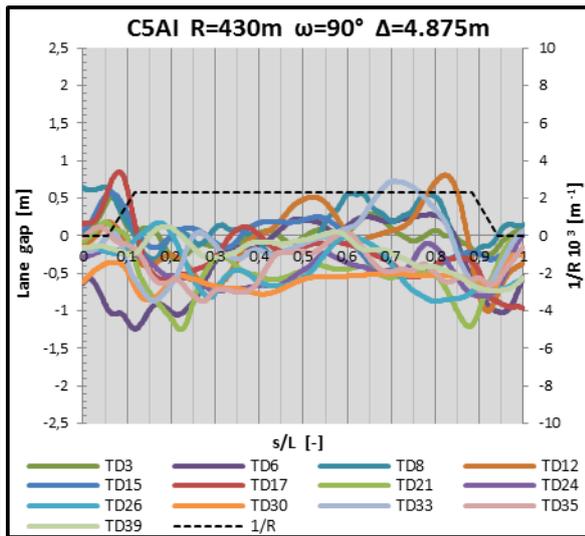
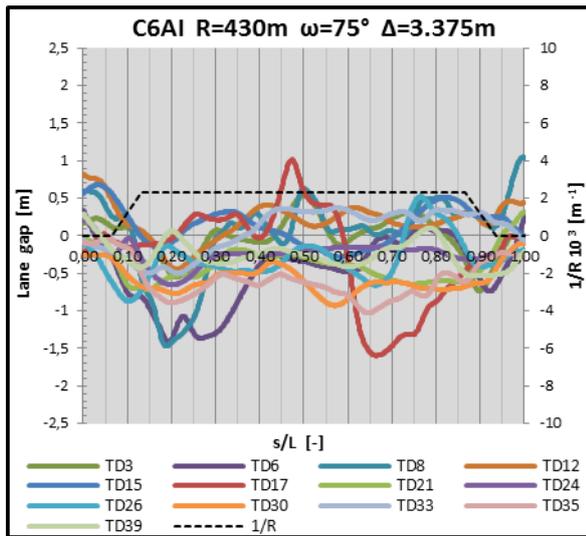




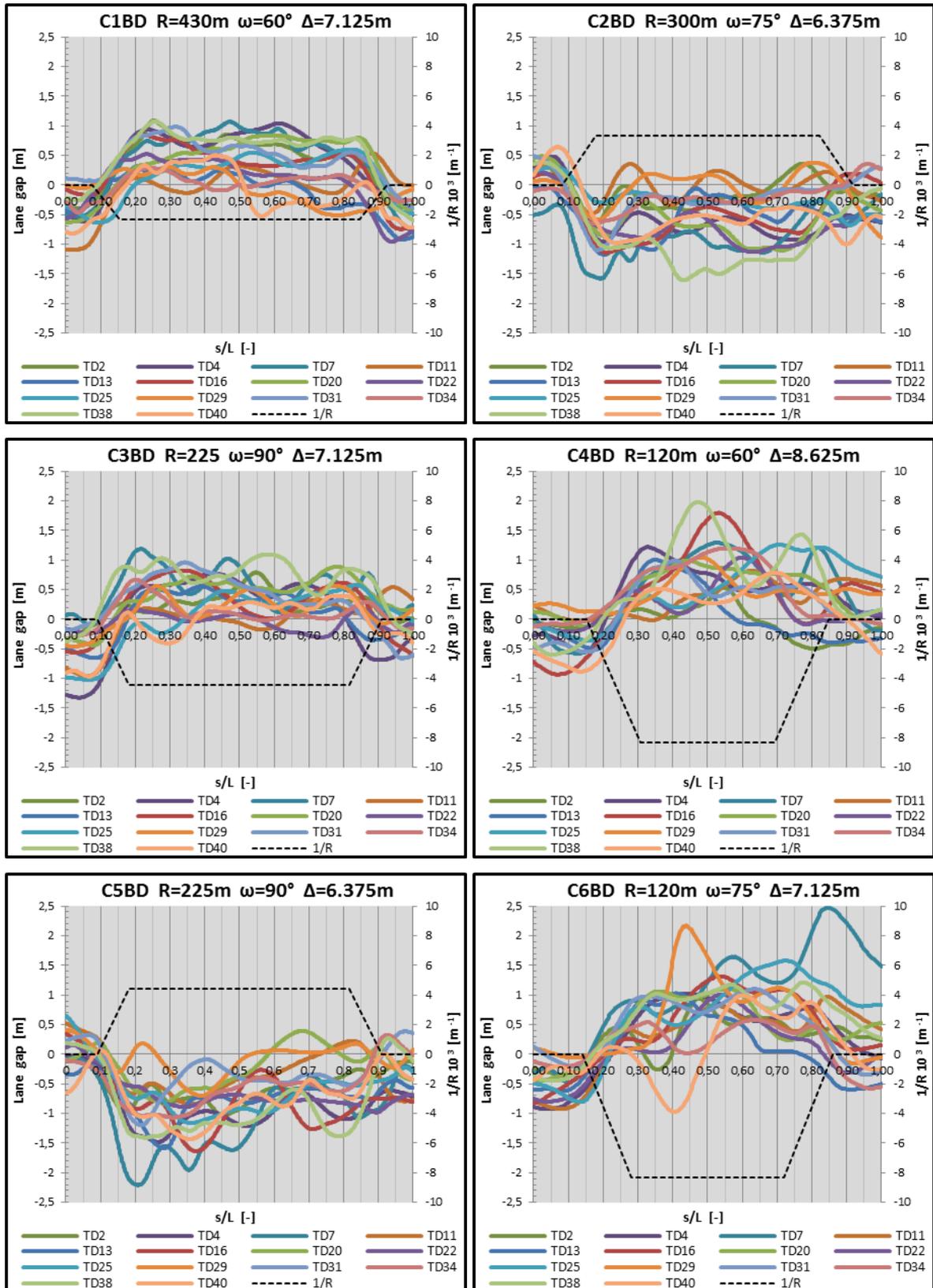
Scenario AI

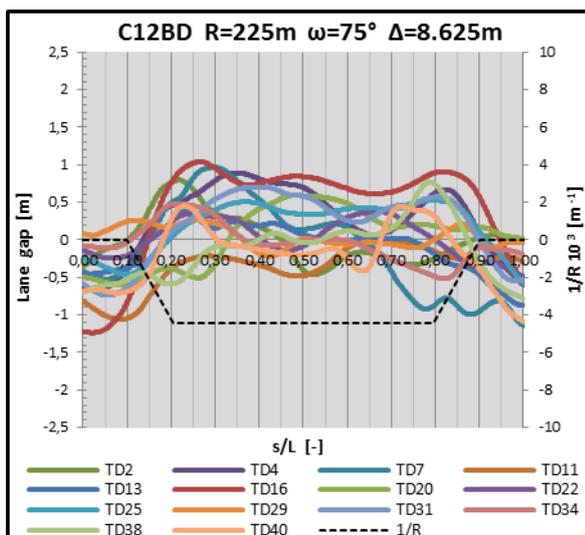
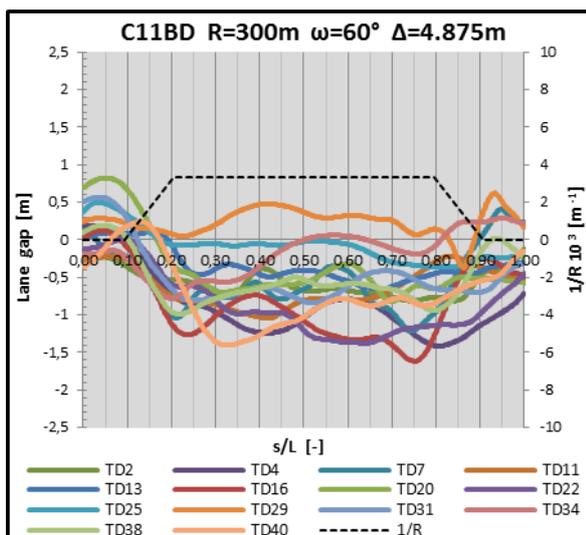
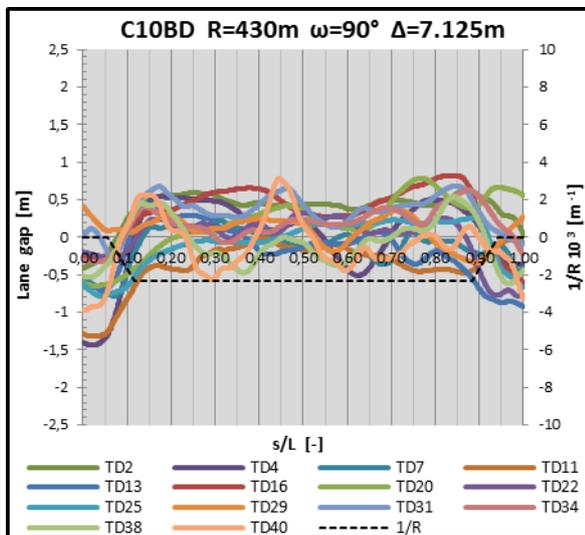
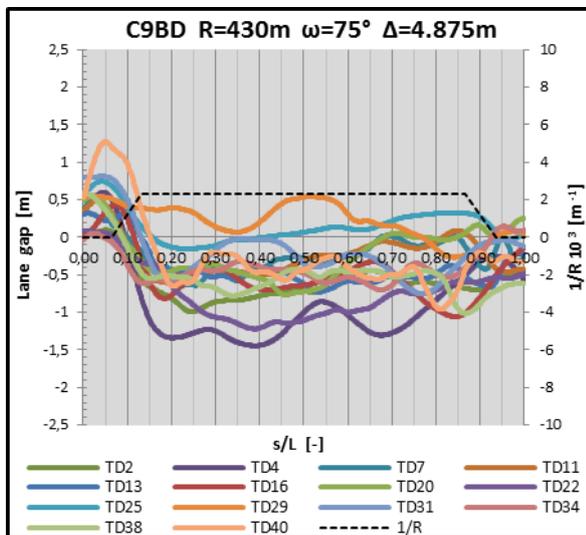
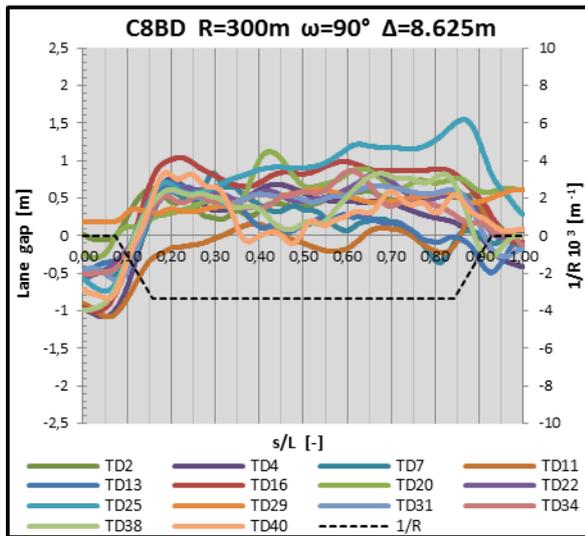
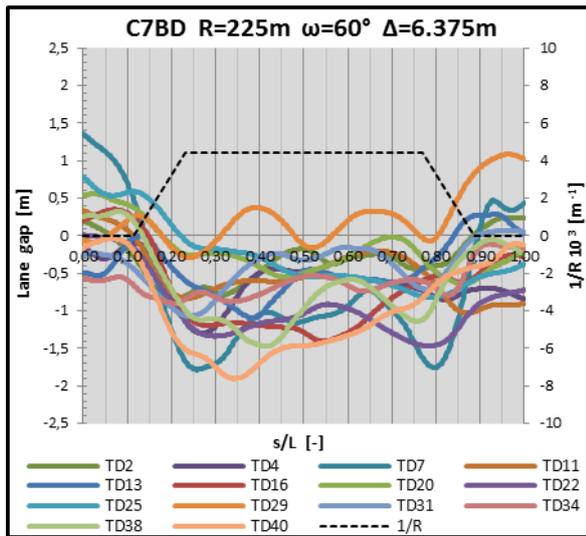


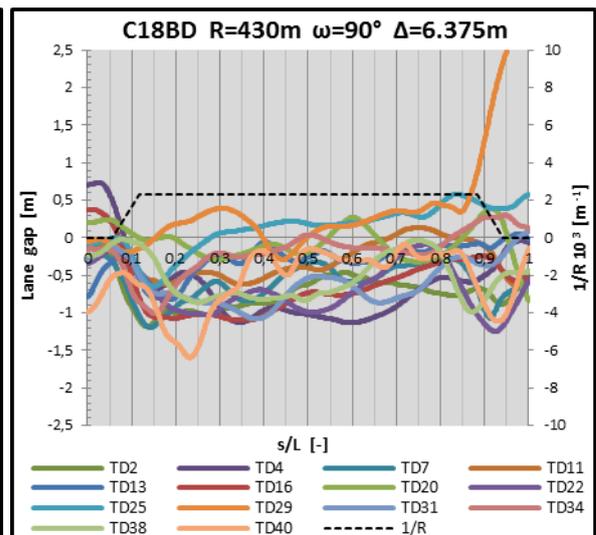
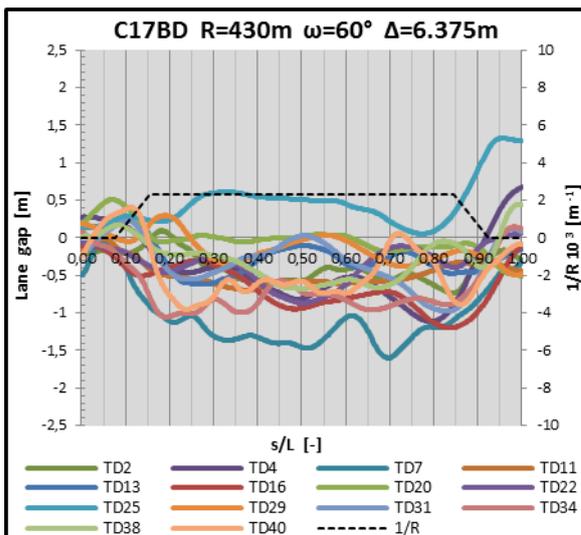
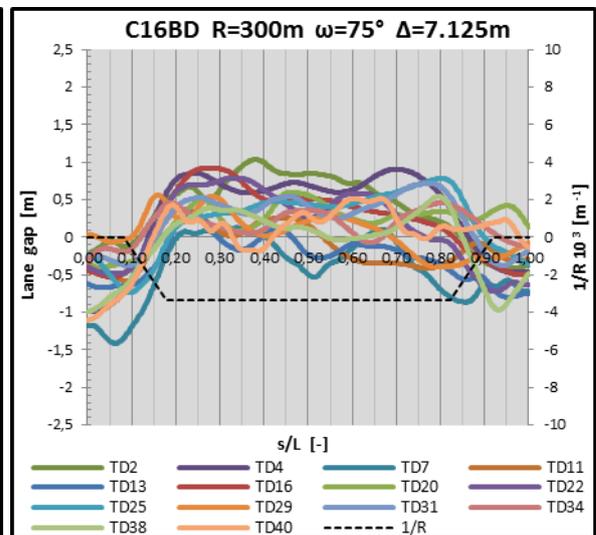
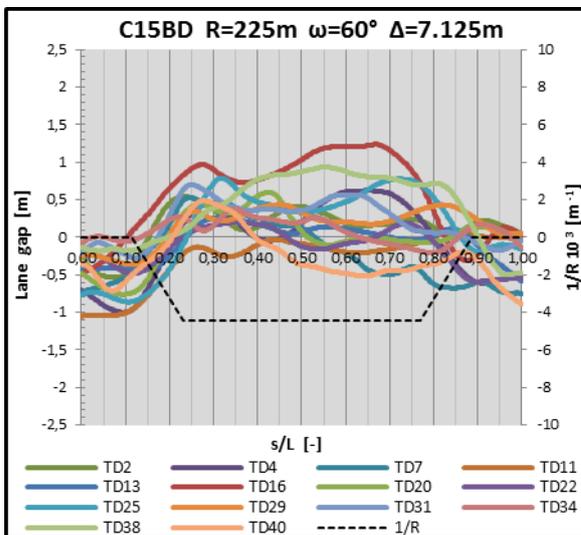
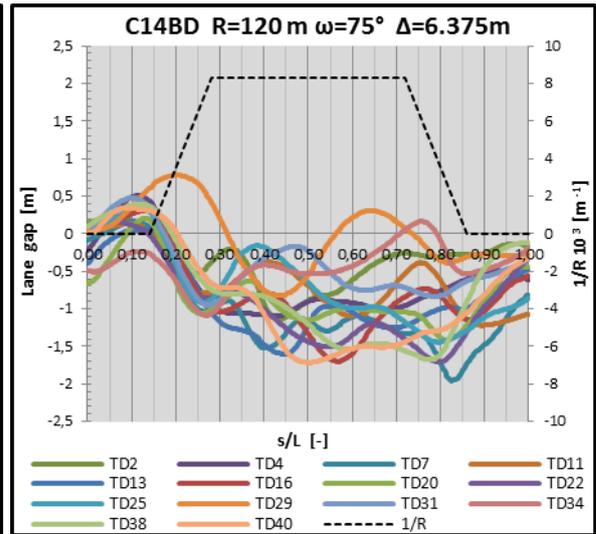
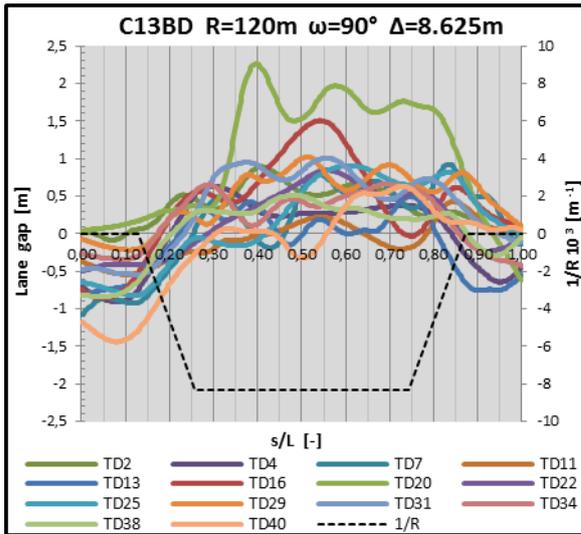




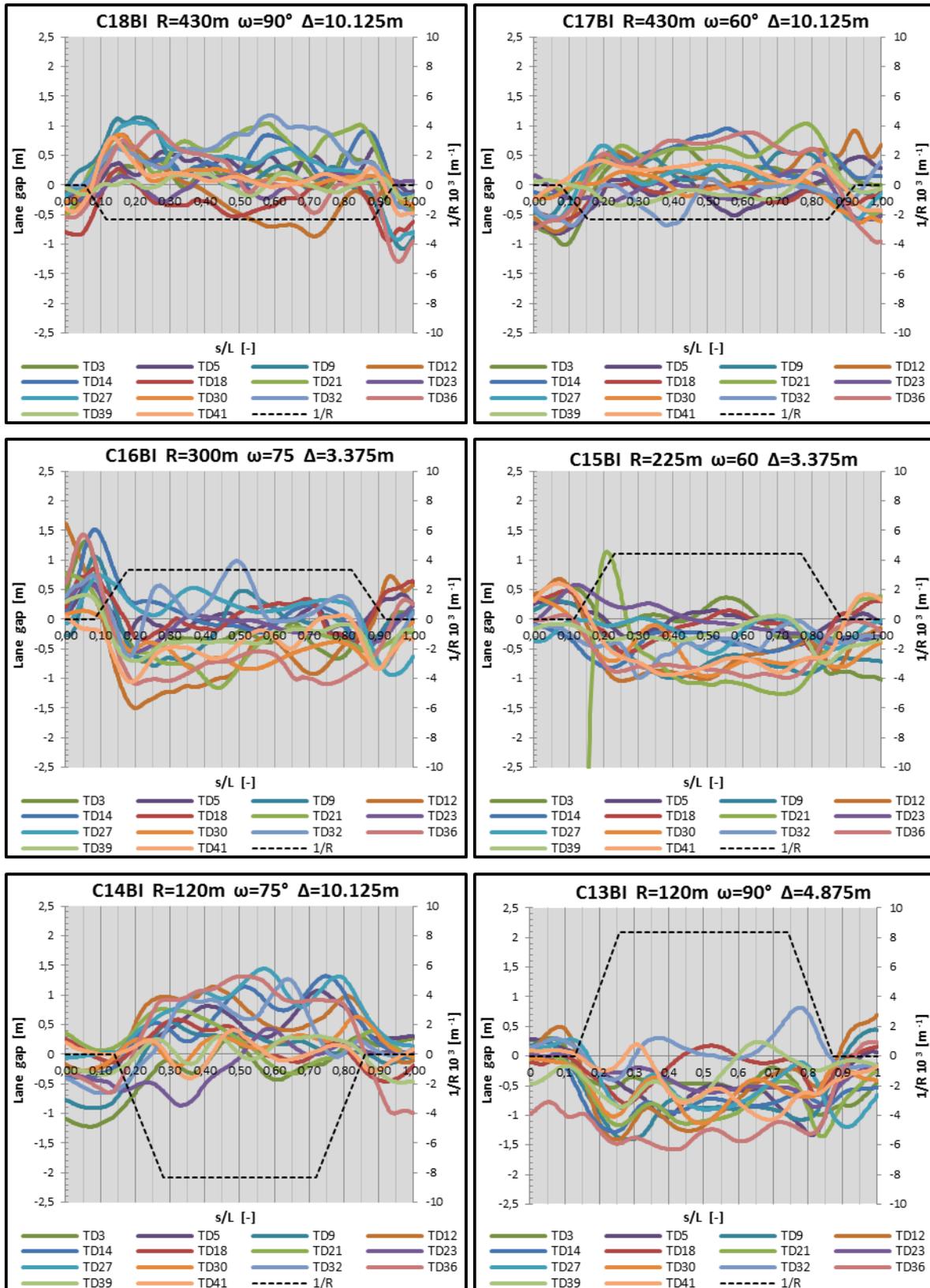
Scenario BD

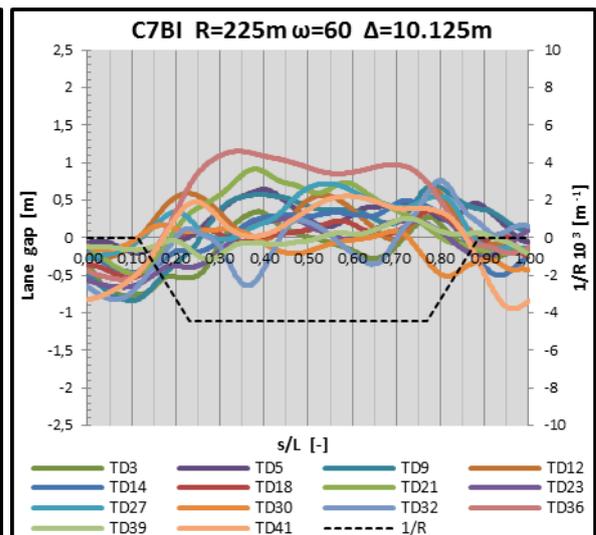
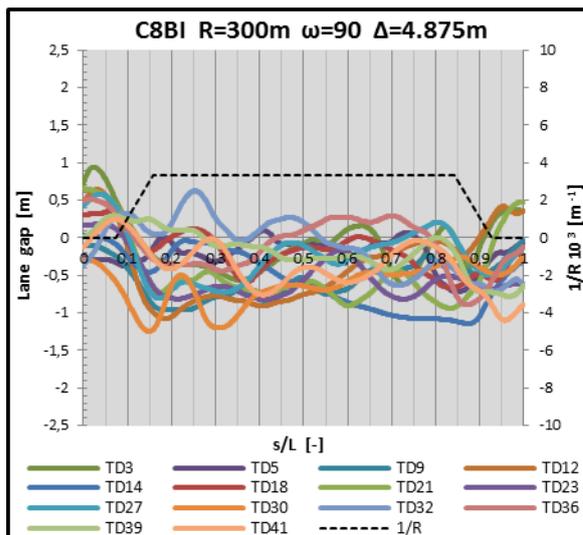
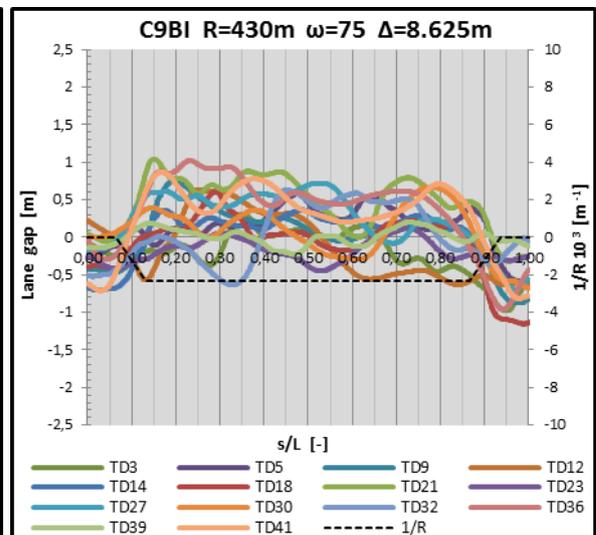
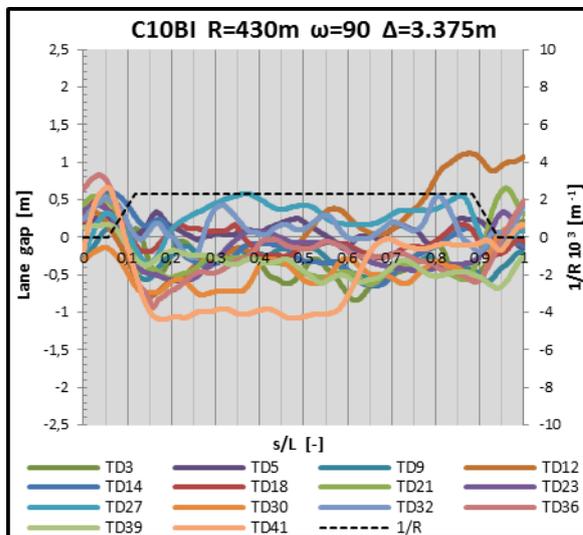
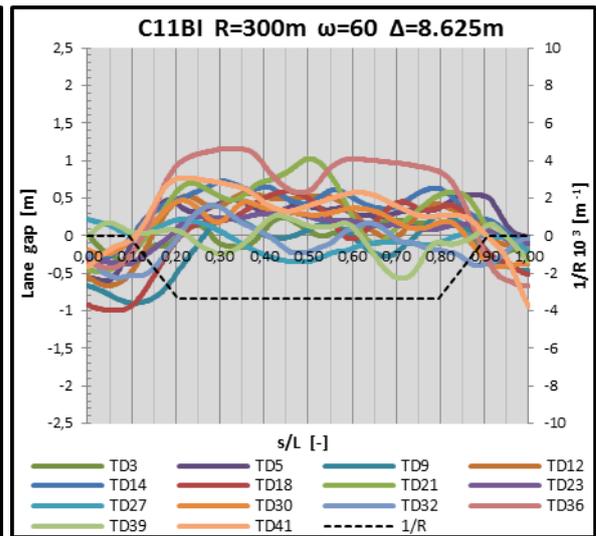
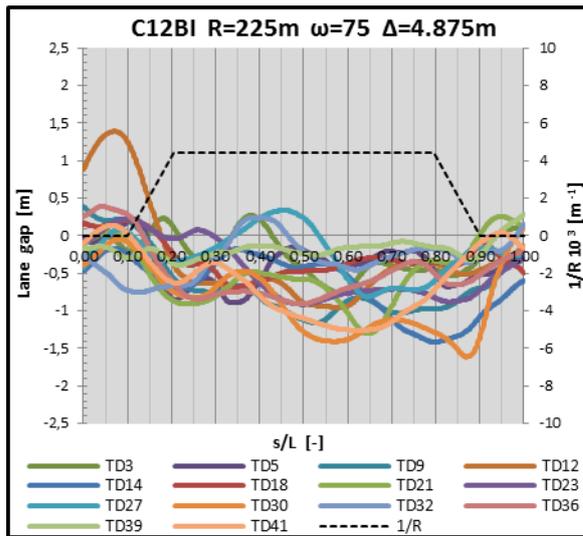


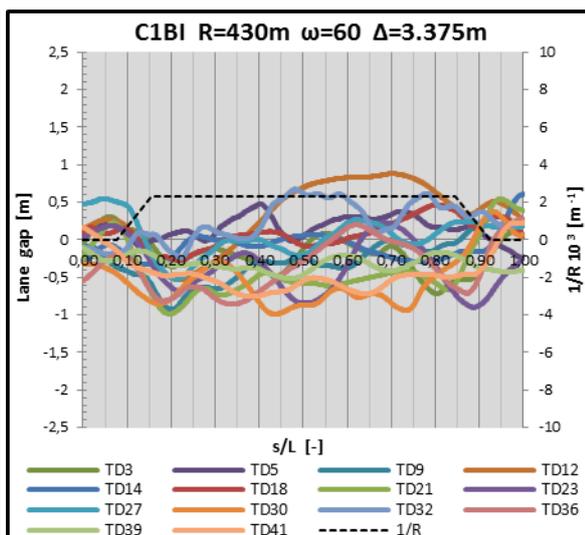
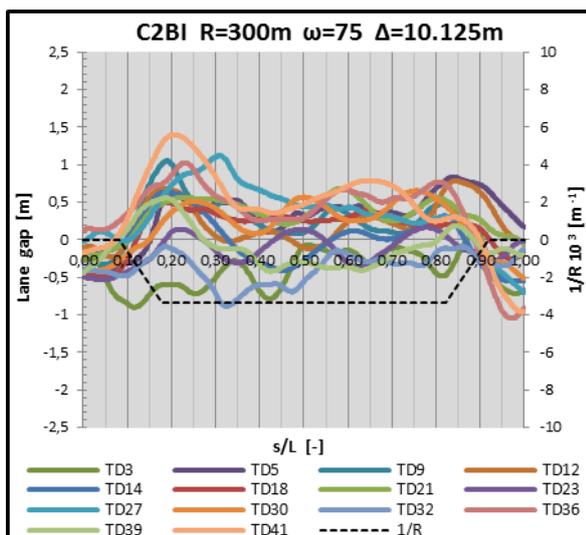
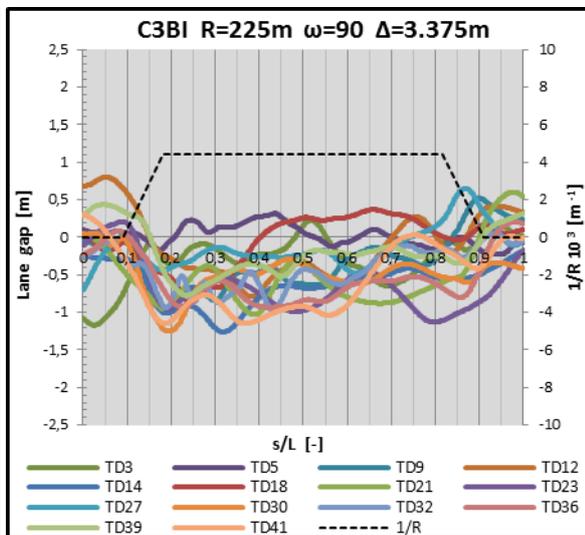
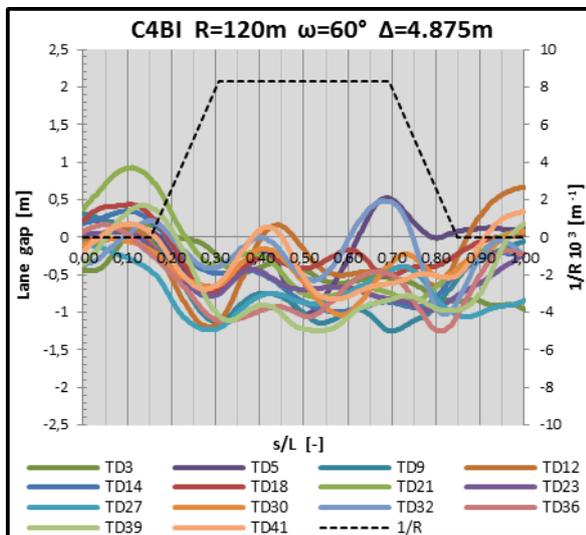
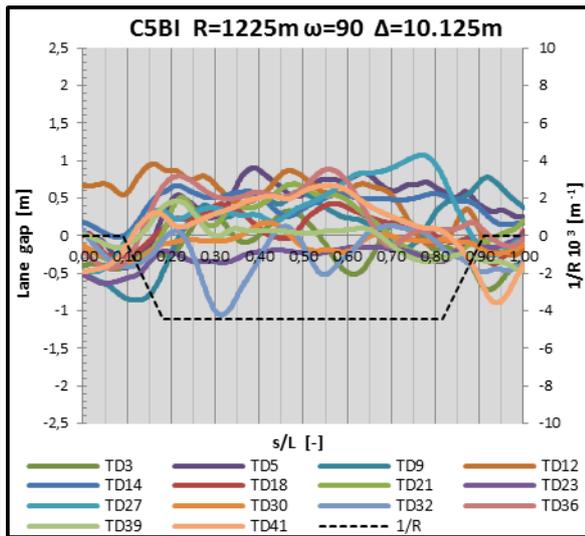
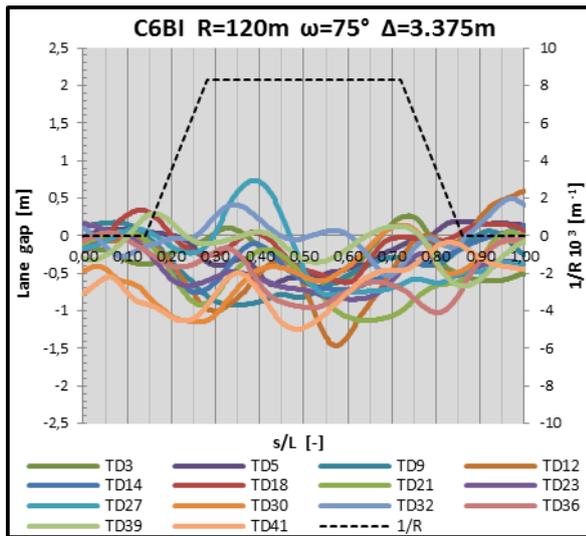




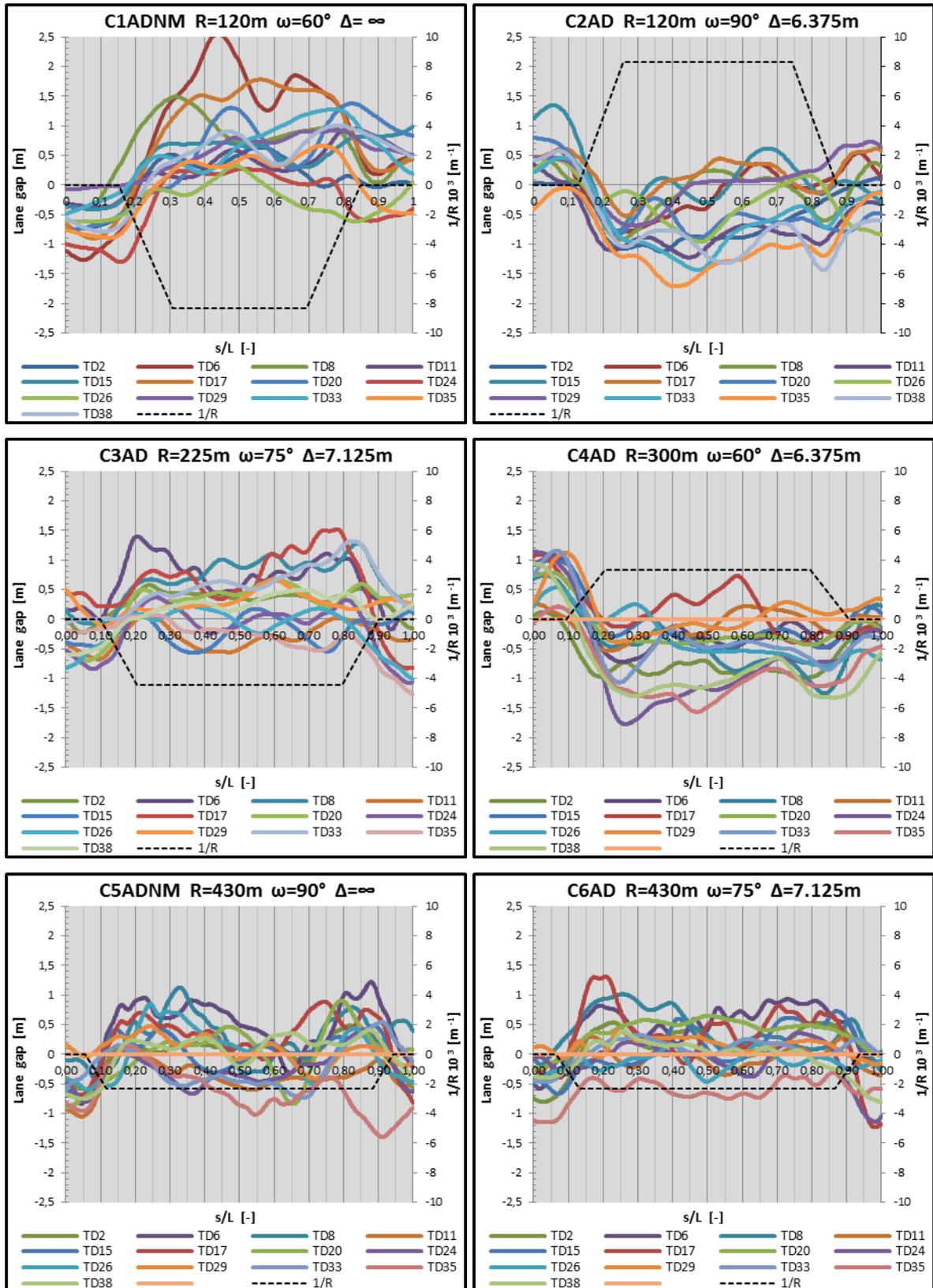
Scenario BI

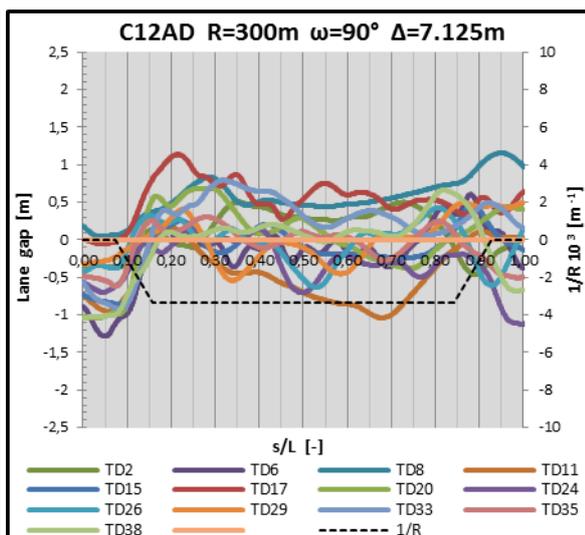
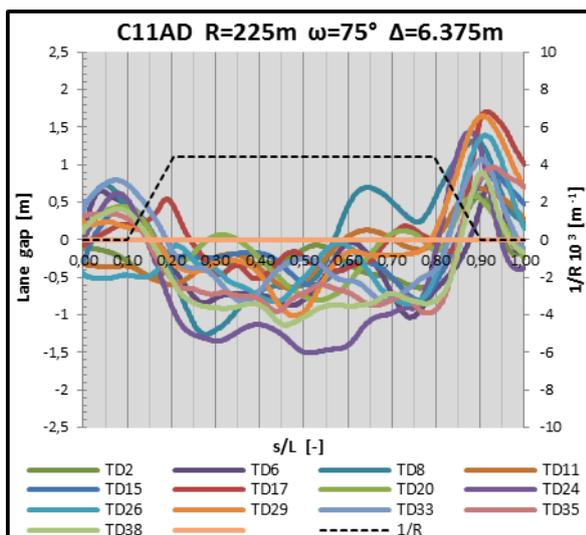
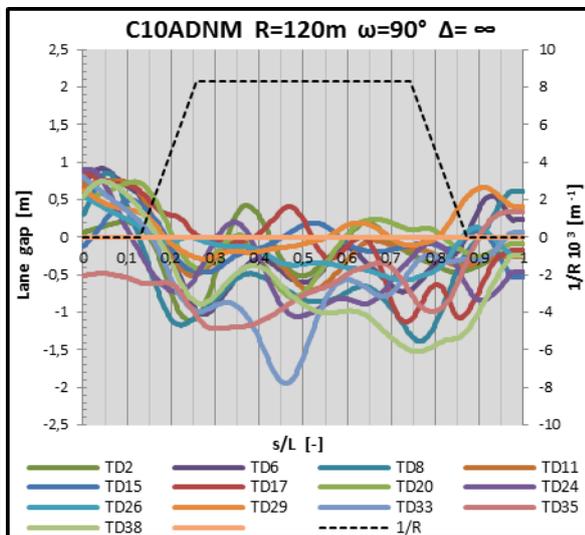
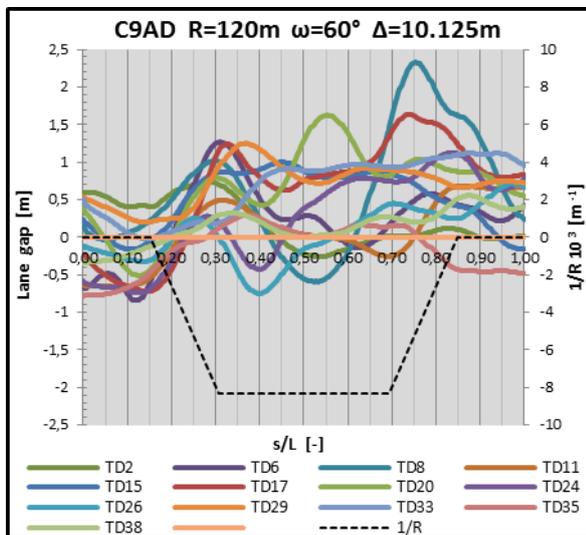
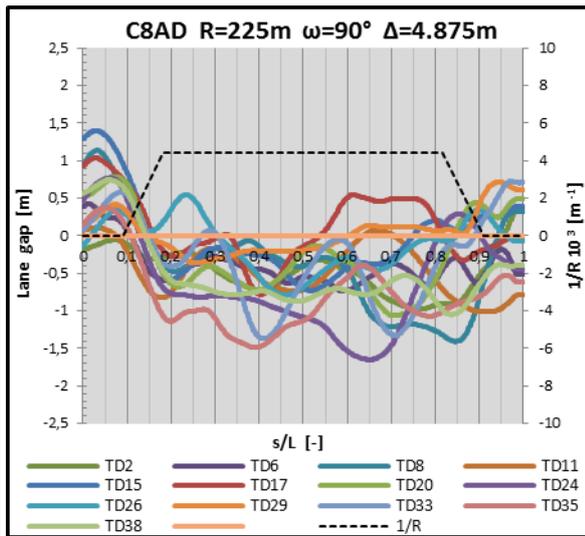
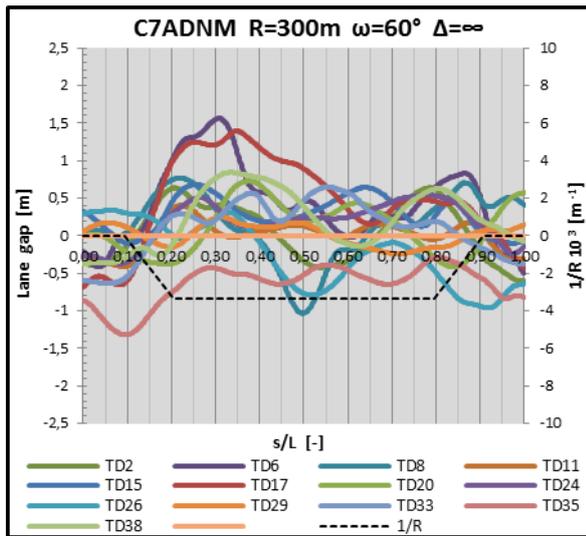


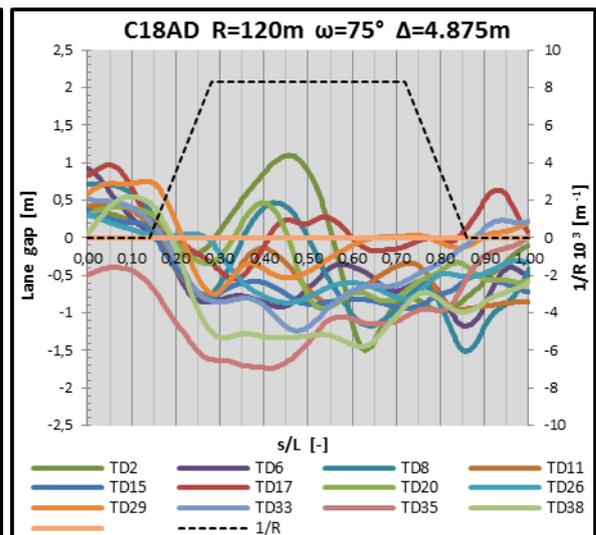
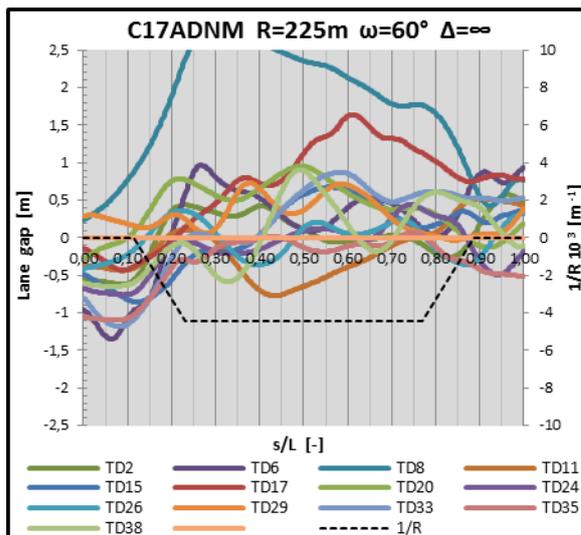
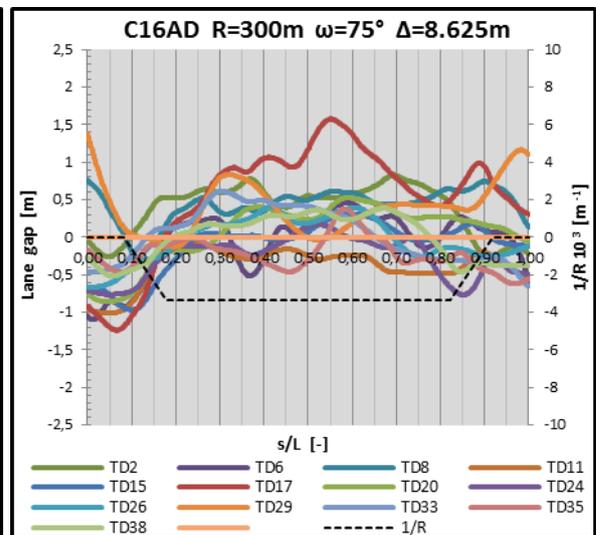
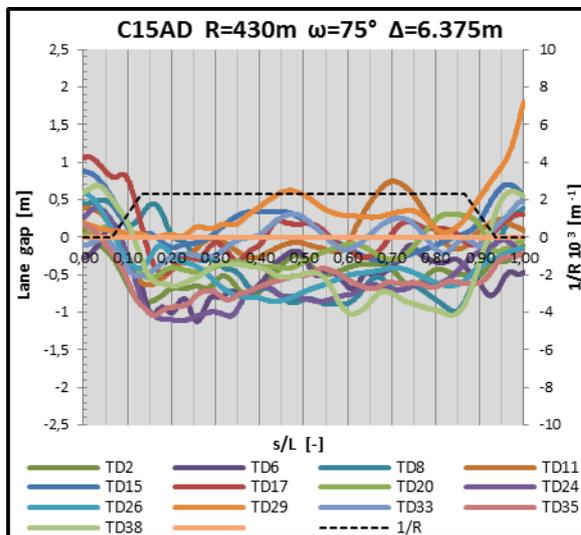
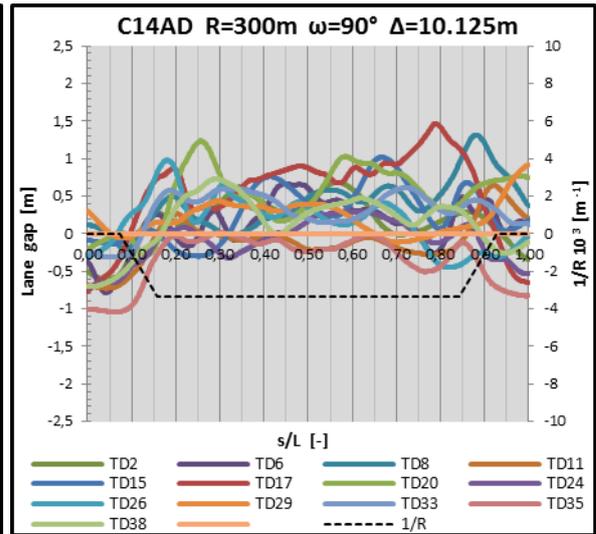
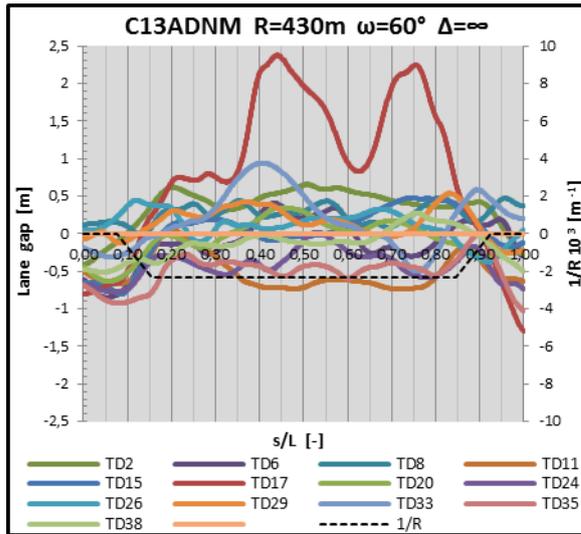




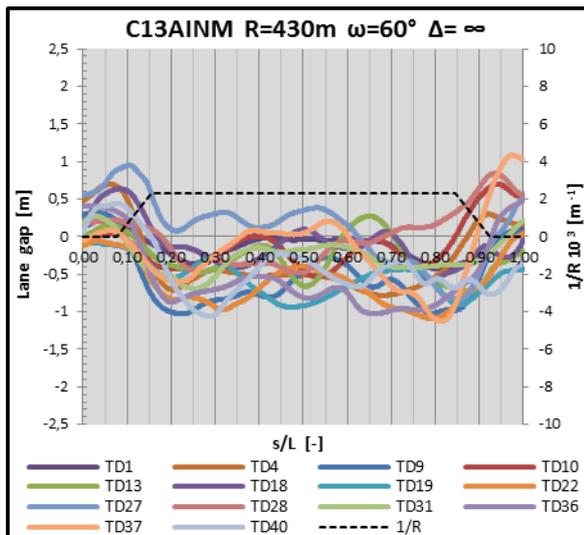
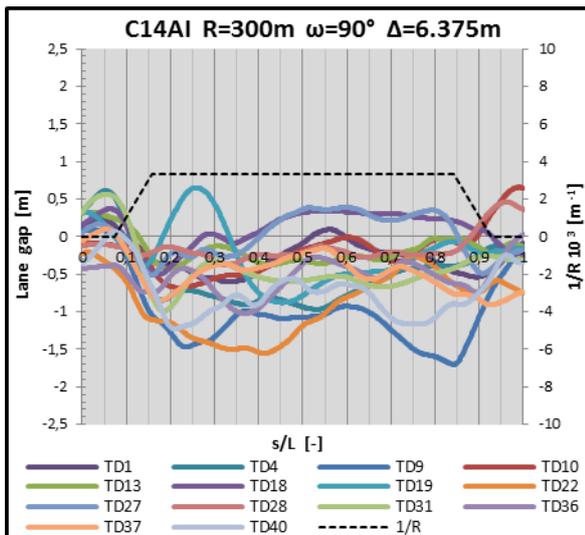
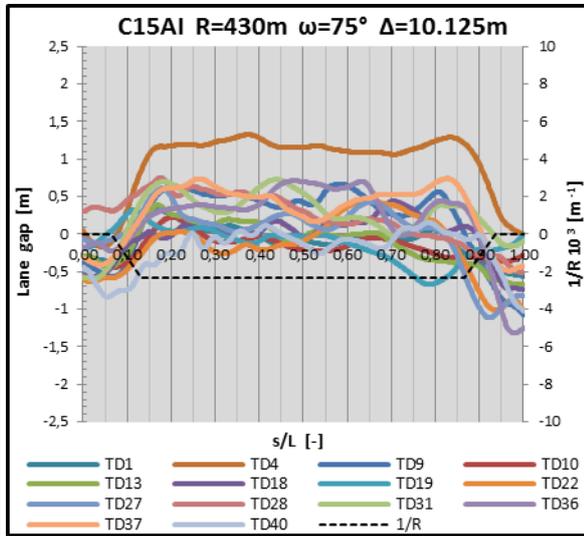
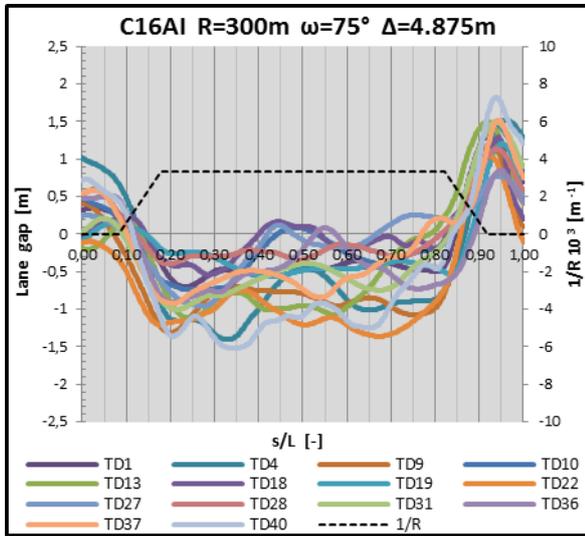
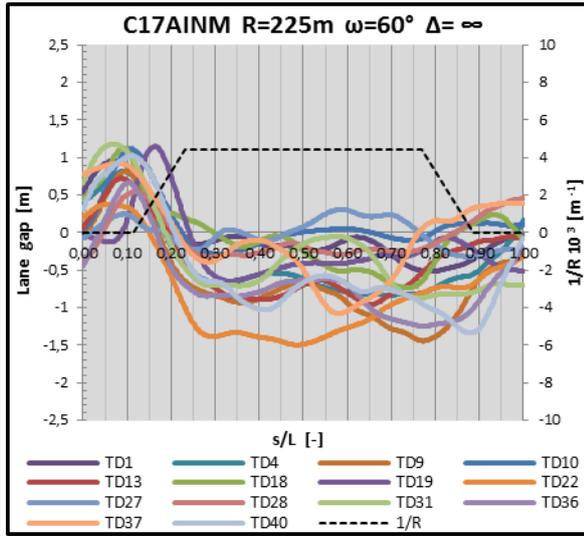
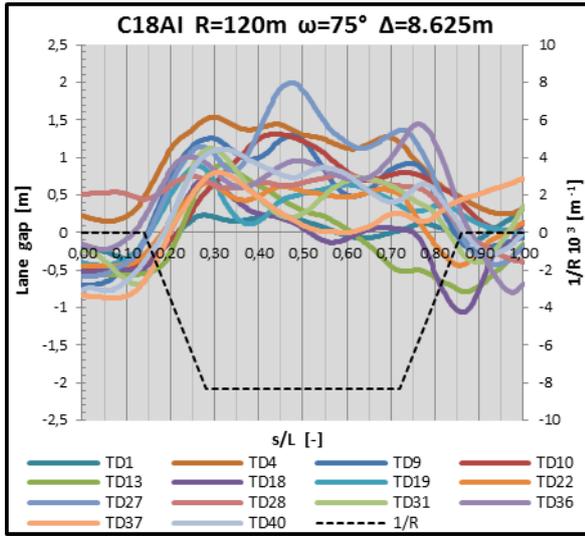
Scenario ADNM

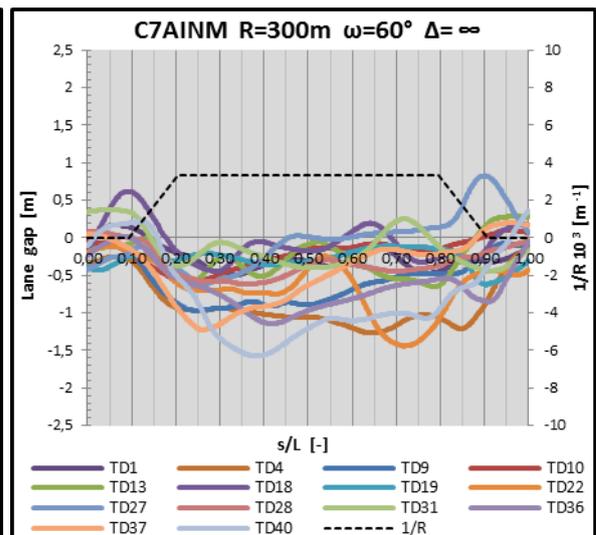
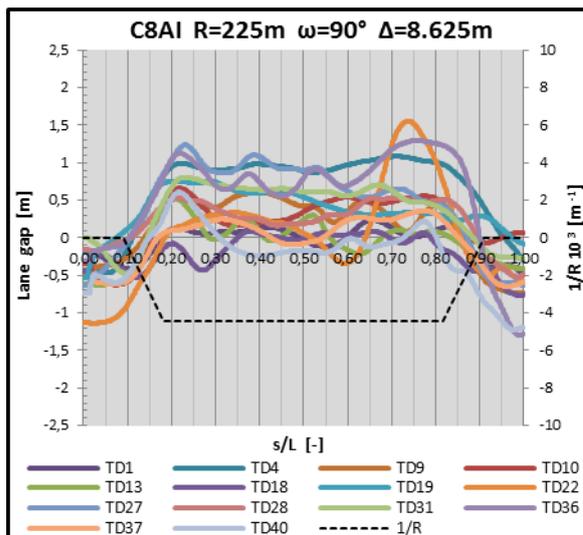
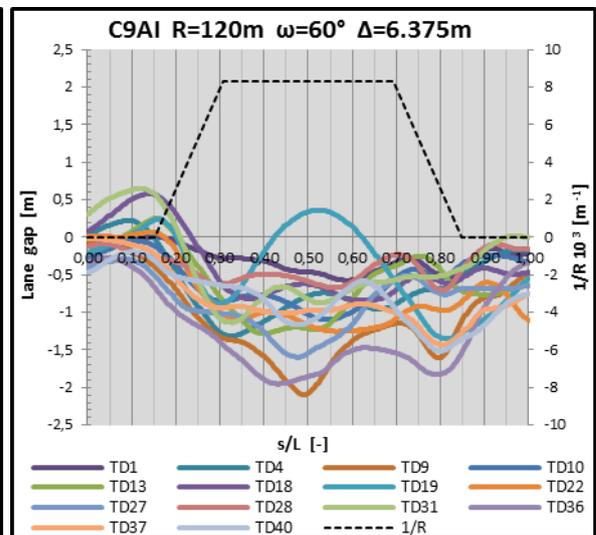
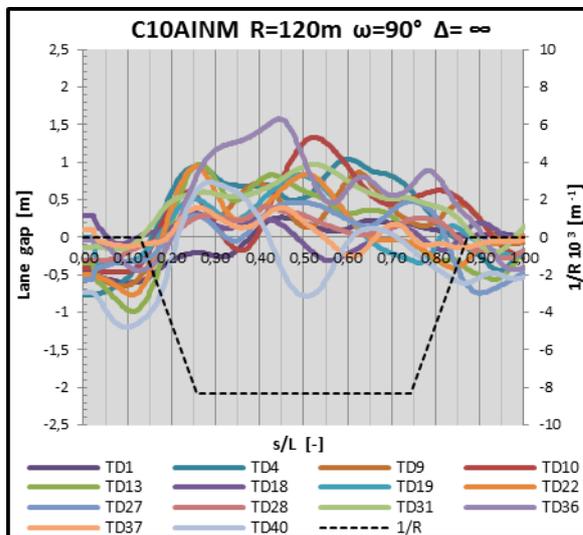
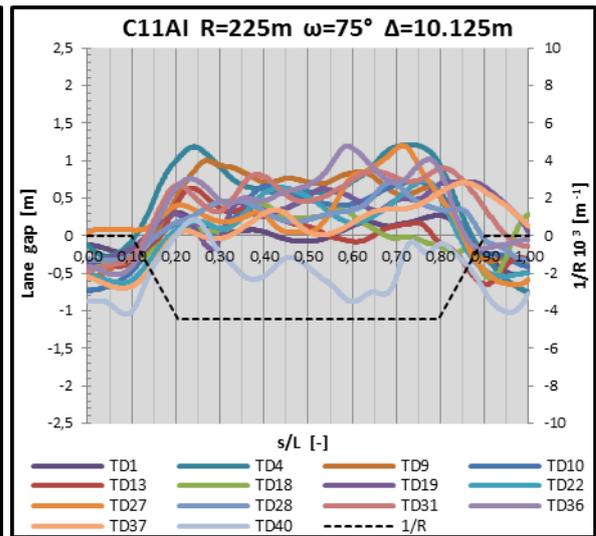
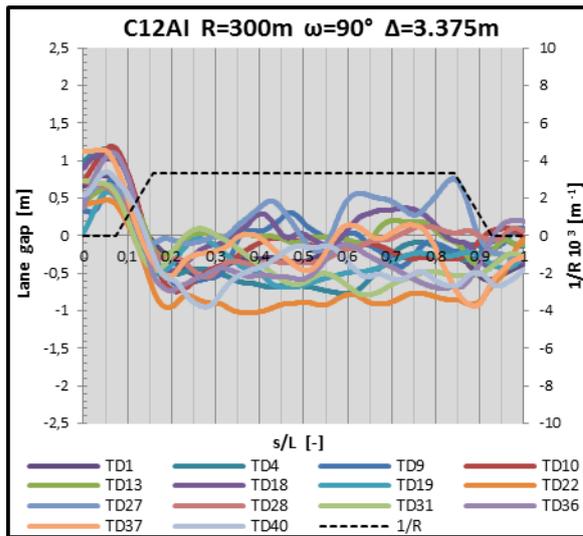


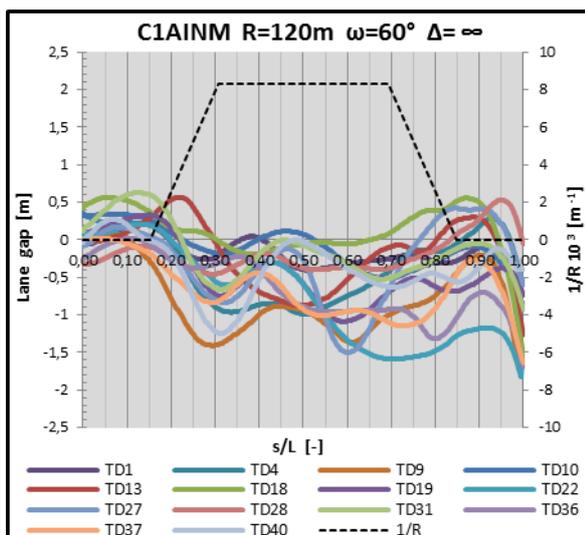
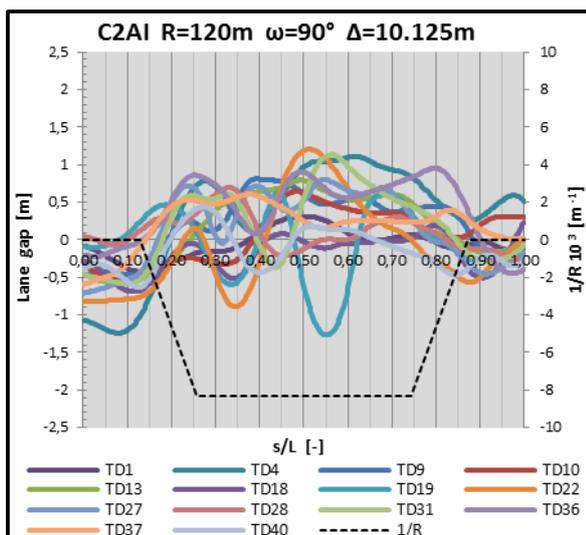
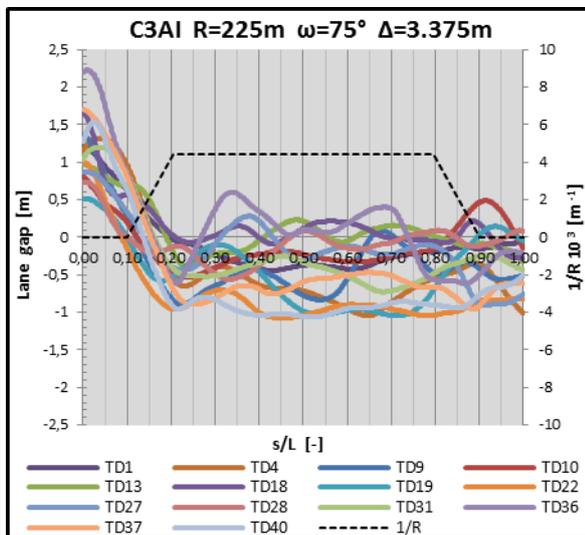
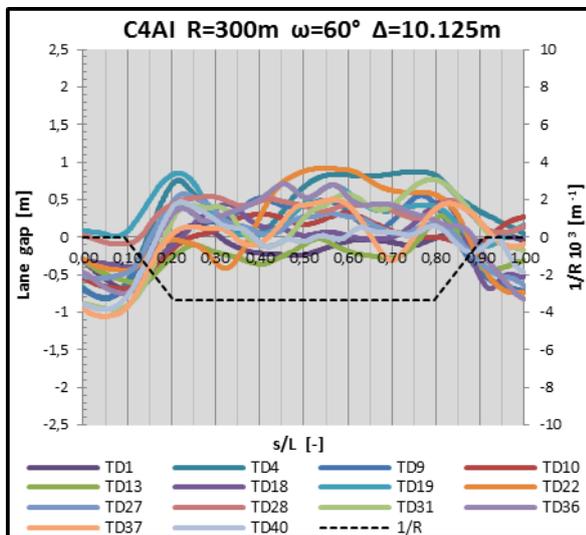
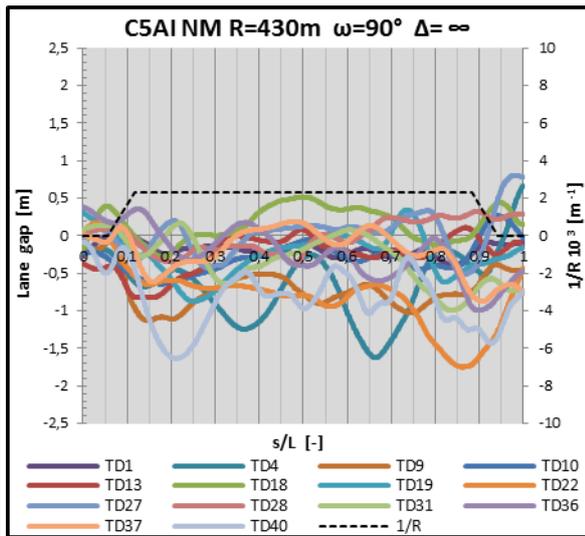
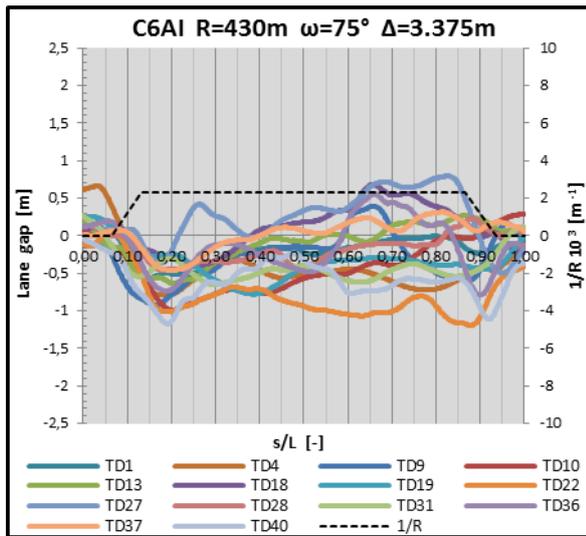




Scenario AINM







Appendice E) Algoritmo per la suddivisione in classi della percentuale di occupazione delle zone componenti la sede stradale

Legenda

- V2** = % occupazione zona ED non classificata
W2 = % occupazione zona CD non classificata
X2 = % occupazione zona C non classificata
Y2 = % occupazione zona CS non classificata
Z2 = % occupazione zona ES non classificata
BZ2 = % occupazione zona ED (classificazione semplice)
CA2 = % occupazione zona CD (classificazione semplice)
CB2 = % occupazione zona C (classificazione semplice)
CC2 = % occupazione zona CS (classificazione semplice)
CD2 = % occupazione zona ES (classificazione semplice)
DU2 = % occupazione zona ED (1° step - output algoritmo I)
% ED = % occupazione zona ED (2° step - output algoritmo II)

Classificazione semplice

```

BZ2=SE(V2<=0;0;SE(V2<=10;10;SE(V2<=20;20;SE(V2<=30;30;SE(V2<=40;40;SE(V2<=50;
50;SE(V2<=60;60;SE(V2<=70;70;SE(V2<=80;80;SE(V2<=90;90;SE(V2<=100;100;0))))))
))))
    
```

Algoritmo (I)

```

DU2=SE(O(V2=0;V2=BZ2;V2=100;W2=100;X2=100;Y2=100;Z2=100);BZ2;SE(BZ2-V2={SE(
E(W2>0;X2=0;Y2>0;Z2>0);MAX(BZ2-V2;CC2-Y2;CD2-Z2);SE(E(W2=0;Y2=0;X2>0;Z2>
0);MAX(BZ2-V2;CD2-Z2;CB2-X2);SE(E(W2=0;Y2=0;X2>0;Z2>0);MAX(BZ2-V2;CB2-
X2;CC2-Y2);SE(E(X2=0;Y2=0;W2>0;Z2>0);MAX(BZ2-V2;CA2-W2;CD2-Z2);SE(E(X2=0;
Z2=0;W2>0;Y2>0);MAX(BZ2-V2;CA2-W2;CC2-Y2);SE(E(Y2=0;Z2=0;W2>0;X2>0);
MAX(BZ2-V2;CB2-X2;CA2-W2);SE(E(W2=0;X2>0;Y2>0;Z2>0);MAX(BZ2-V2;CB2-X2;
CC2-Y2;CD2-Z2);SE(E(X2=0;W2>0;Y2>0;Z2>0);MAX(BZ2-V2;CA2-W2;CC2-Y2;CD2-
Z2);SE(E(Y2=0;W2>0;X2>0;Z2>0);MAX(BZ2-V2;CA2-W2;CC2-Y2);SE(E(Z2=0;
W2>0;X2>0;Y2>0);MAX(BZ2-V2;CA2-W2;CC2-Y2);MAX(BZ2-V2;CA2-W2;
CB2-X2;CC2-Y2;CD2-Z2))))));BZ2-10;SE(SOMMA(BZ2-CD2)=120;SE(O(E(W2=0;
X2=0;O(BZ2-V2>CC2-Y2;BZ2-V2>CD2-Z2));E(W2=0;Y2=0;O(BZ2-V2>CA2-W2;BZ2-
V2>CD2-Z2));E(W2=0;Z2=0;O(BZ2-V2>CB2-X2;BZ2-V2>CC2-Y2));E(X2=0;Y2=0;O(
BZ2-V2>CA2-W2;BZ2-V2>CD2-Z2));E(X2=0;Z2=0;O(BZ2-V2>CB2-X2;BZ2-V2>CC2-
Y2));E(Y2=0;Z2=0;O(BZ2-V2>CA2-W2;BZ2-V2>CD2-Z2));E(W2=0;Y2>0;Z2>0;
O(E(BZ2-V2>CB2-X2;BZ2-V2>CC2-Y2);E(BZ2-V2>CB2-X2;BZ2-V2>CD2-Z2);E(BZ2-
V2>CC2-Y2;BZ2-V2>CD2-Z2));E(X2=0;W2>0;Y2>0;Z2>0;O(E(BZ2-V2>CA2-W2;BZ2-
V2>CC2-Y2);E(BZ2-V2>CA2-W2;BZ2-V2>CD2-Z2);E(BZ2-V2>CB2-X2;BZ2-V2>CC2-
Z2));BZ2-10;BZ2));
    
```

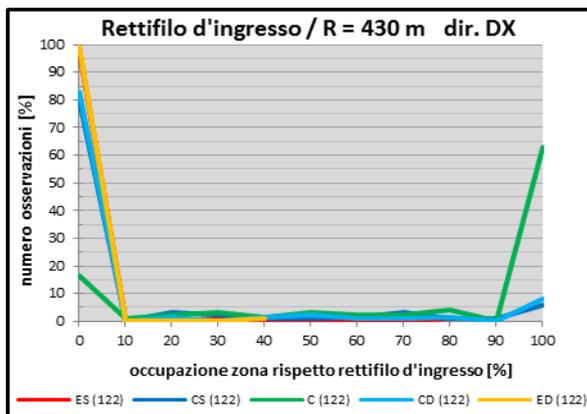
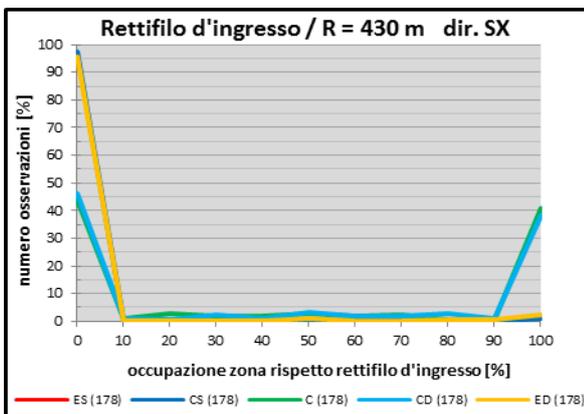
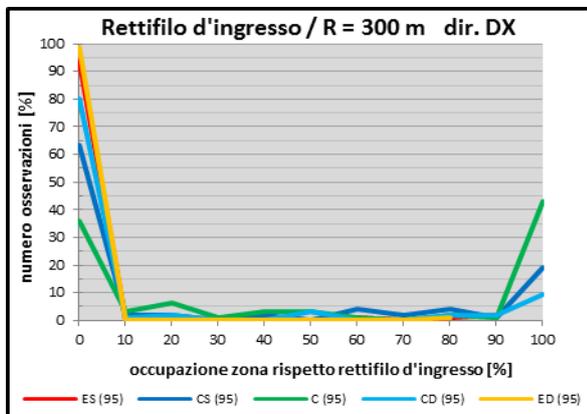
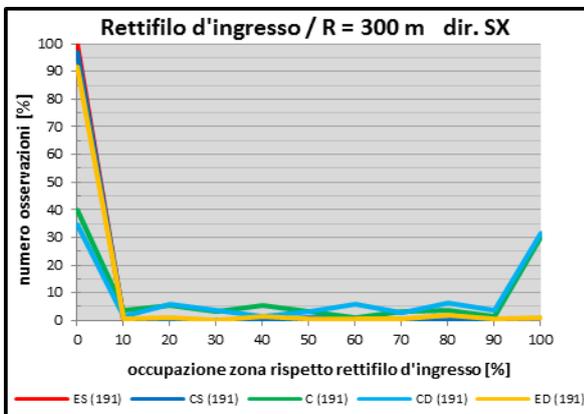
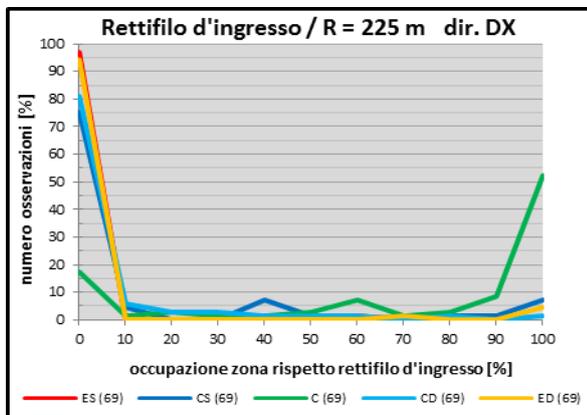
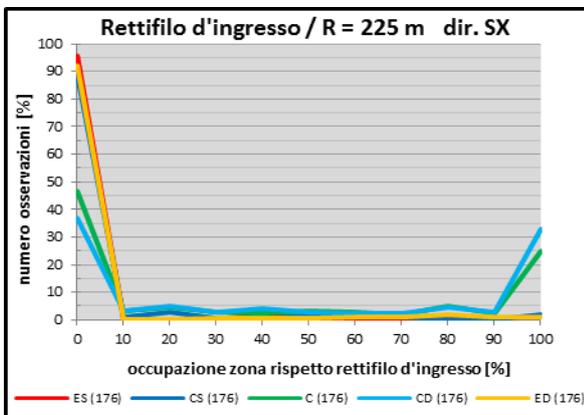
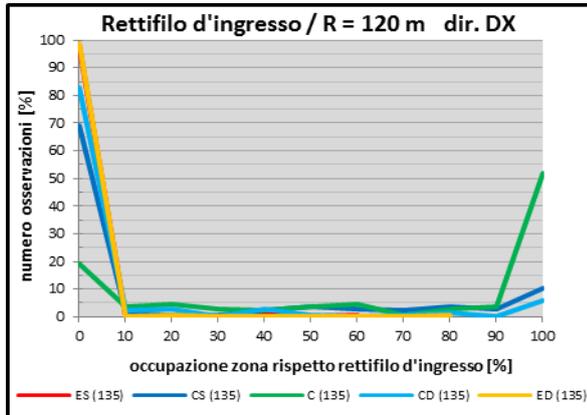
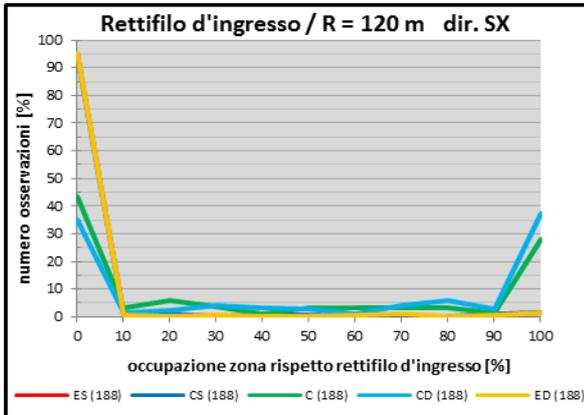
Algoritmo (II)

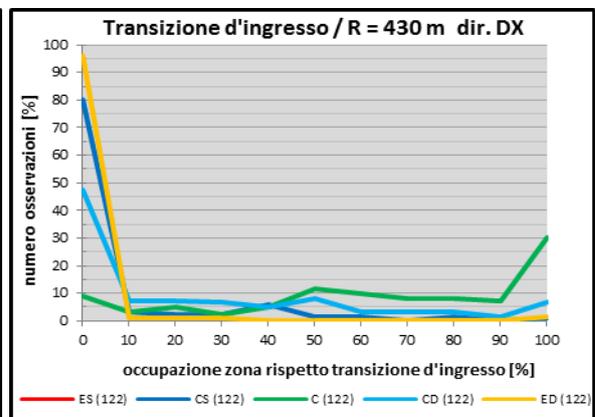
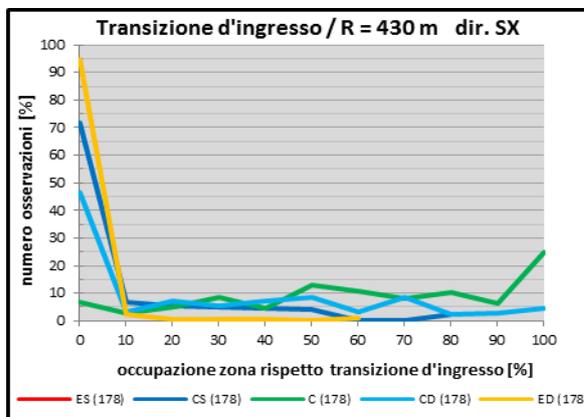
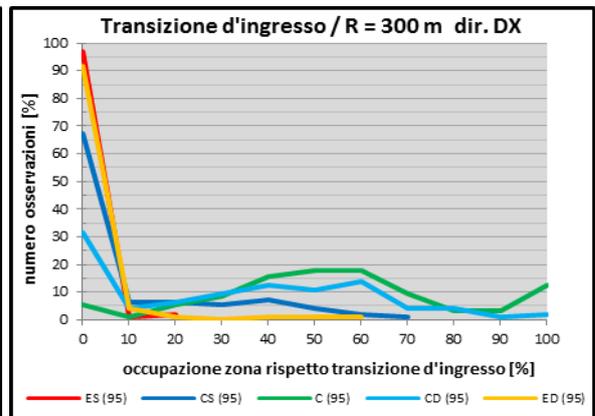
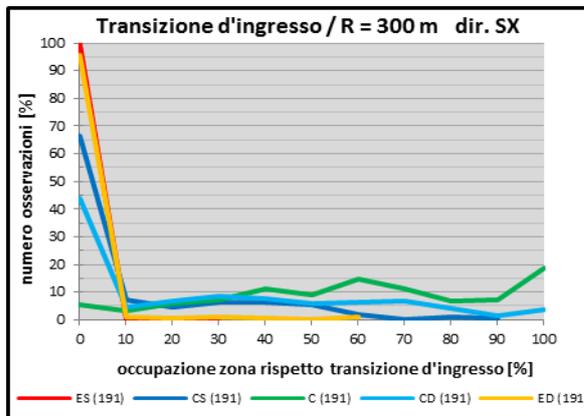
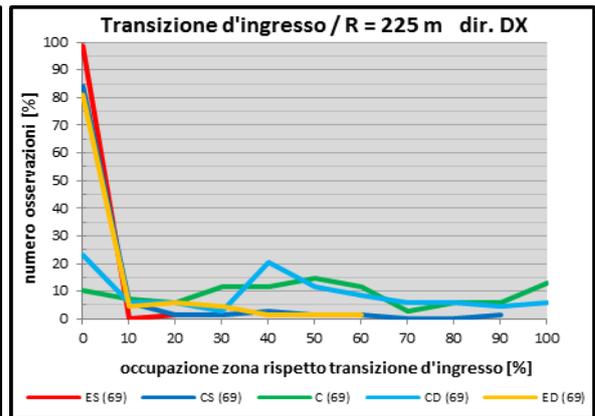
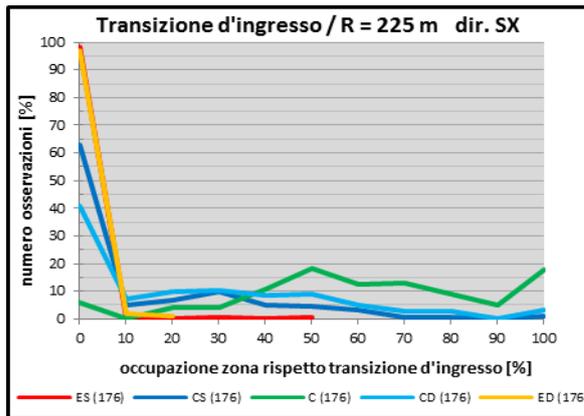
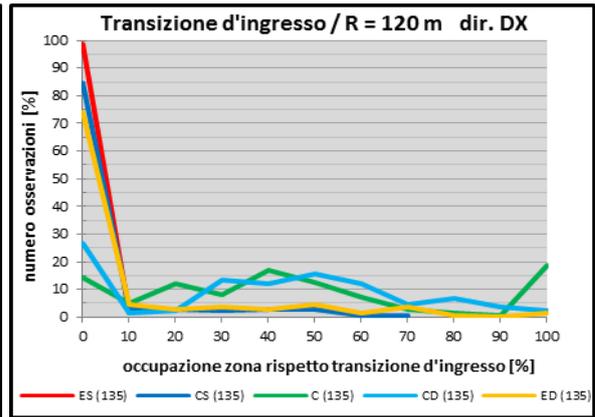
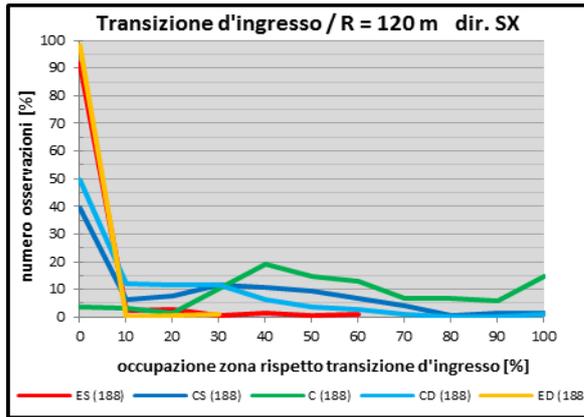
```

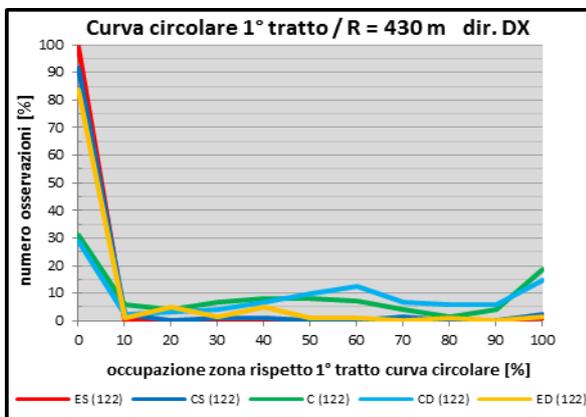
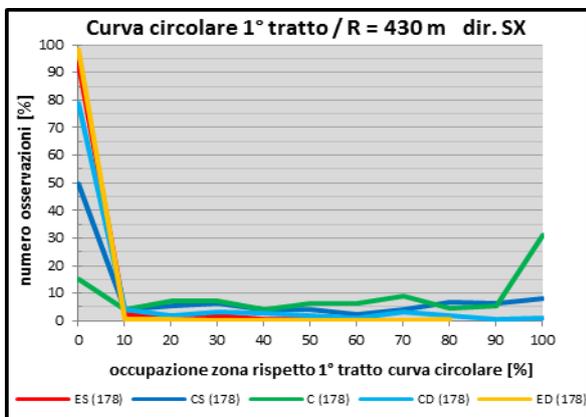
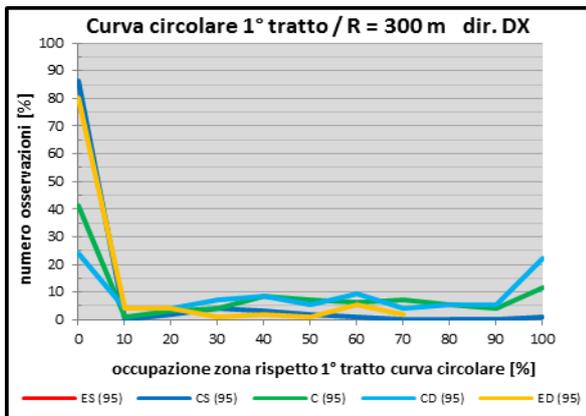
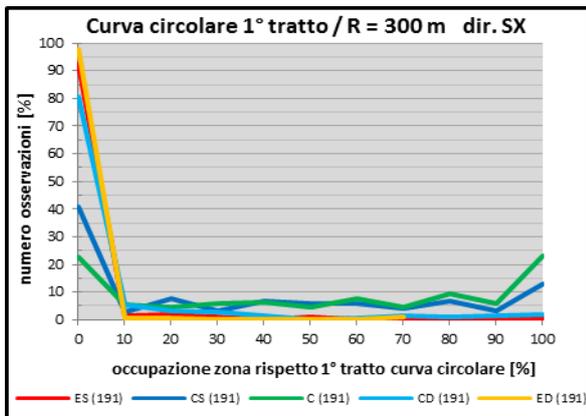
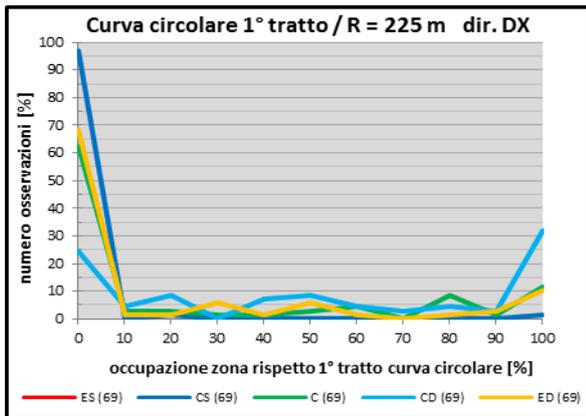
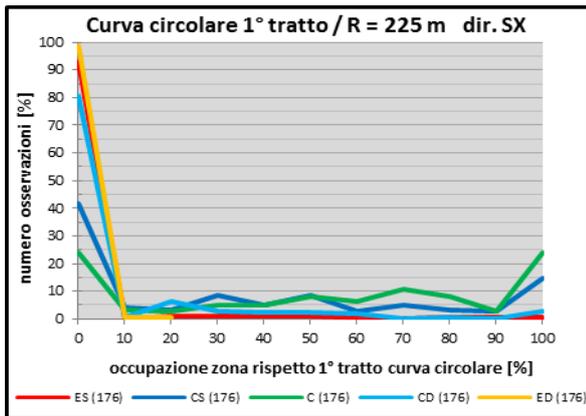
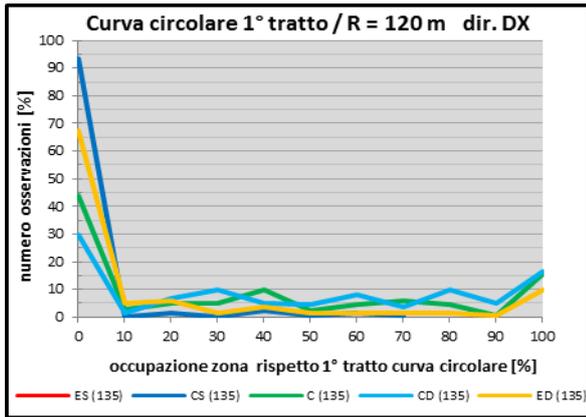
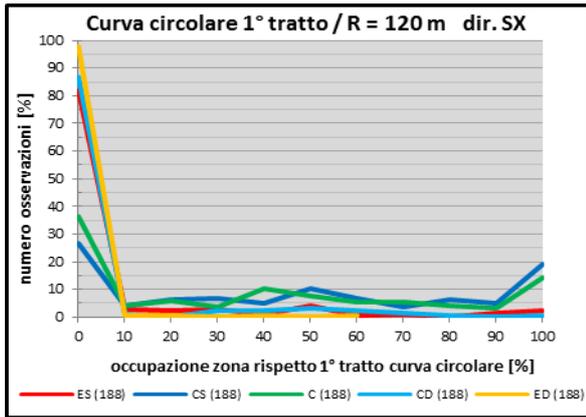
% ED=SE(O(SOMMA(BZ2-CD2)=100;SOMMA(BZ2-CD2)=110;V2=0;DU2=BZ2-10;
E(SOMMA(BZ2-CD2)=120;O(E(W2=0;X2=0);E(W2=0;Y2=0);E(W2=0;Z2=0);E(X2=0;
Y2=0);E(X2=0;Z2=0);E(Y2=0;Z2=0)))));DU2;SE(O(E(Y2=0;W2>0;X2>0;Z2>0;O(E(BZ2-
V2>CA2-W2;BZ2-V2>CB2-X2);E(BZ2-V2>CA2-W2;BZ2-V2>CD2-Z2);E(BZ2-V2>CB2-
X2;BZ2-V2>CD2-Z2));E(Z2=0;W2>0;X2>0;Y2>0;O(E(BZ2-V2>CA2-W2;BZ2-V2>CB2-
X2);E(BZ2-V2>CA2-W2;BZ2-V2>CC2-Y2);E(BZ2-V2>CB2-X2;BZ2-V2>CC2-Y2));E(
W2>0;X2>0;Y2>0;Z2>0;O(E(BZ2-V2>CA2-W2;BZ2-V2>CB2-X2;BZ2-V2>CC2-Y2);E(
BZ2-V2>CA2-W2;BZ2-V2>CB2-X2;BZ2-V2>CD2-Z2));E(BZ2-V2>CA2-W2;BZ2-V2>
CC2-Y2;BZ2-V2>CD2-Z2);E(BZ2-V2>CB2-X2;BZ2-V2>CC2-Y2;BZ2-V2>CD2-Z2)))));
DU2-10;SE(O(E(W2=0;X2>0;Y2>0;Z2>0);E(W2>0;X2=0;Y2>0;Z2>0);E(W2>0;X2>0;
Y2=0;Z2>0);E(W2>0;X2=0;Y2>0;Z2=0);E(W2>0;X2>0;Y2>0;Z2=0));SE(BZ2-V2={SE(
W2=0;MIN(BZ2-V2;CB2-X2;CC2-Y2;CD2-Z2);SE(X2=0;MIN(BZ2-V2;CA2-W2;CC2-
Y2;CD2-Z2);SE(Y2=0;MIN(BZ2-V2;CA2-W2;CB2-X2;CD2-Z2);SE(Z2=0;MIN(BZ2-V2;
CA2-W2;CB2-X2;CC2-Y2);MIN(BZ2-V2;CA2-W2;CB2-X2;CC2-Y2;CD2-Z2)))));DU2;
SE(E(SOMMA(BZ2-CD2)=130;W2>0;X2>0;Y2>0;Z2>0;O(E(BZ2-V2>CA2-W2;BZ2-V2<
CB2-X2;BZ2-V2<CC2-Y2);E(BZ2-V2<CA2-W2;BZ2-V2<CB2-X2;BZ2-V2<CD2-Z2);E(
BZ2-V2<CA2-W2;BZ2-V2<CC2-Y2;BZ2-V2<CD2-Z2));E(BZ2-V2<CB2-X2;BZ2-V2<CC2-
Y2;BZ2-V2<CD2-Z2));DU2;SE(SOMMA(BZ2-CD2)=120;DU2;DU2-10))))
    
```

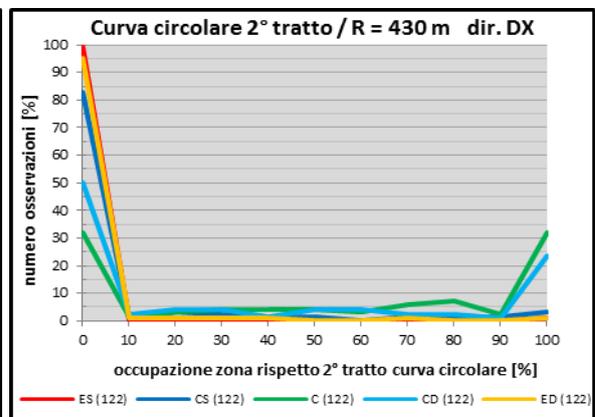
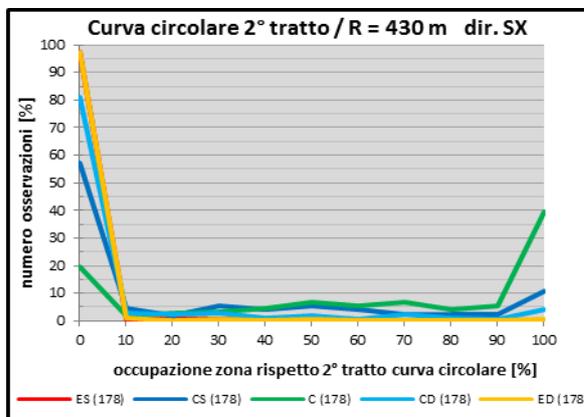
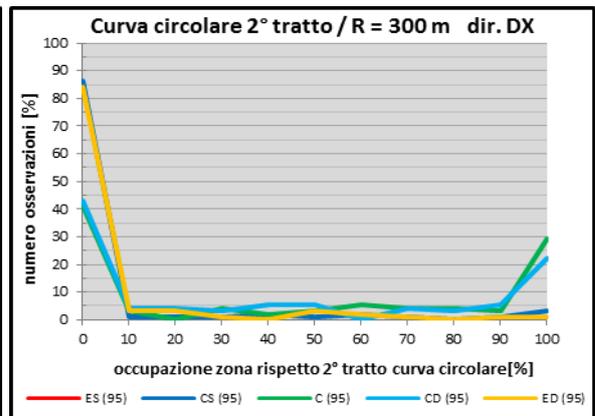
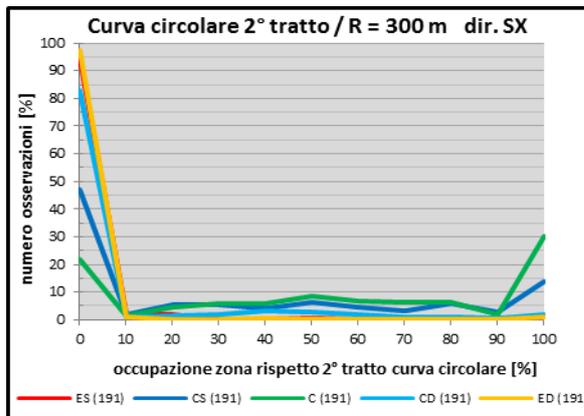
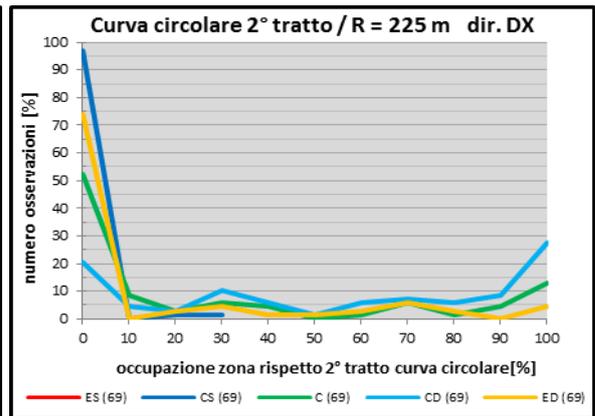
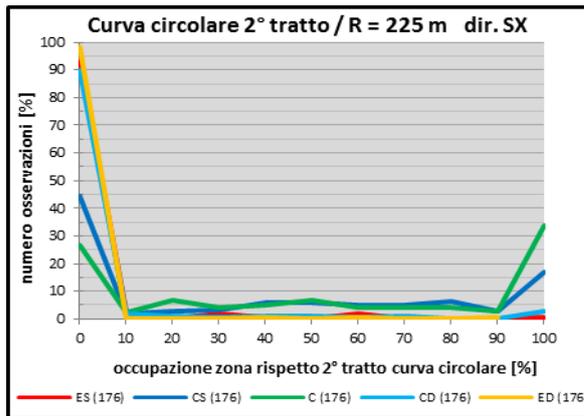
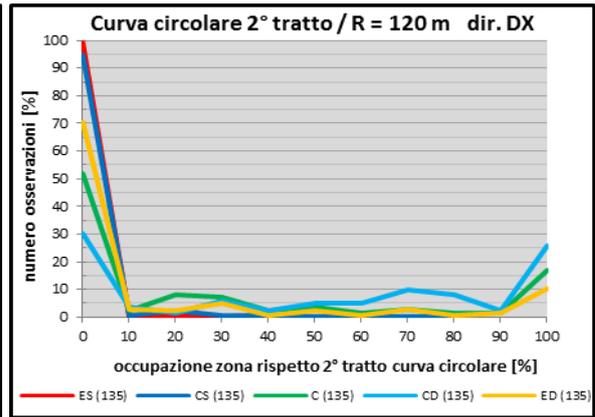
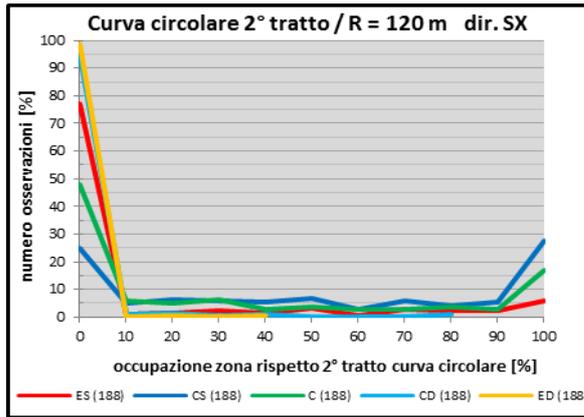
Appendice F) Comportamento valutato sui singoli elementi

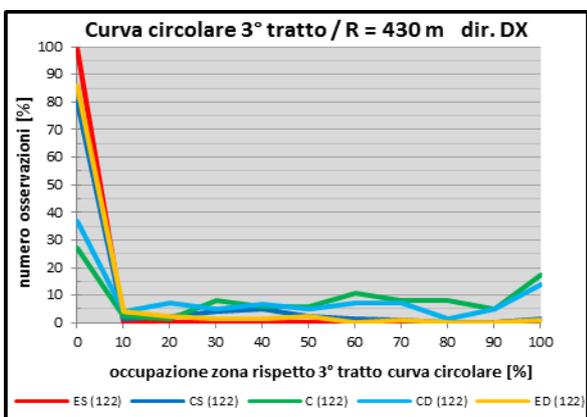
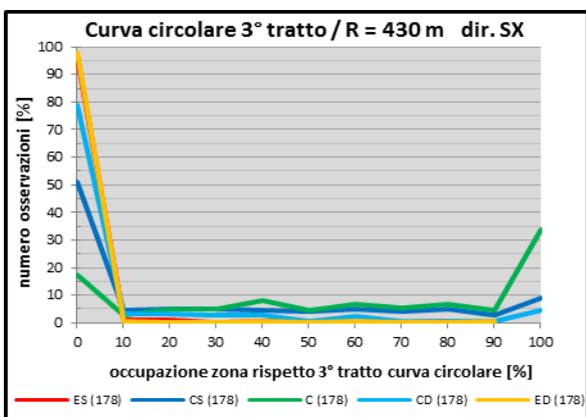
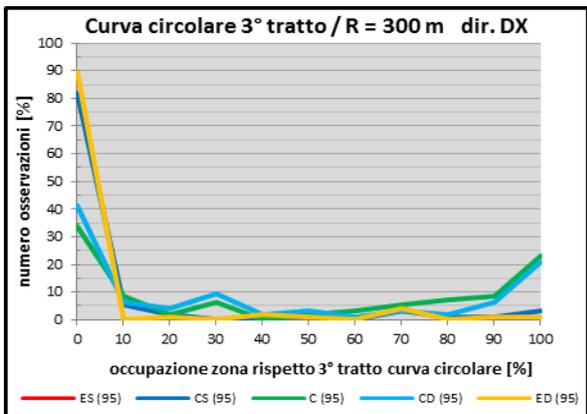
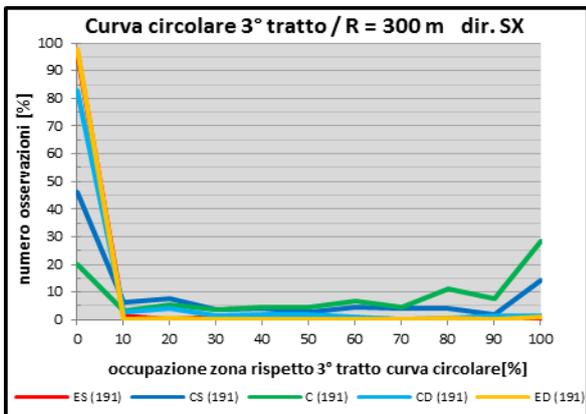
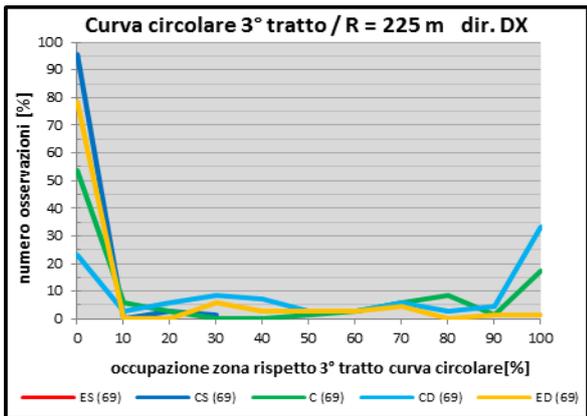
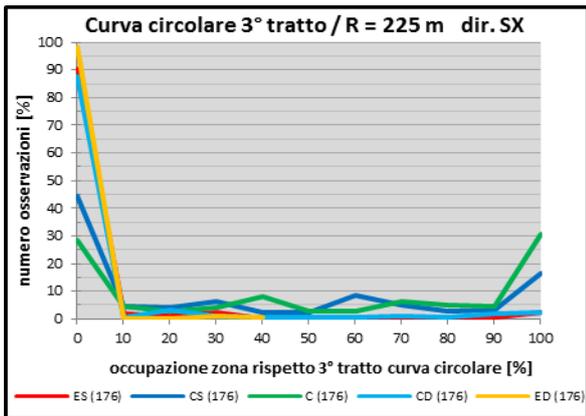
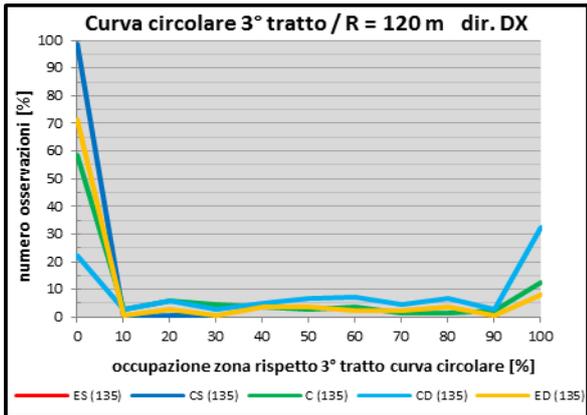
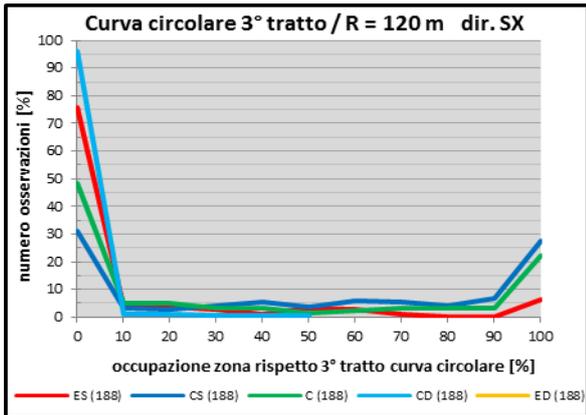
Influenza del raggio di curvatura R

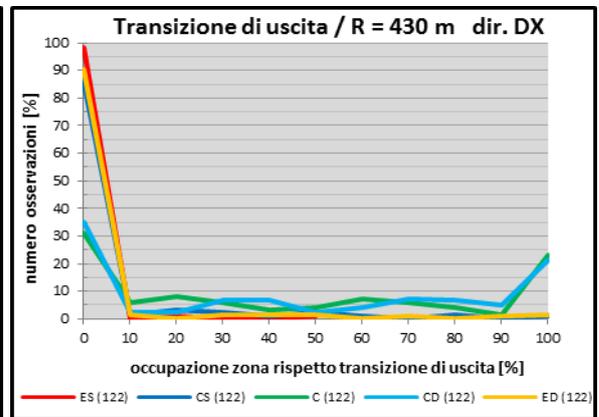
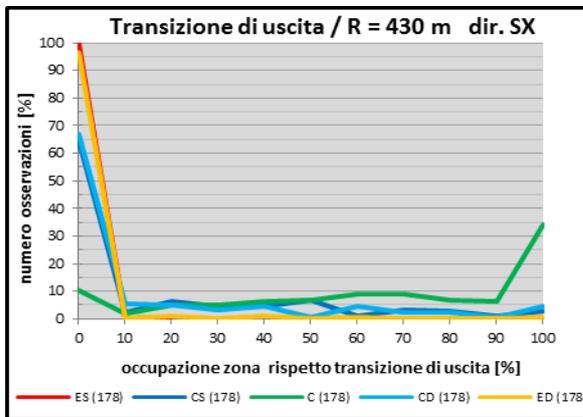
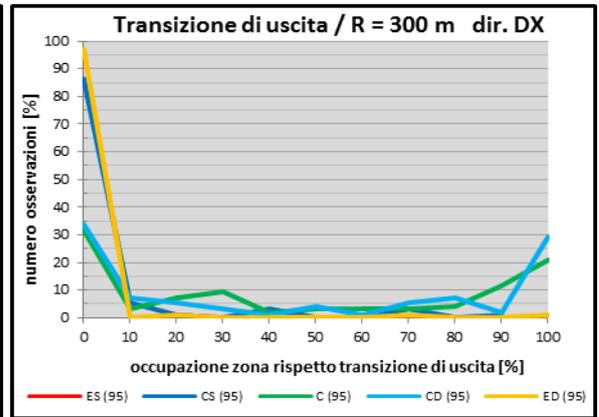
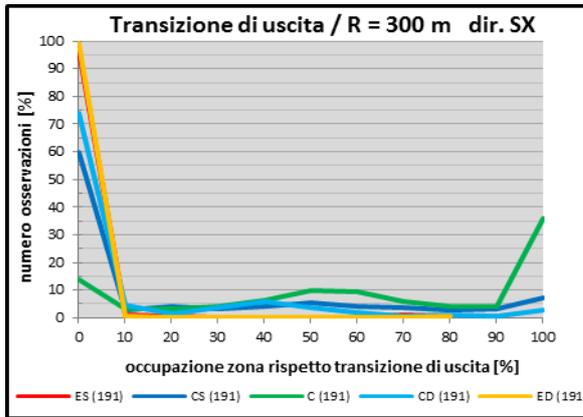
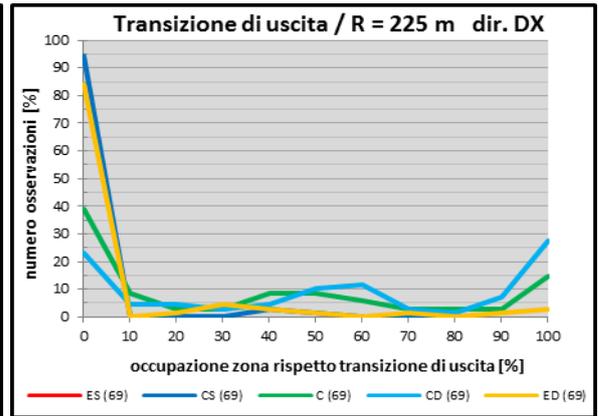
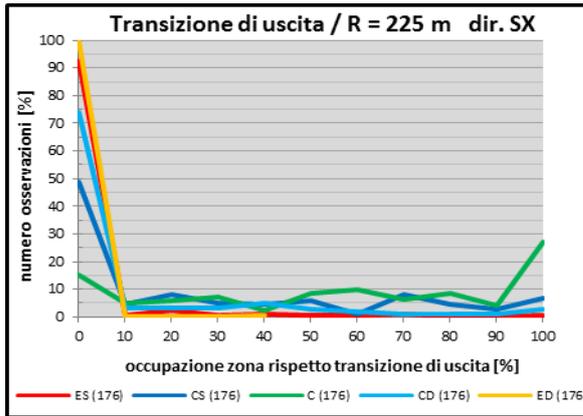
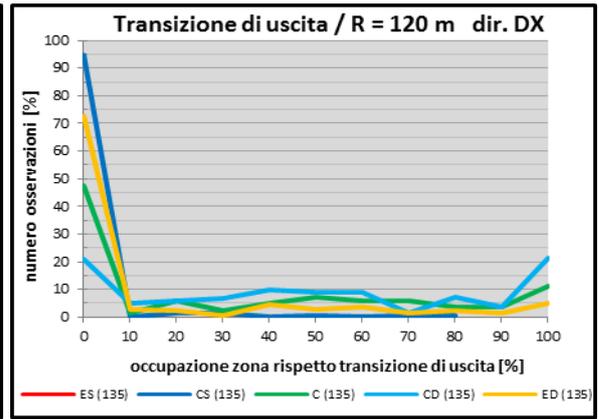
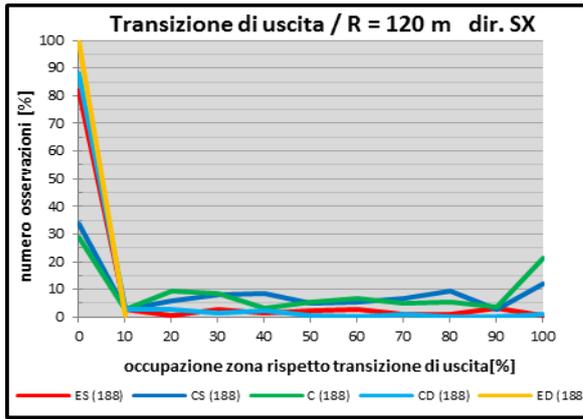


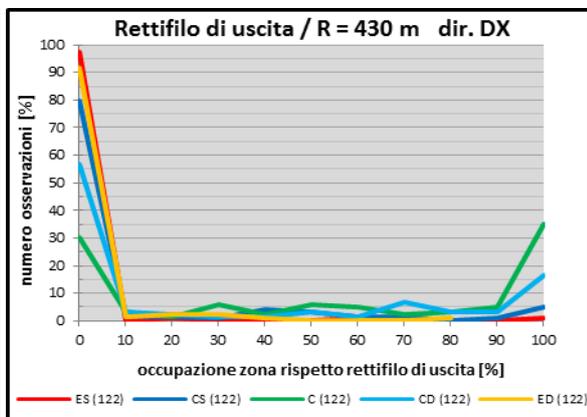
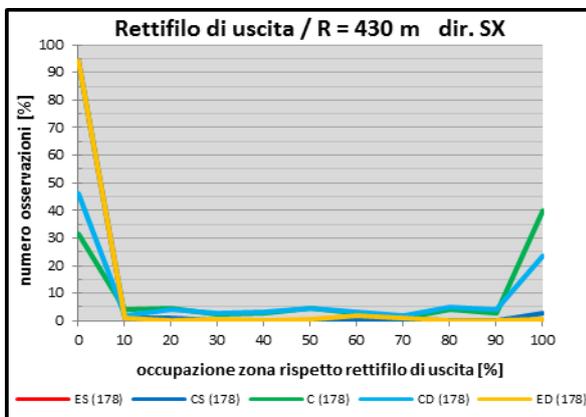
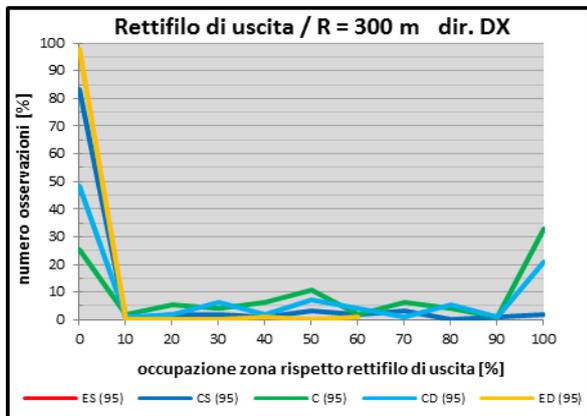
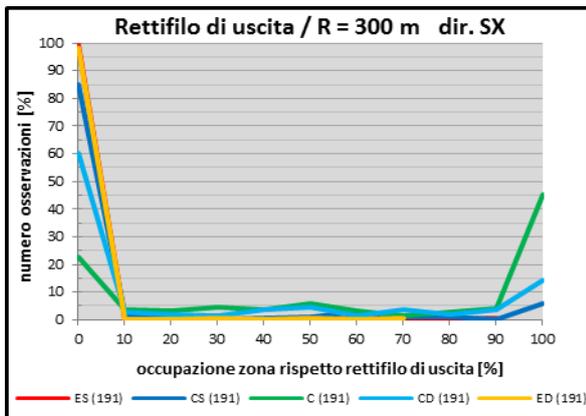
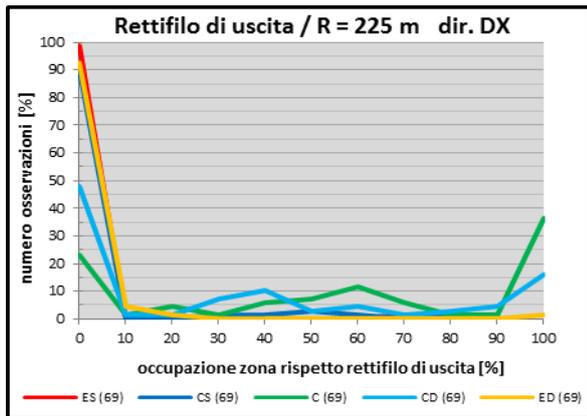
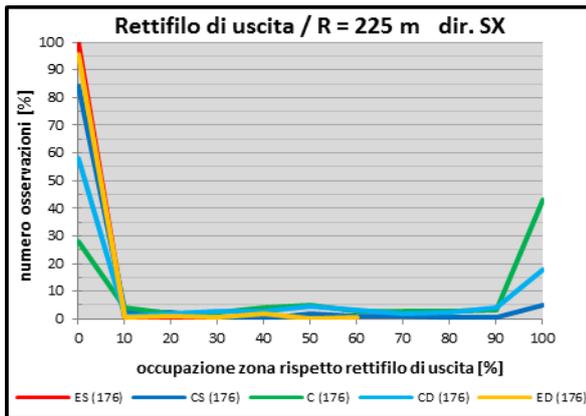
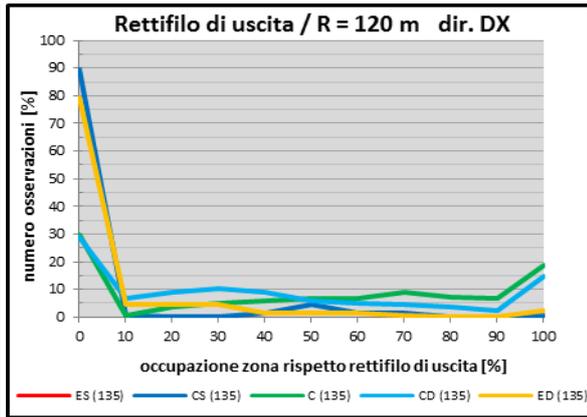
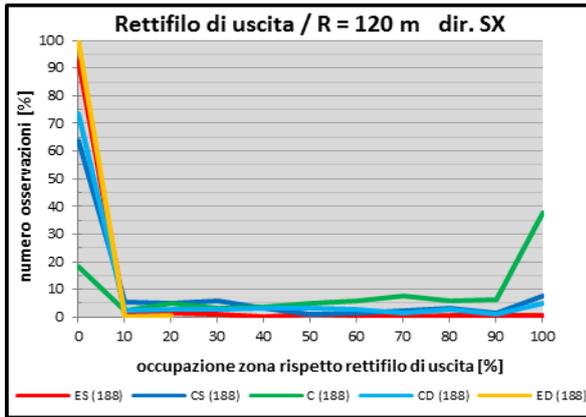




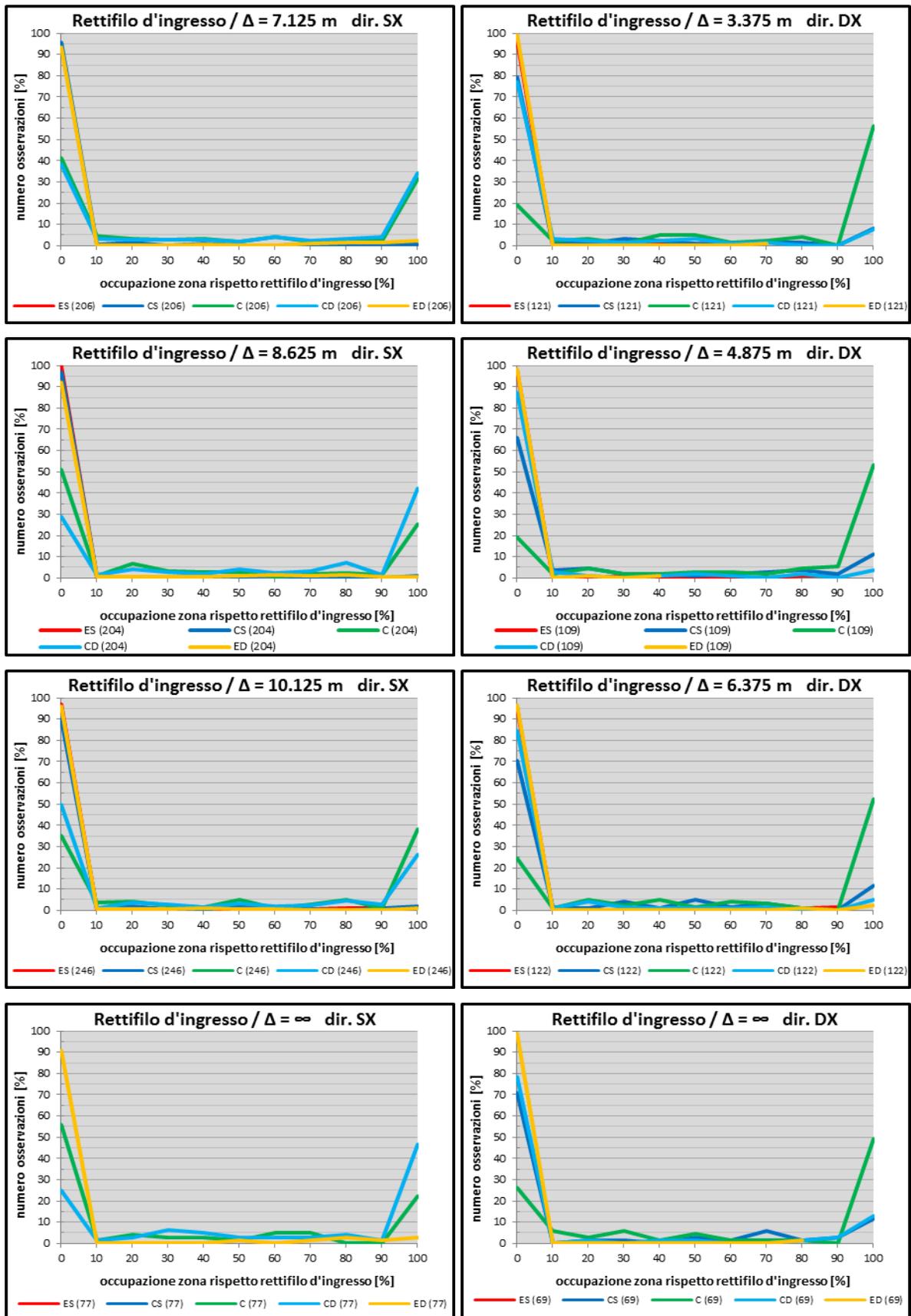


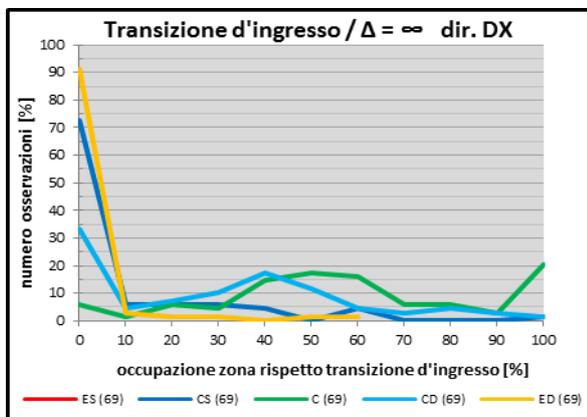
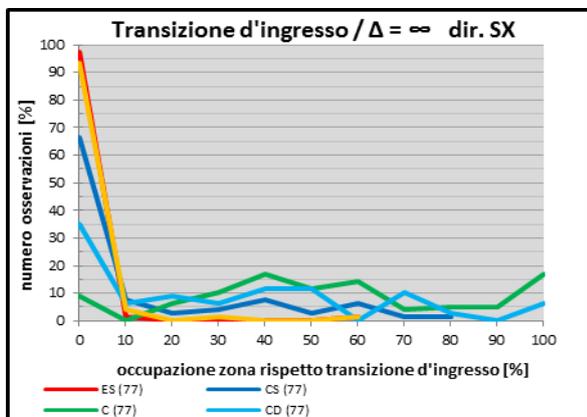
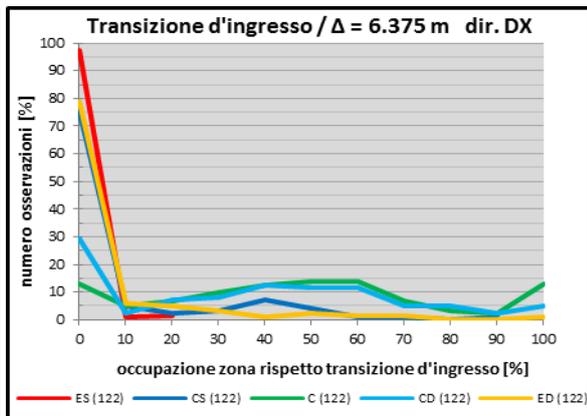
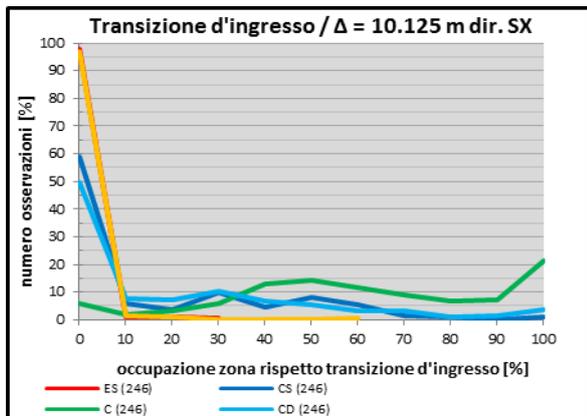
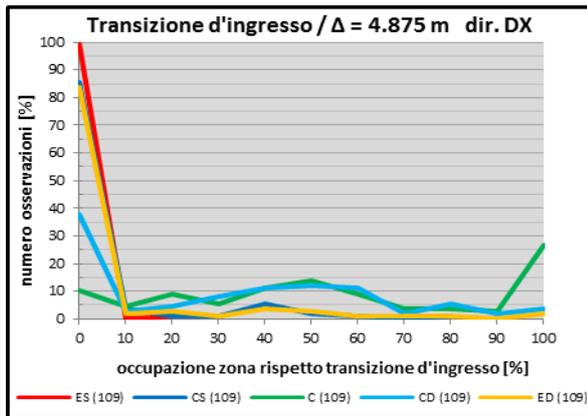
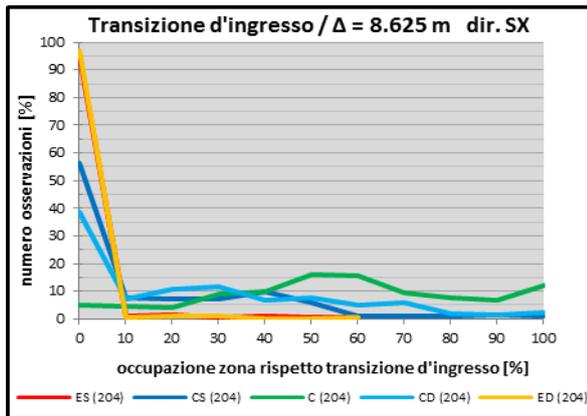
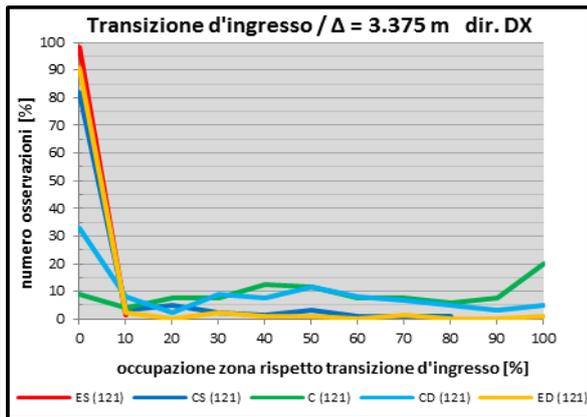
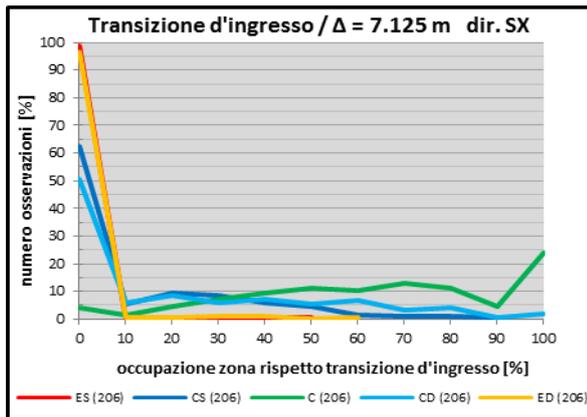


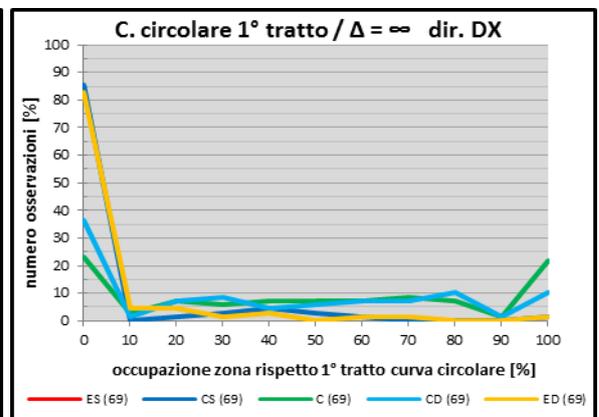
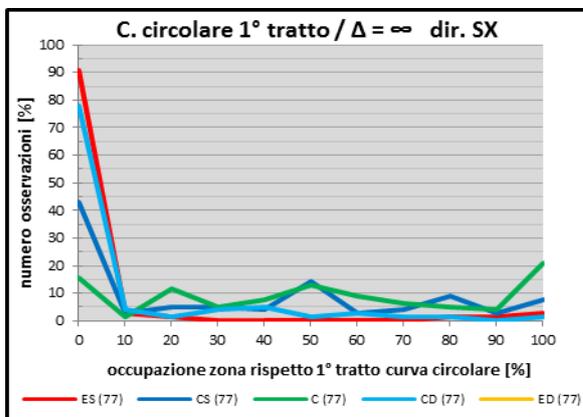
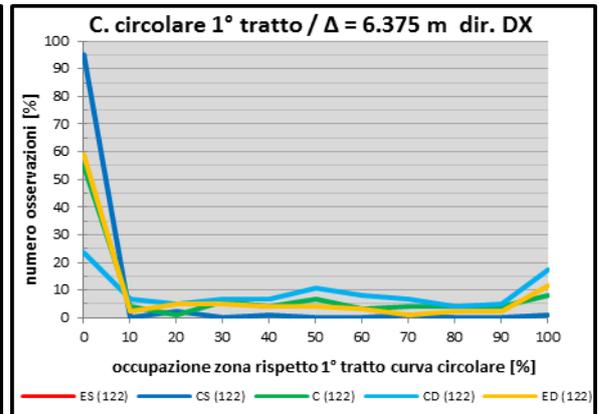
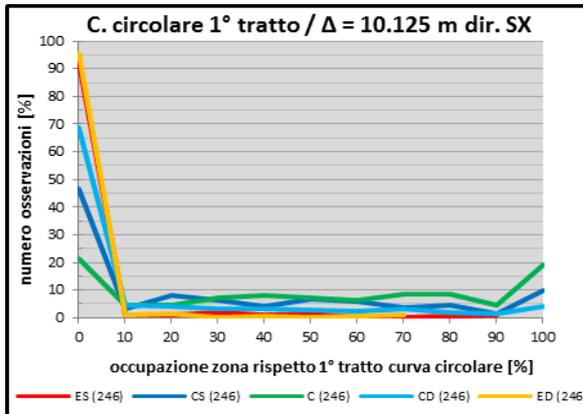
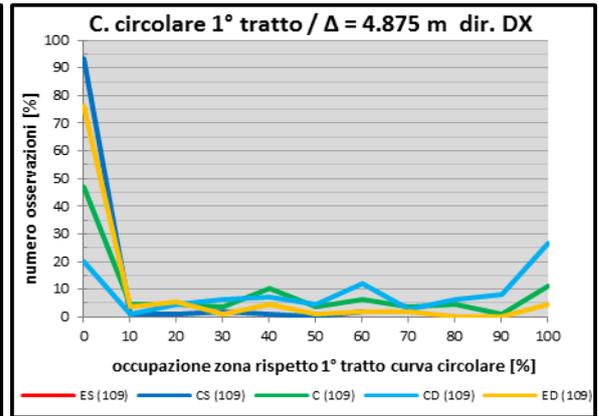
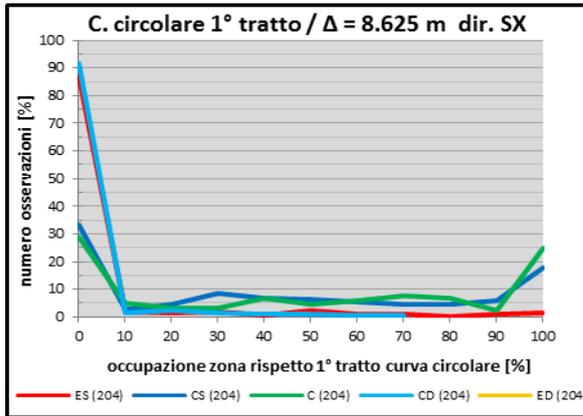
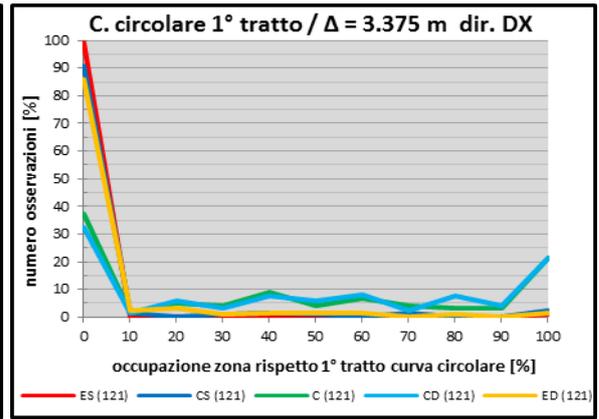
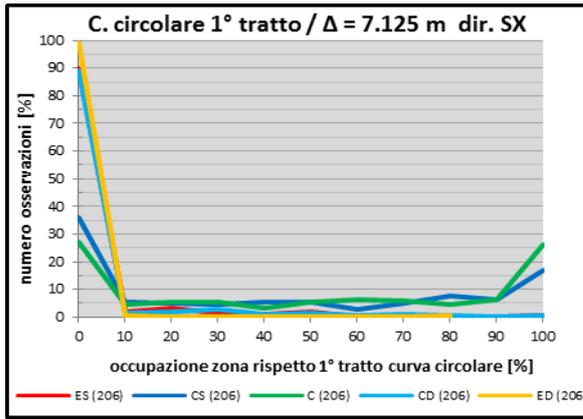


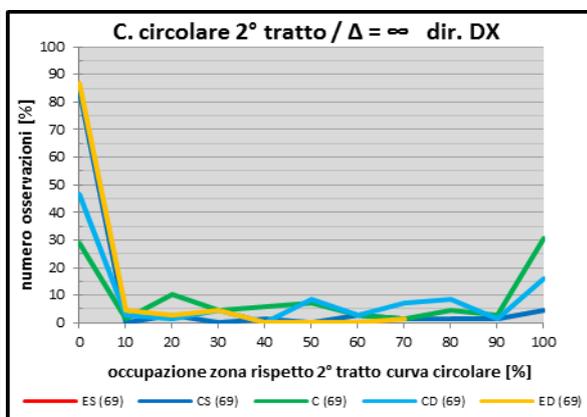
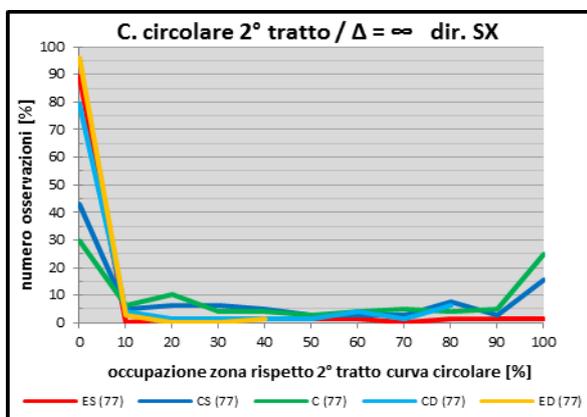
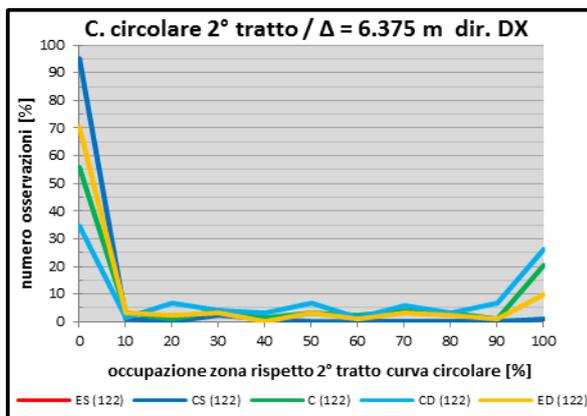
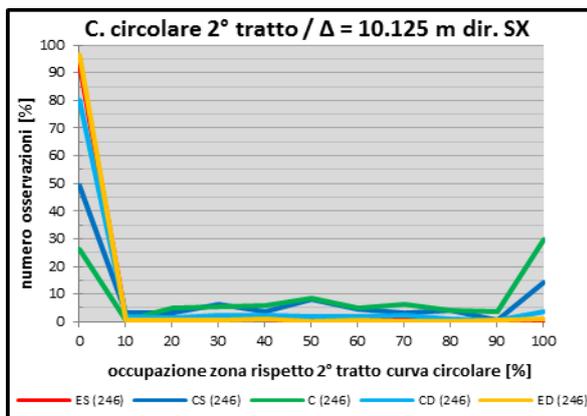
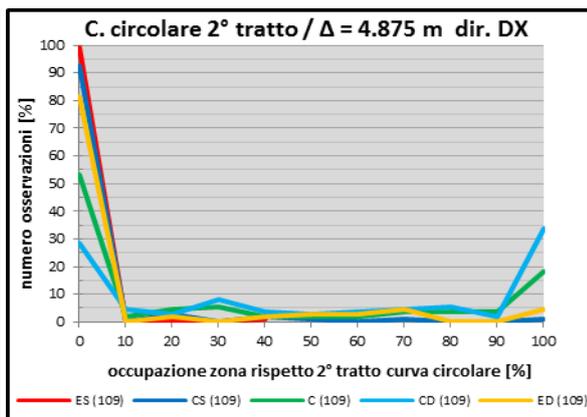
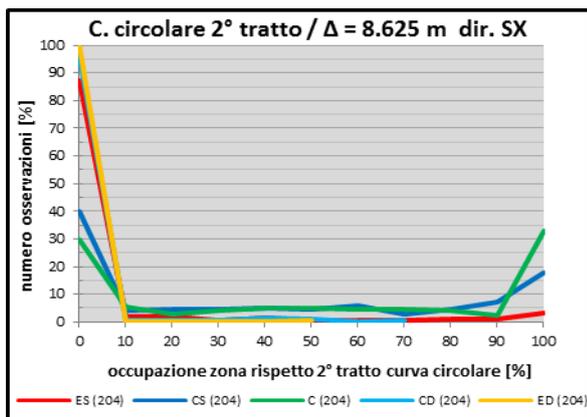
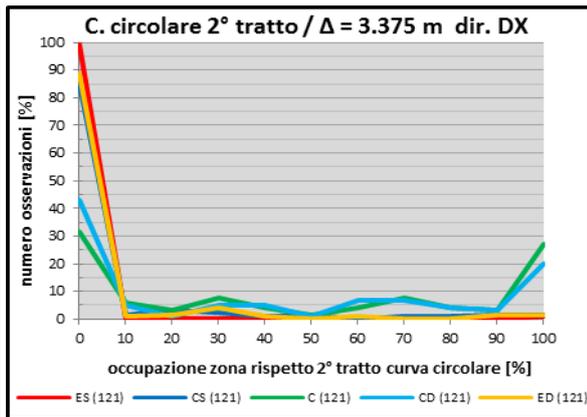
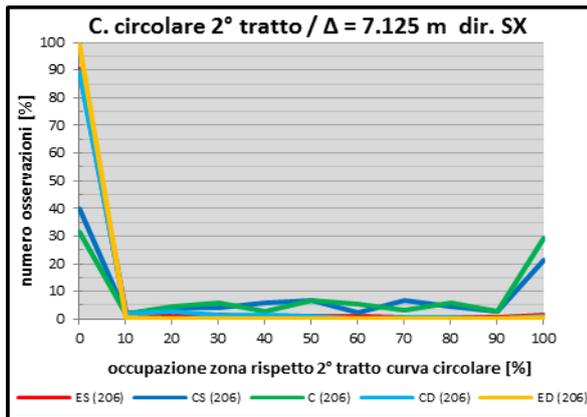


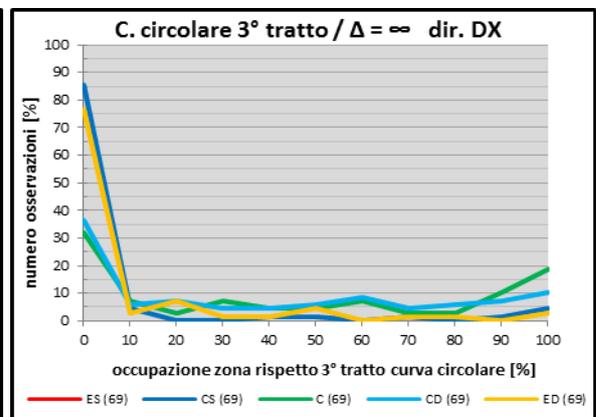
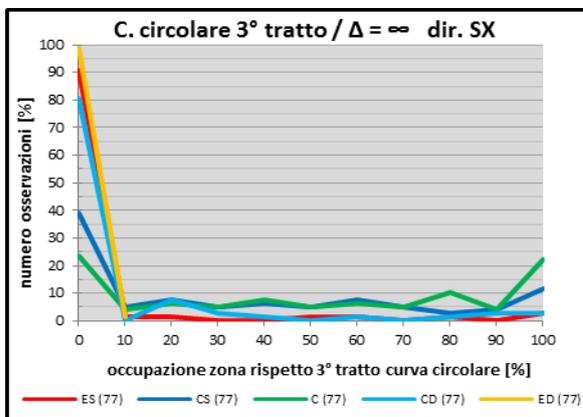
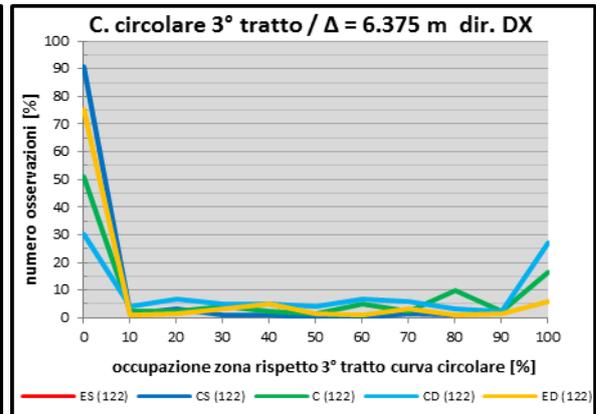
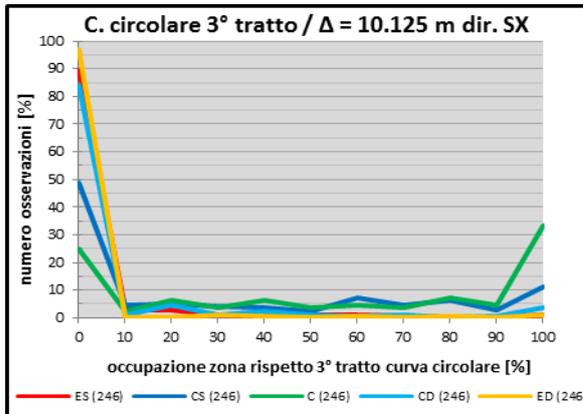
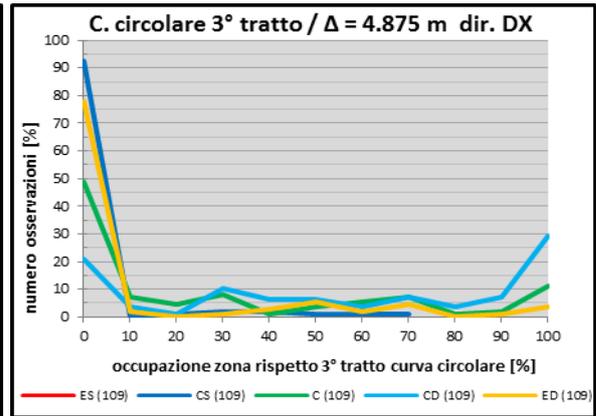
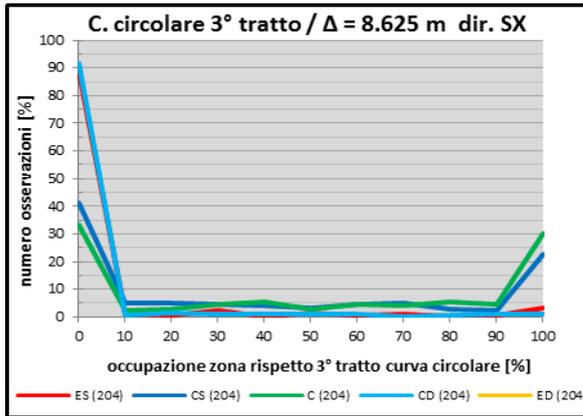
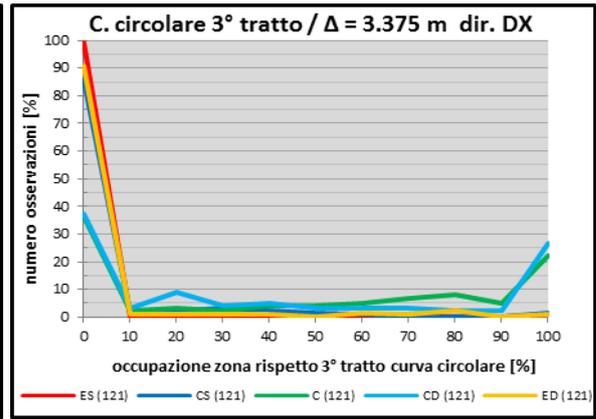
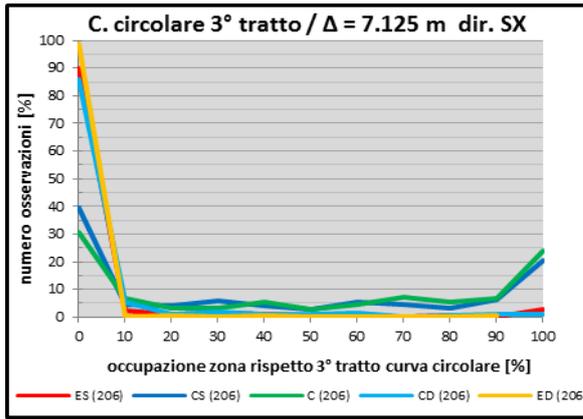
Influenza configurazione dell'ostruzione

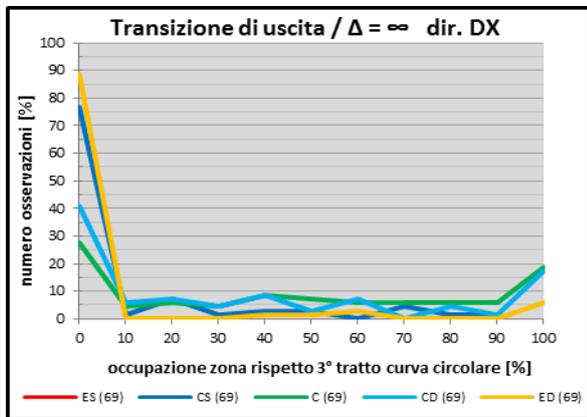
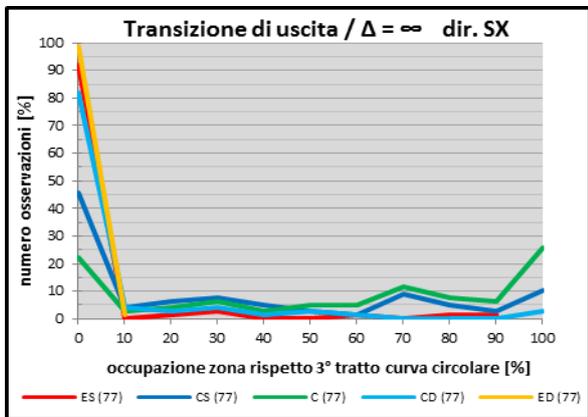
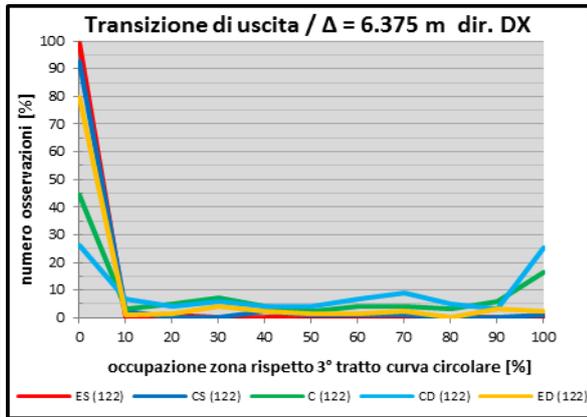
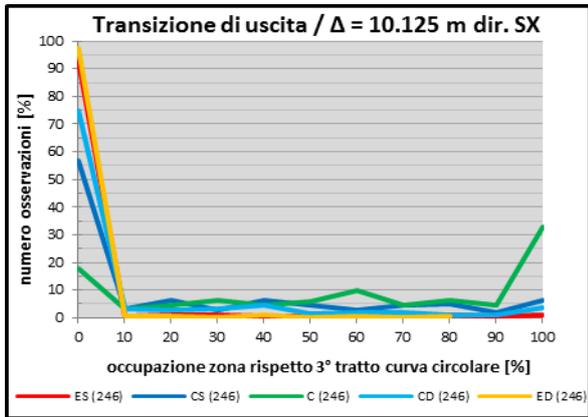
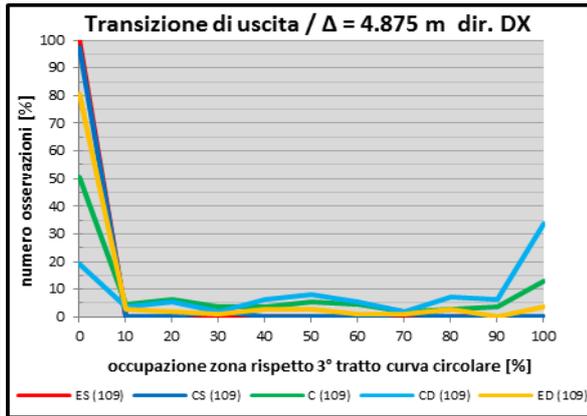
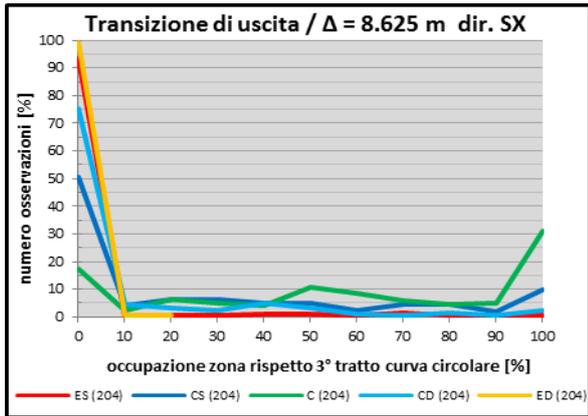
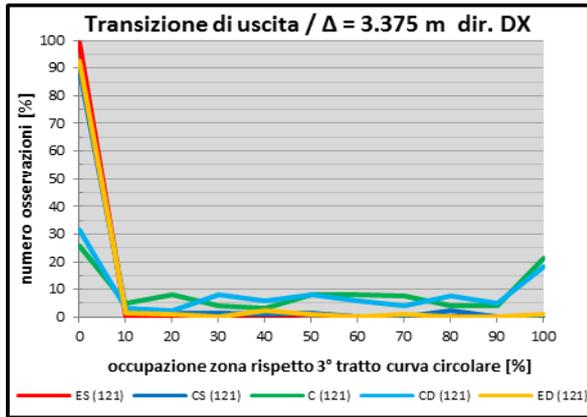
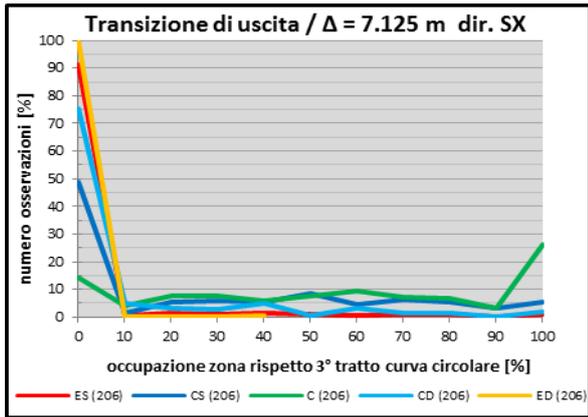


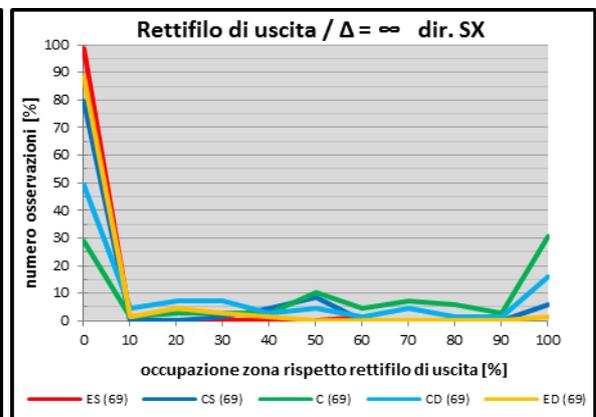
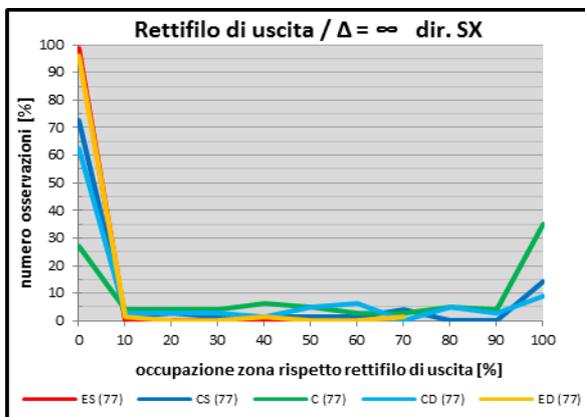
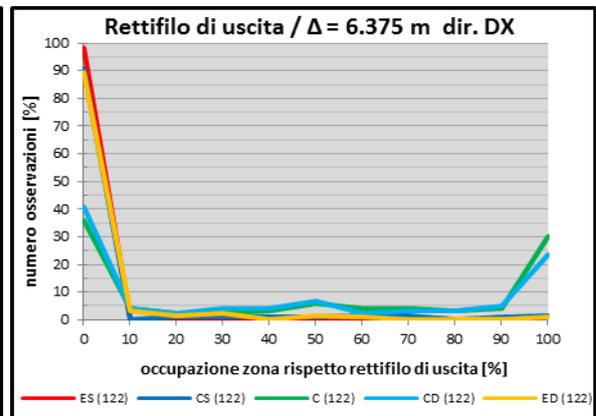
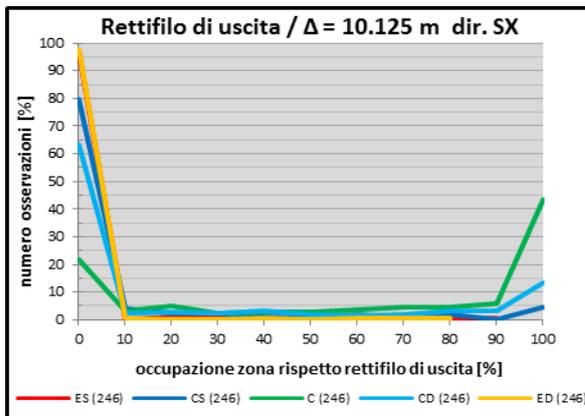
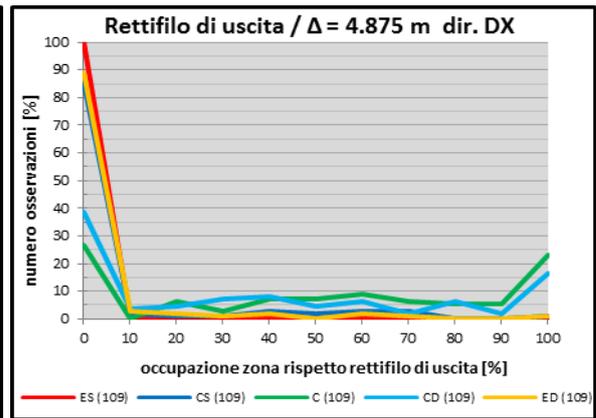
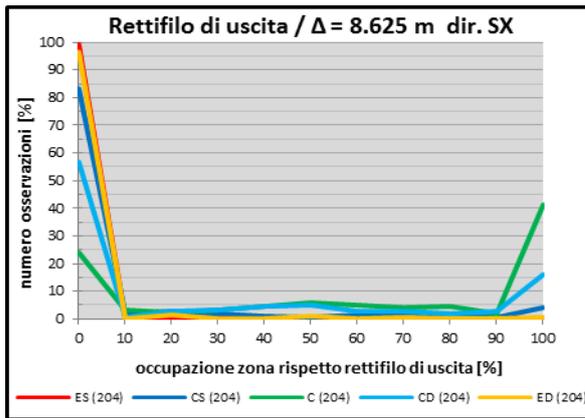
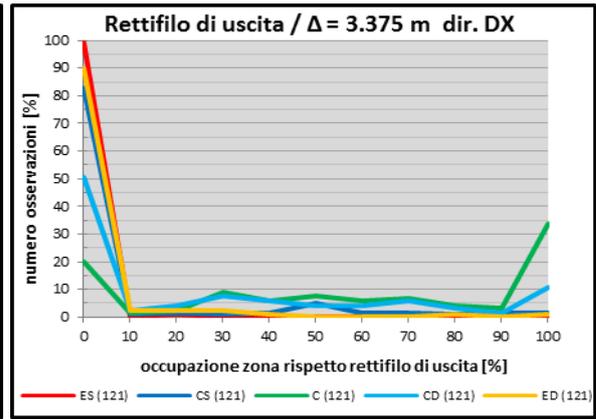
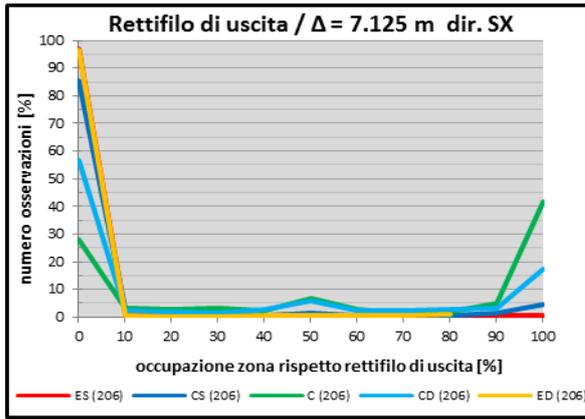






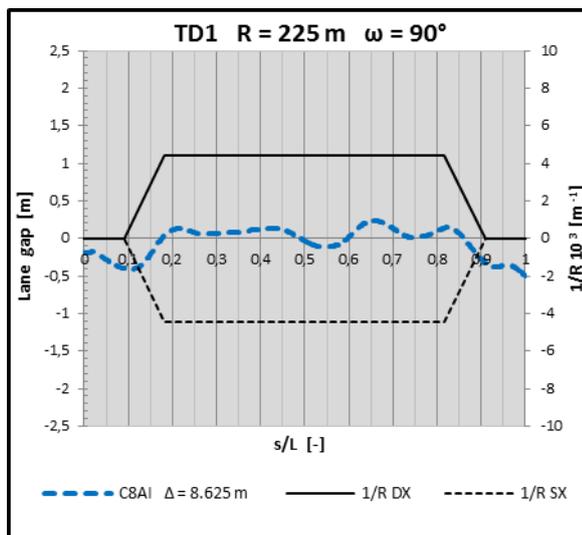
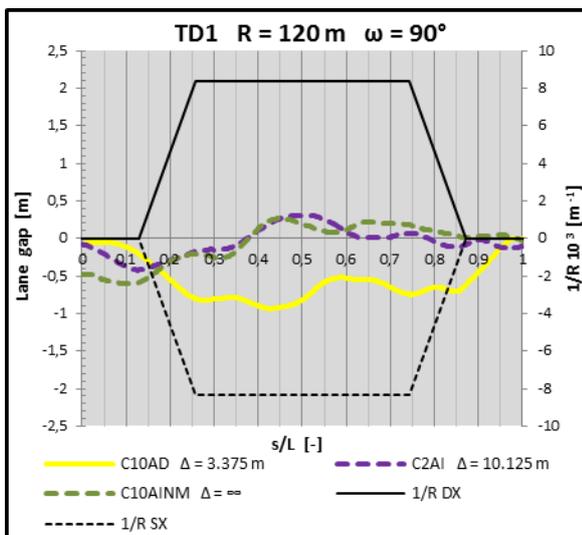
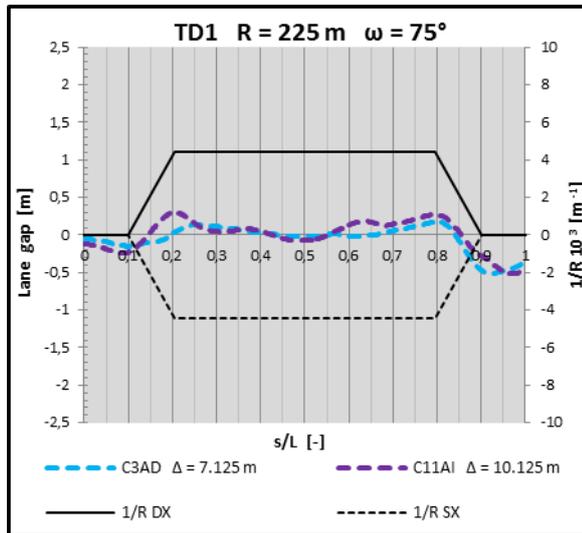
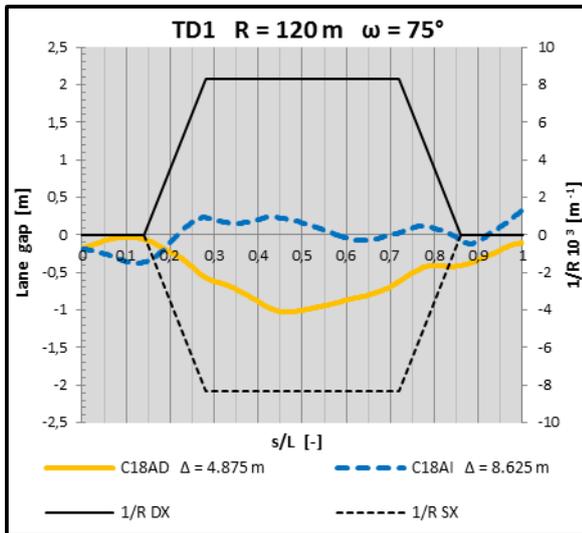
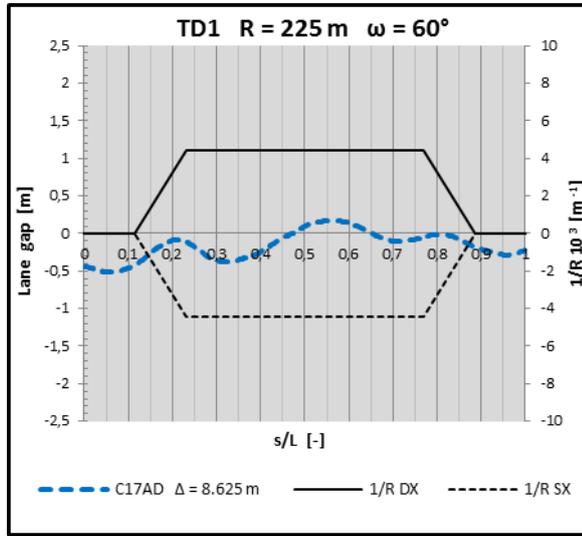
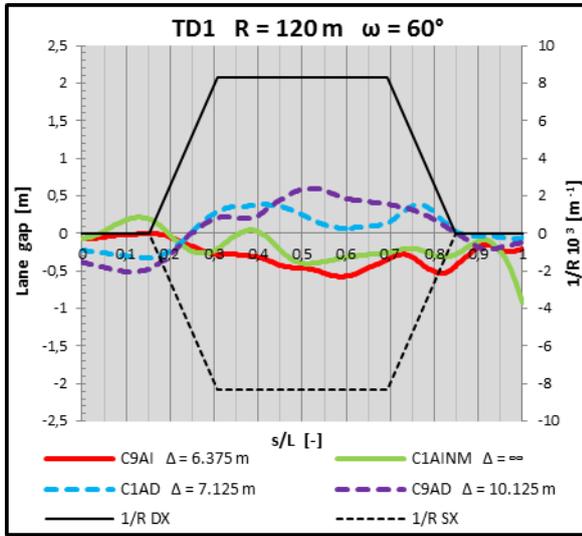


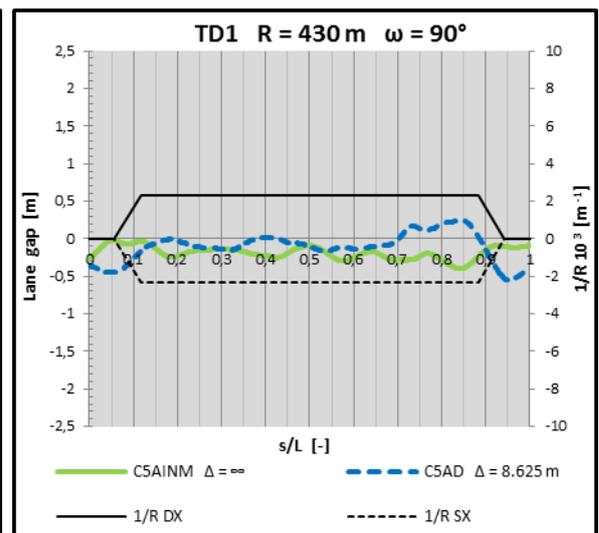
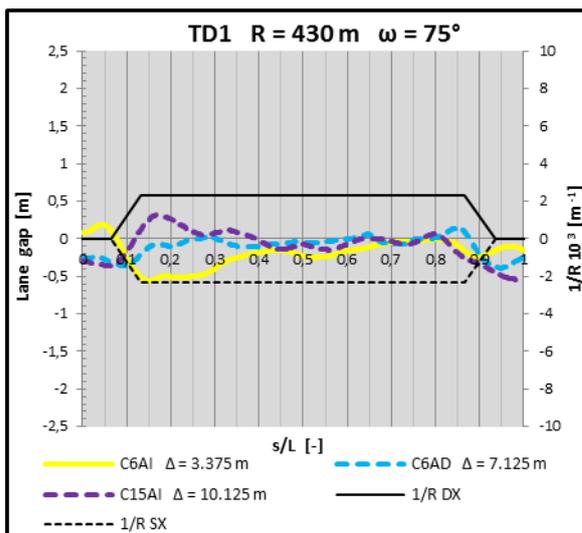
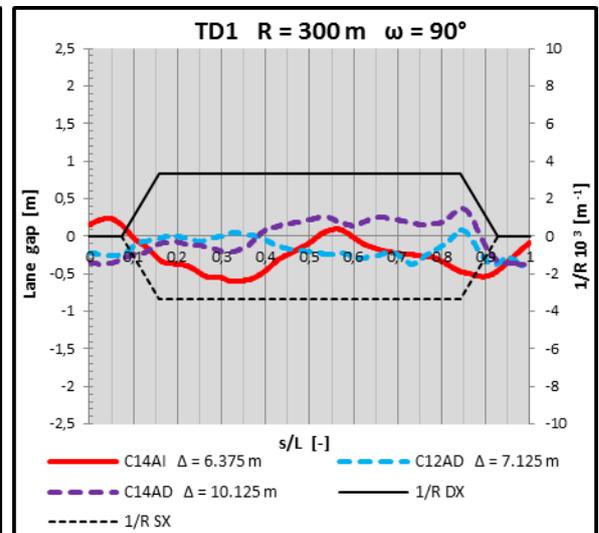
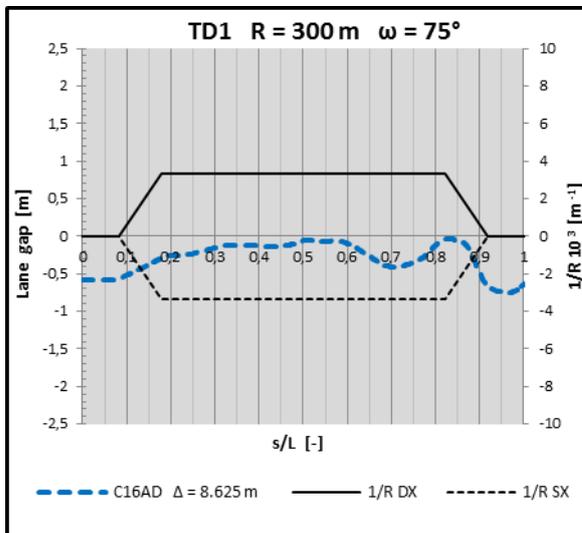
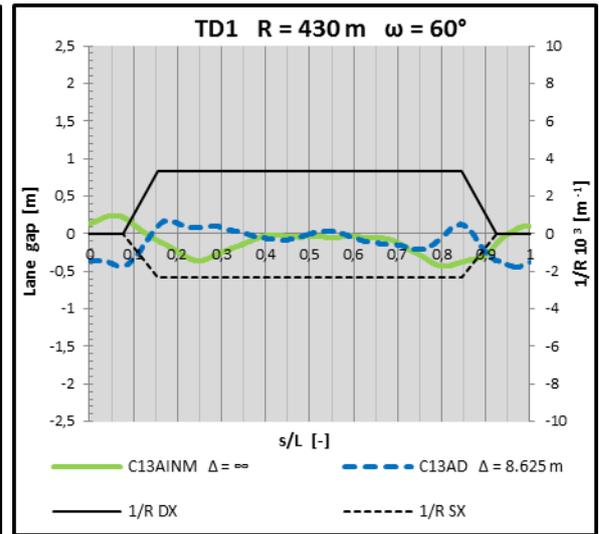
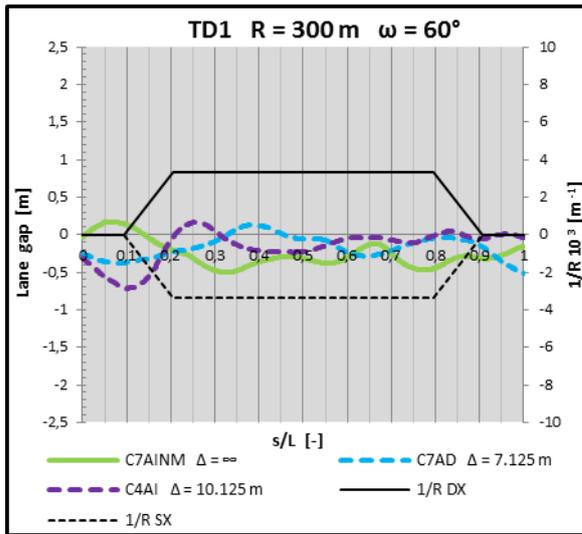


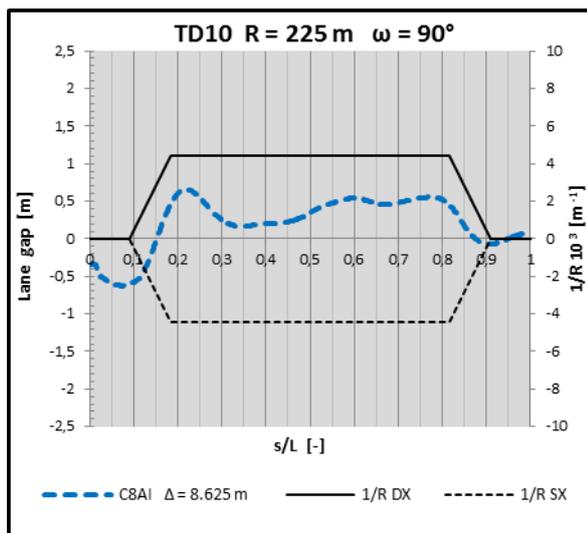
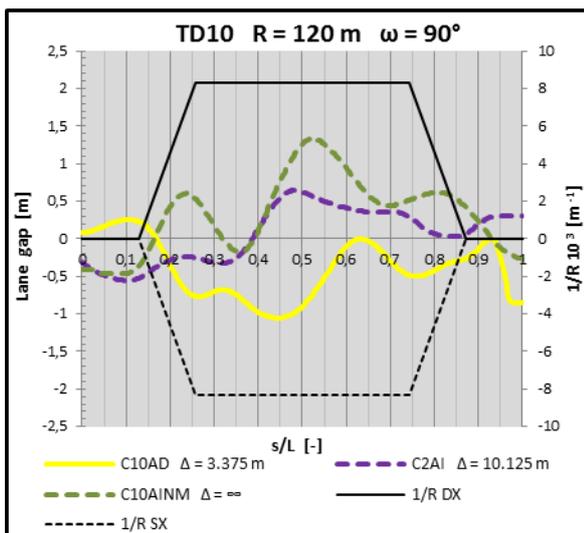
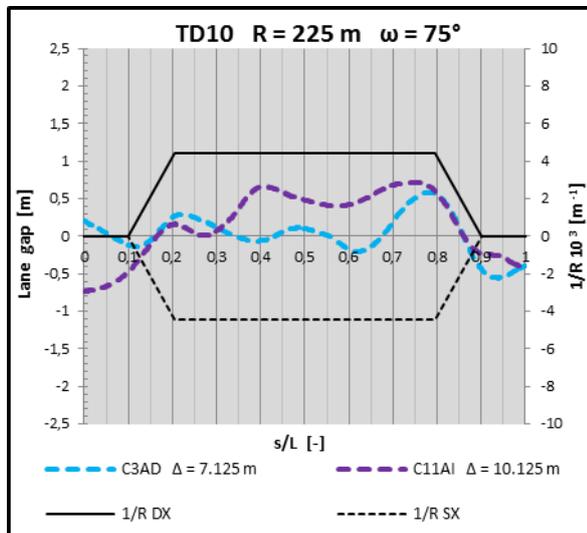
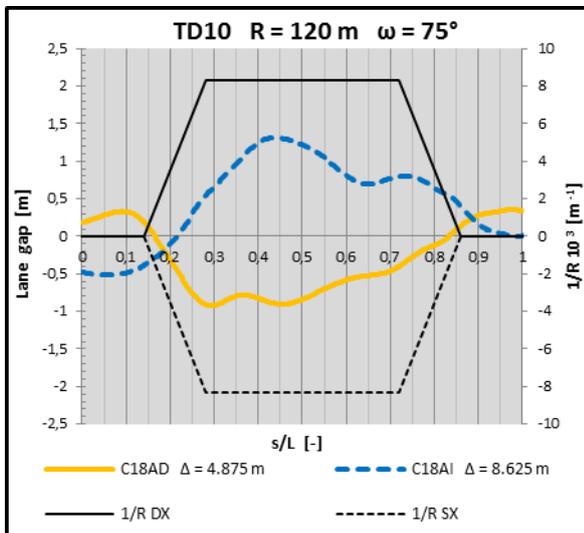
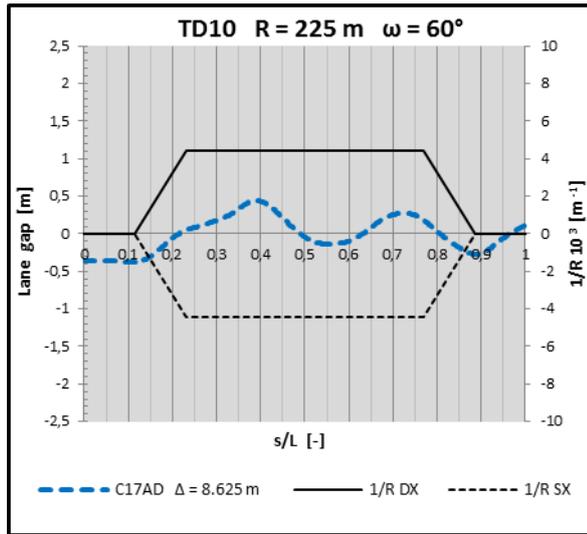
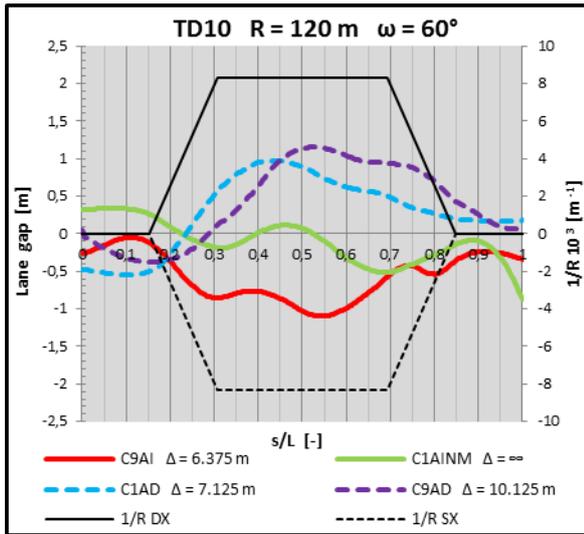


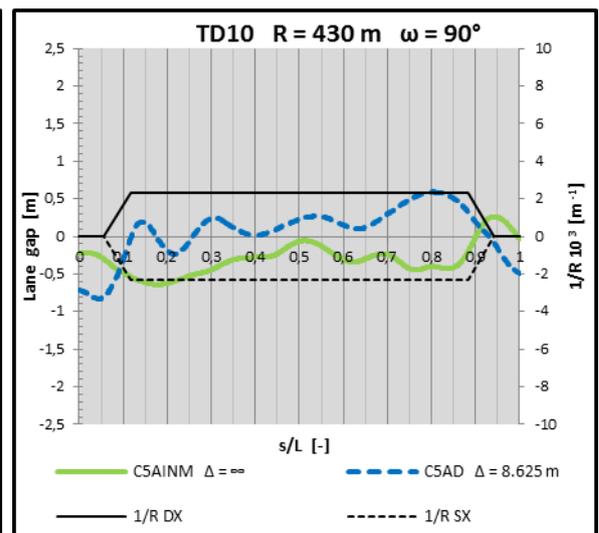
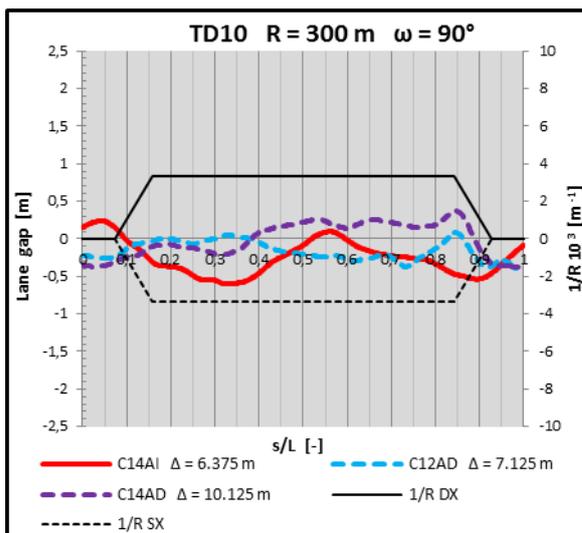
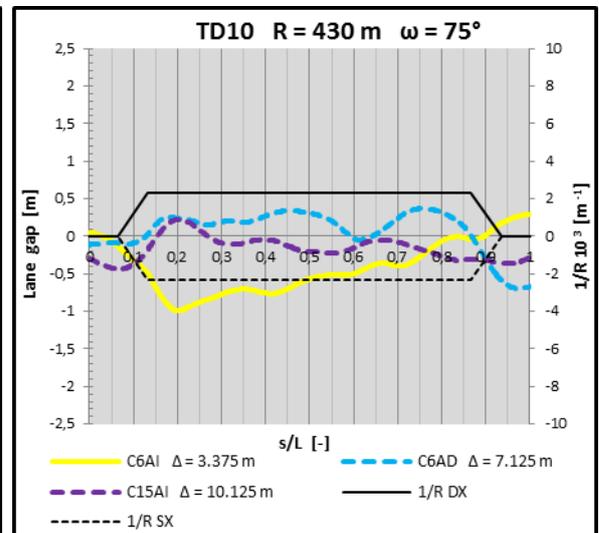
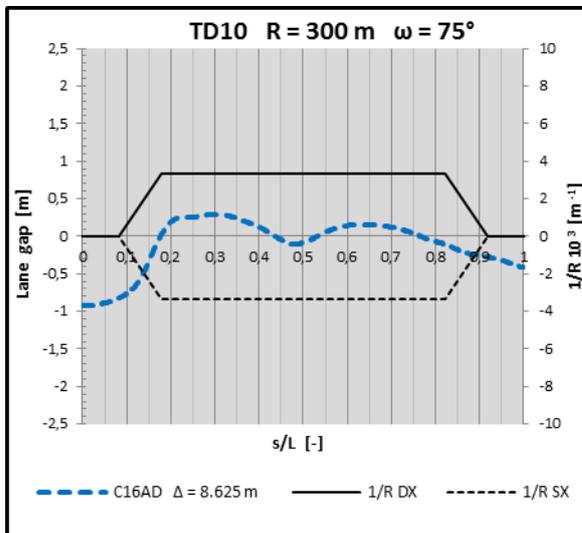
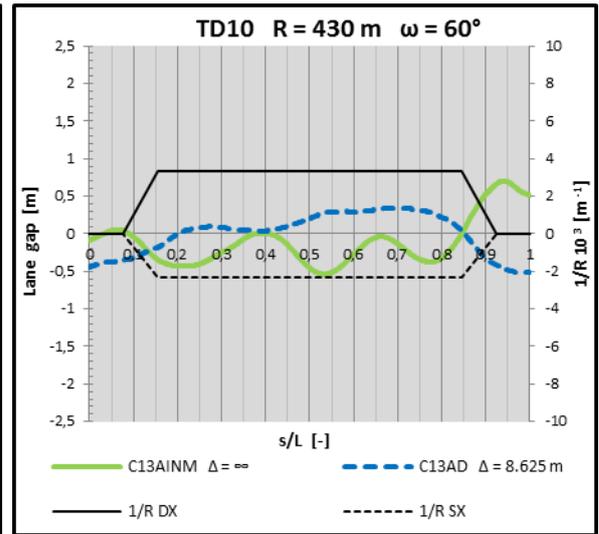
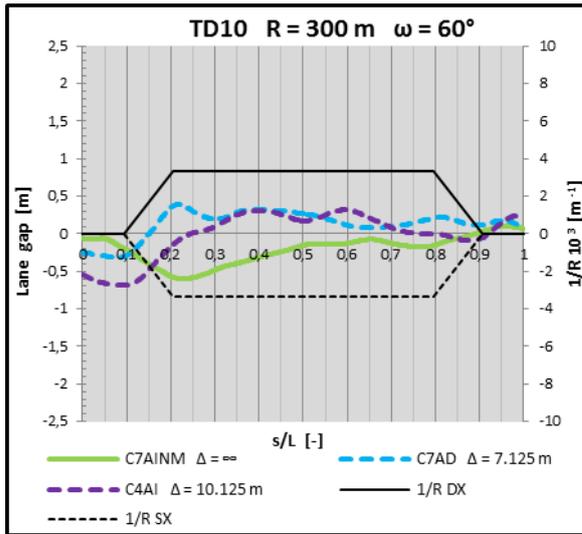
Appendice G) Influenza del raggio R: profili lane gap

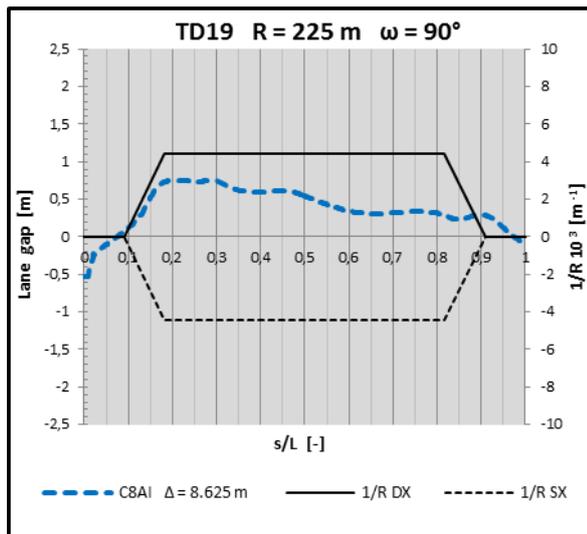
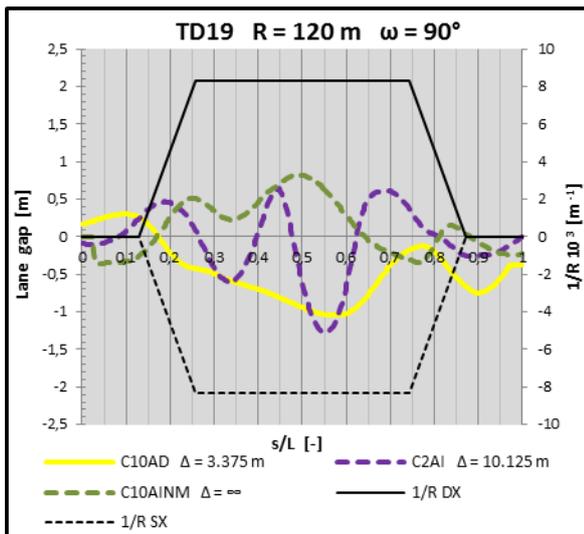
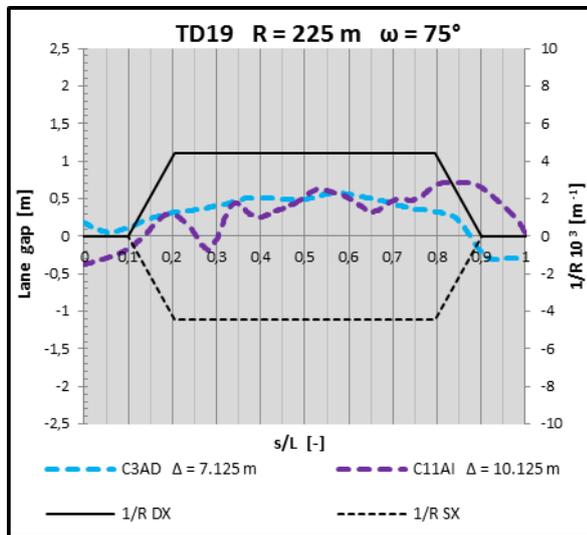
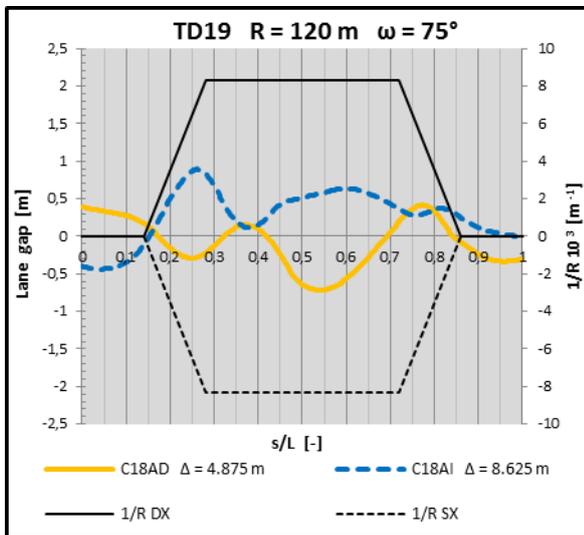
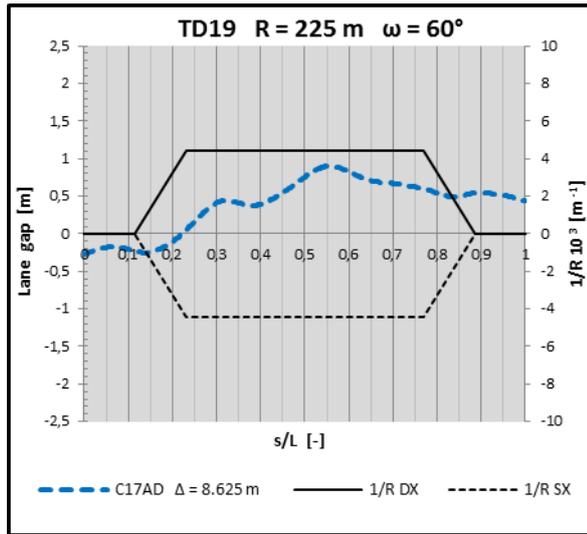
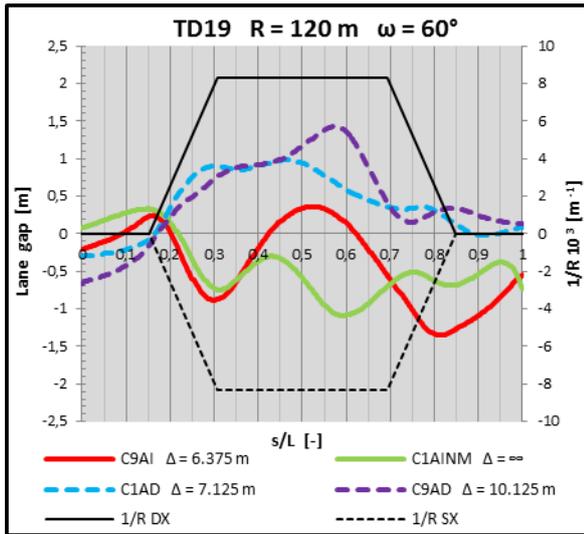
Scenari guidati: AD – AINM

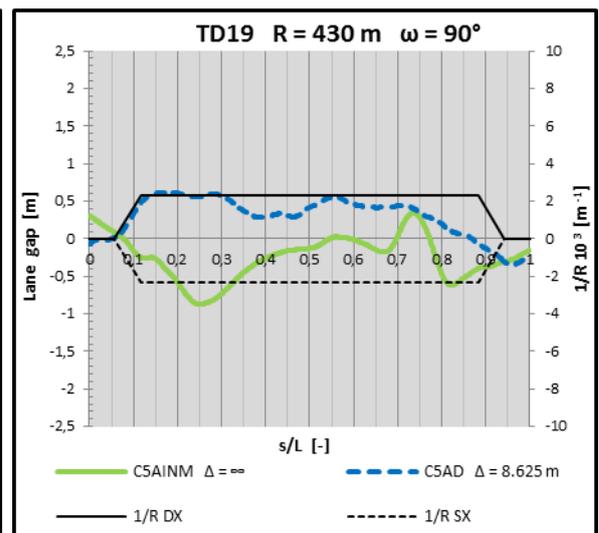
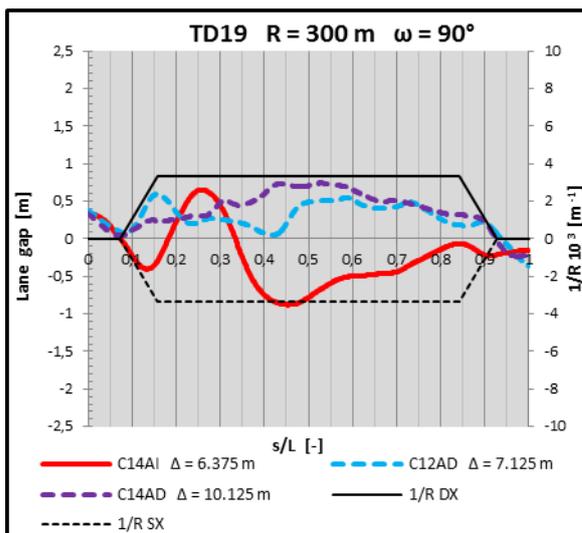
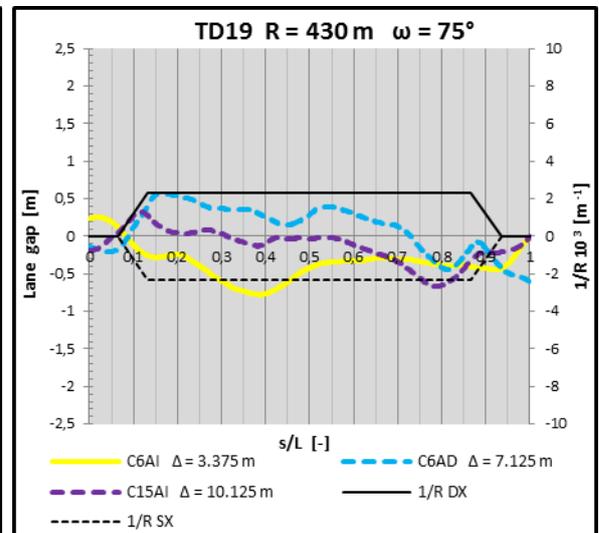
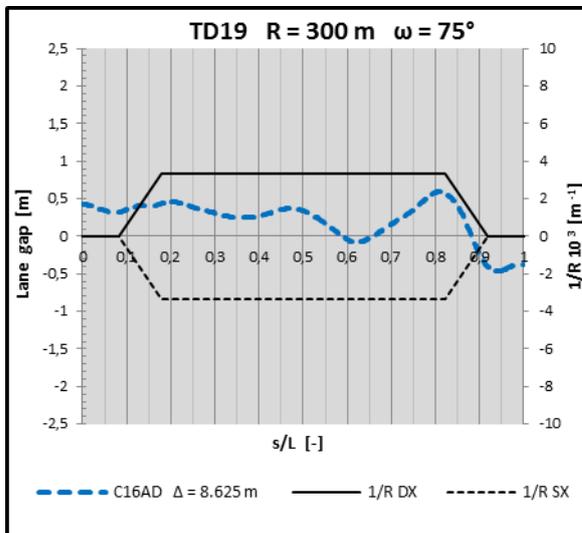
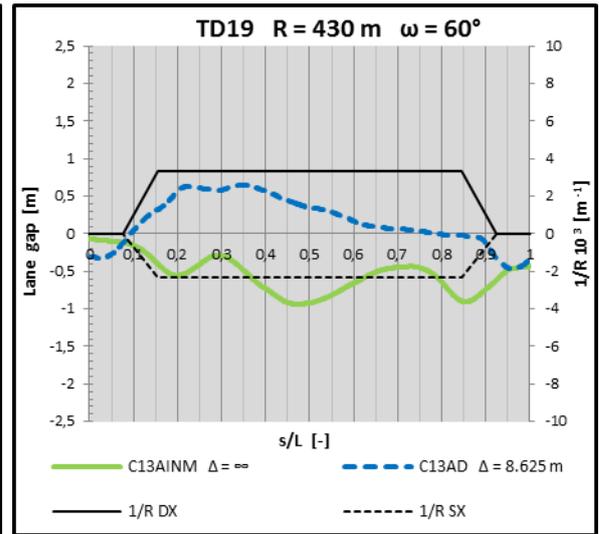
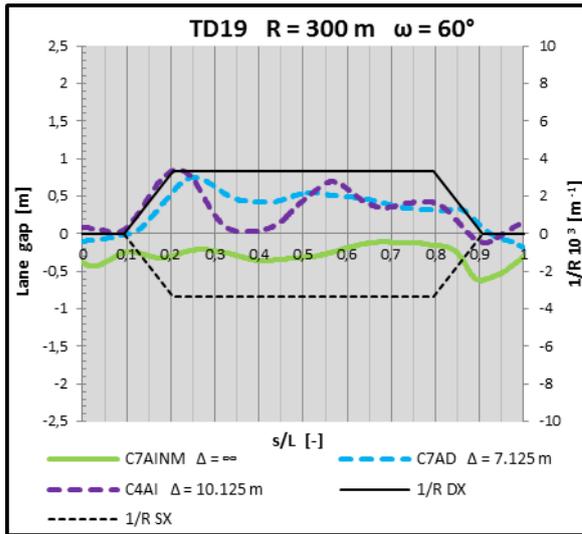


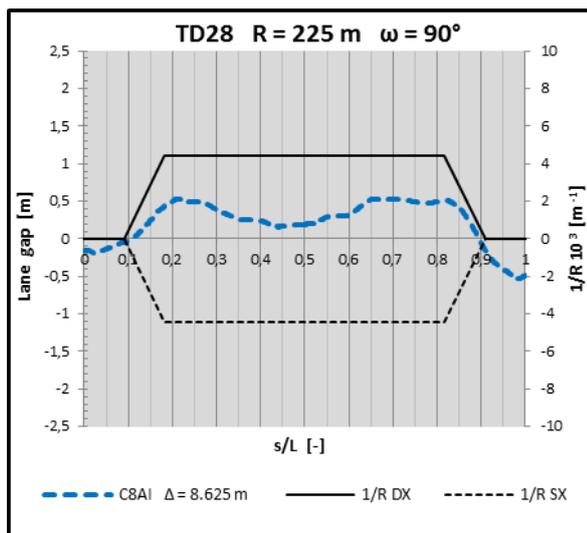
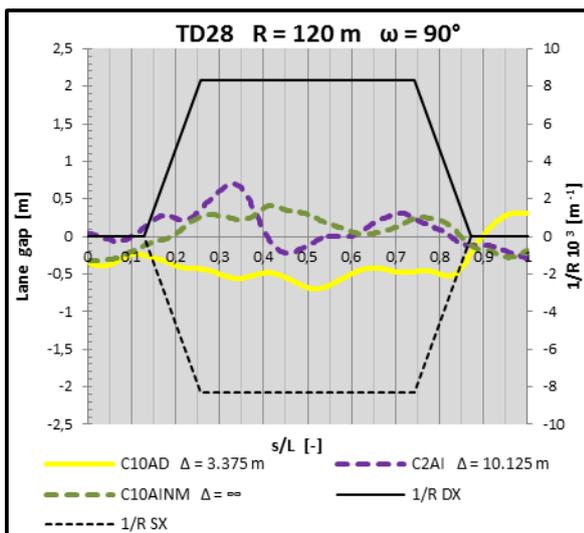
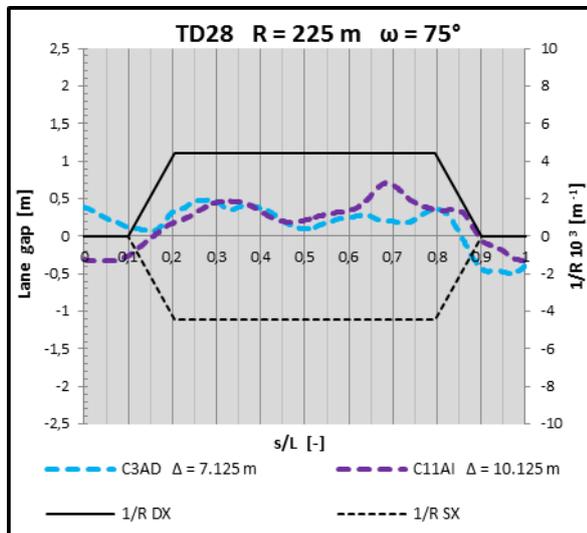
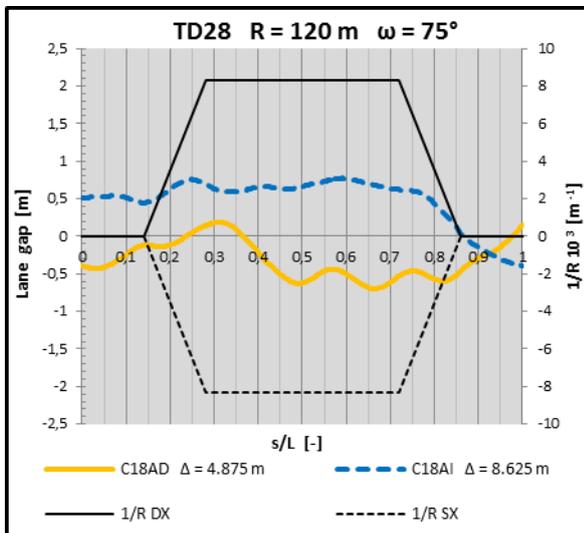
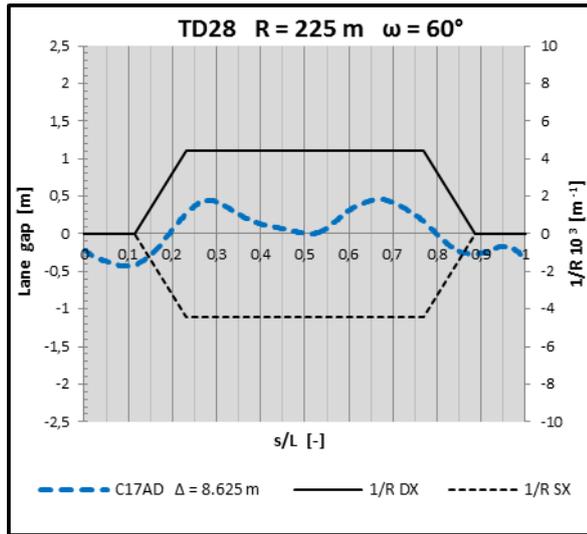
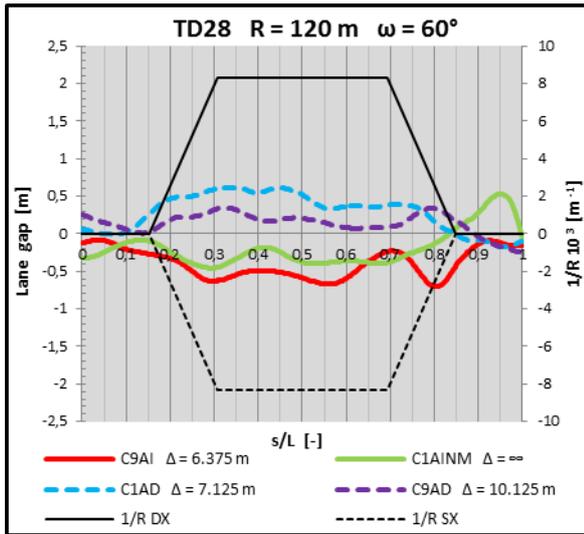


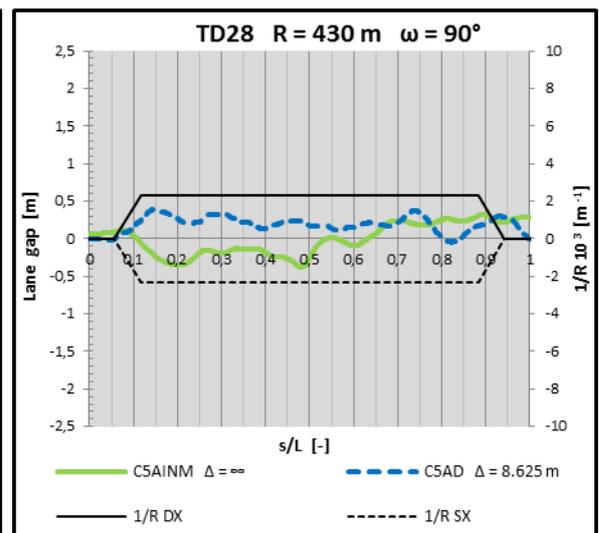
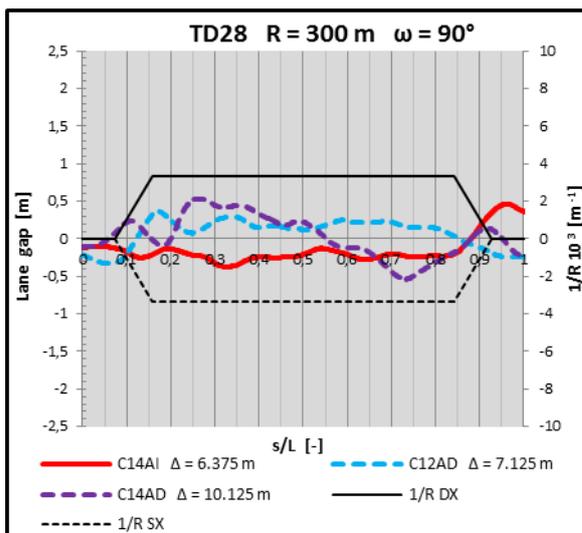
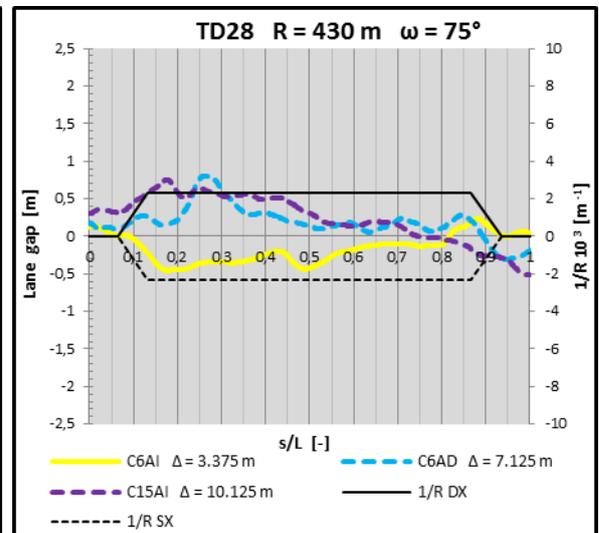
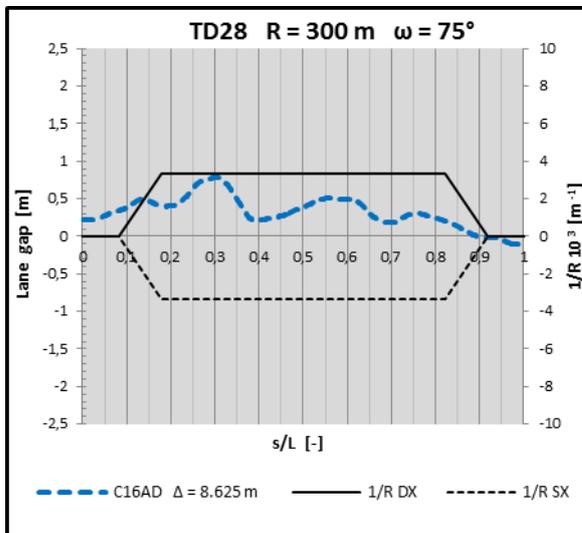
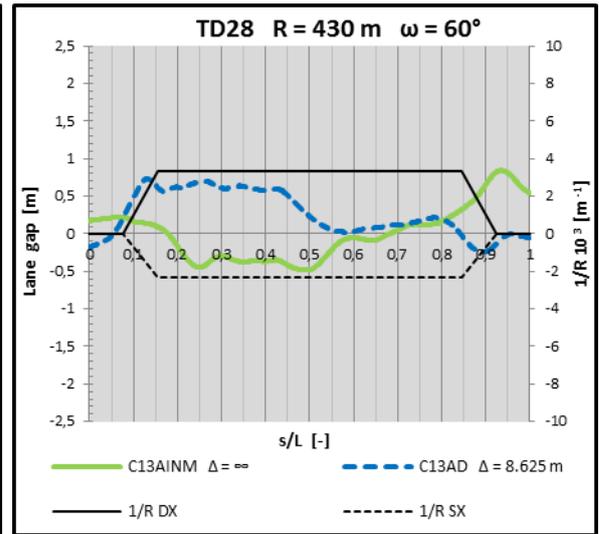
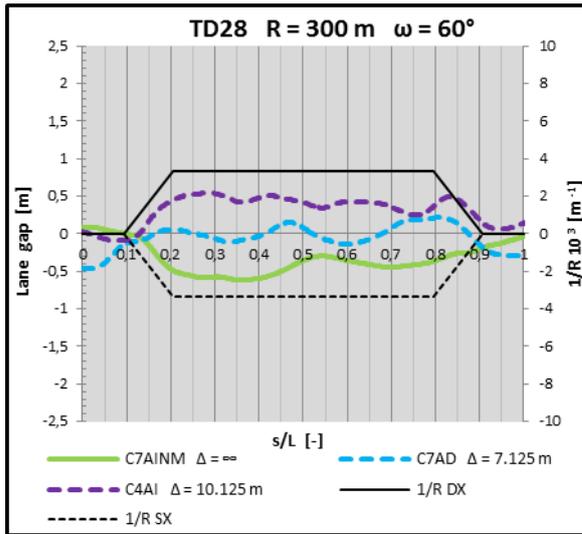


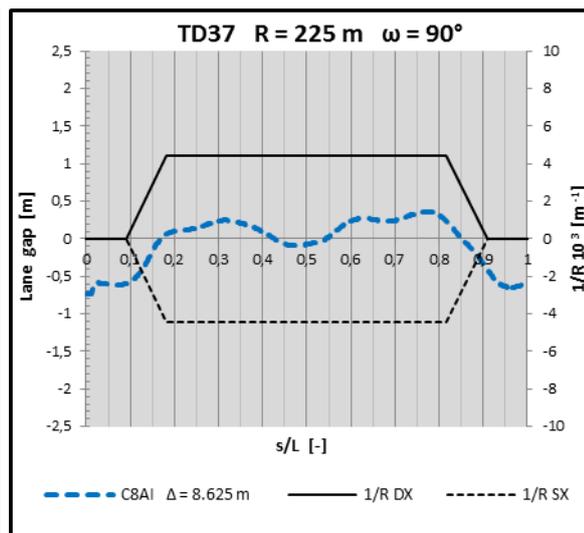
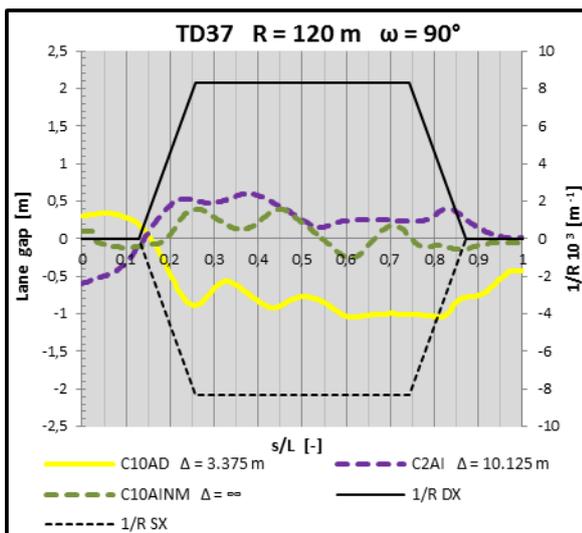
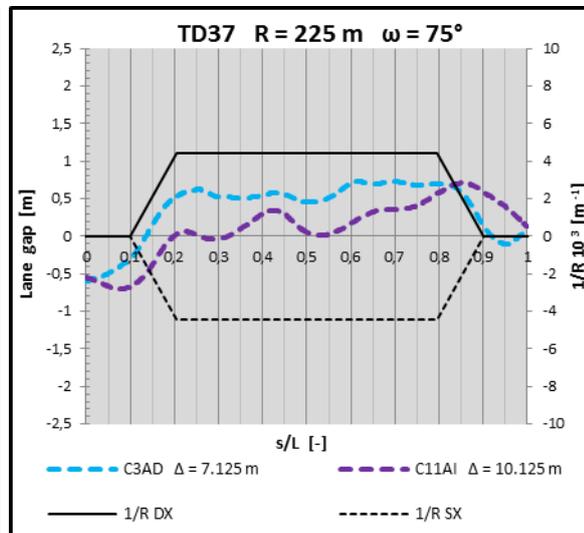
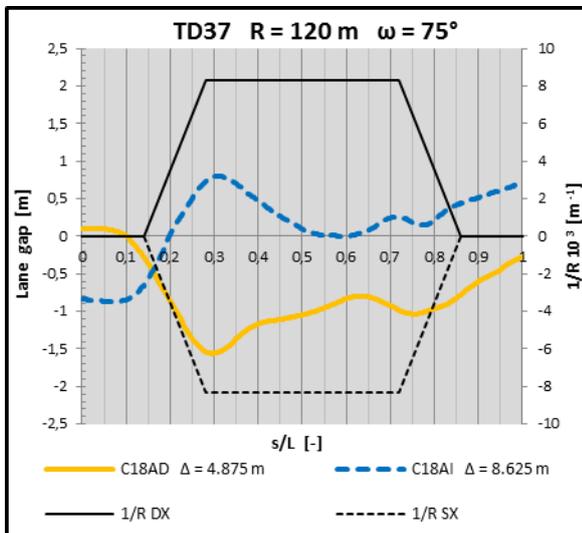
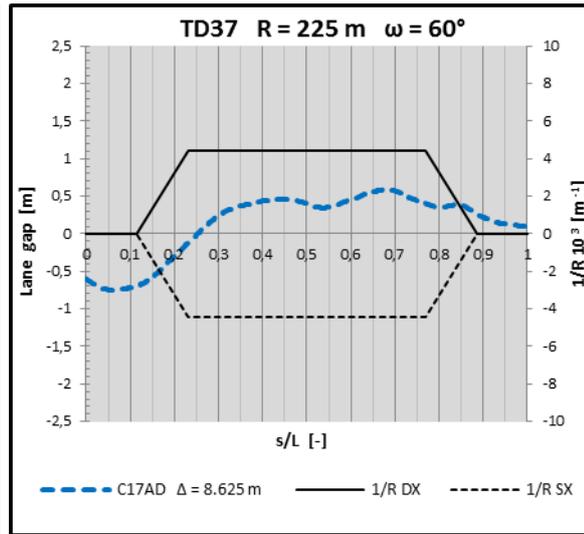
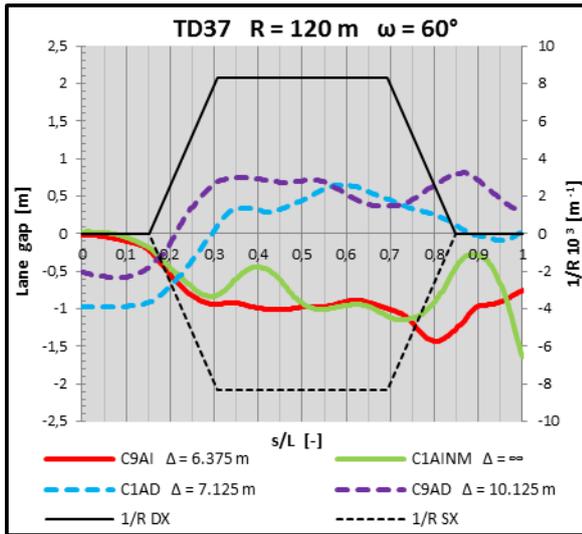


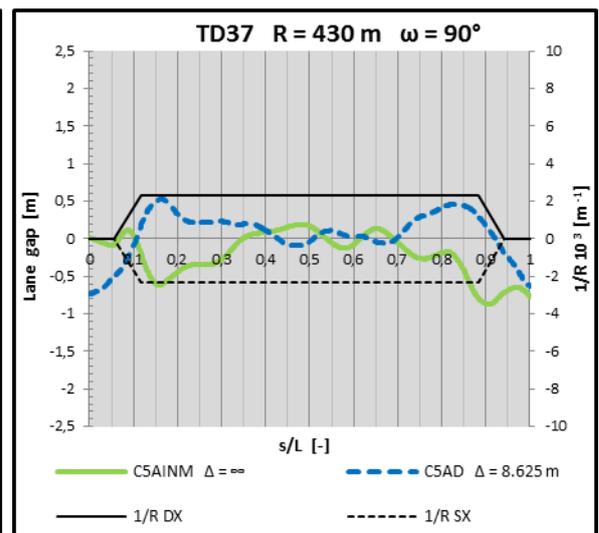
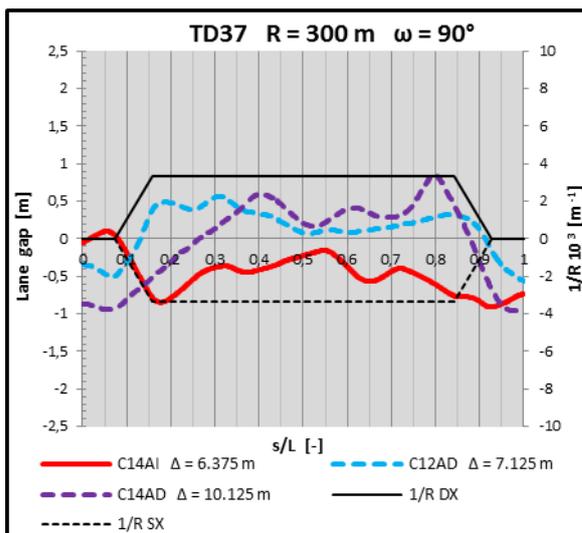
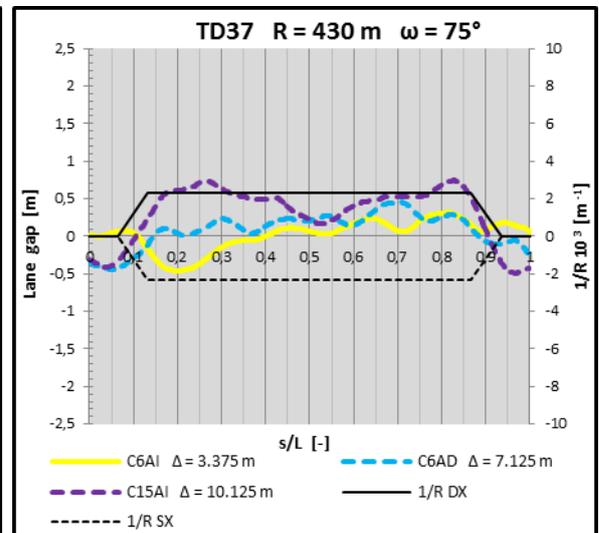
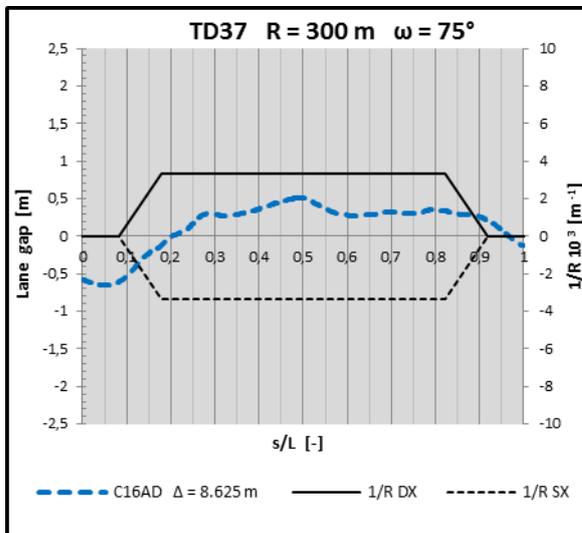
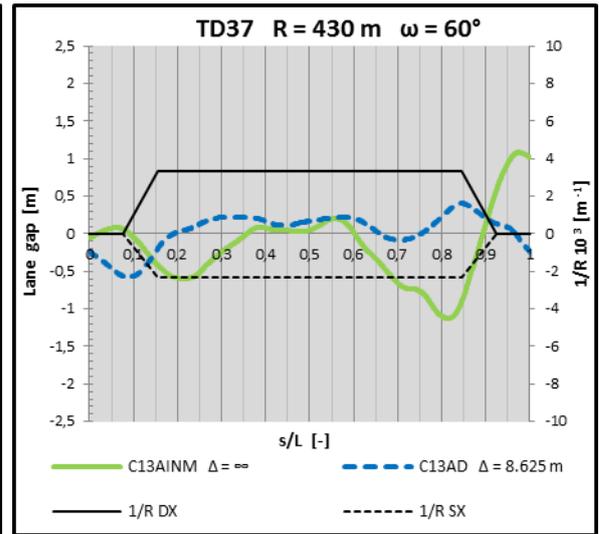
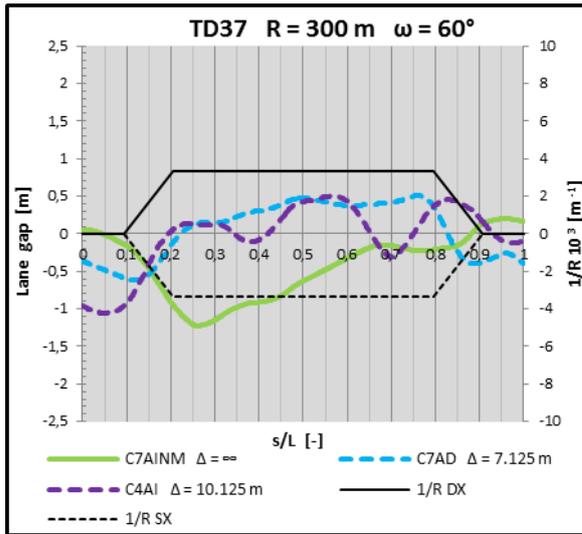




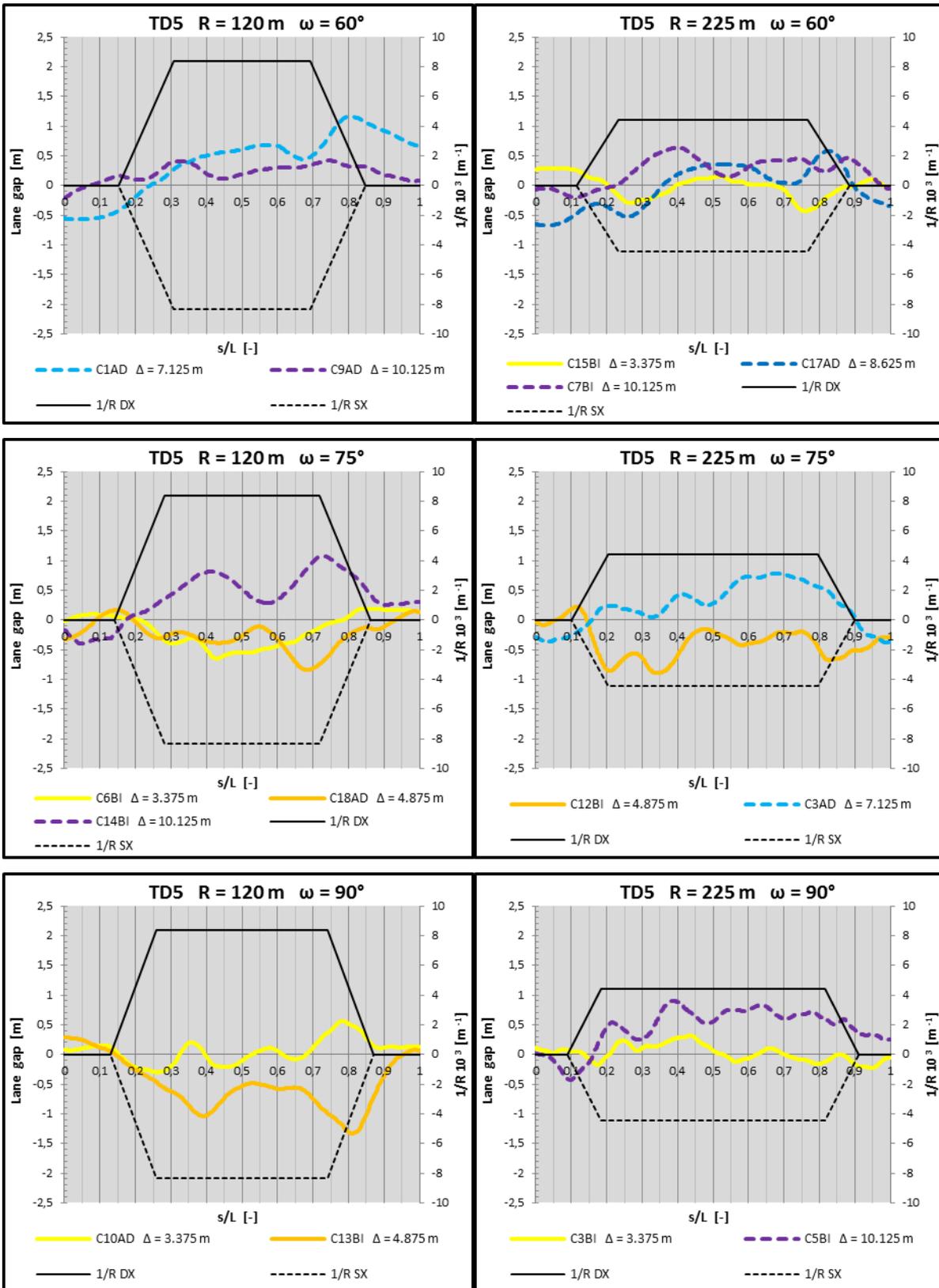


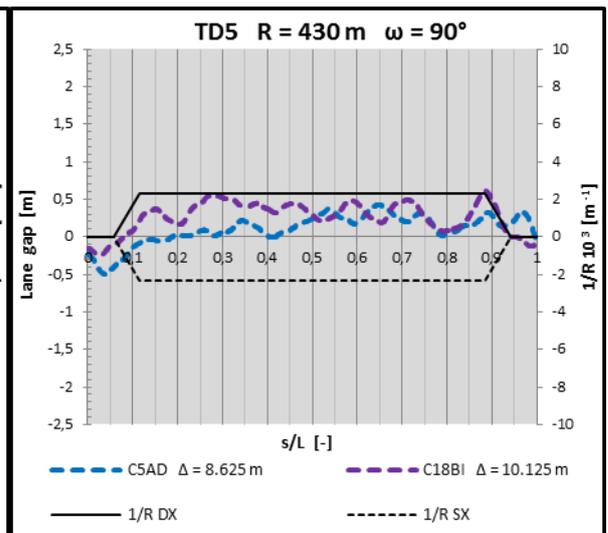
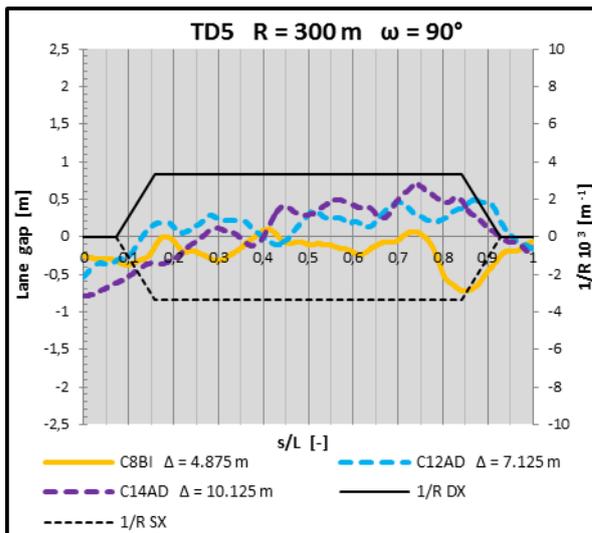
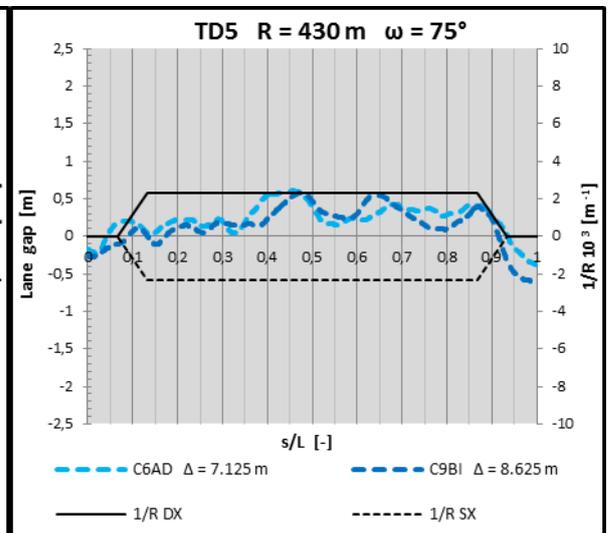
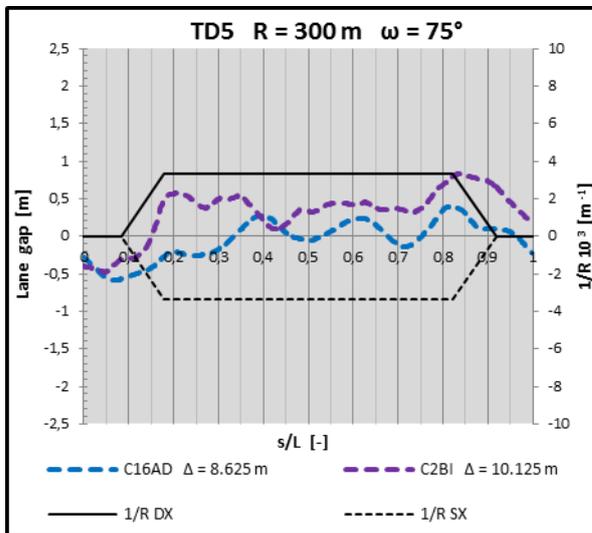
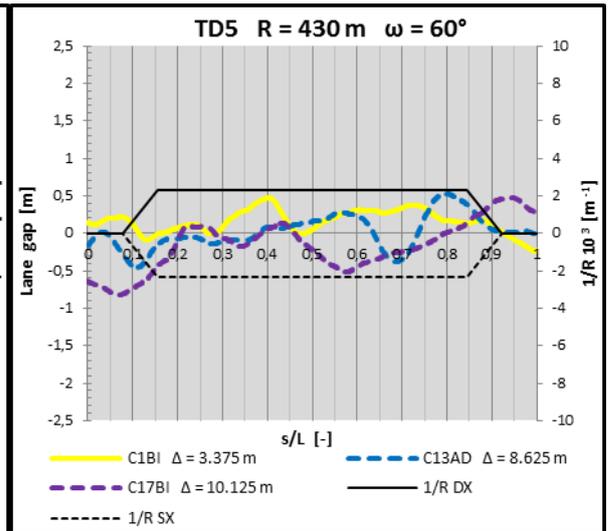
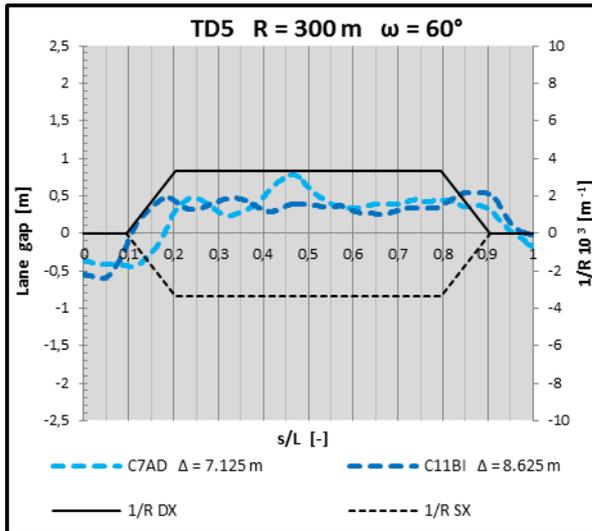


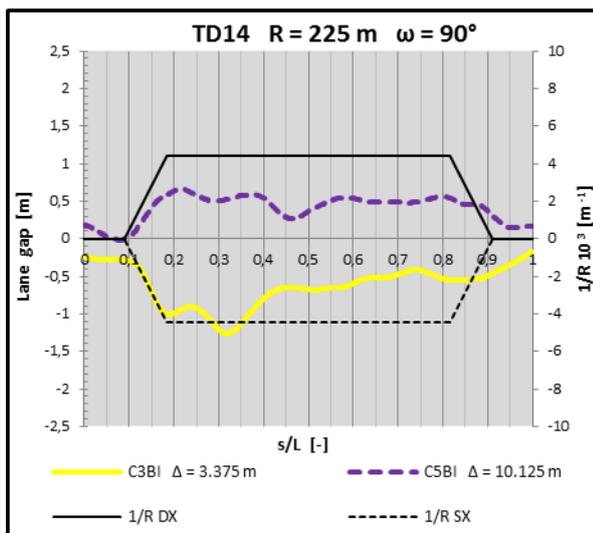
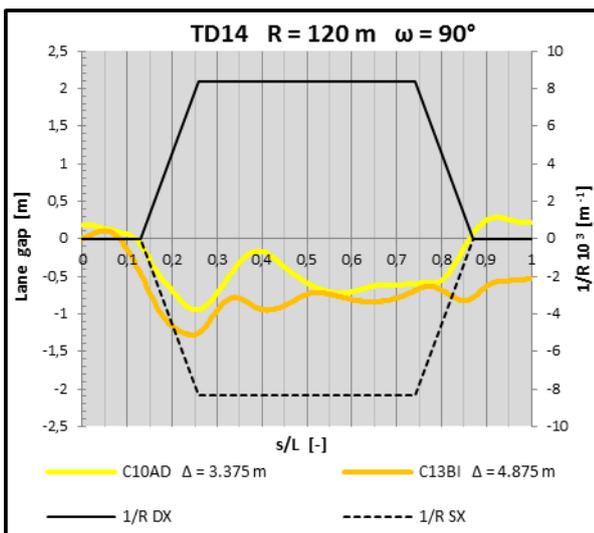
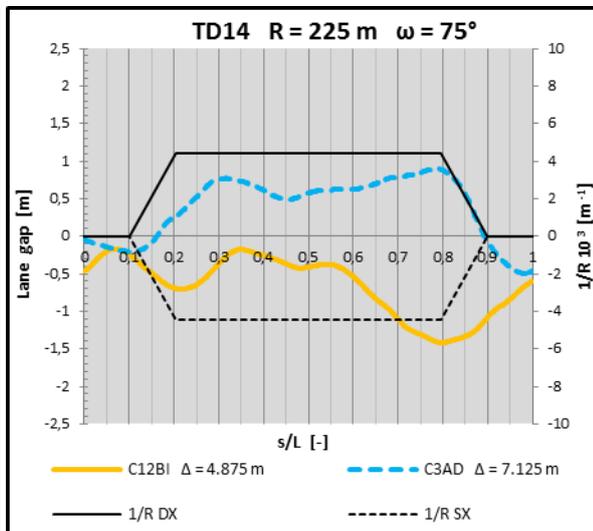
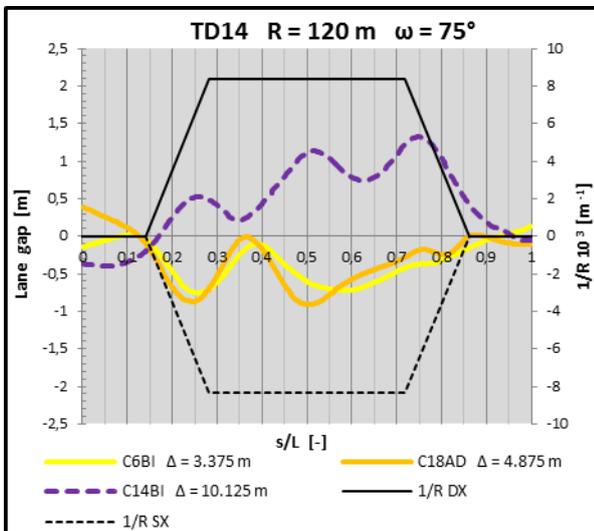
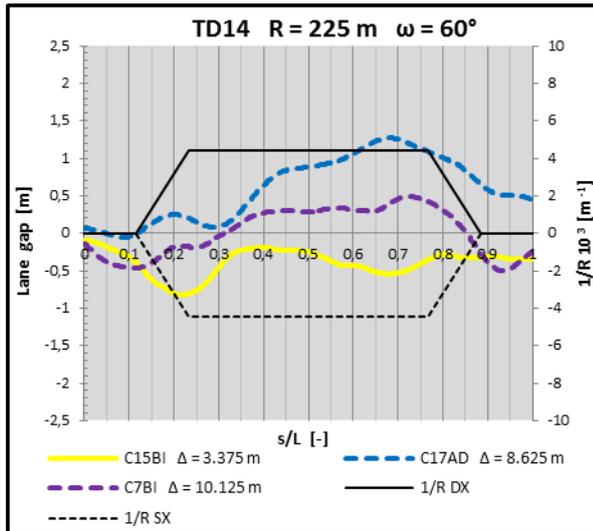
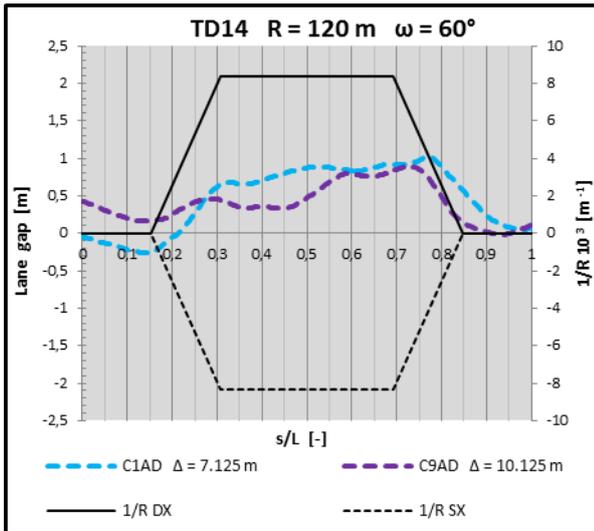


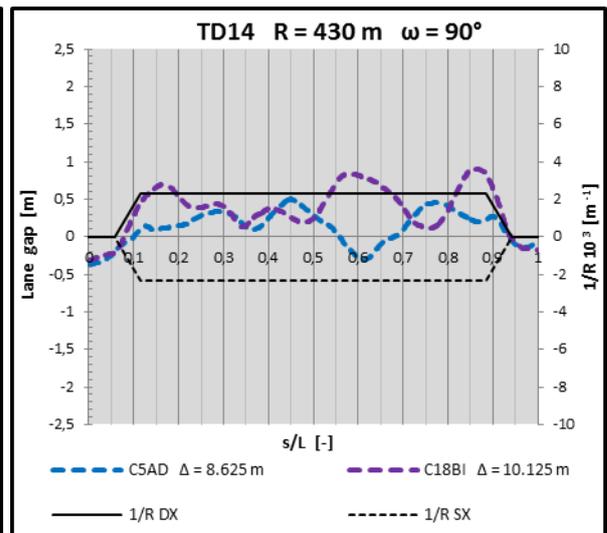
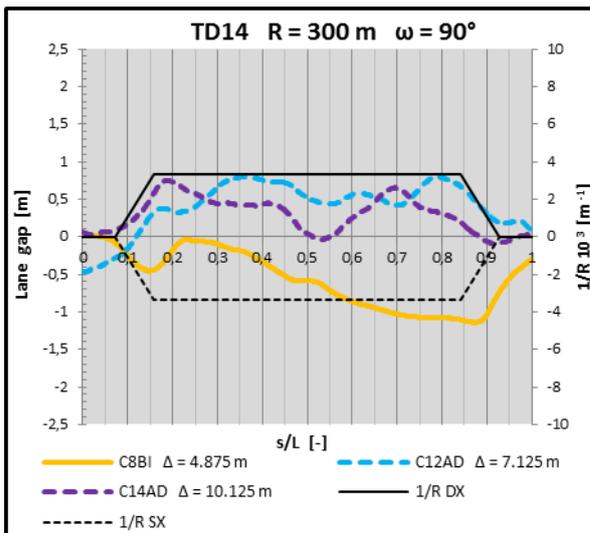
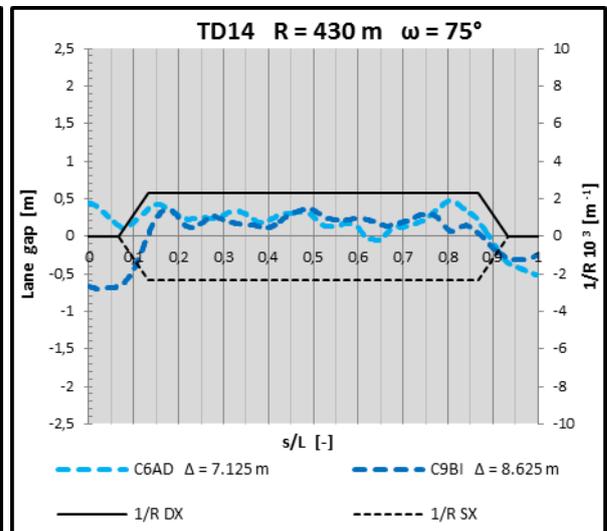
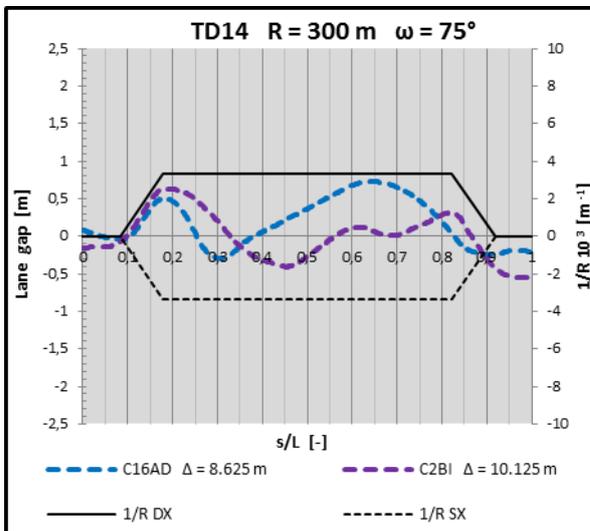
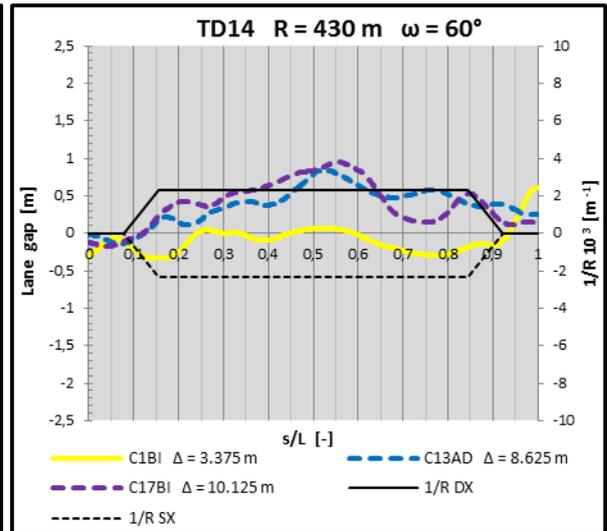
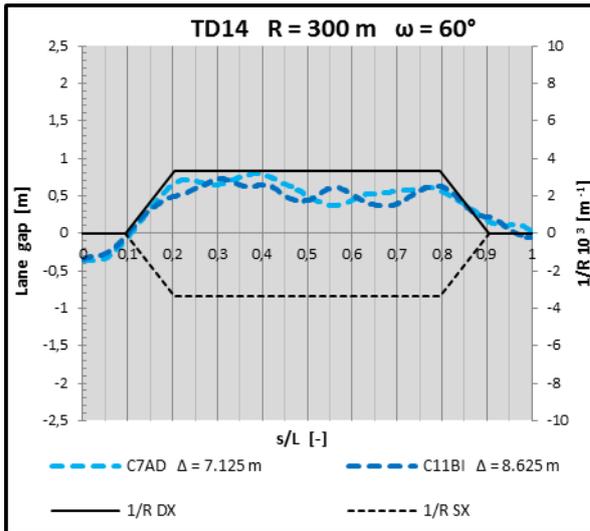


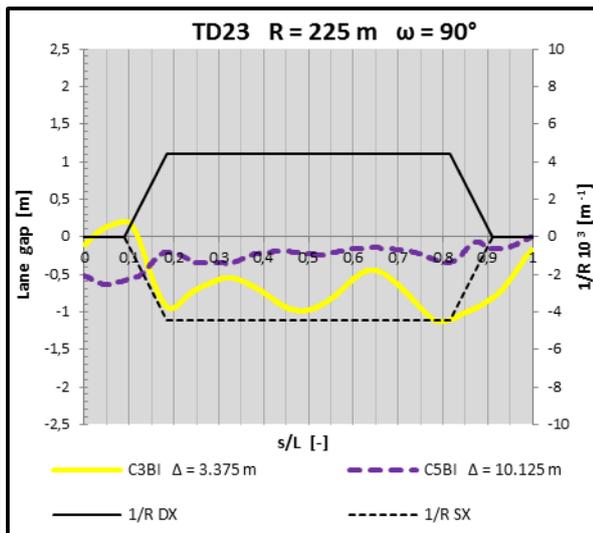
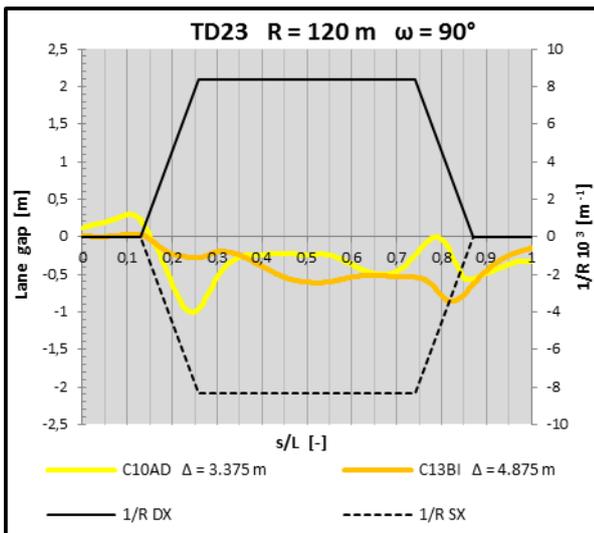
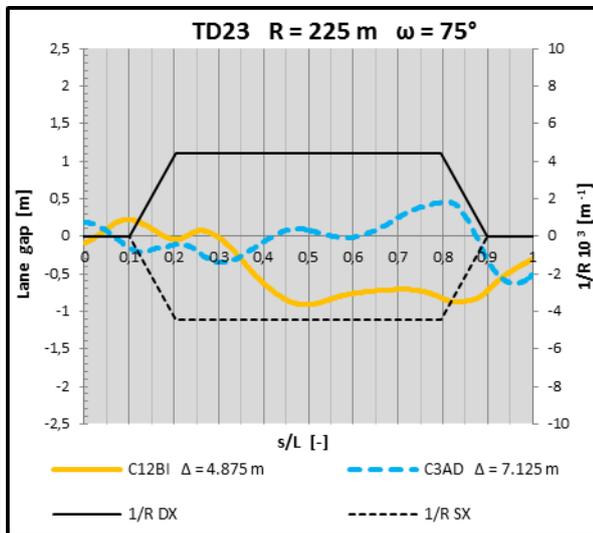
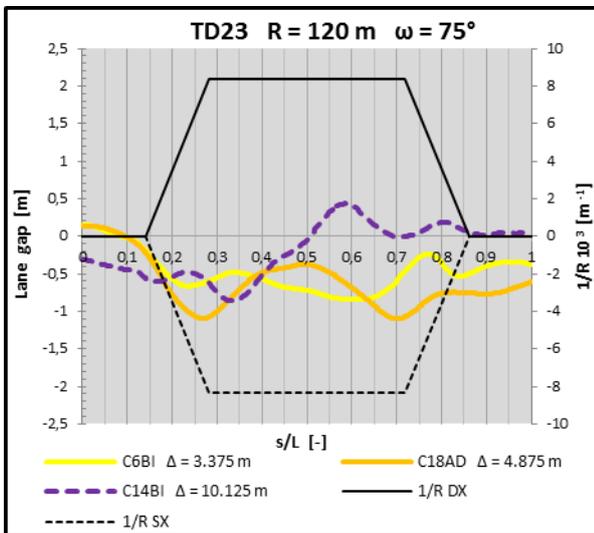
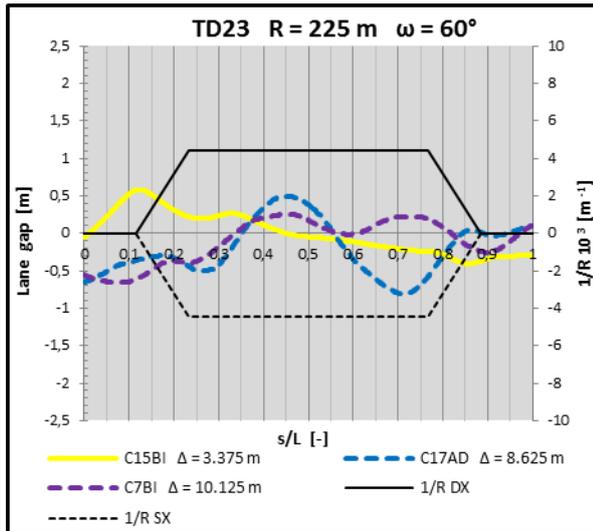
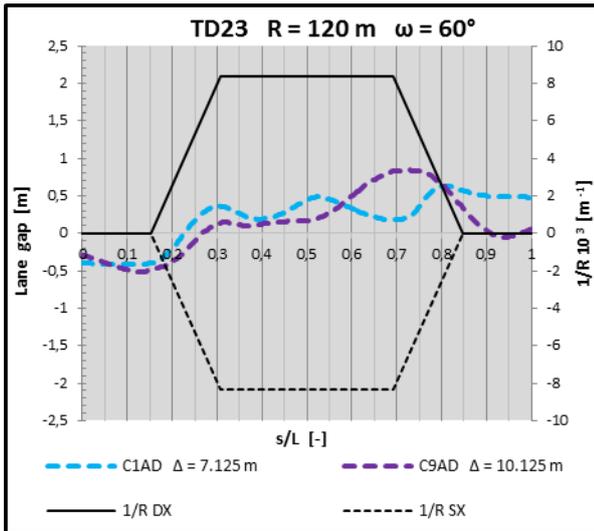
Scenari guidati: AD – BI

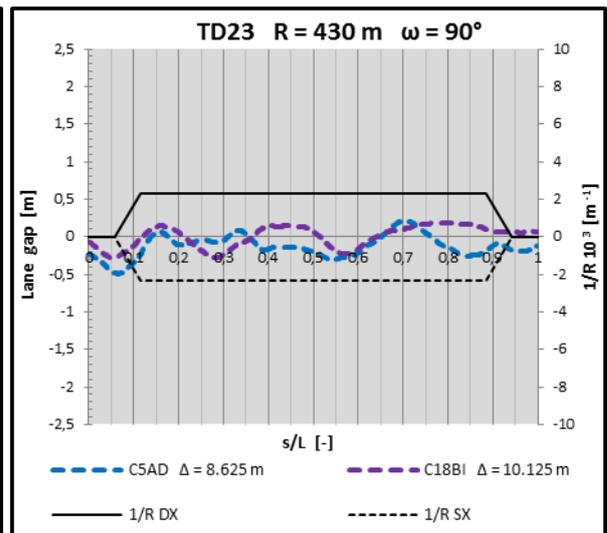
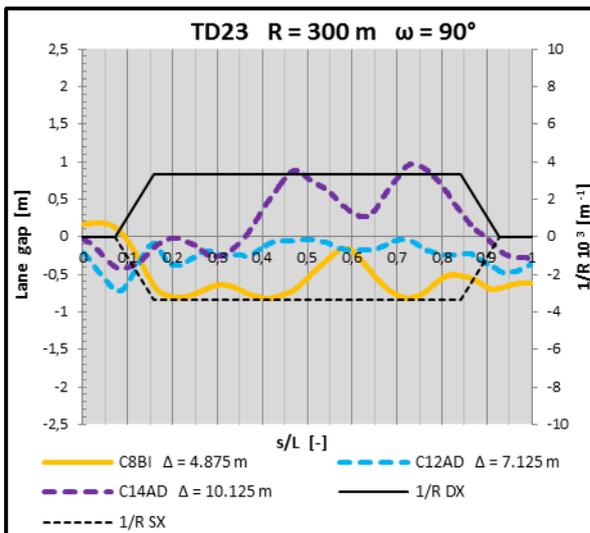
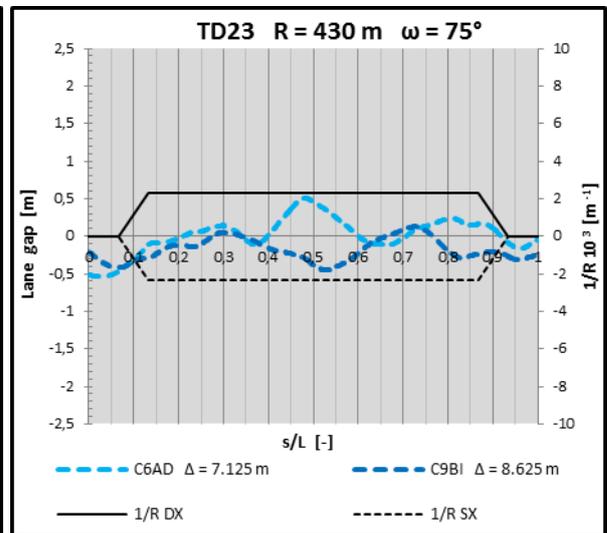
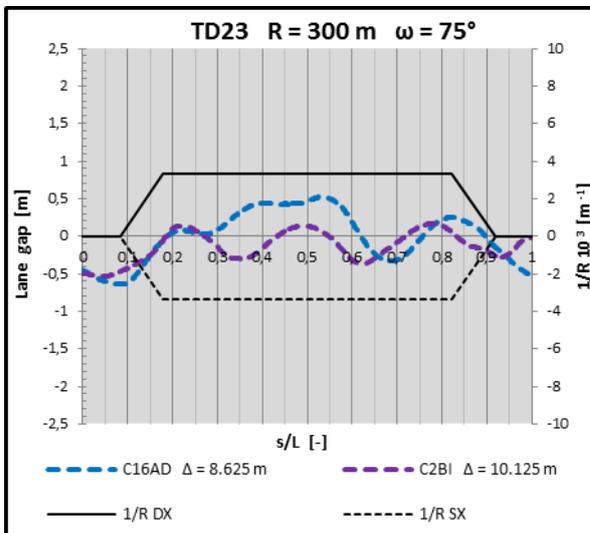
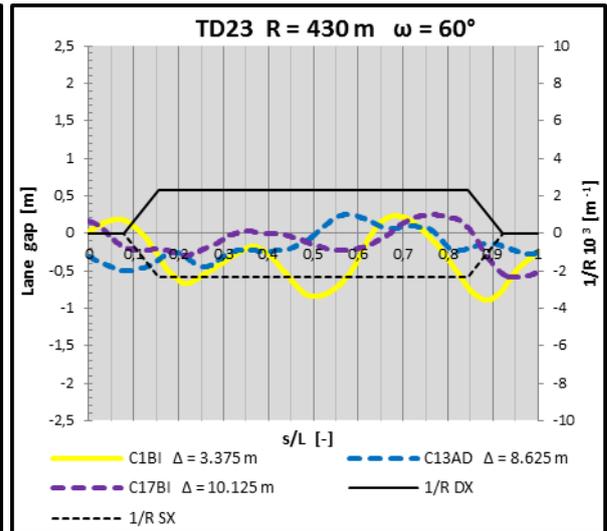
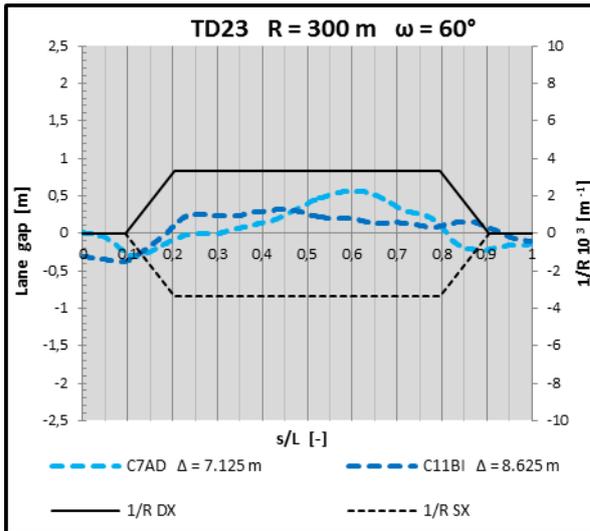


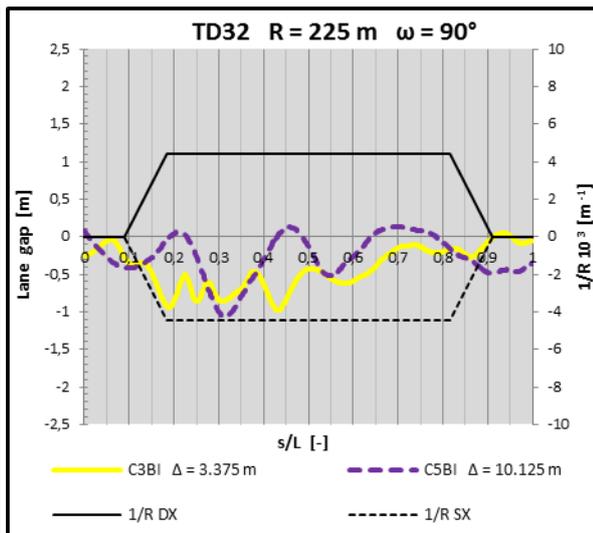
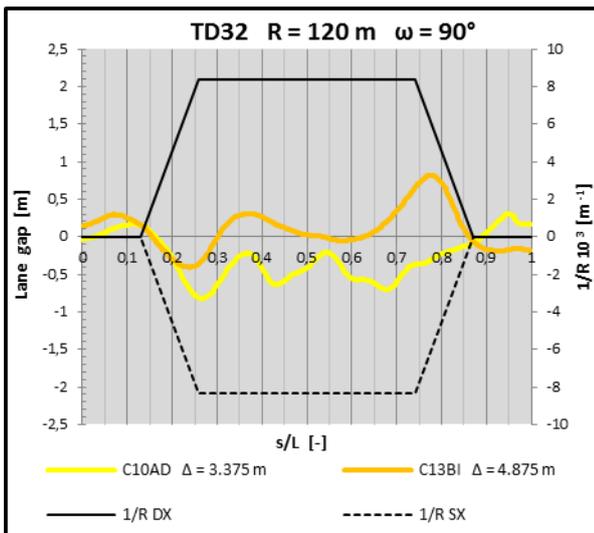
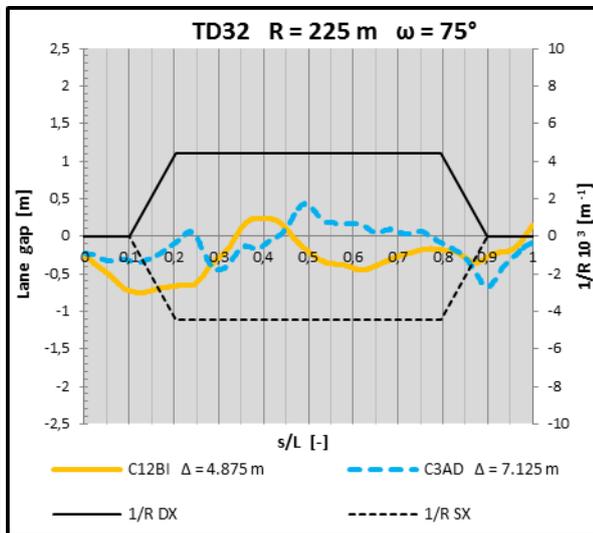
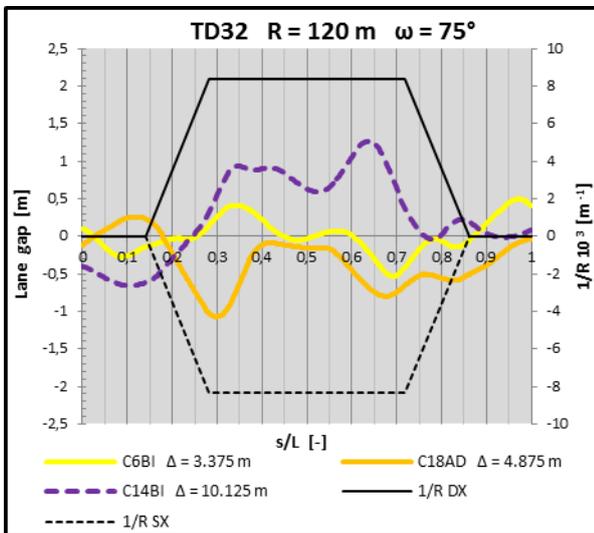
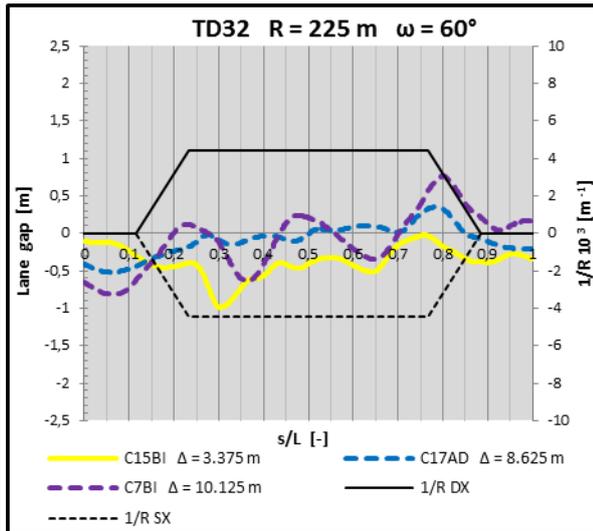
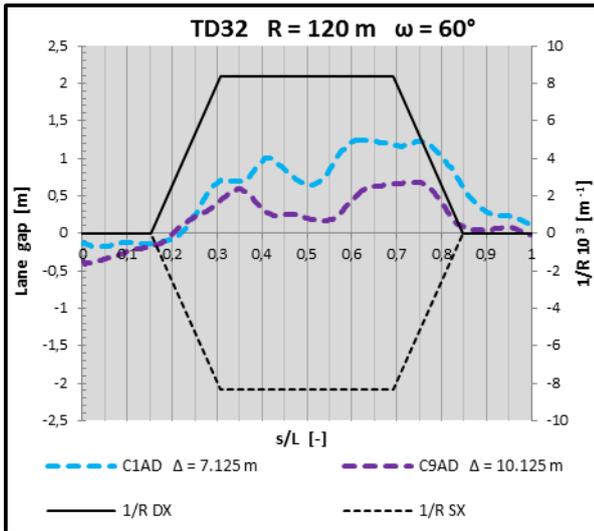


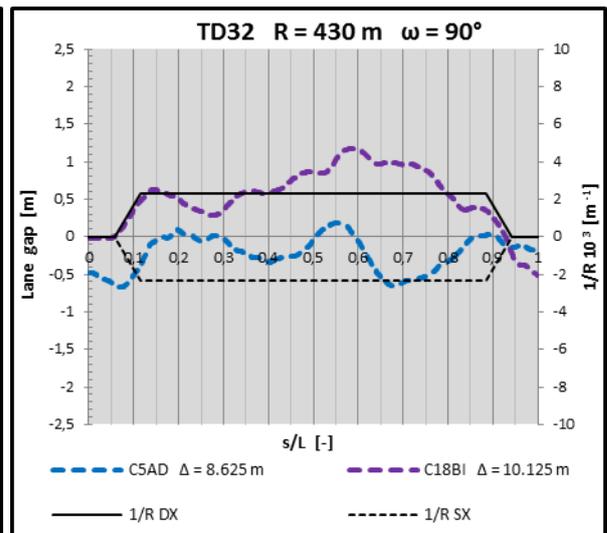
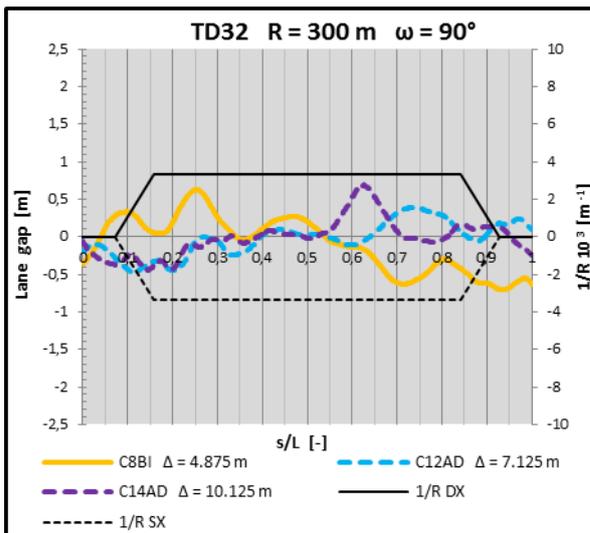
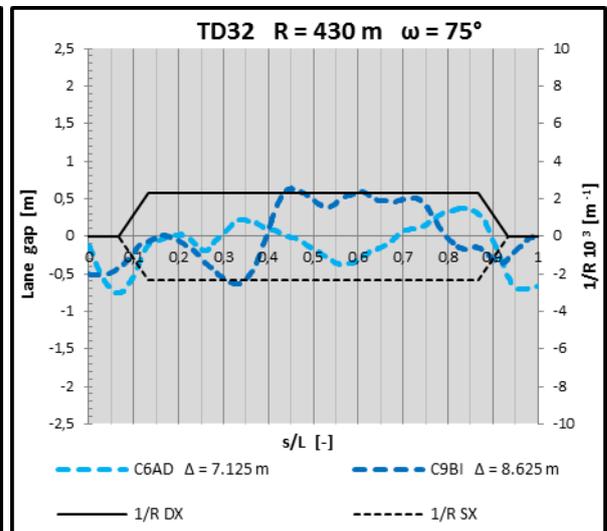
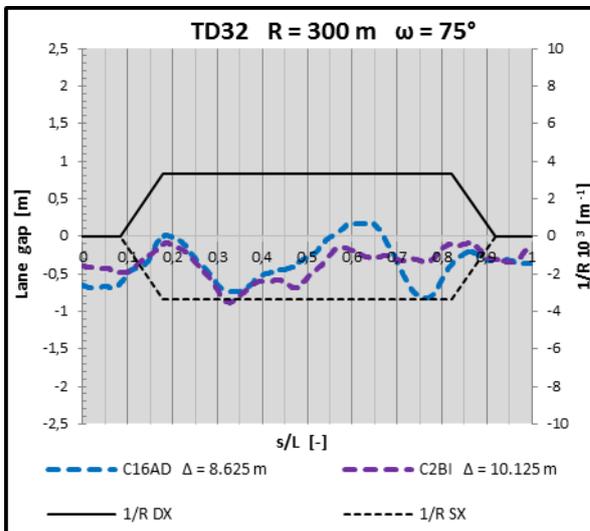
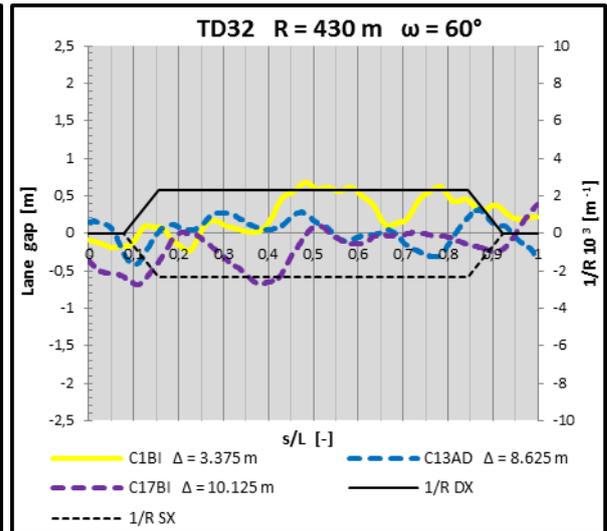
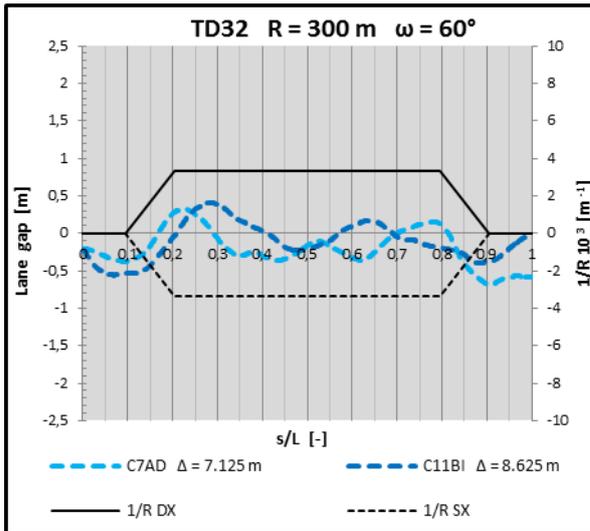


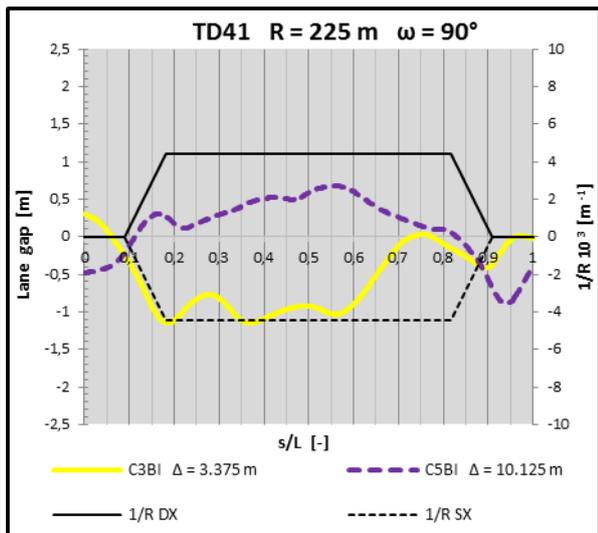
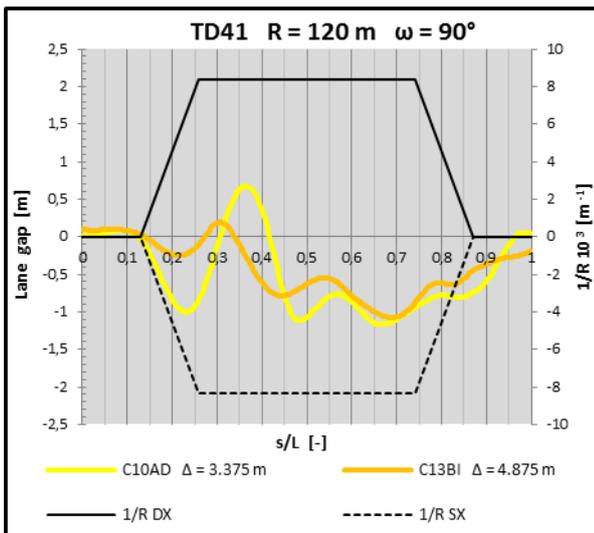
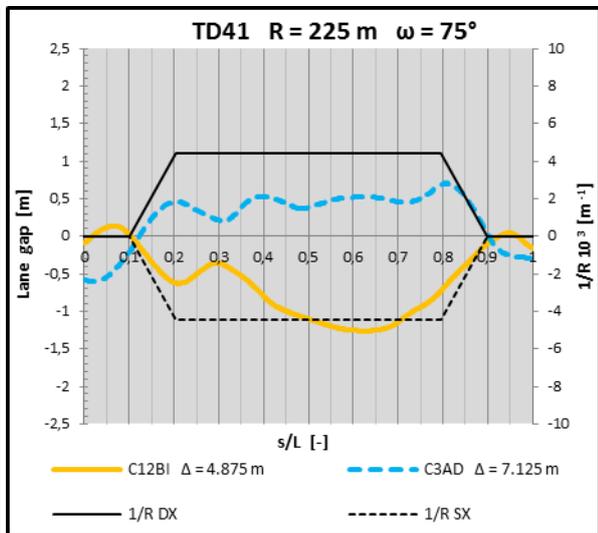
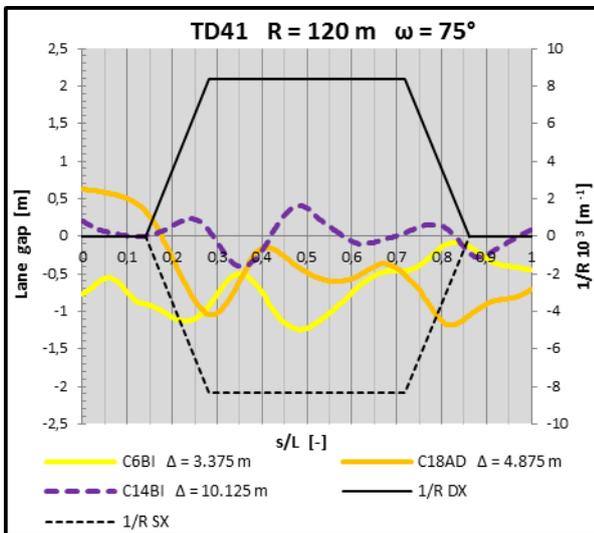
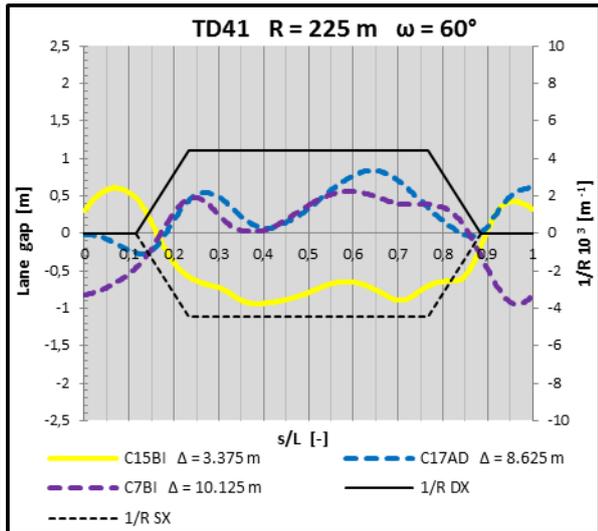
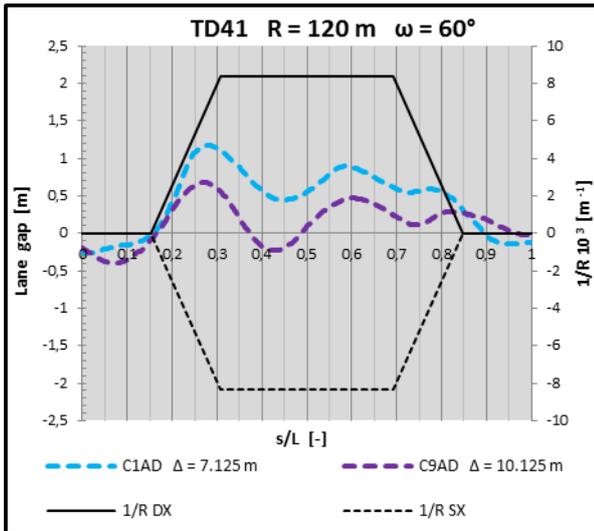


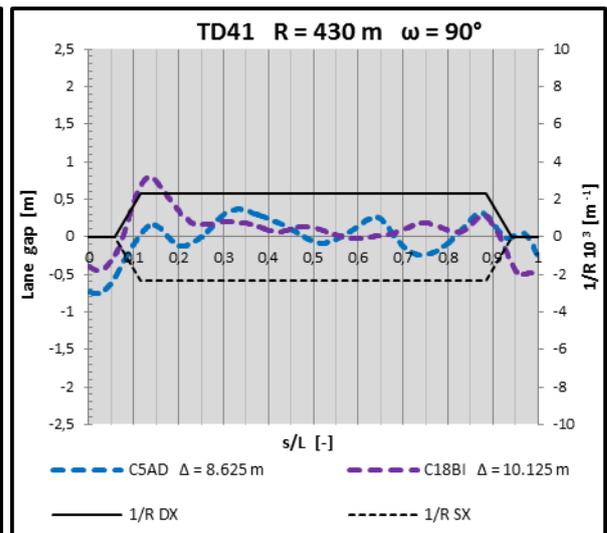
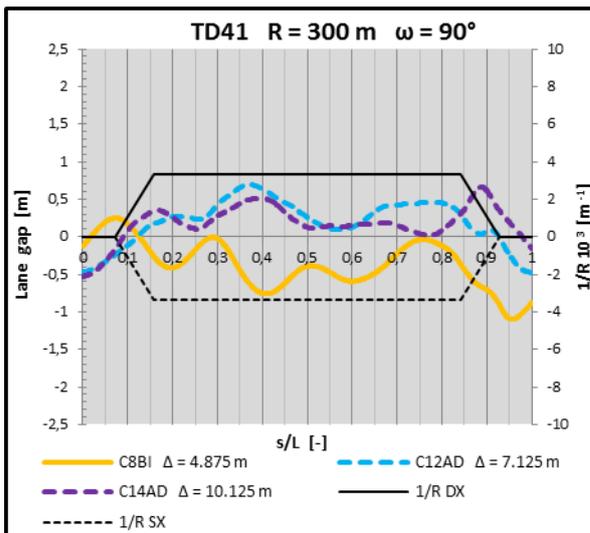
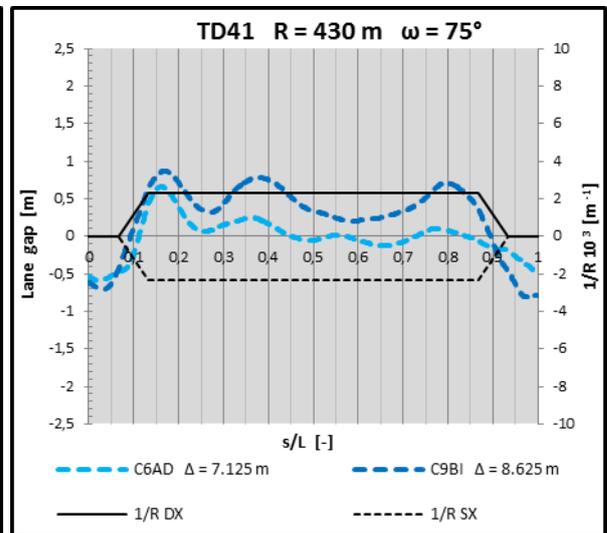
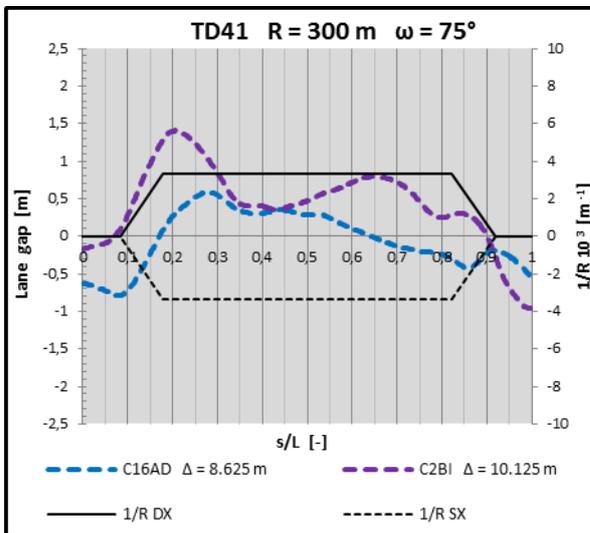
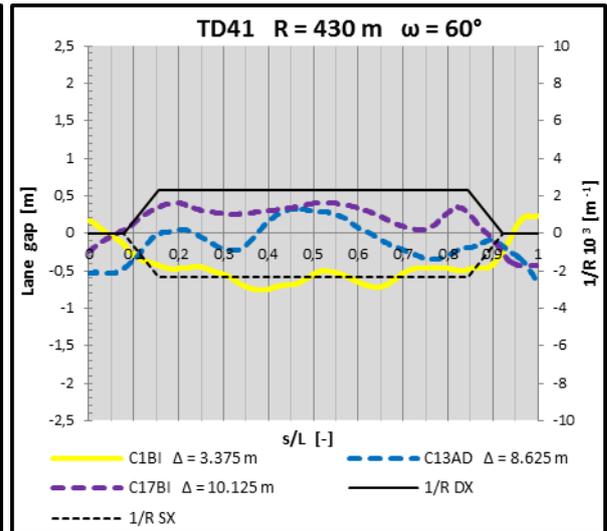
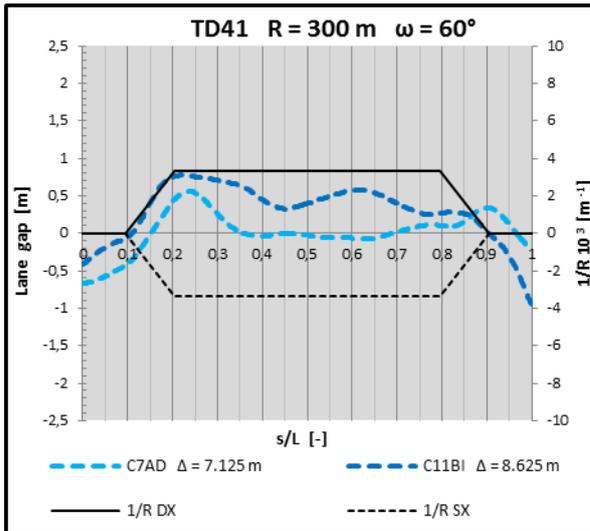




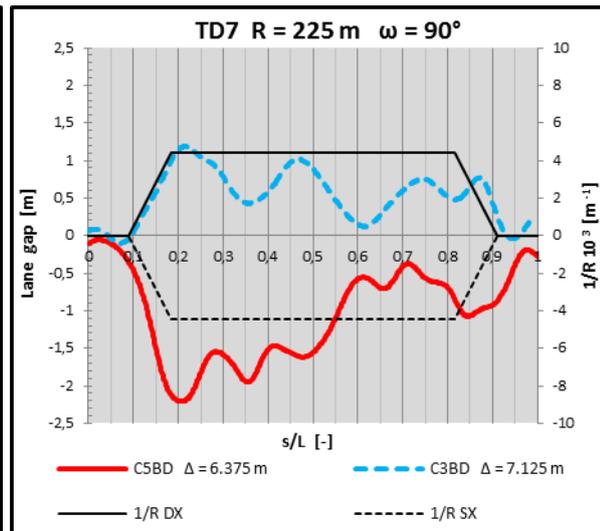
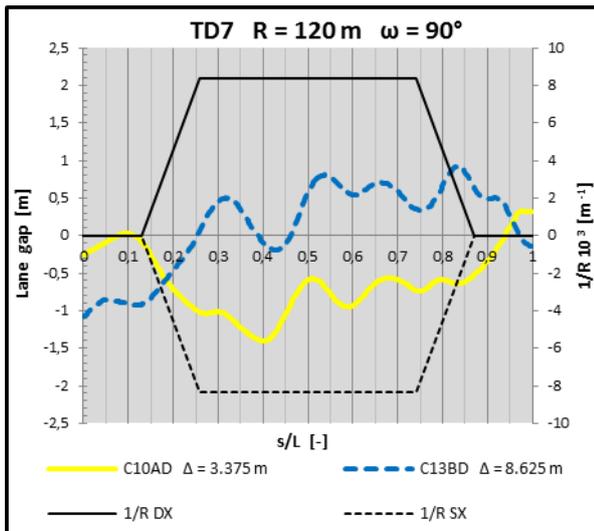
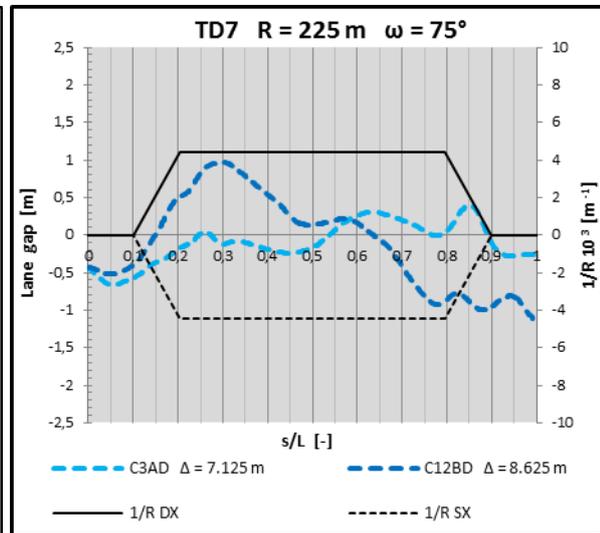
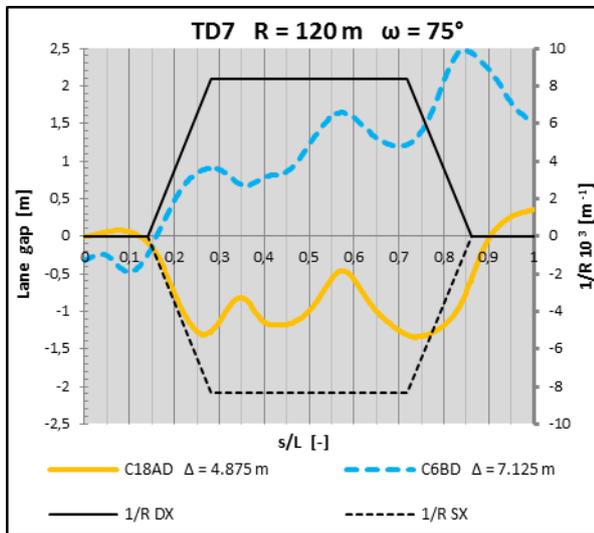
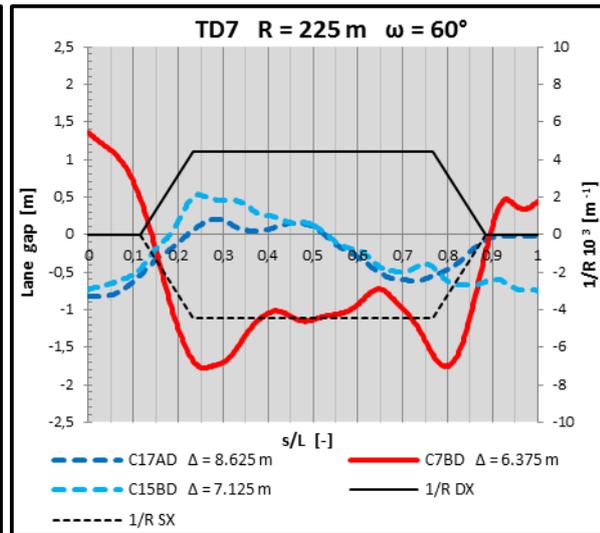
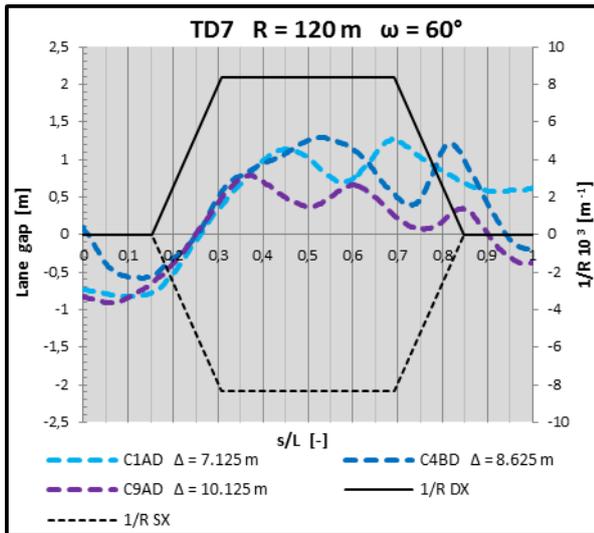


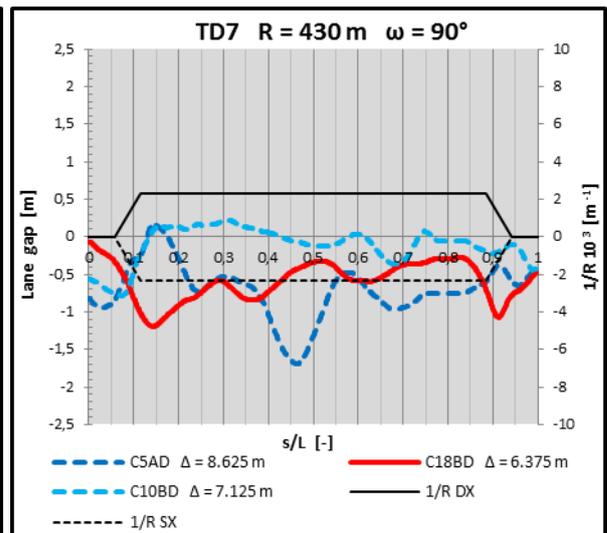
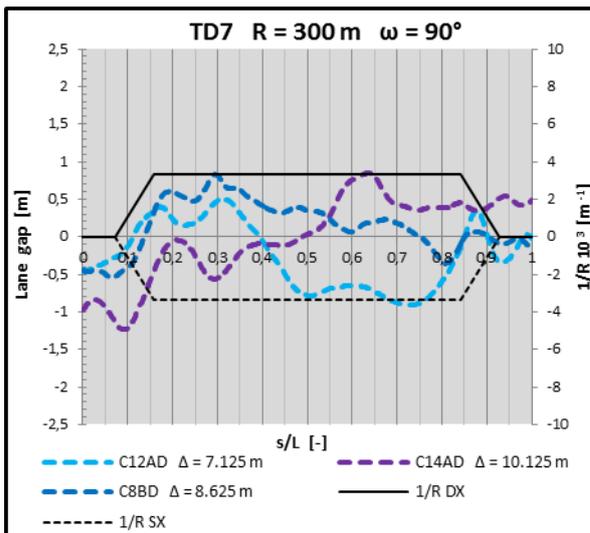
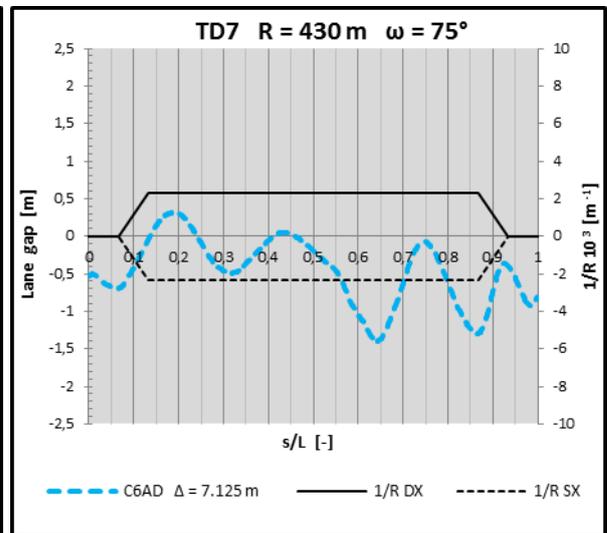
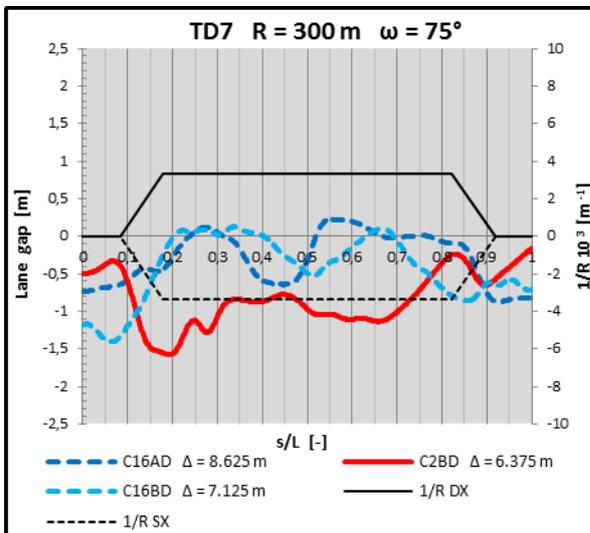
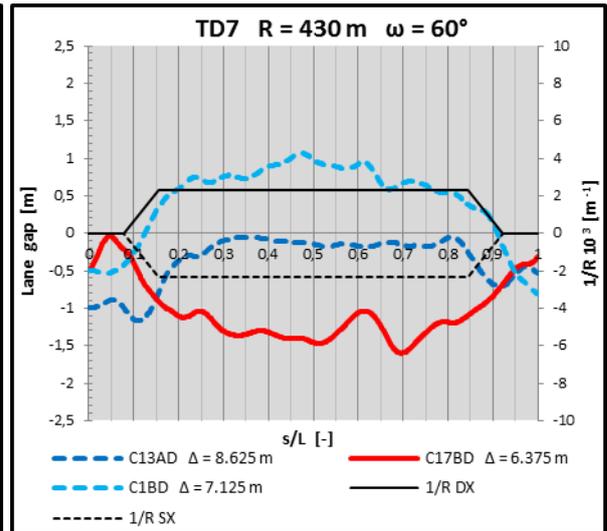
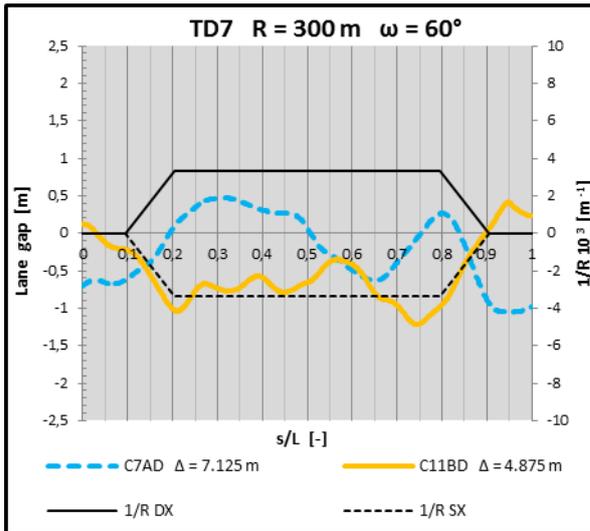


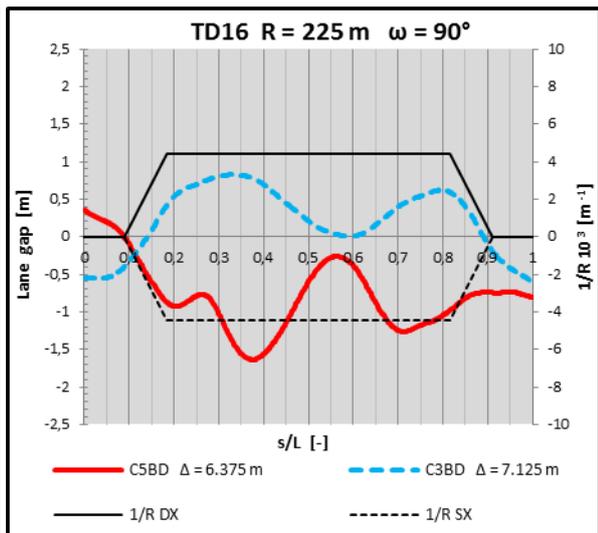
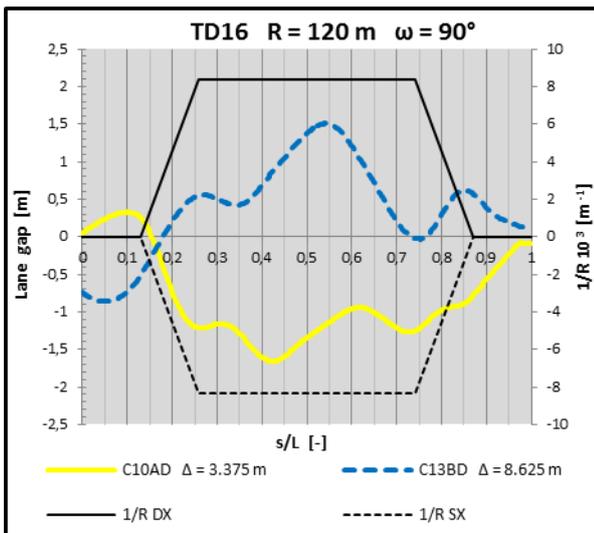
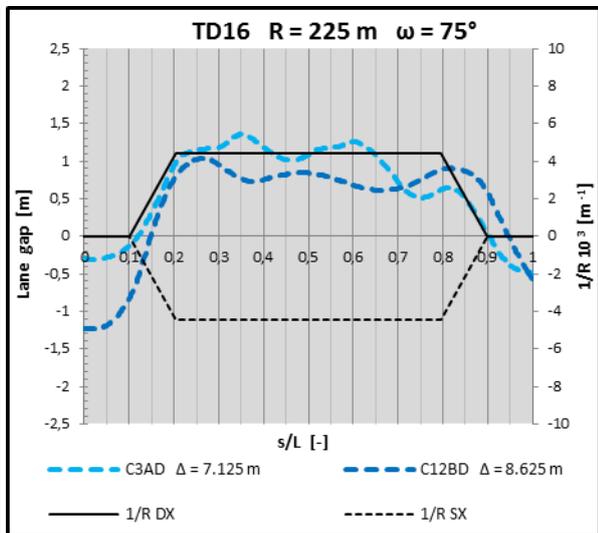
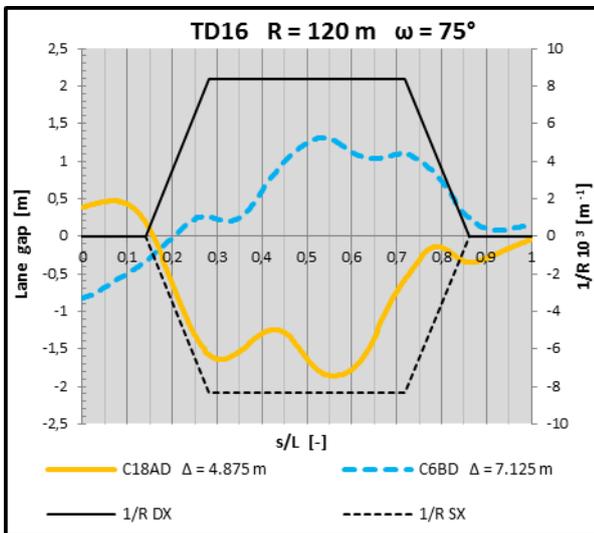
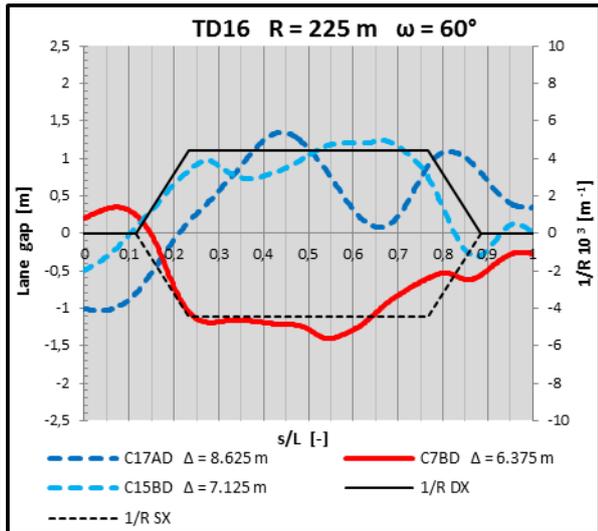
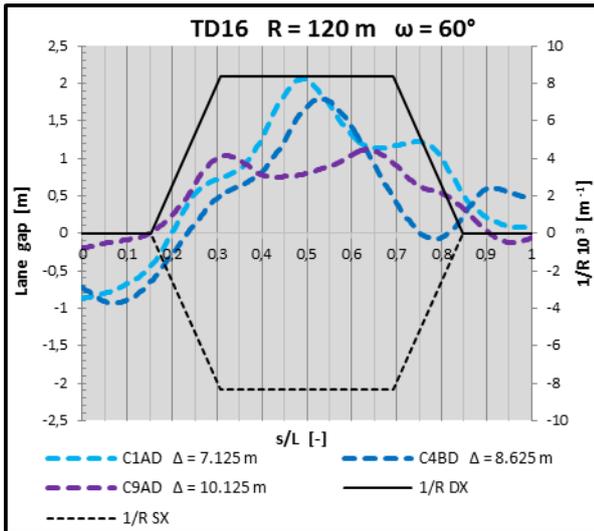


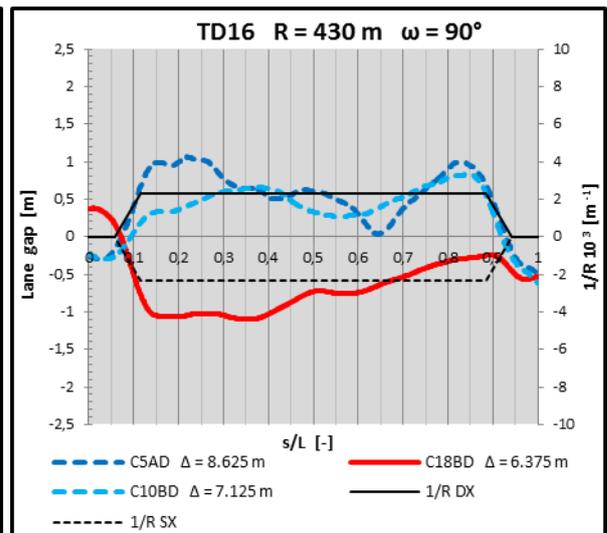
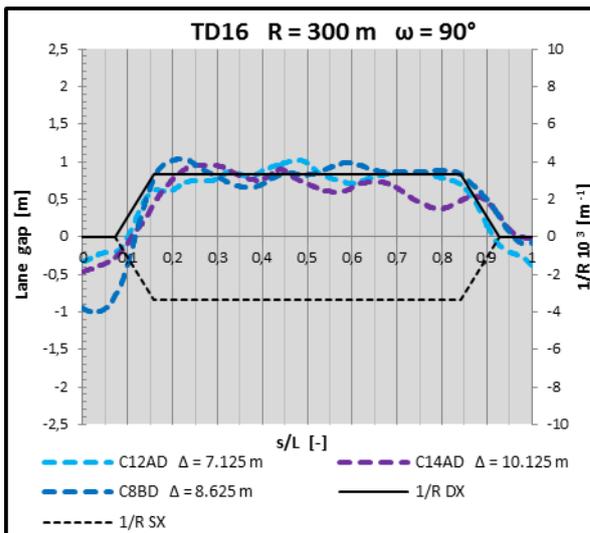
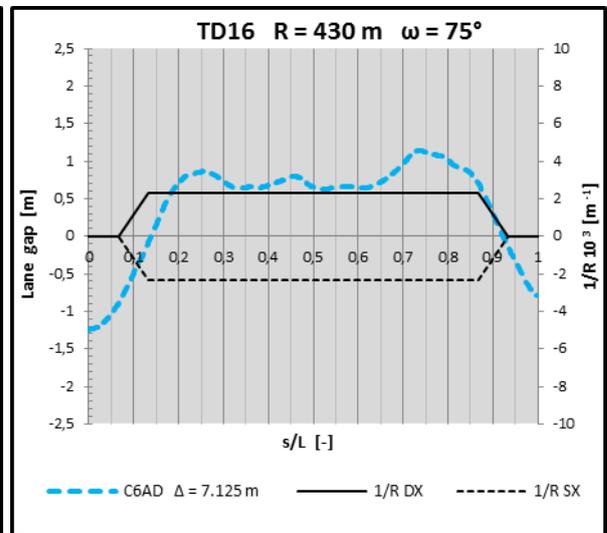
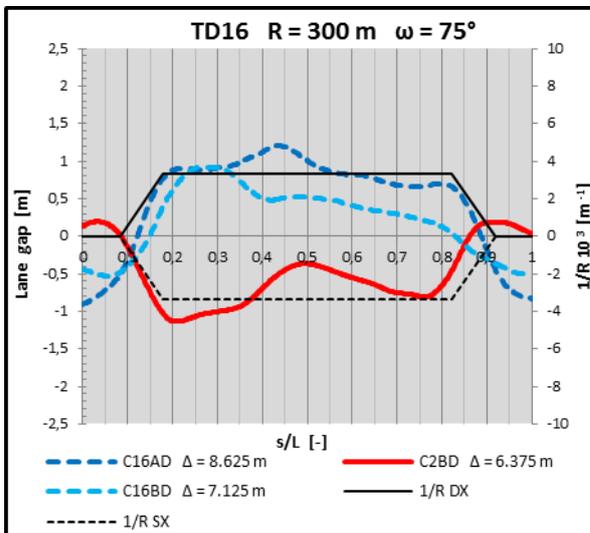
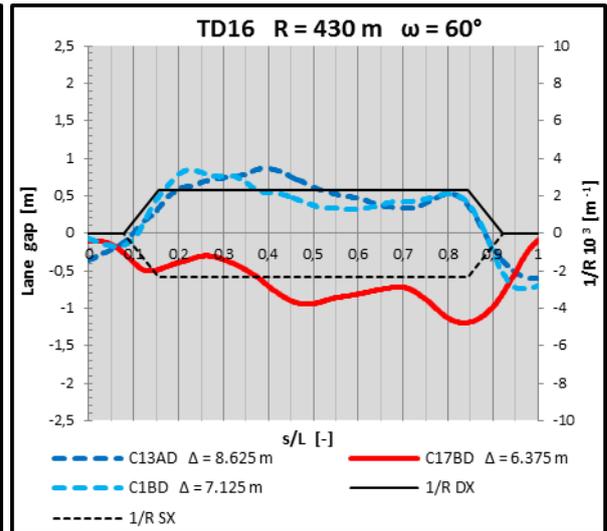
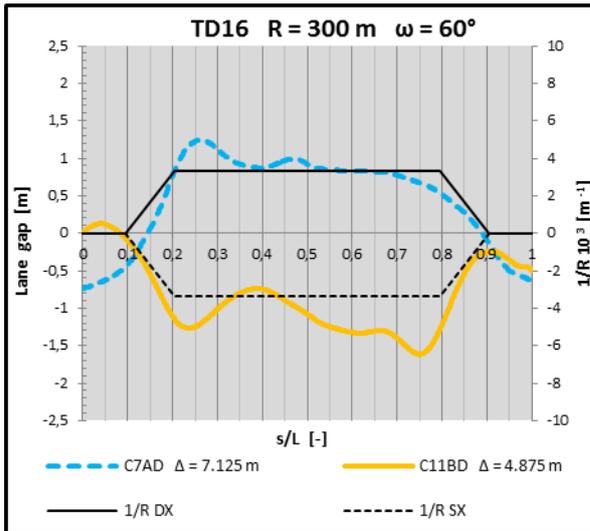


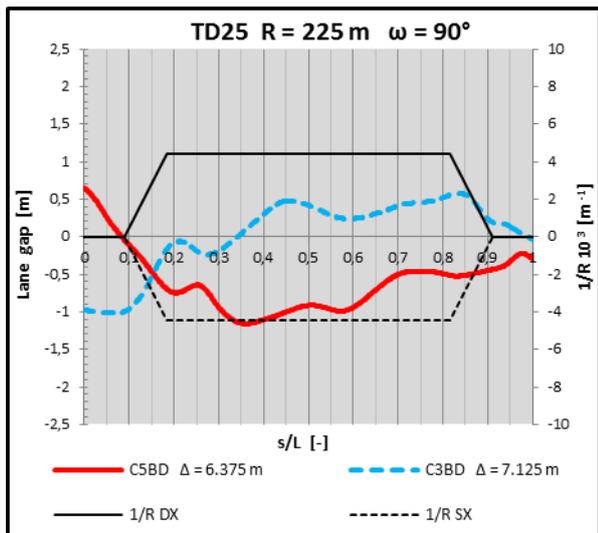
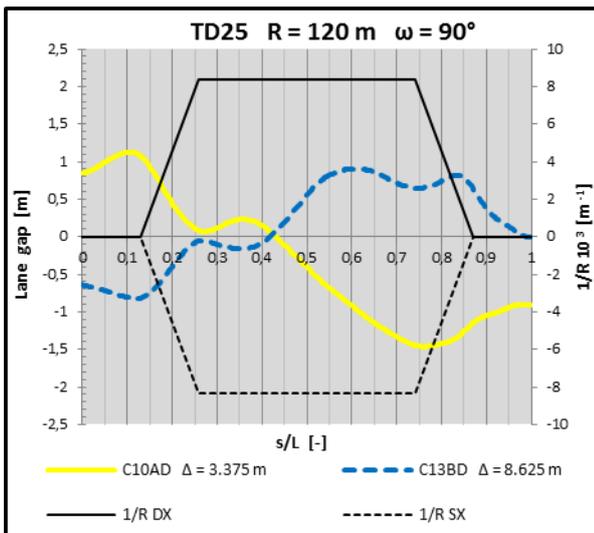
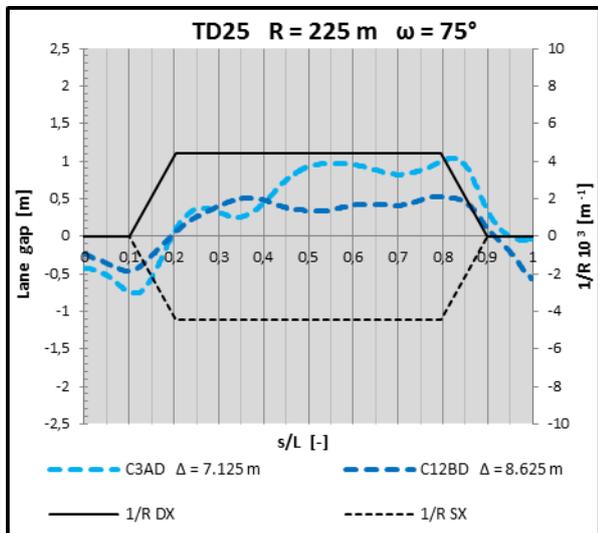
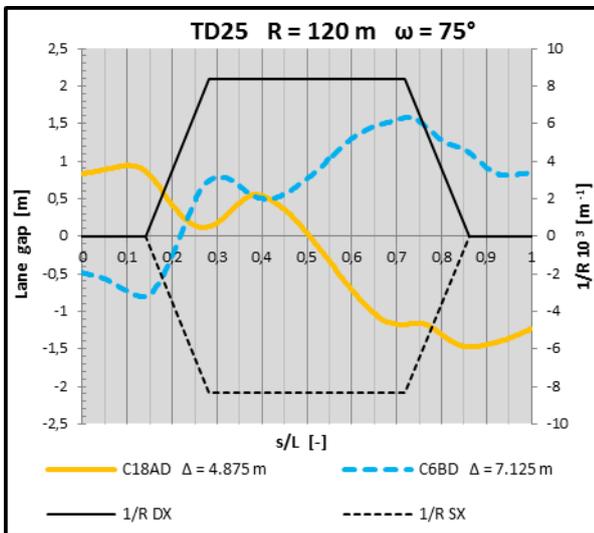
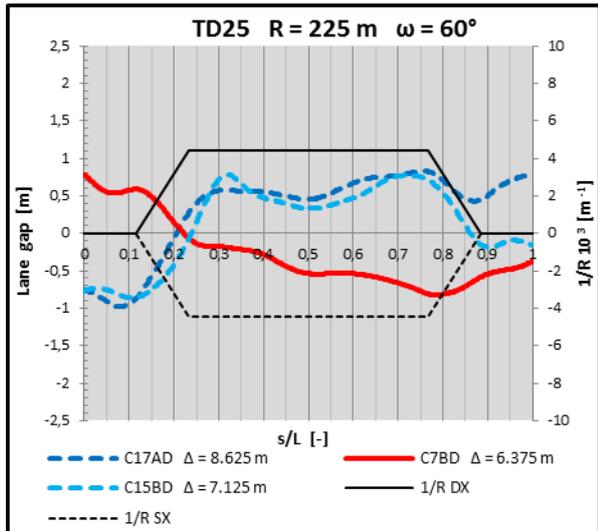
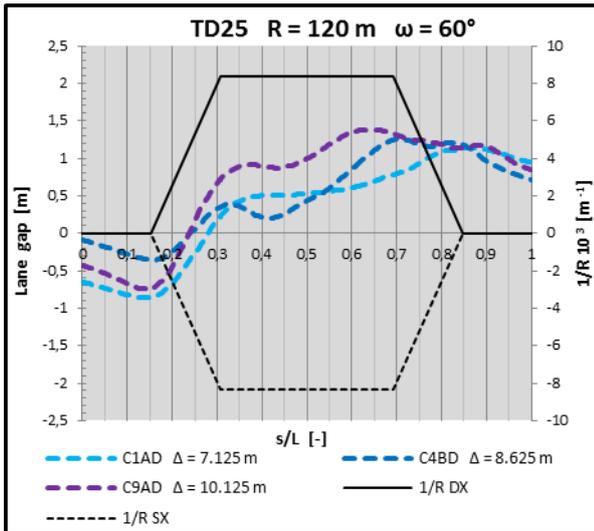
Scenari guidati: AD – BD

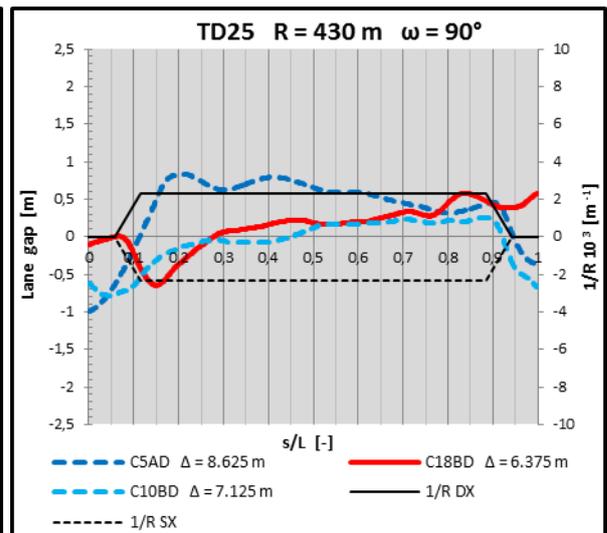
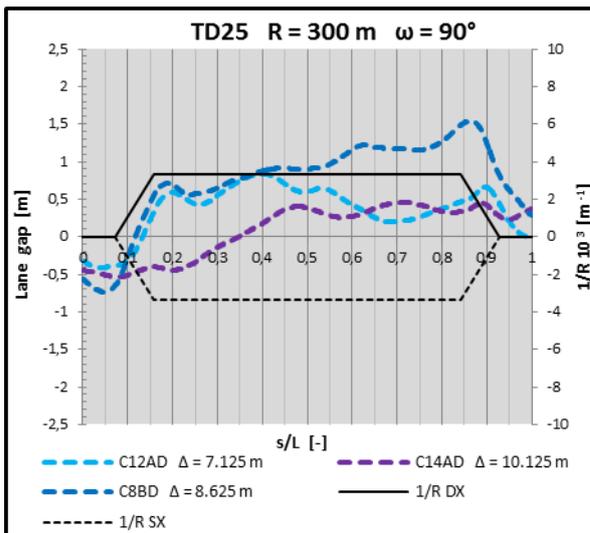
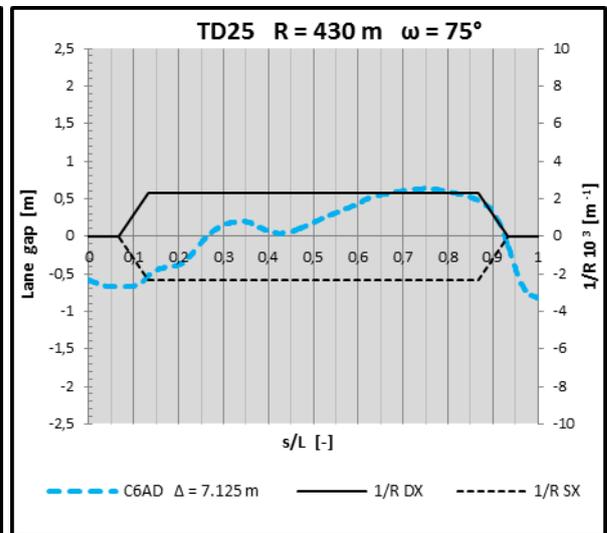
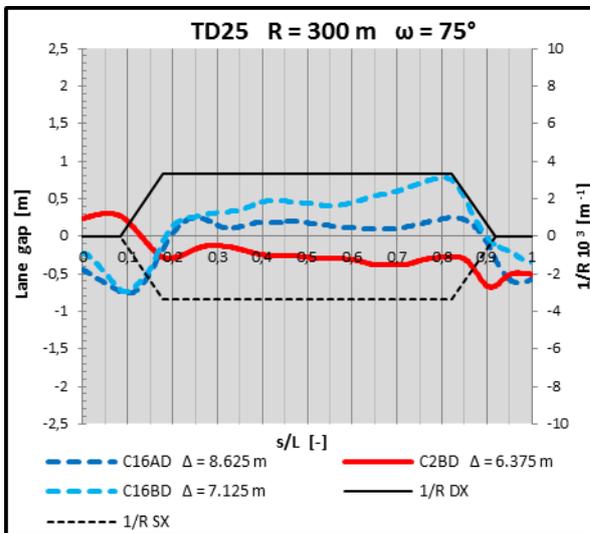
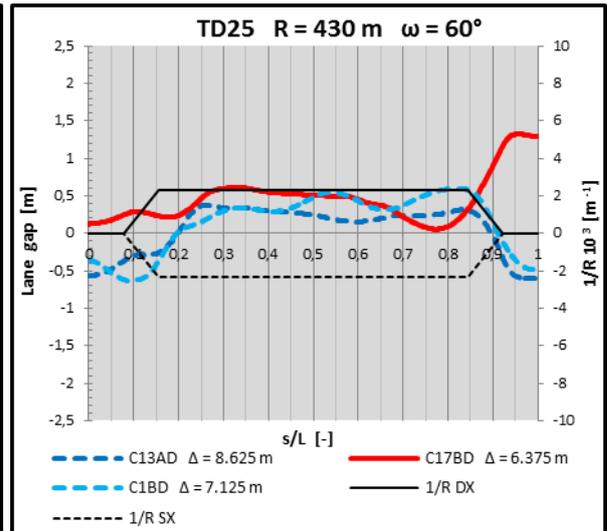
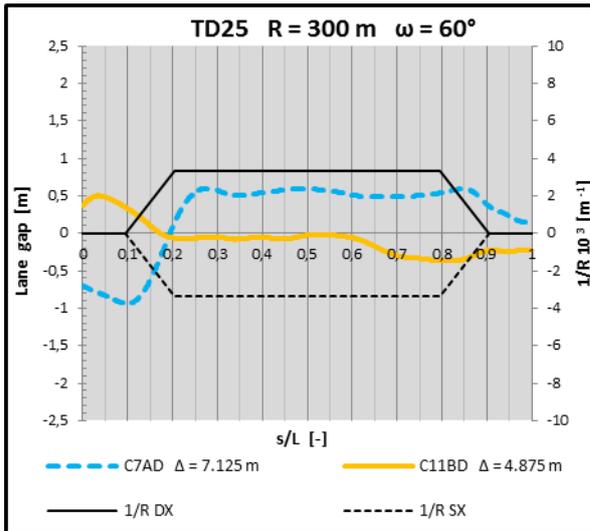


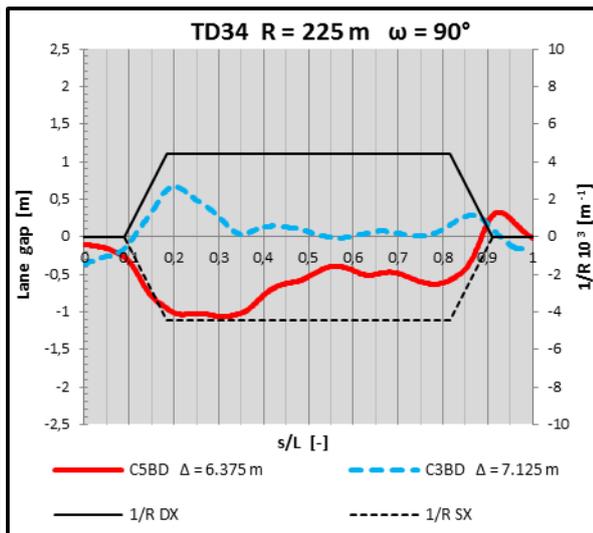
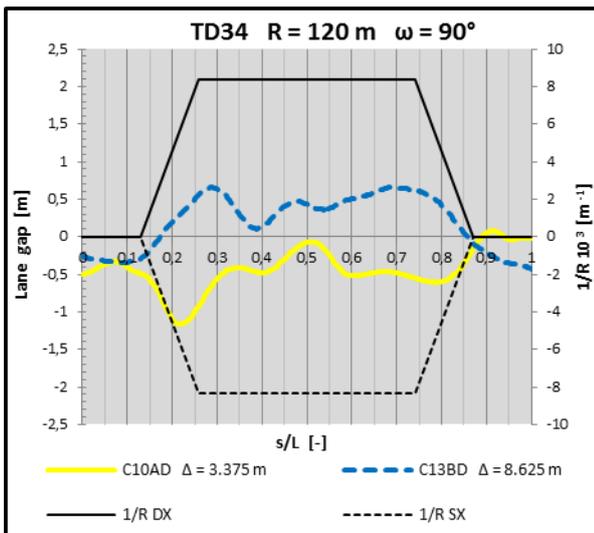
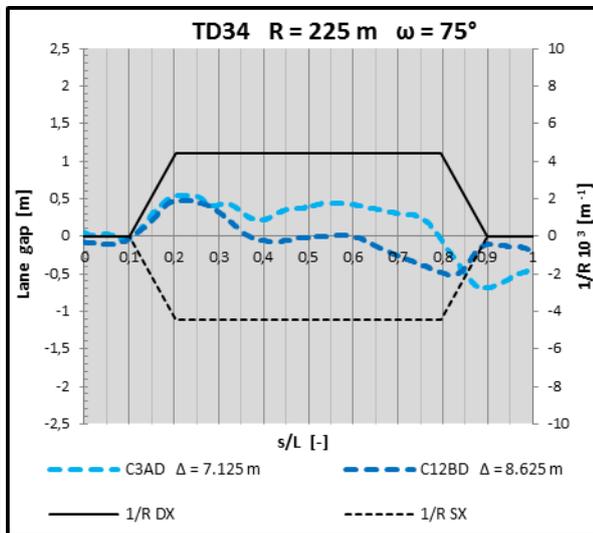
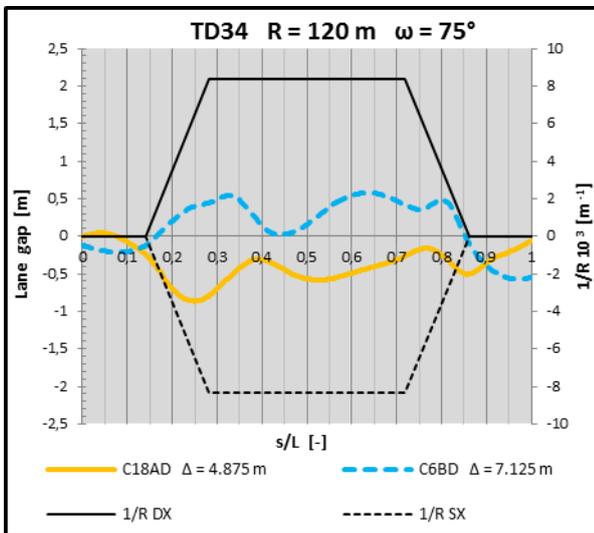
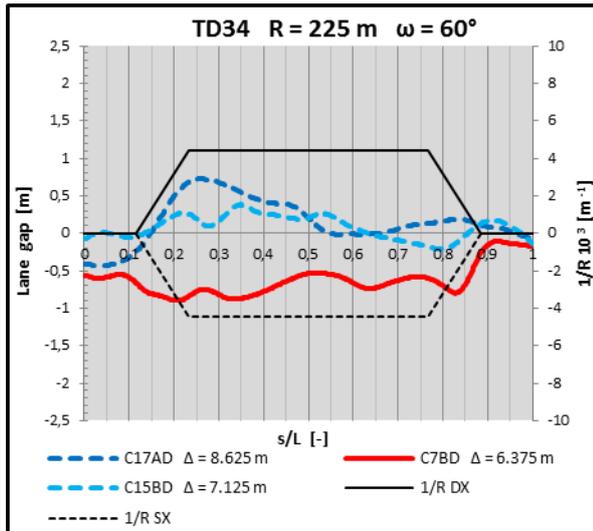
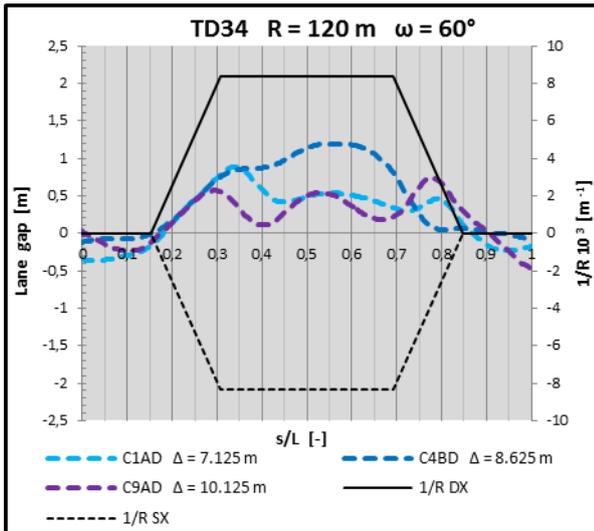


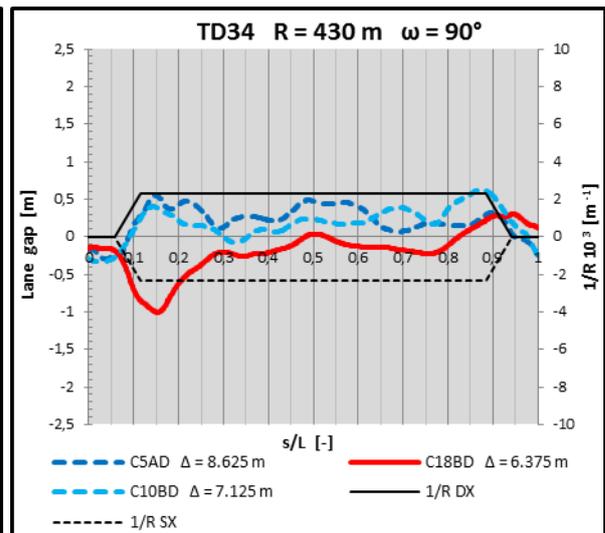
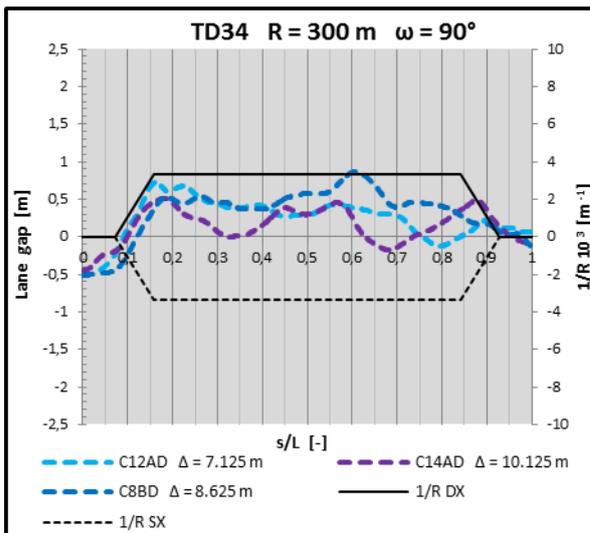
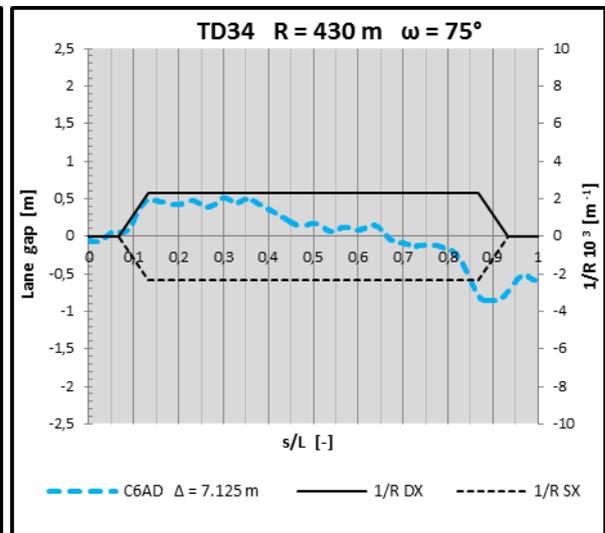
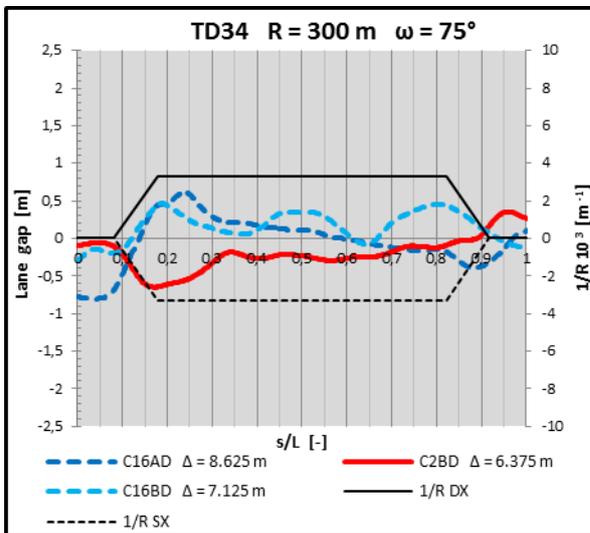
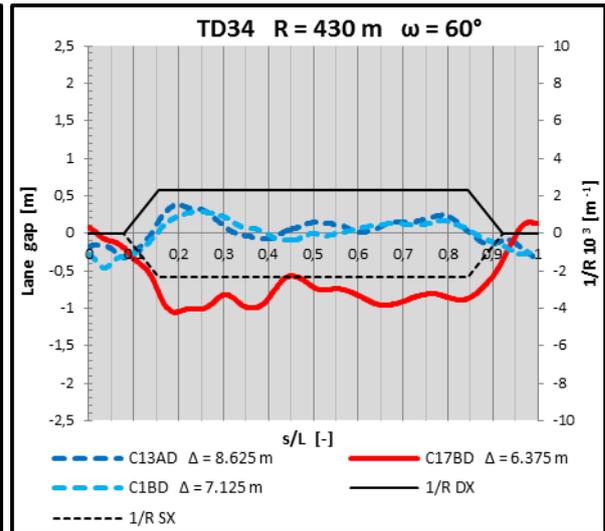
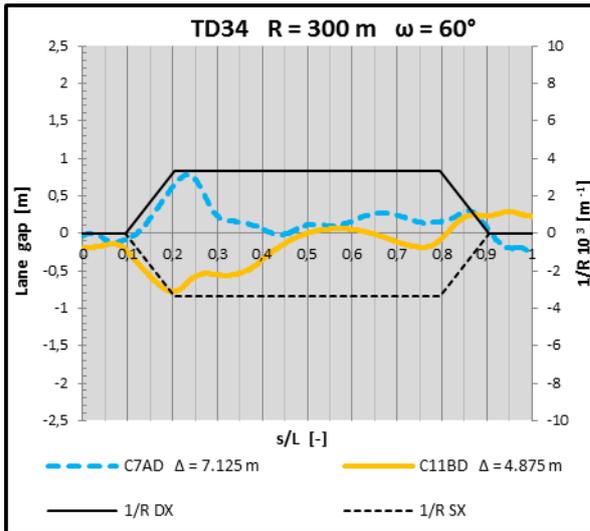




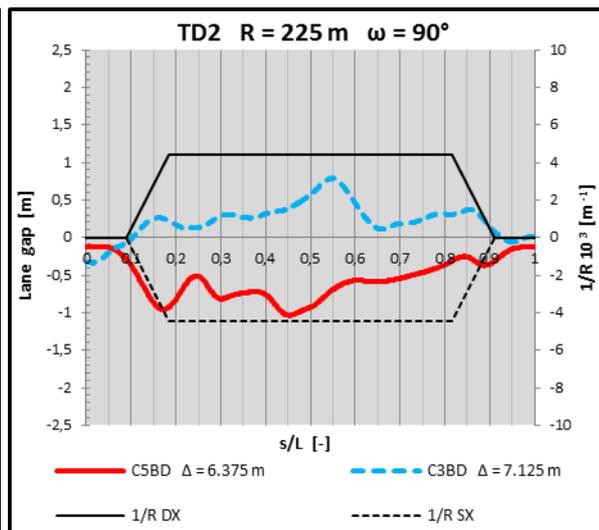
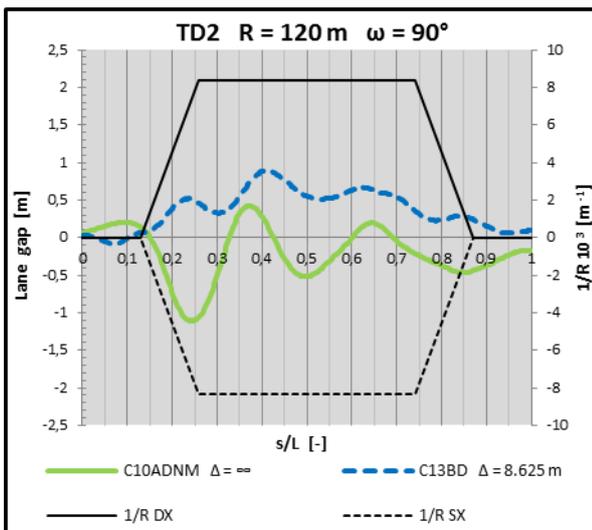
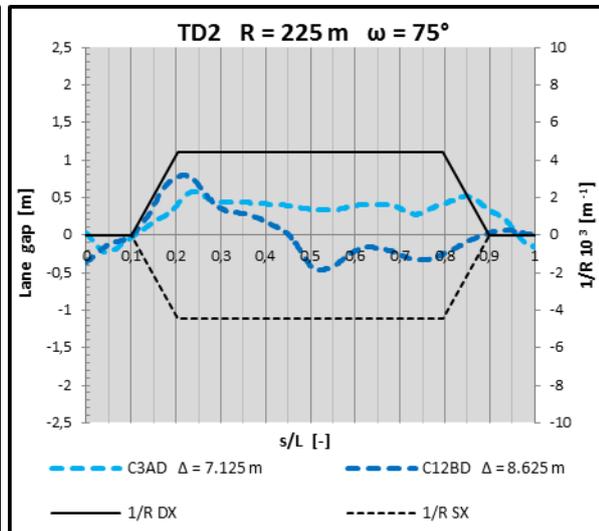
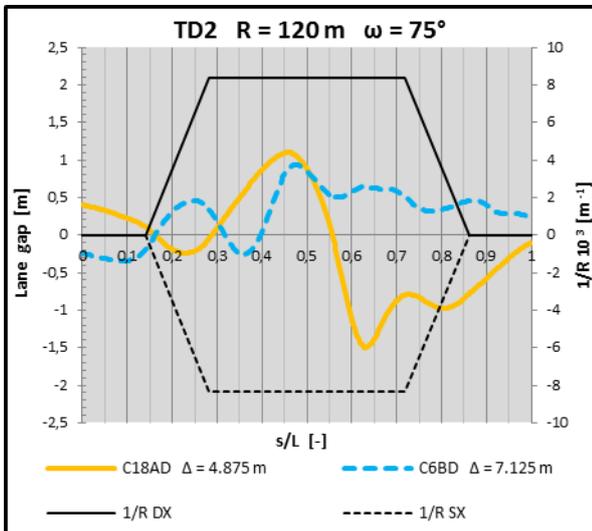
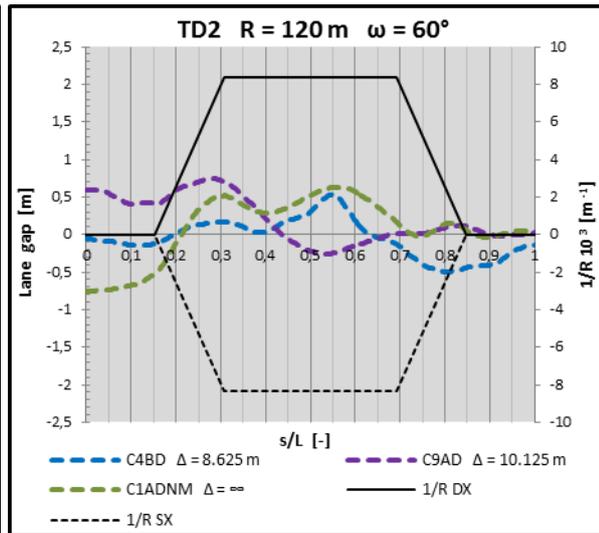
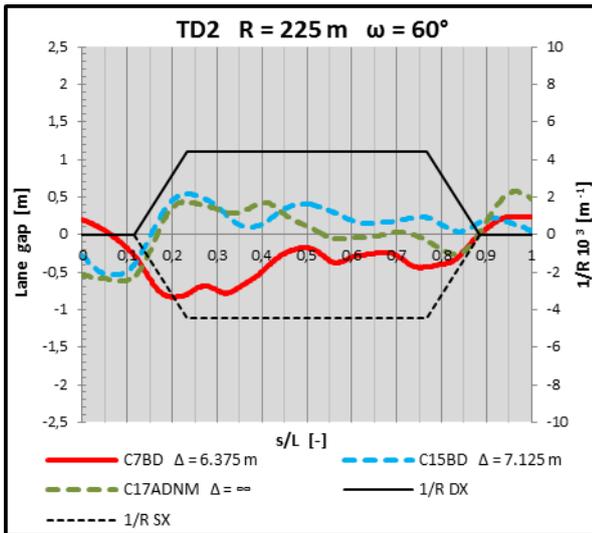


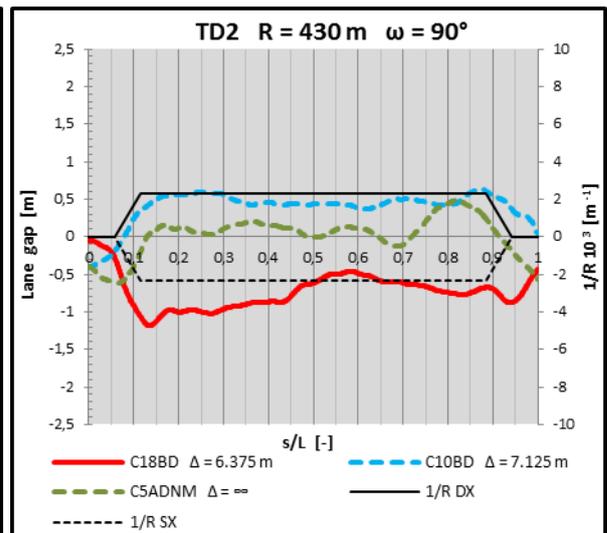
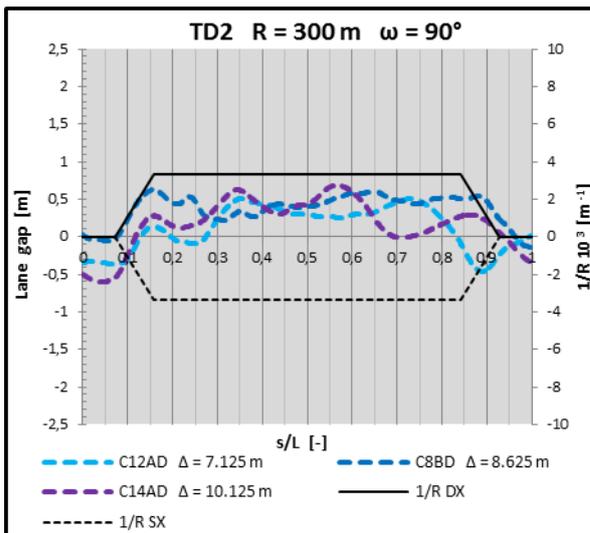
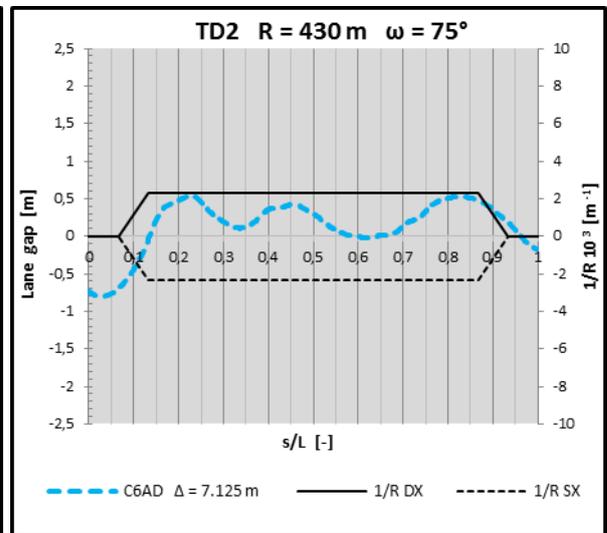
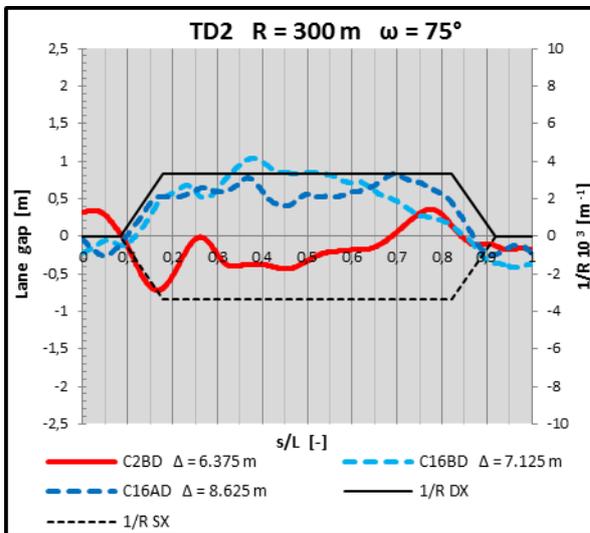
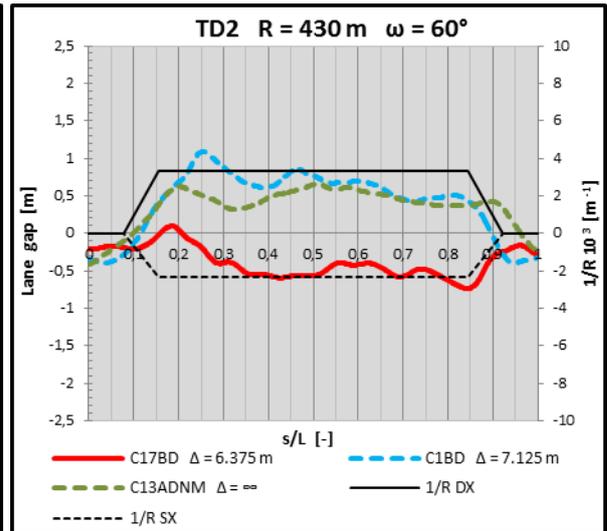
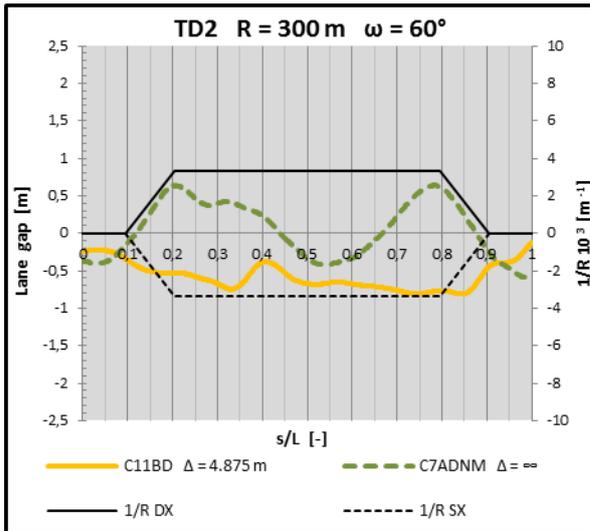


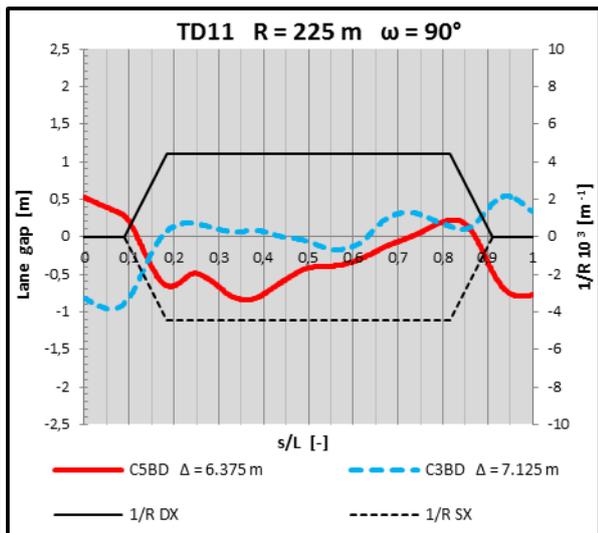
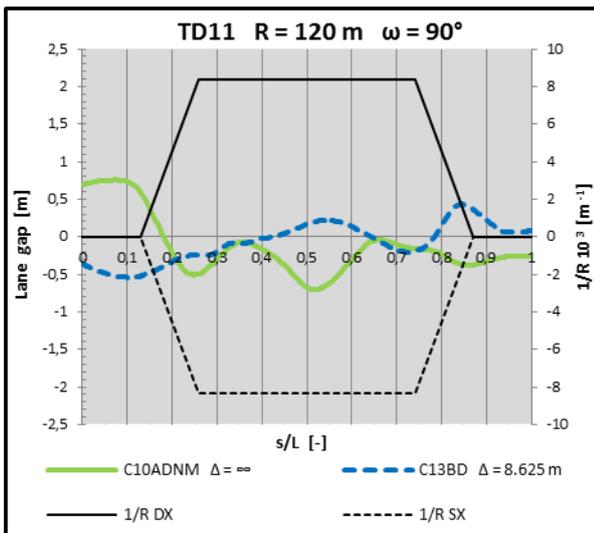
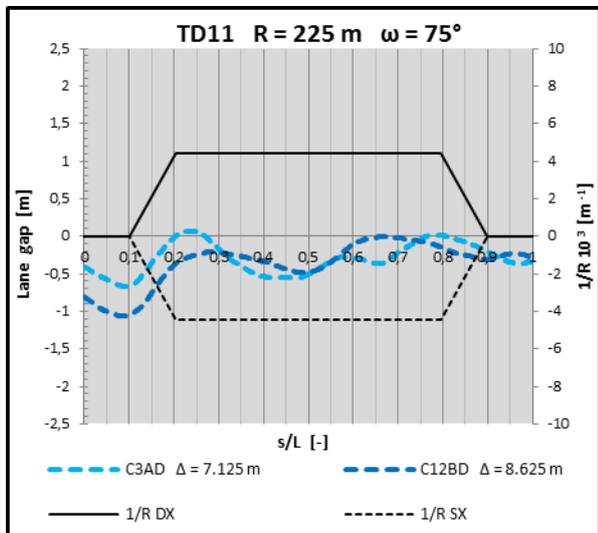
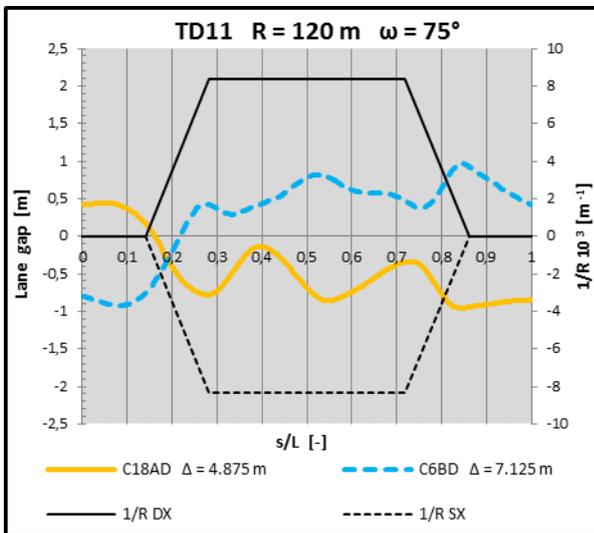
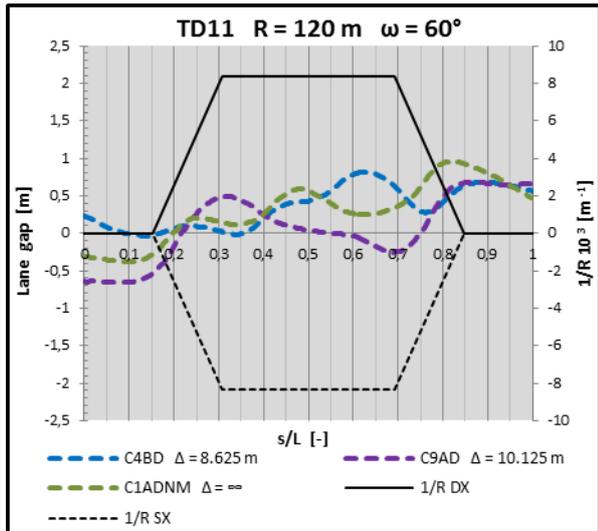
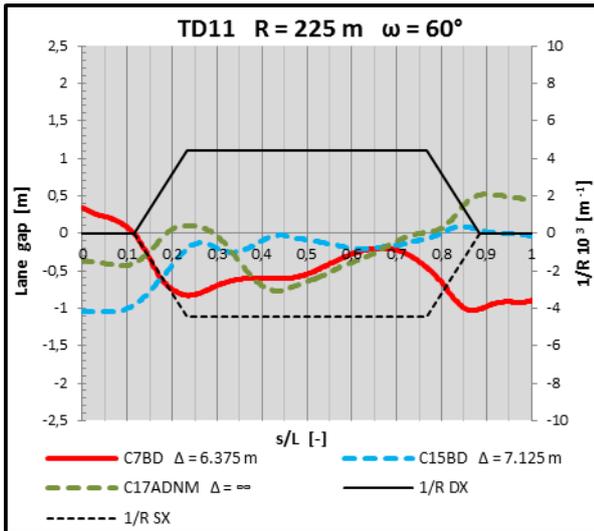


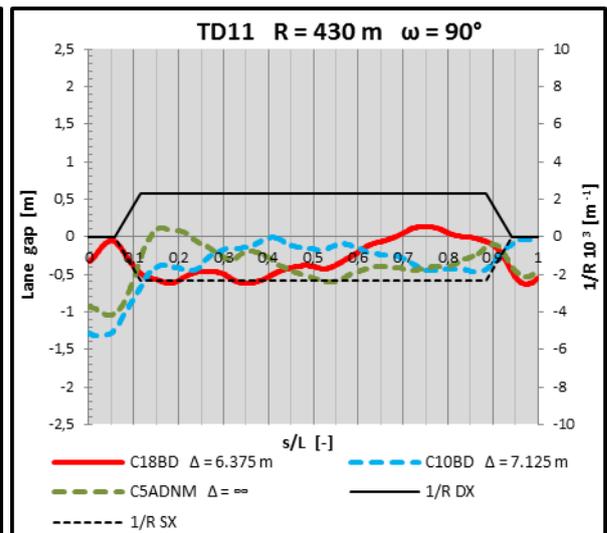
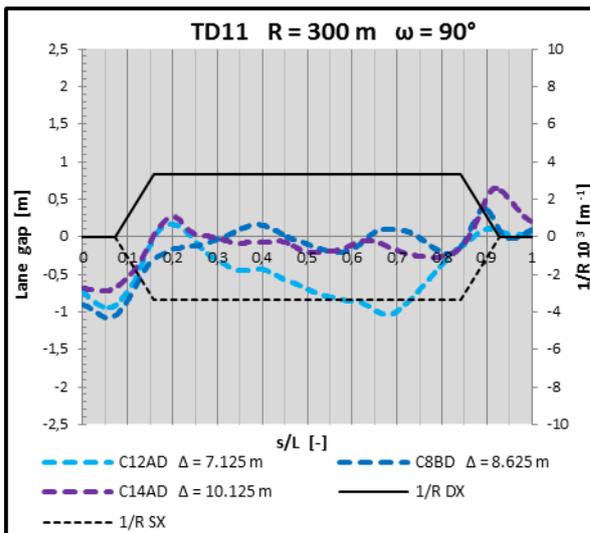
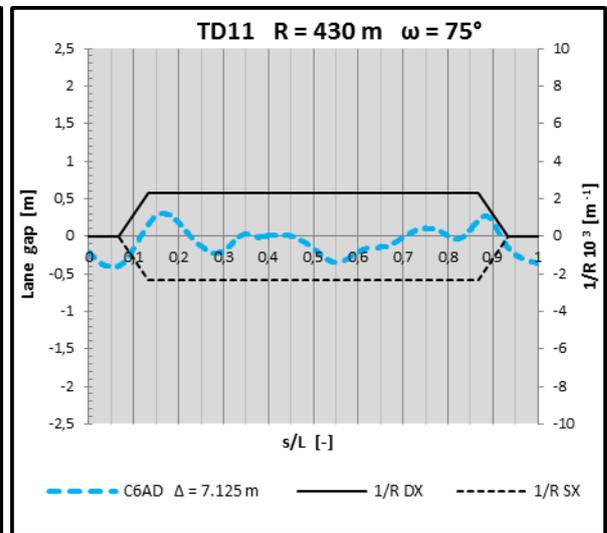
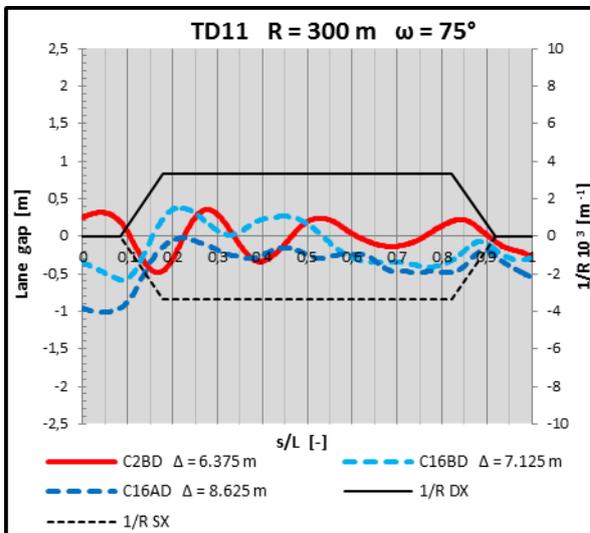
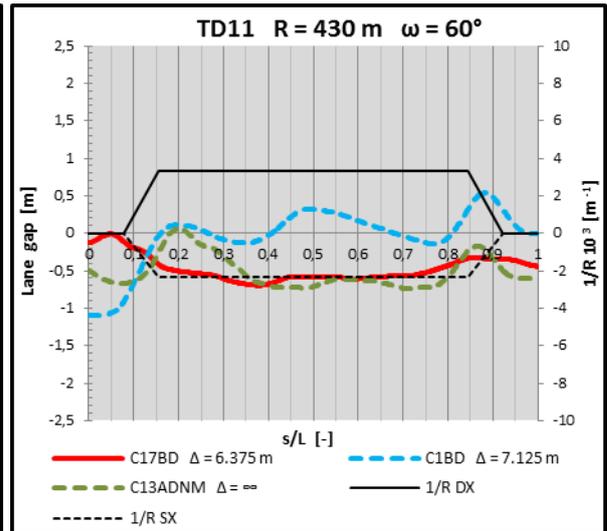
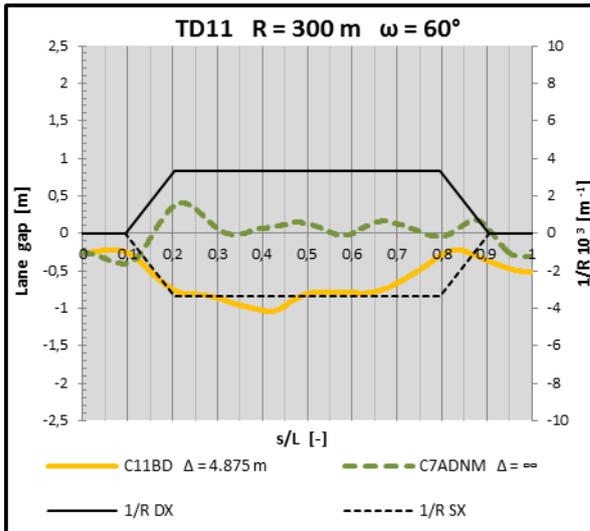


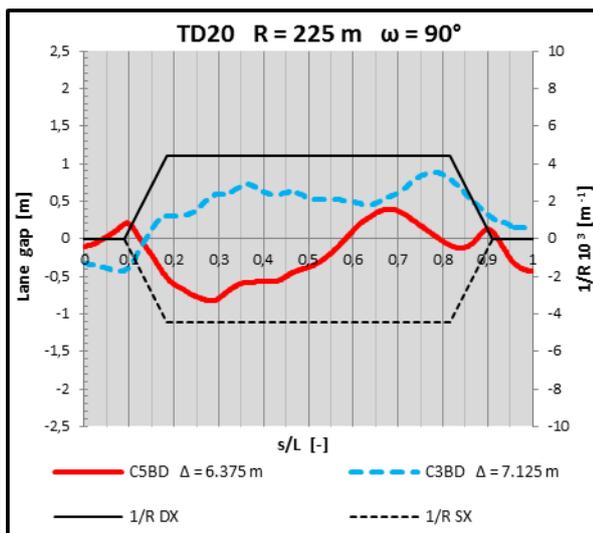
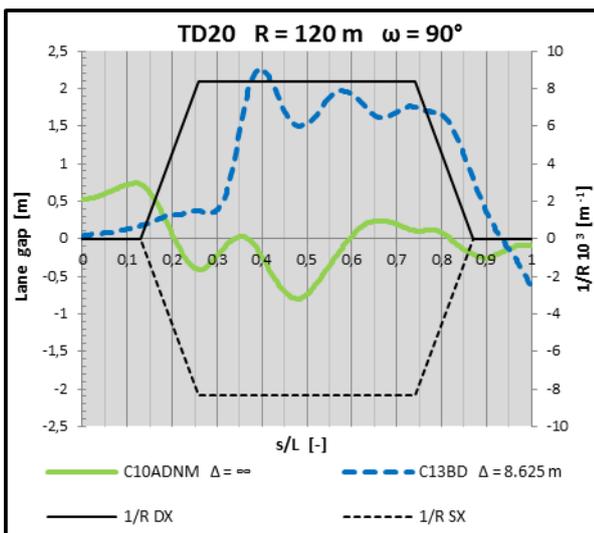
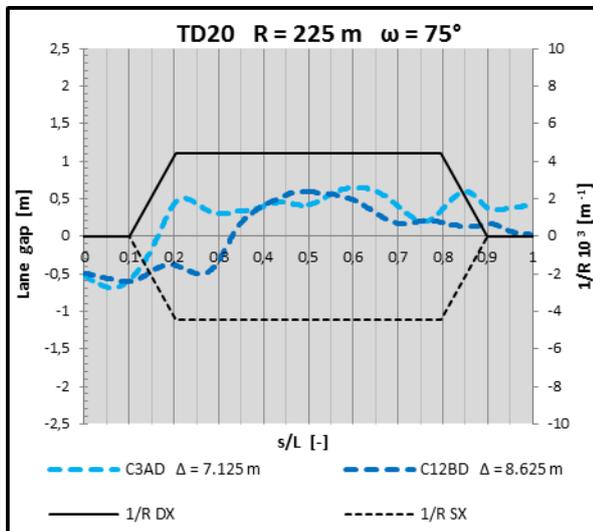
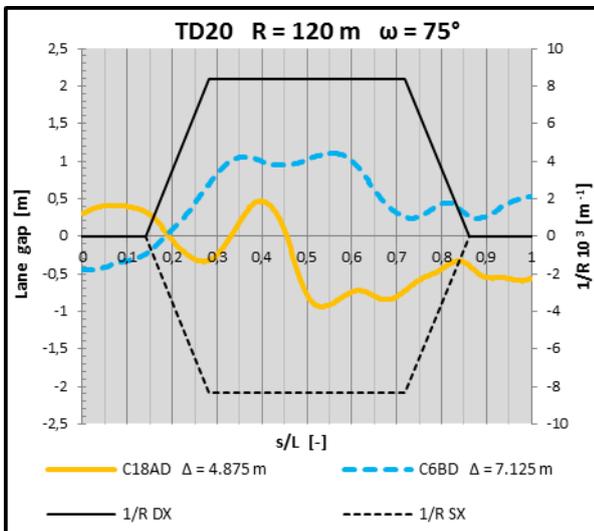
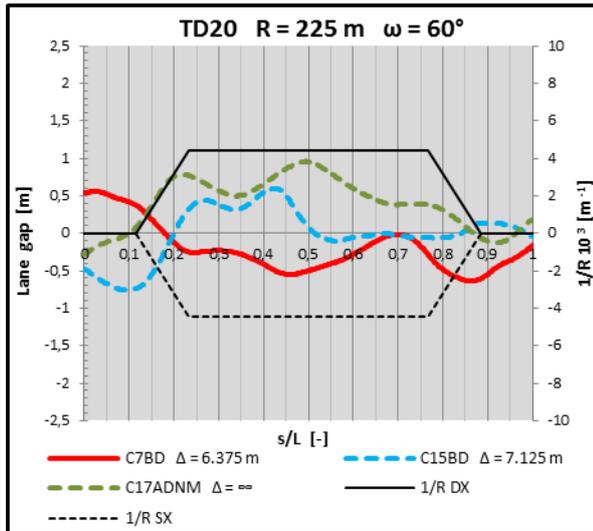
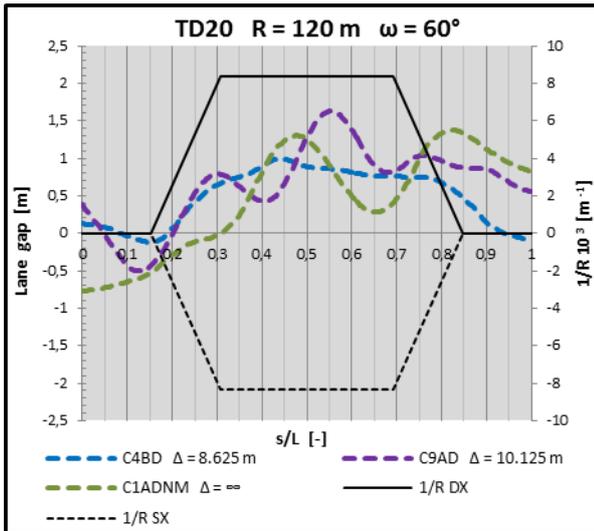
Scenari guidati: BD – ADN

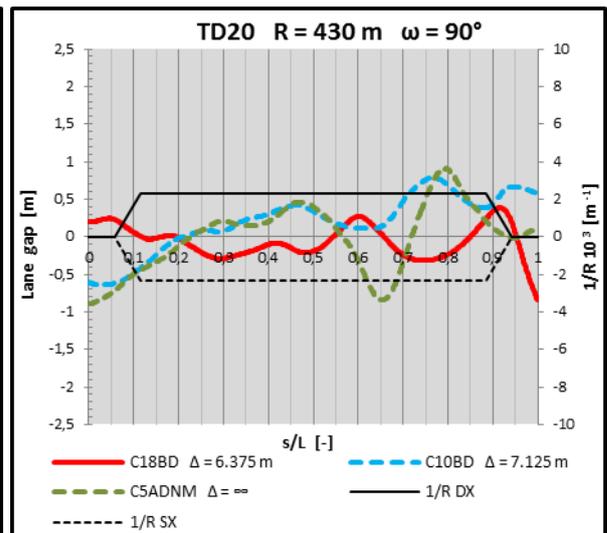
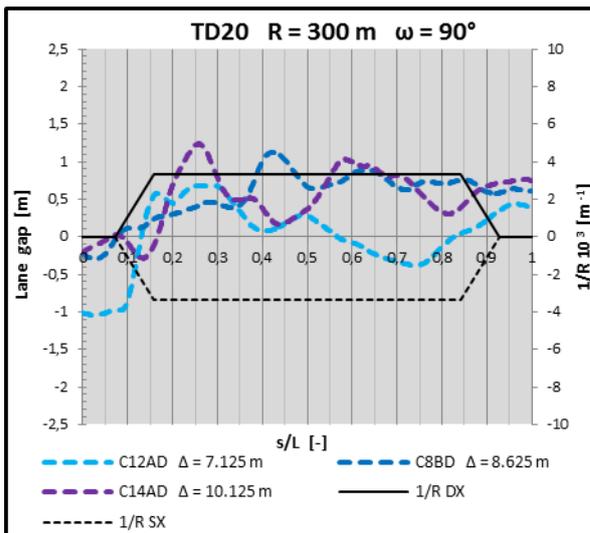
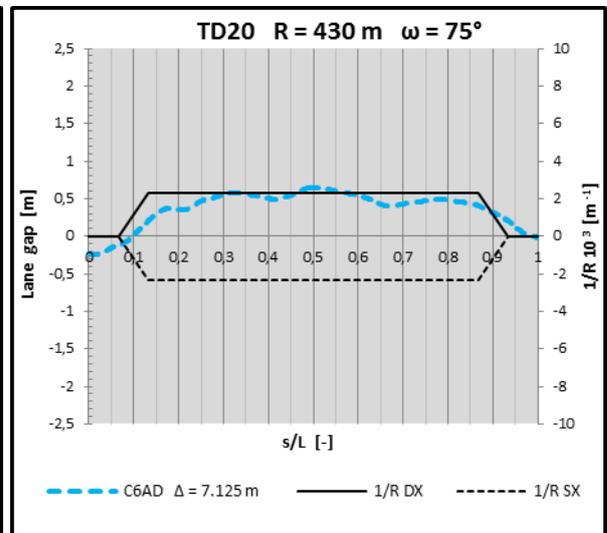
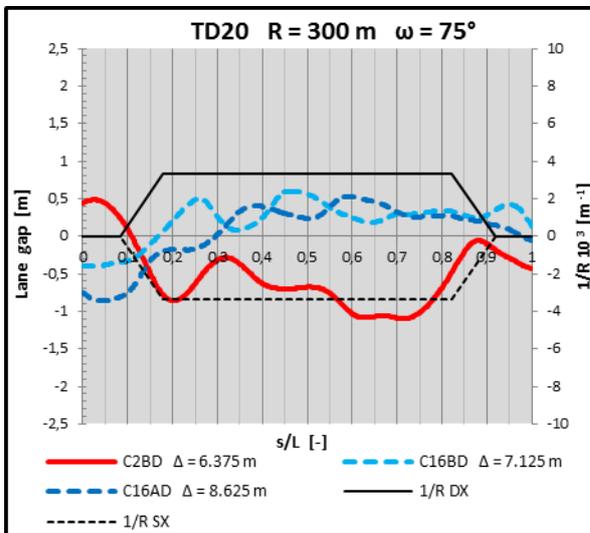
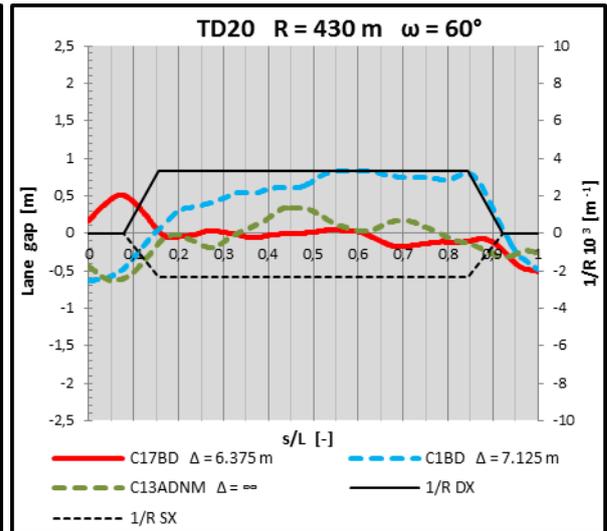
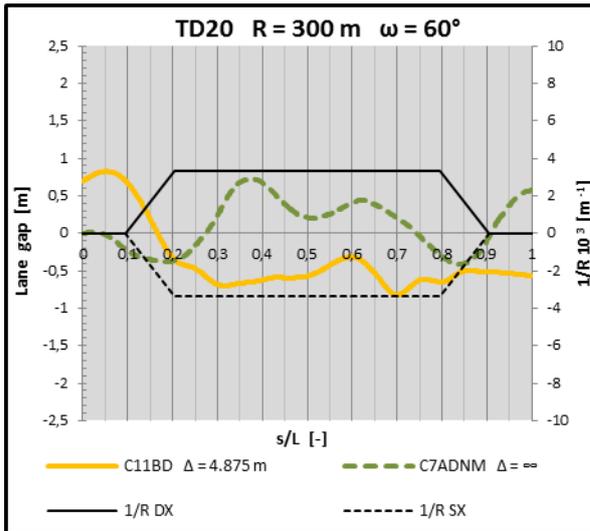


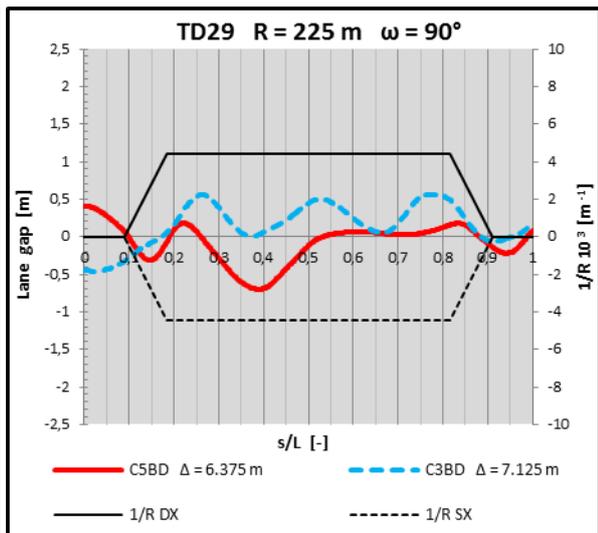
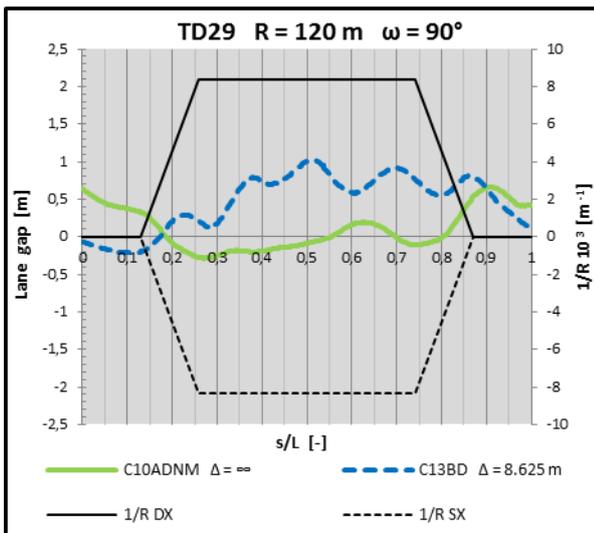
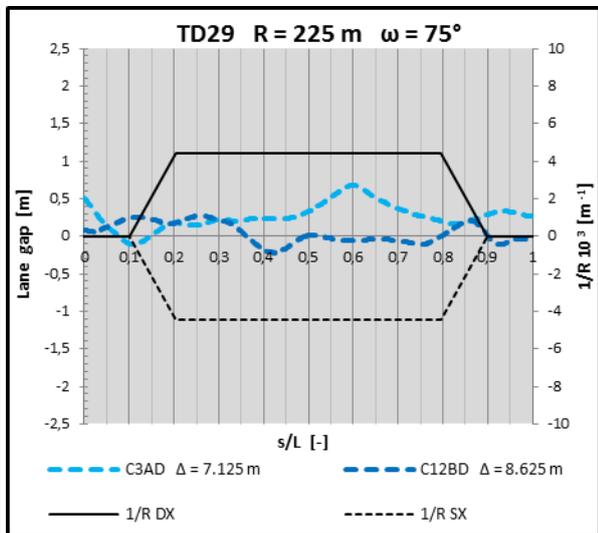
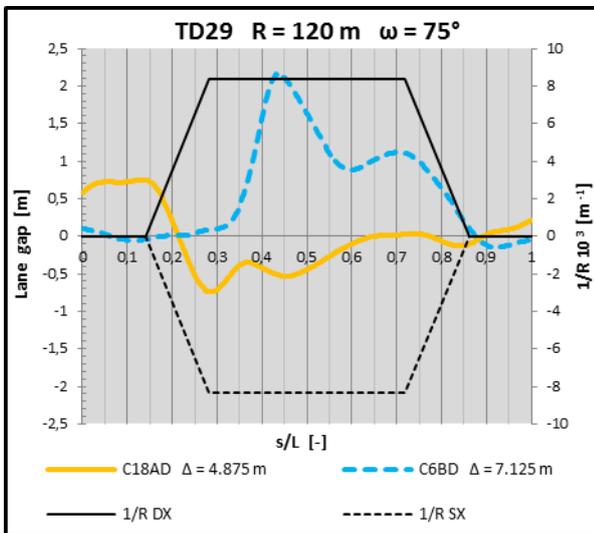
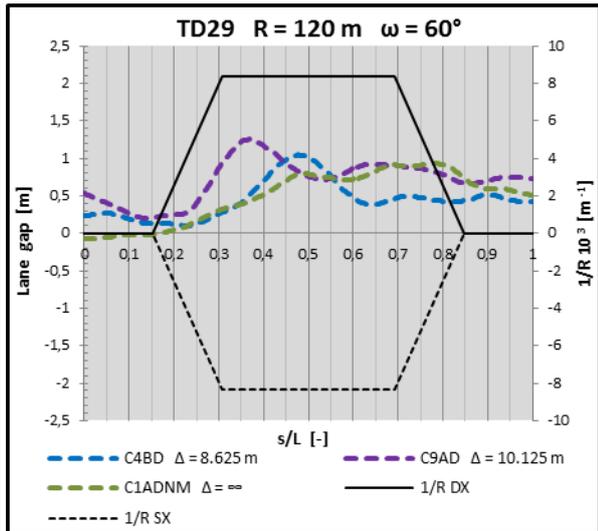
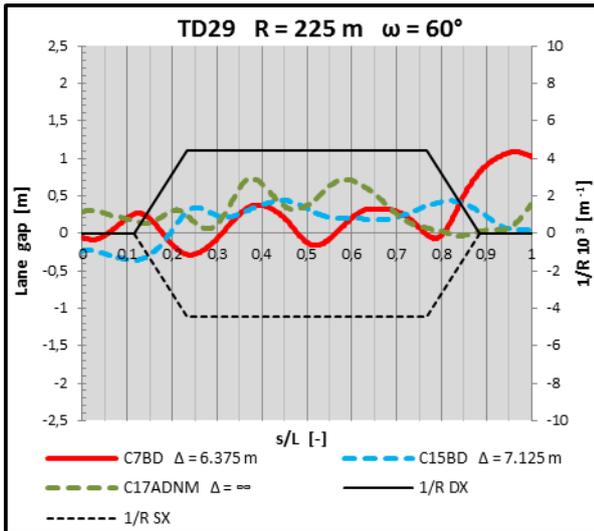


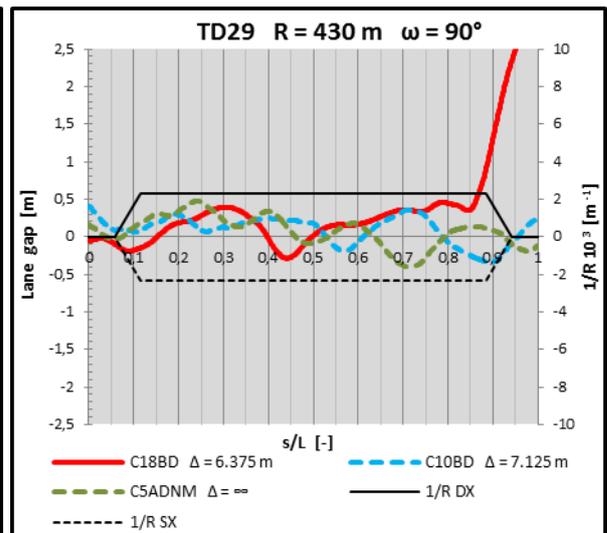
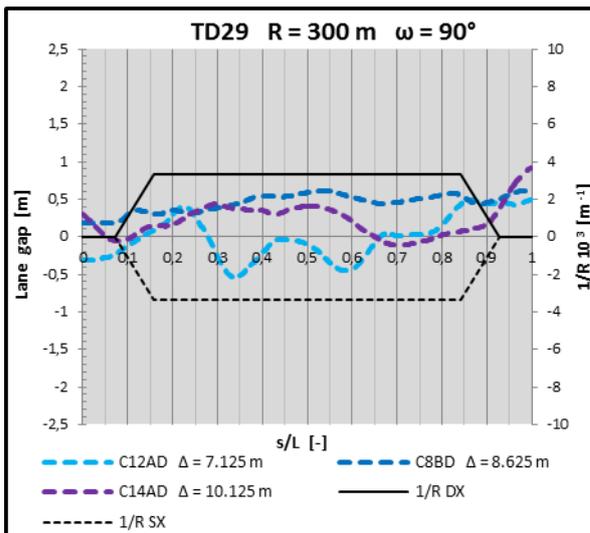
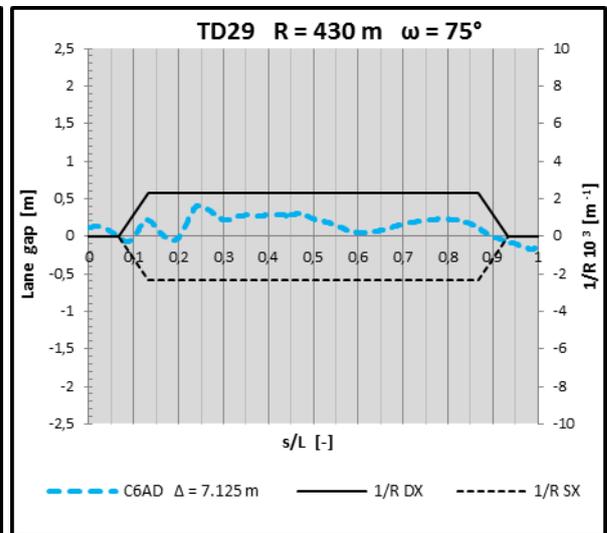
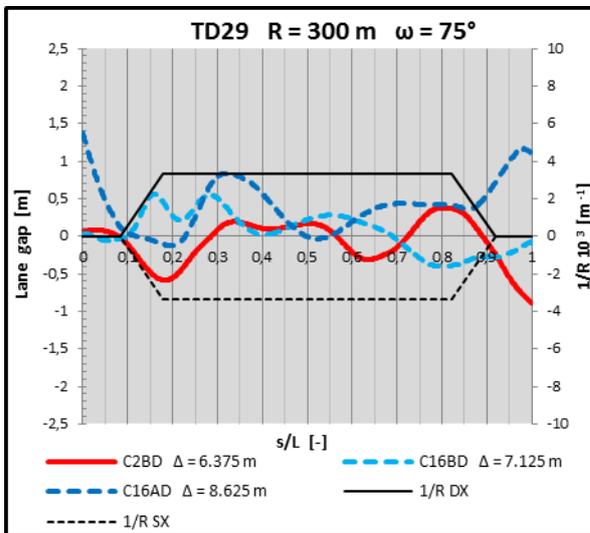
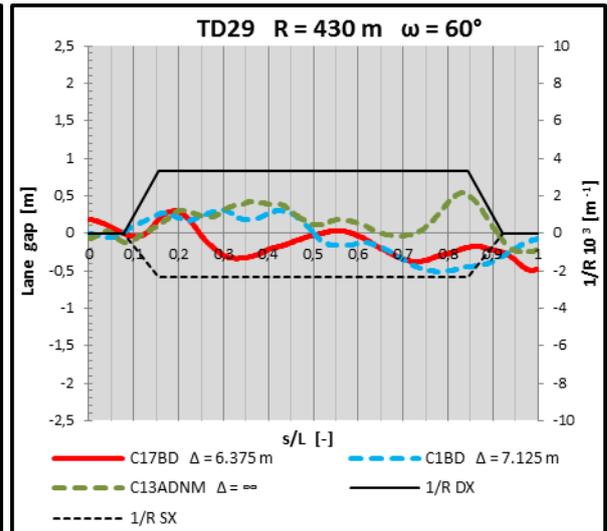
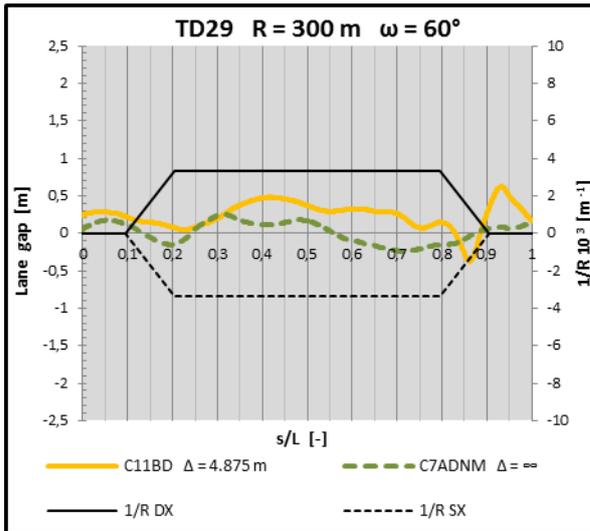


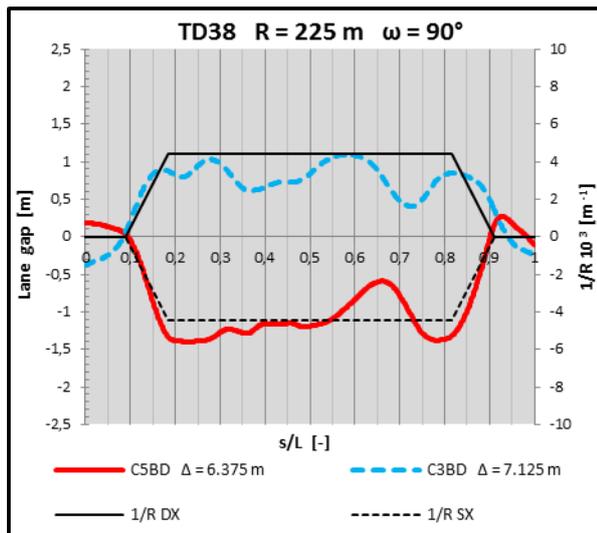
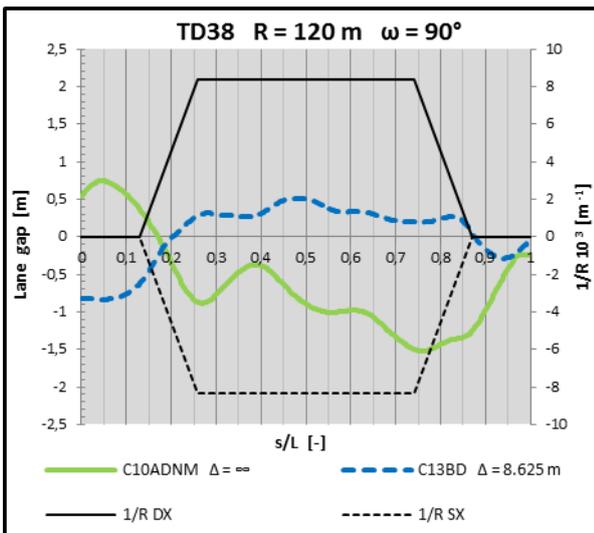
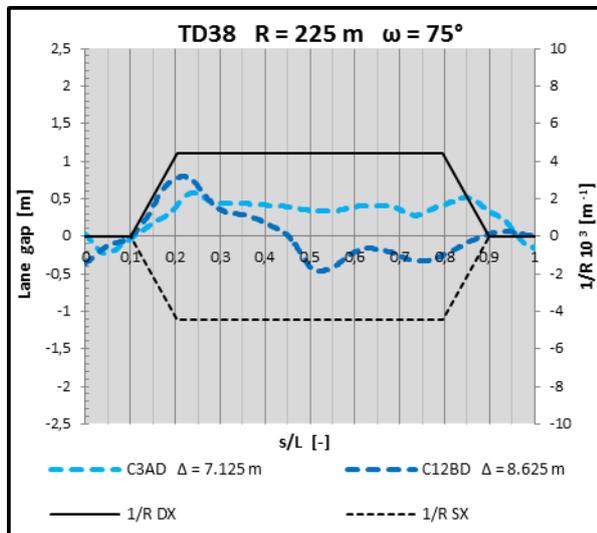
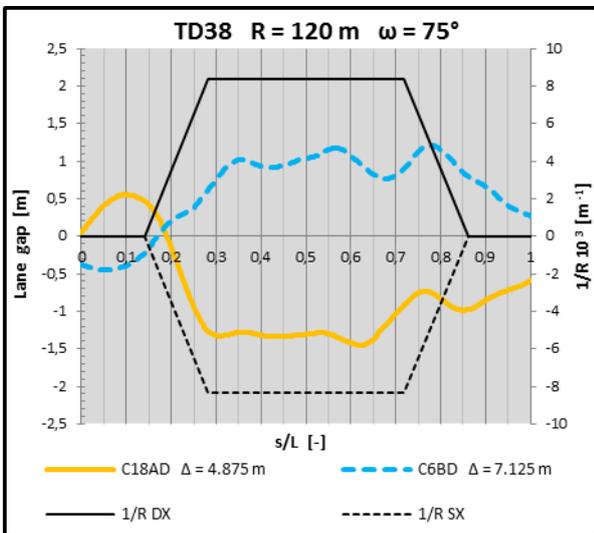
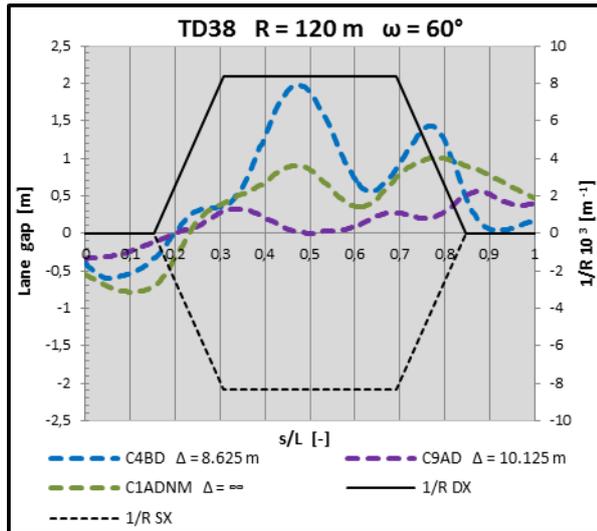
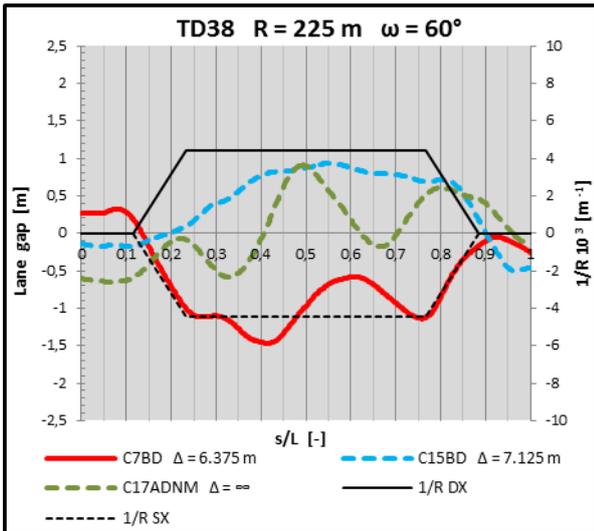


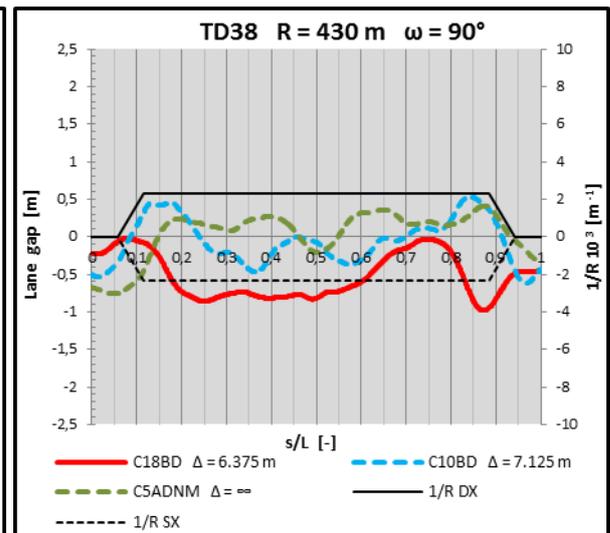
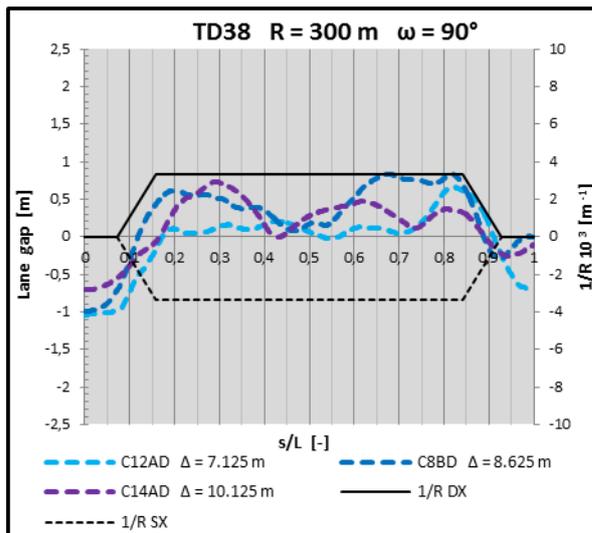
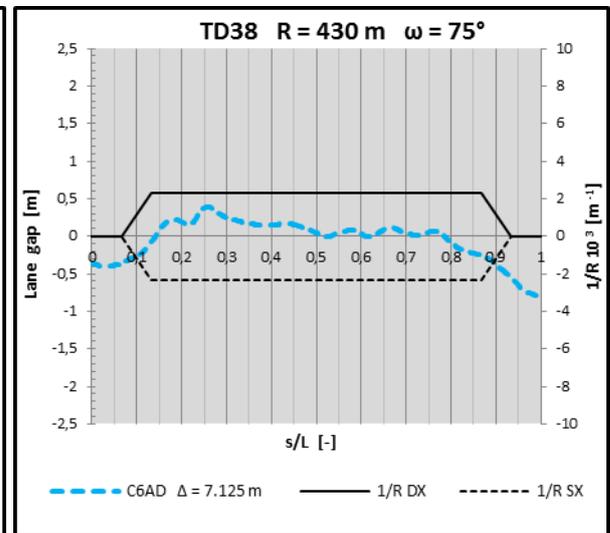
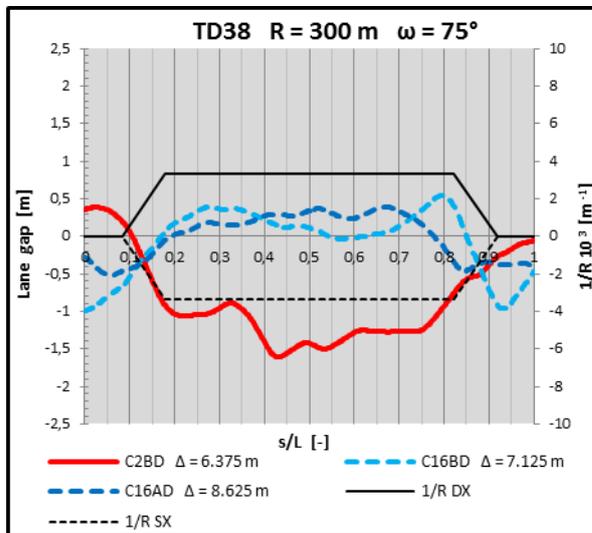
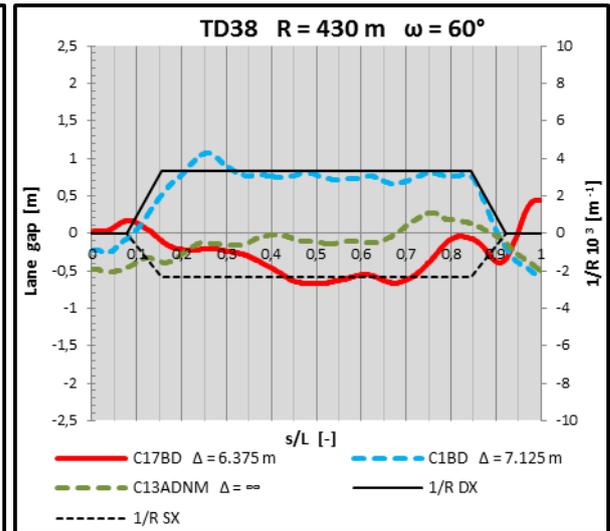
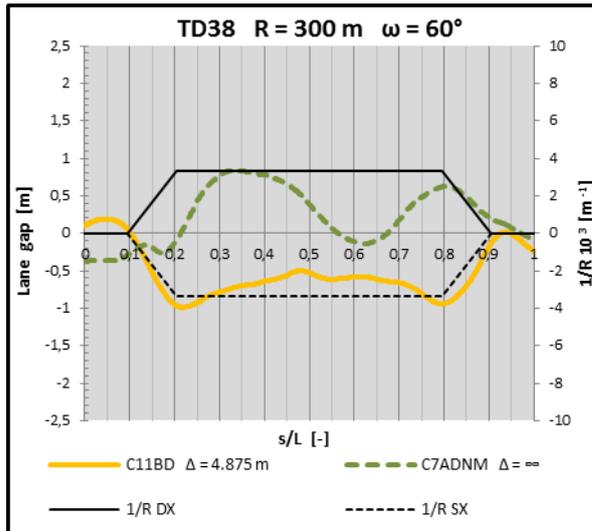




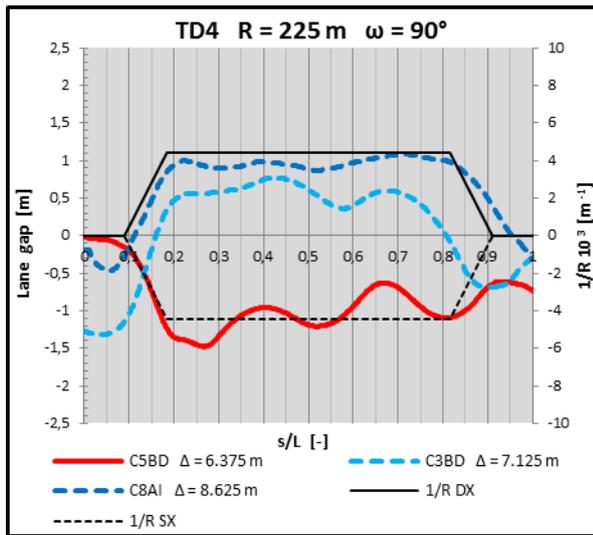
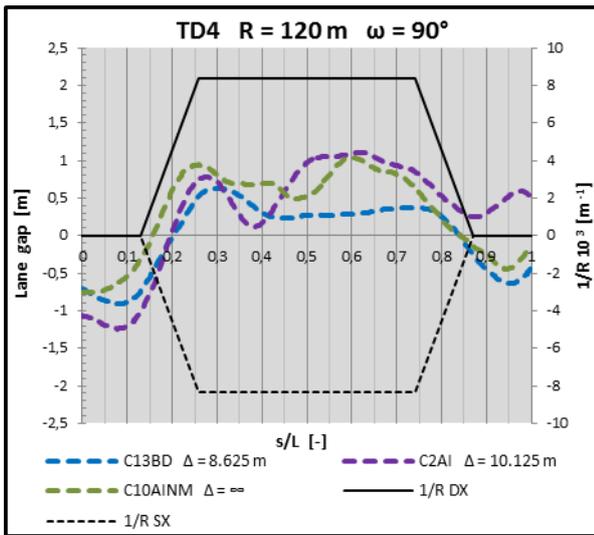
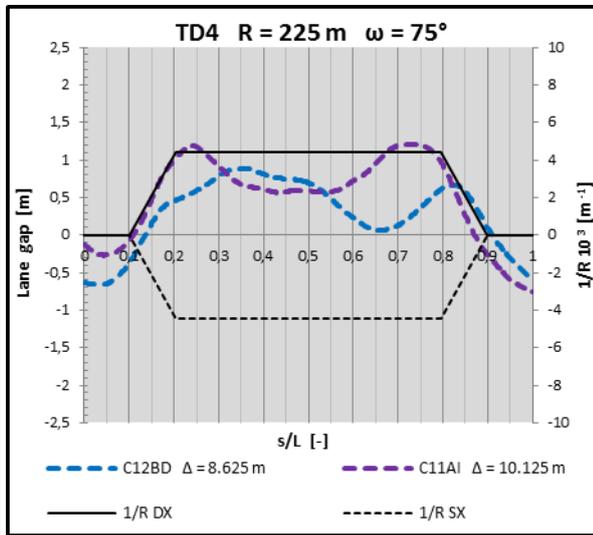
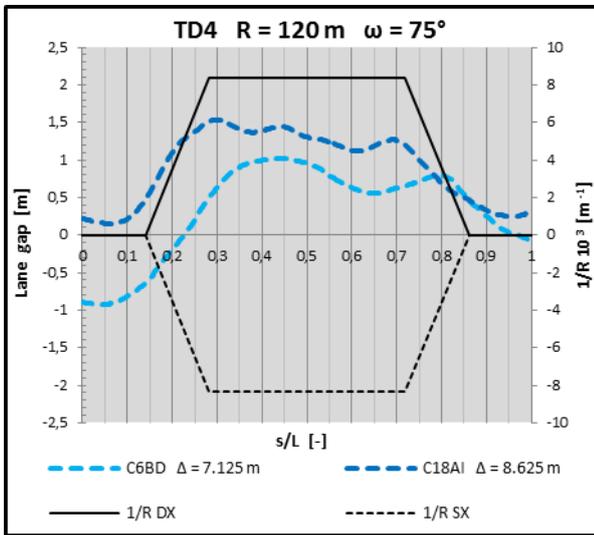
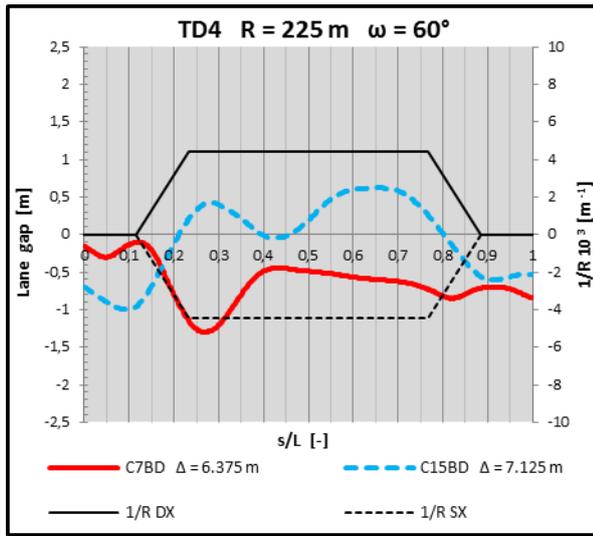
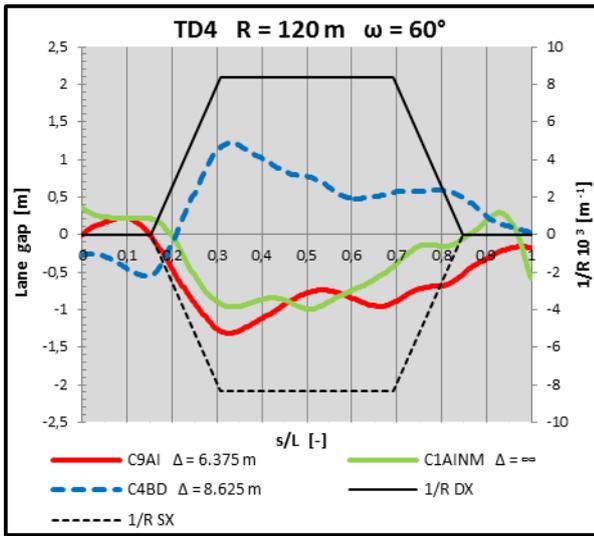


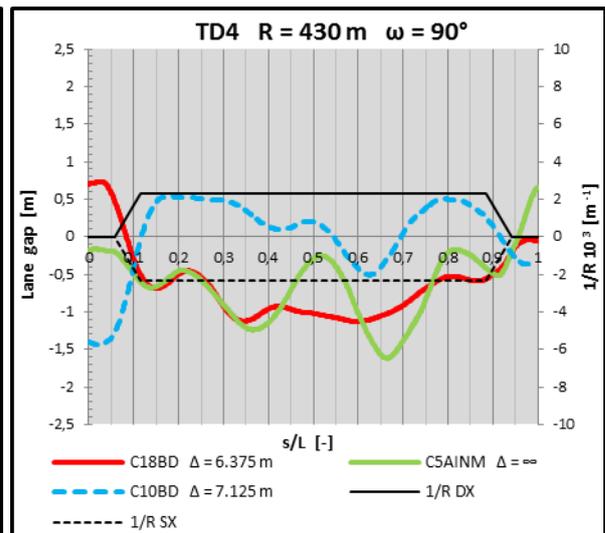
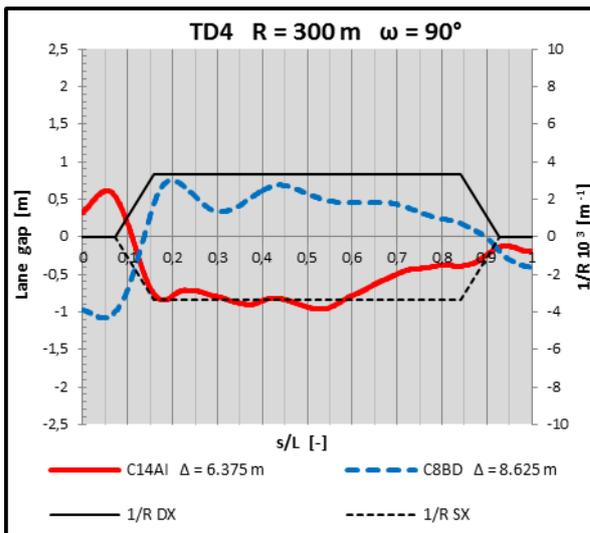
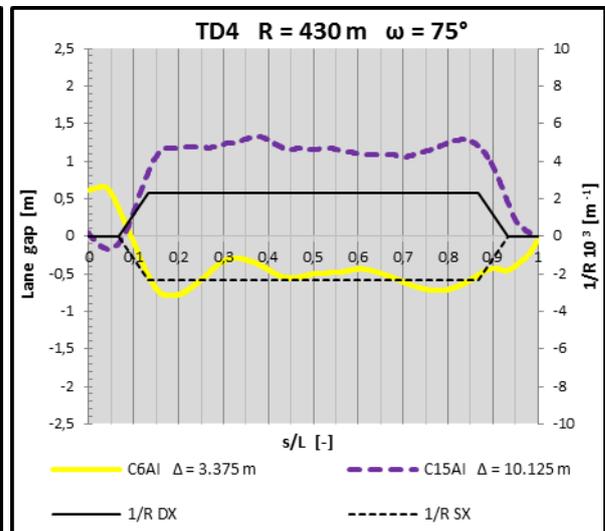
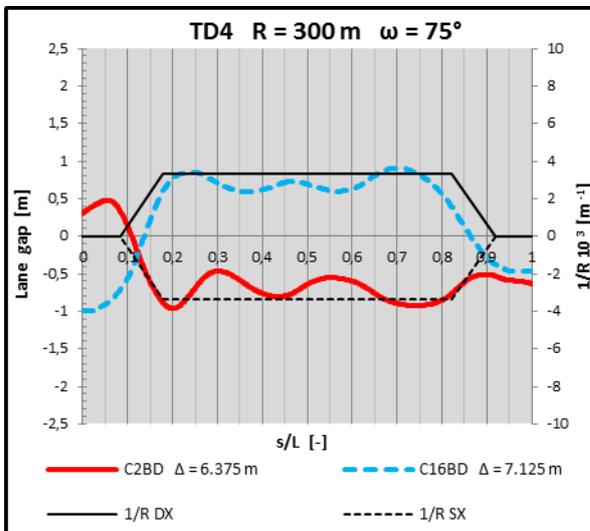
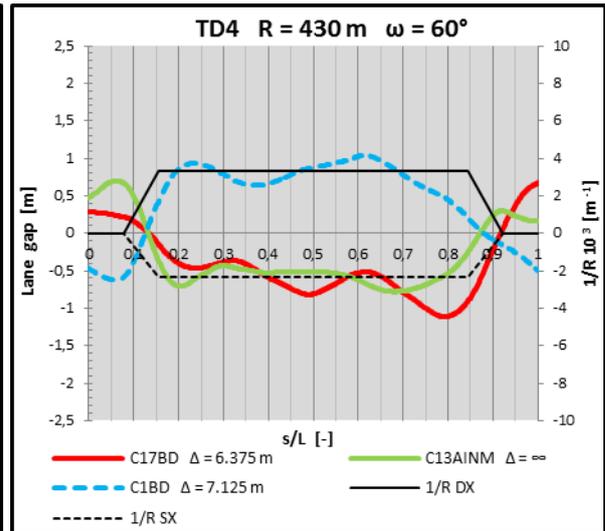
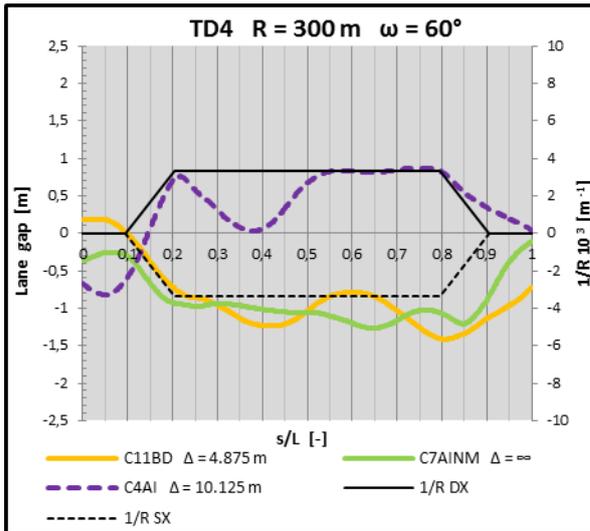


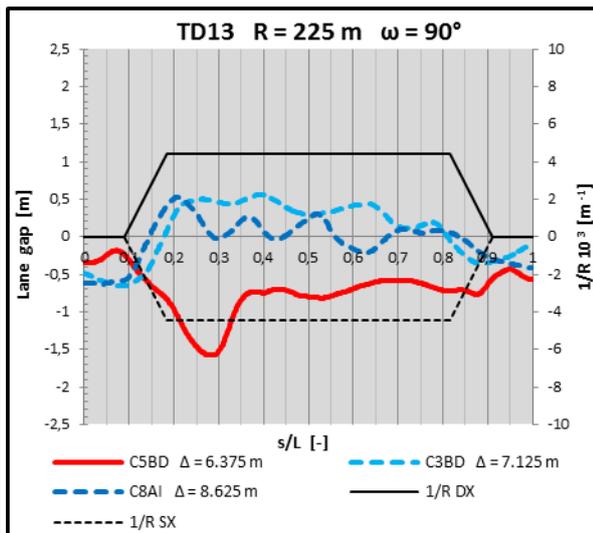
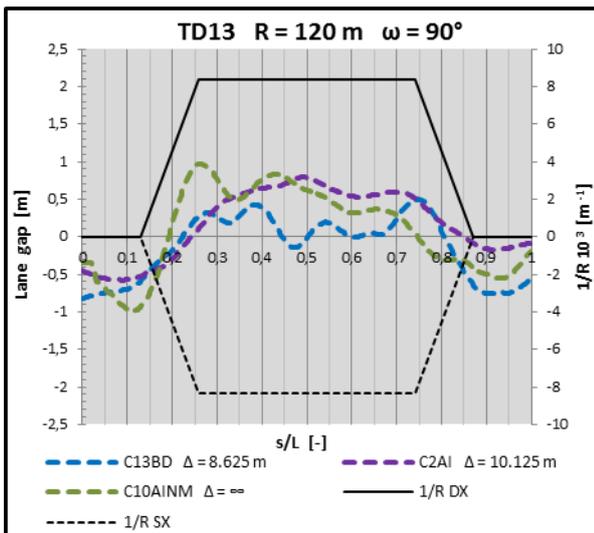
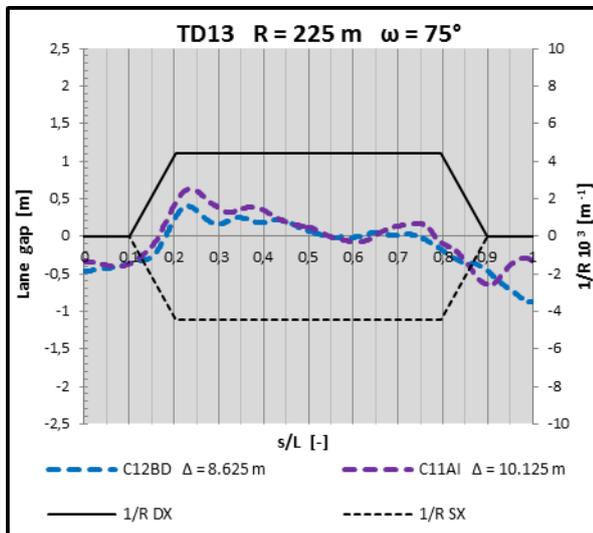
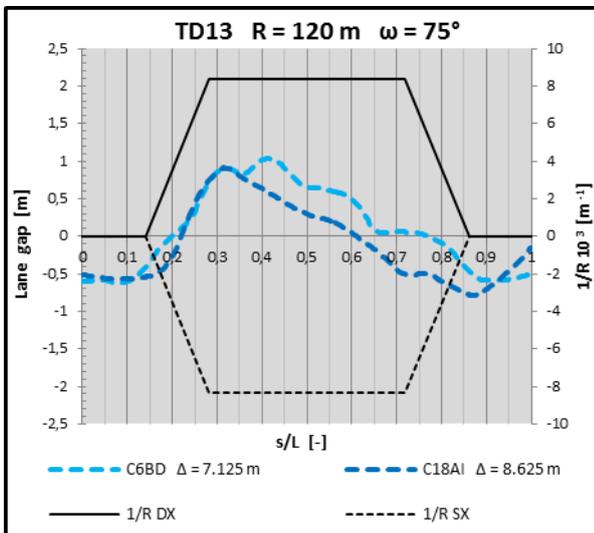
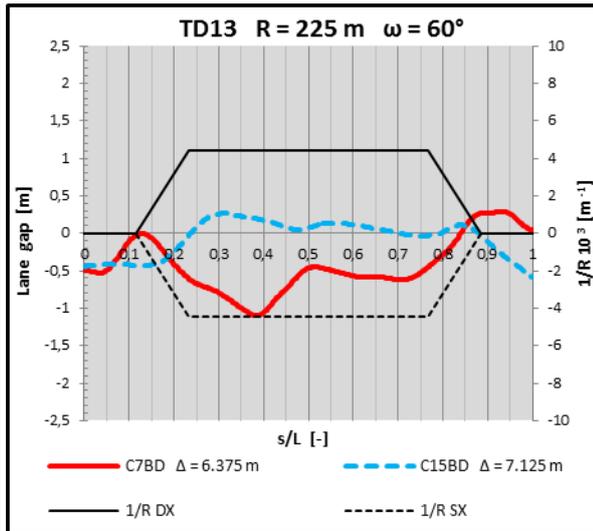
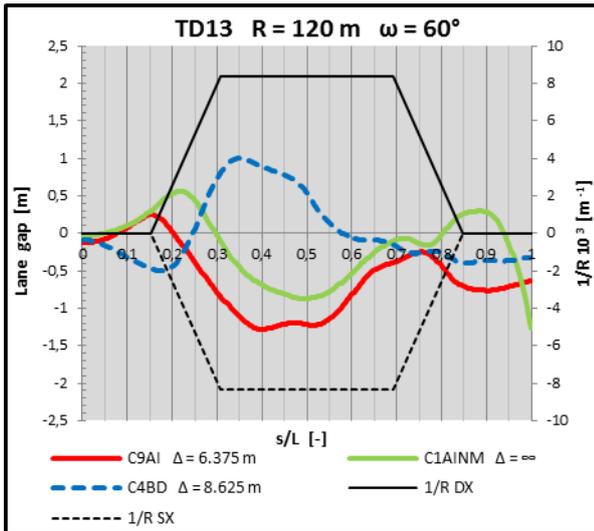


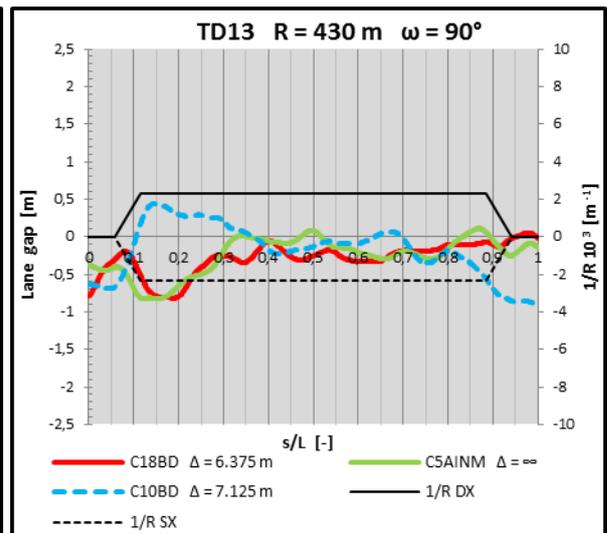
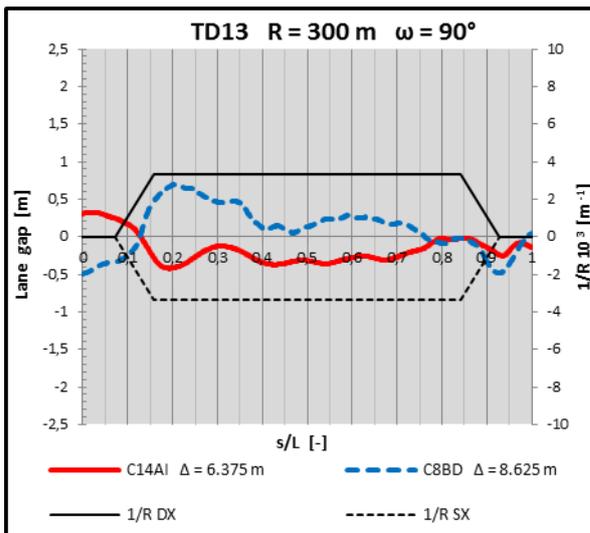
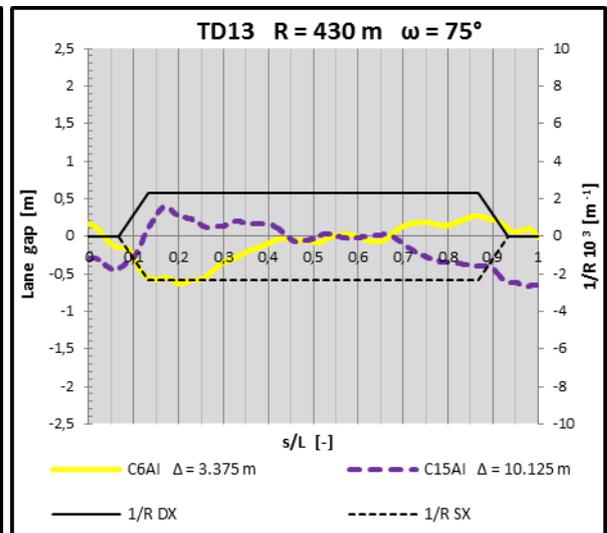
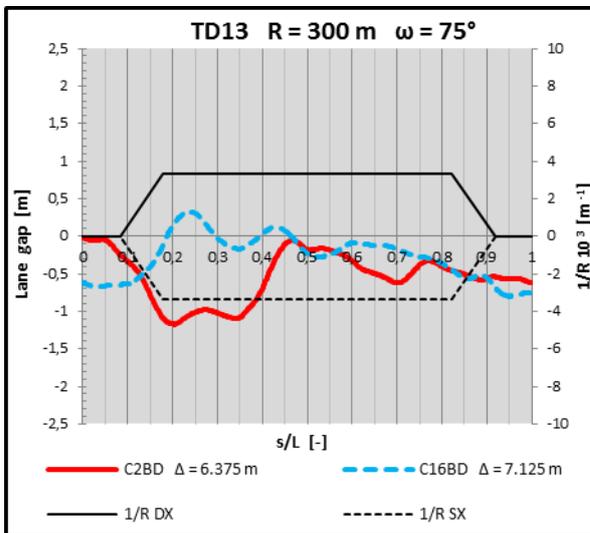
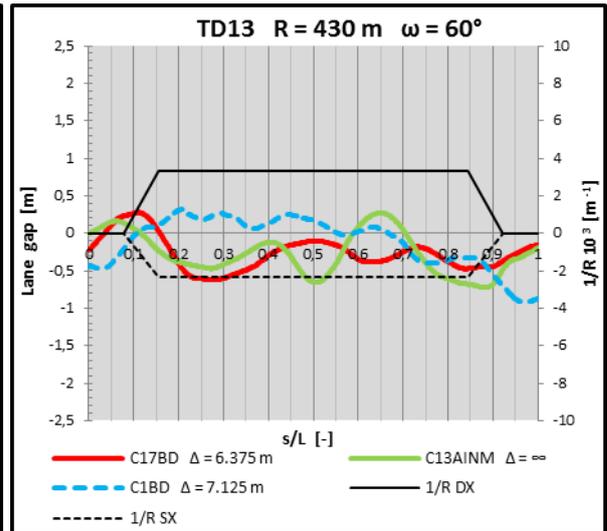
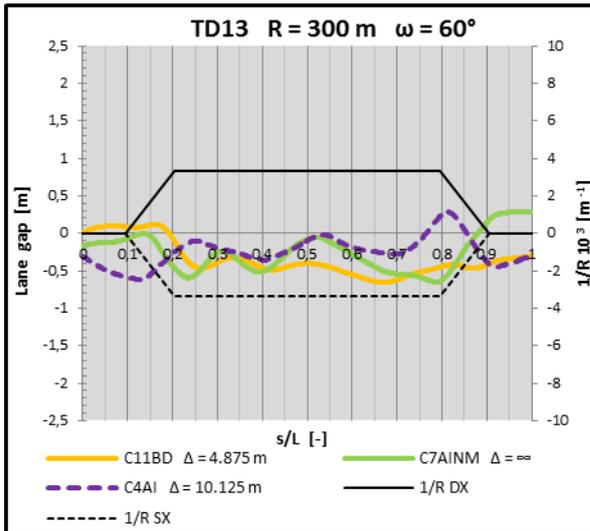


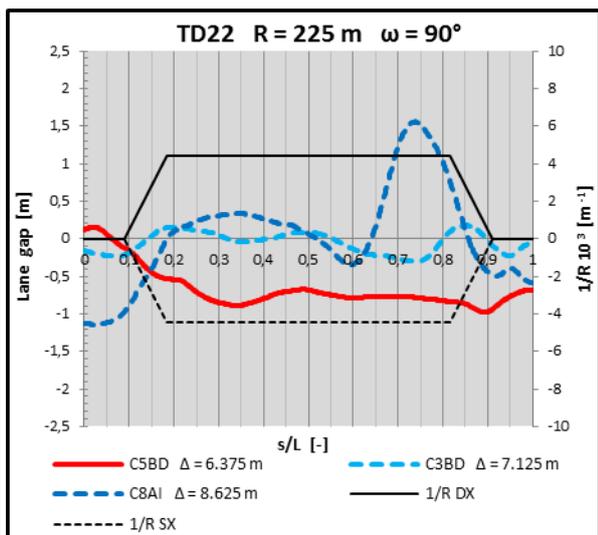
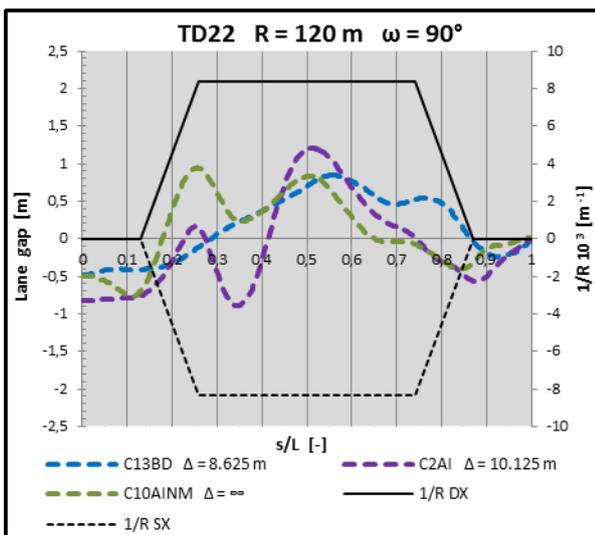
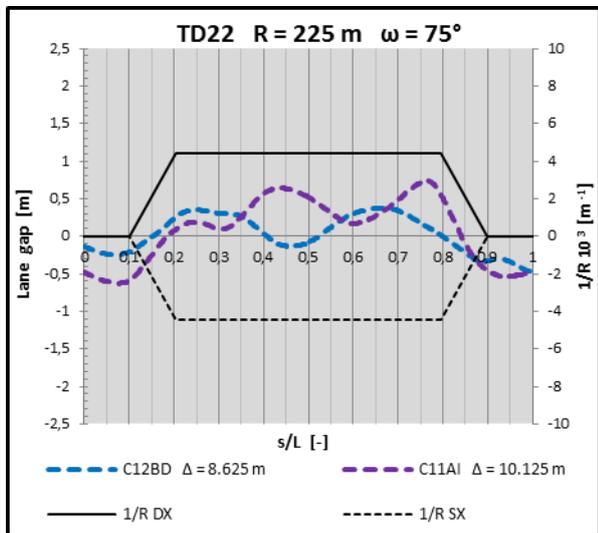
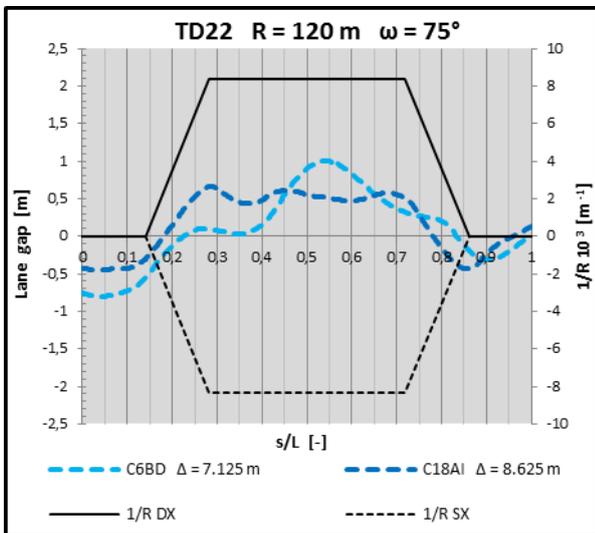
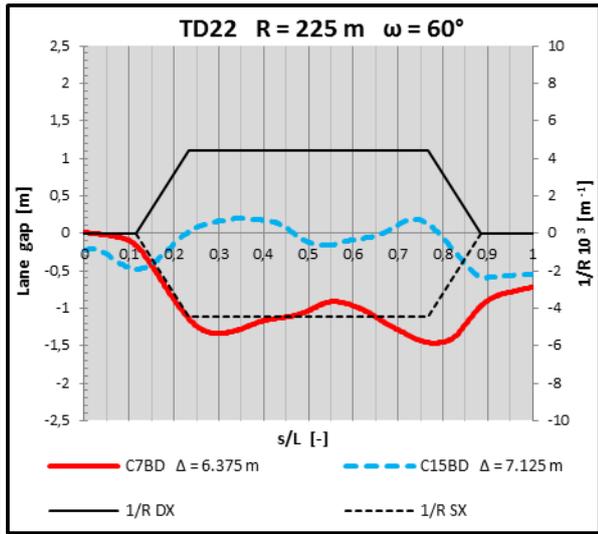
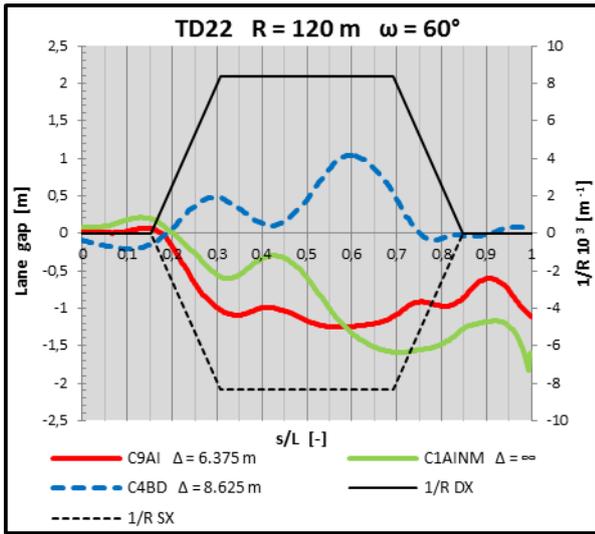
Scenari guidati: BD – AINM

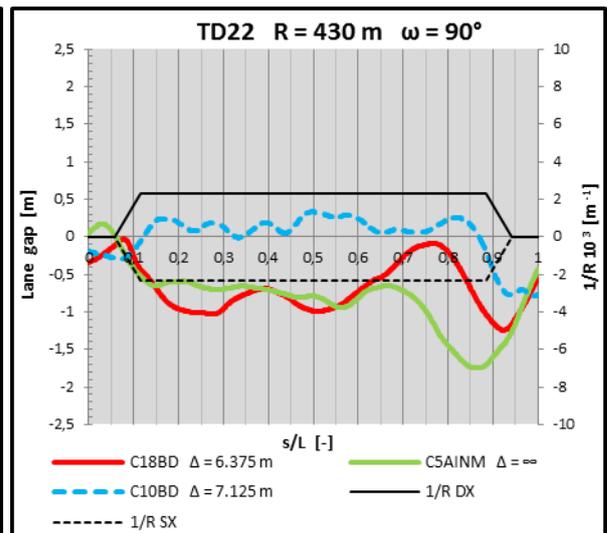
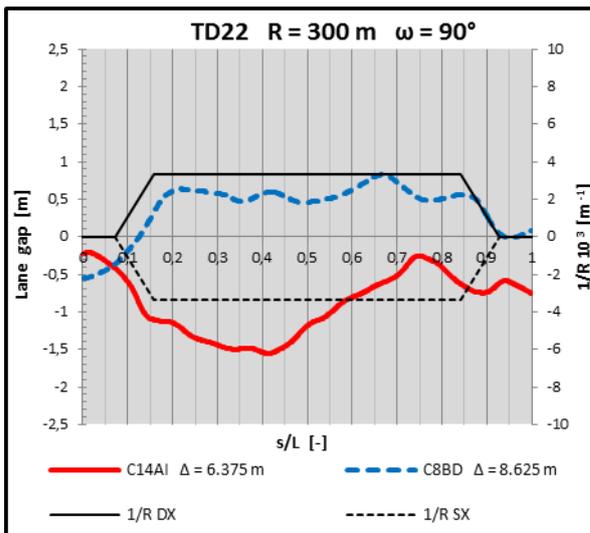
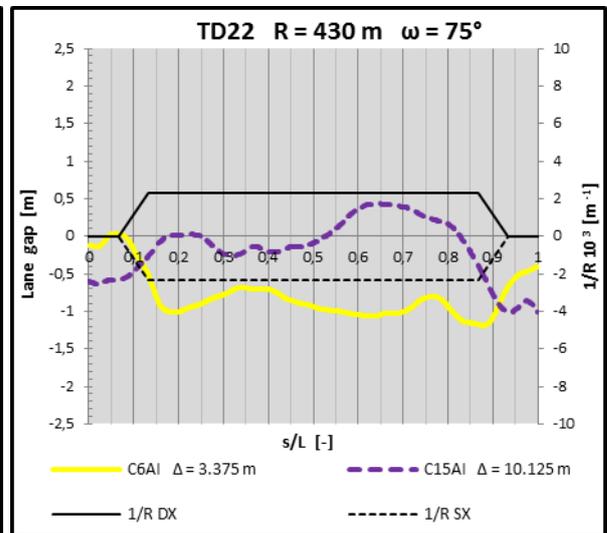
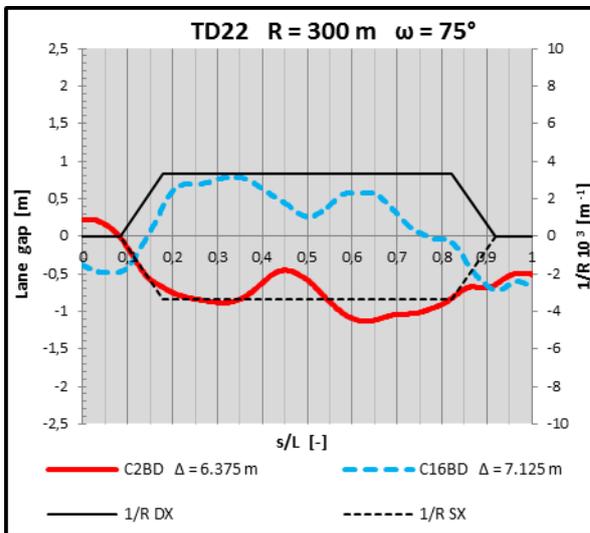
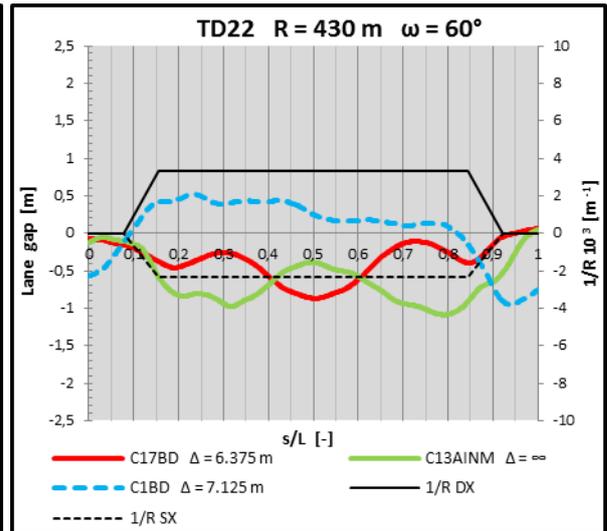
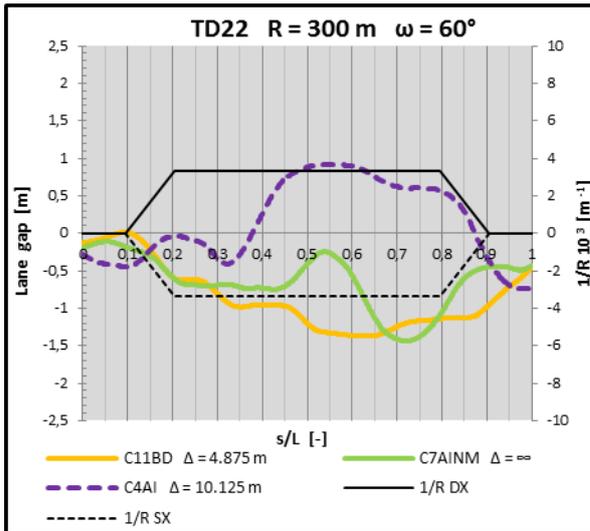


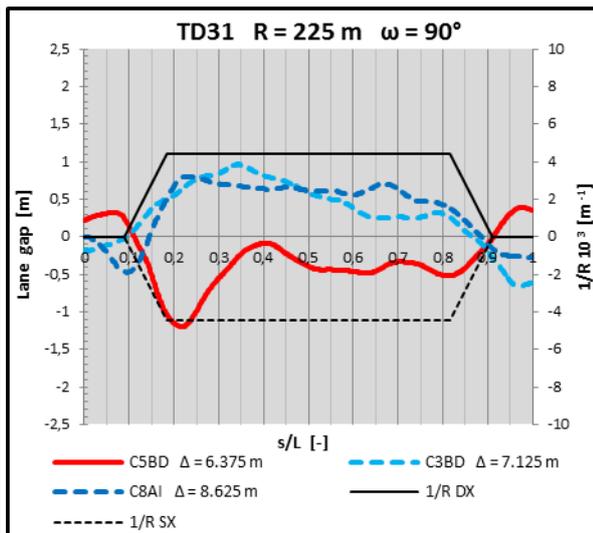
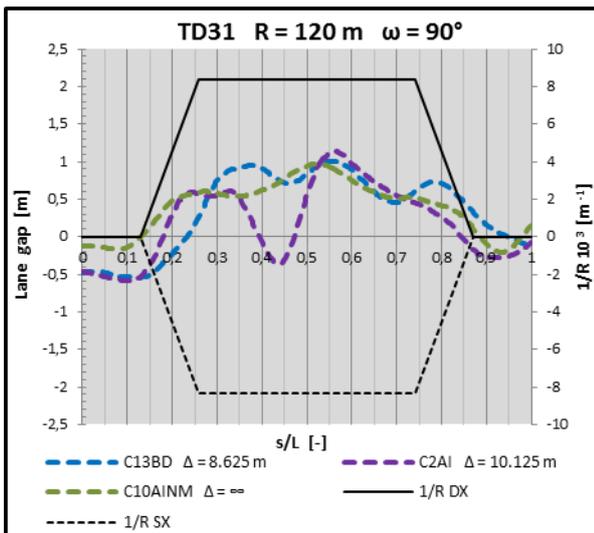
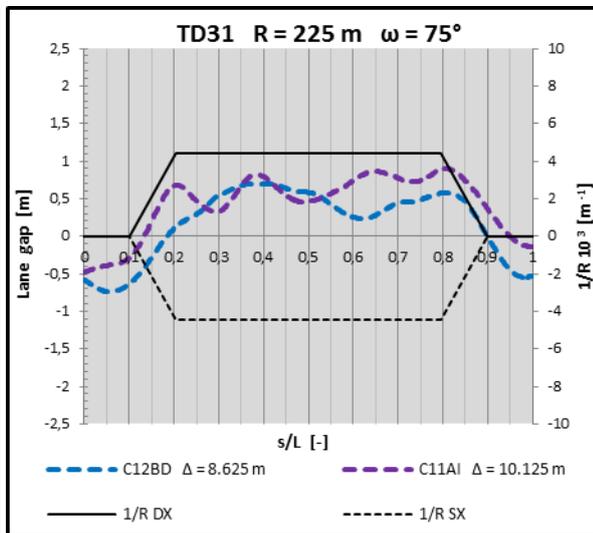
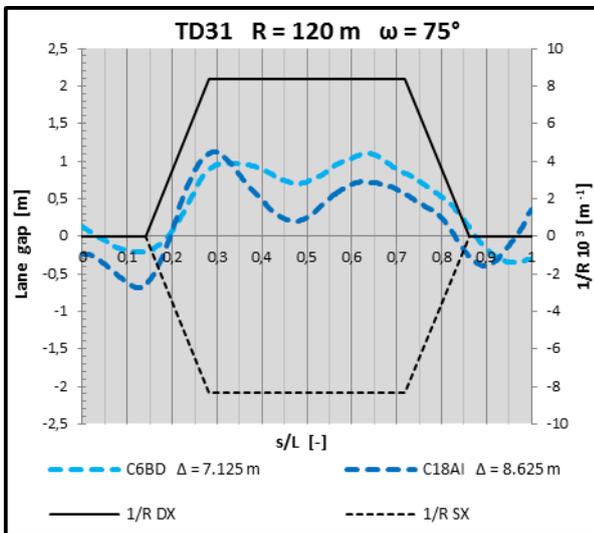
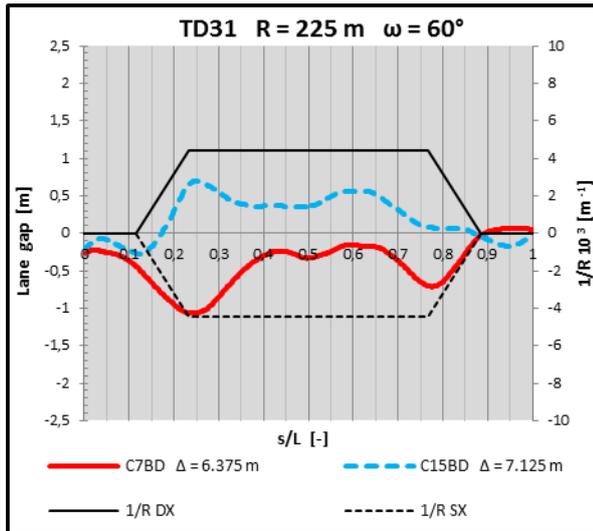
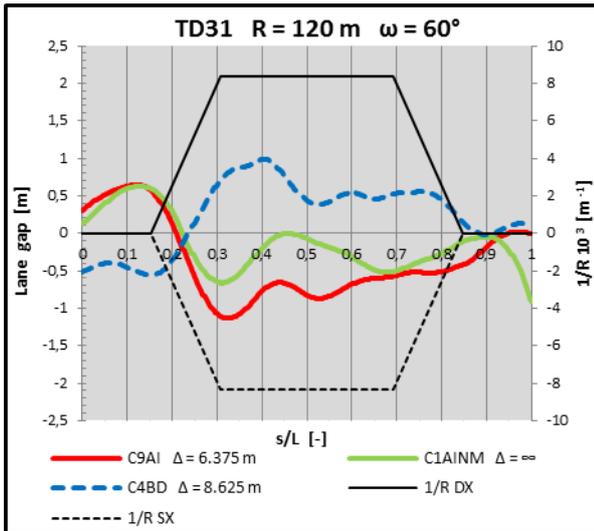


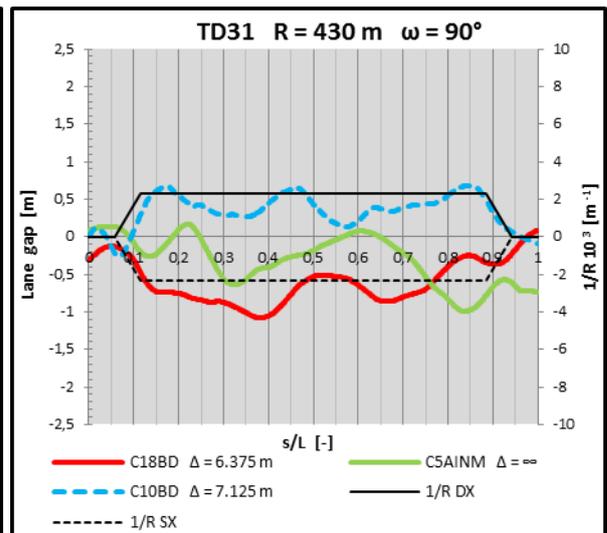
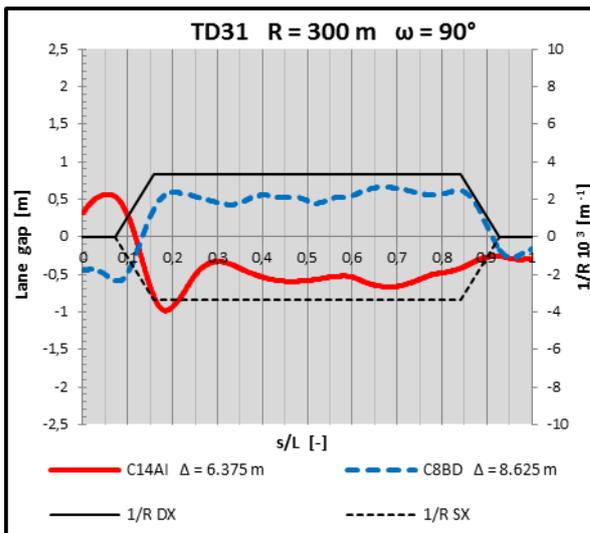
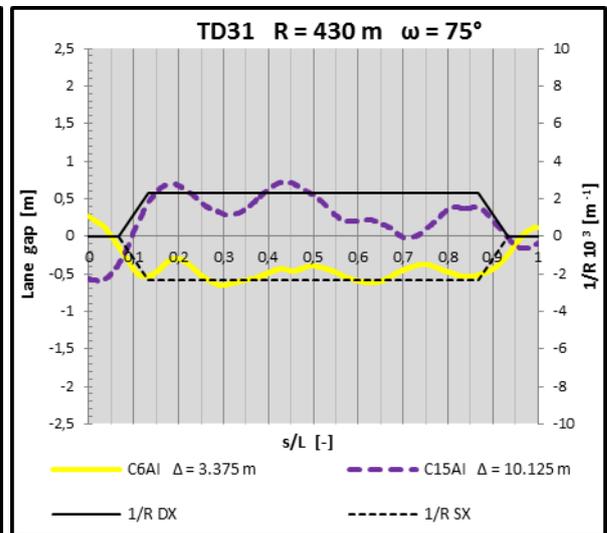
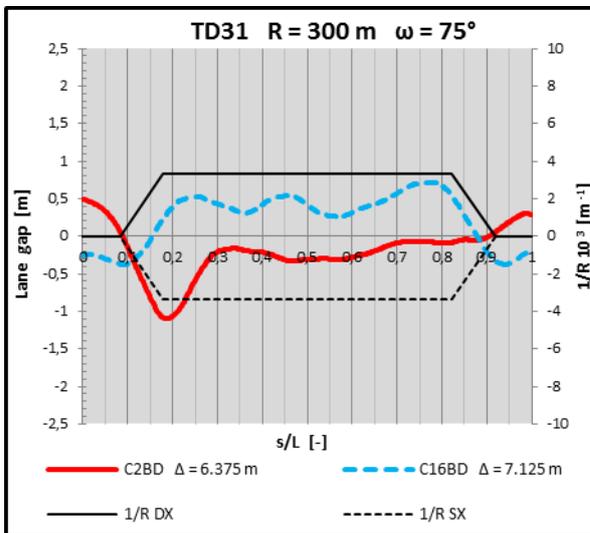
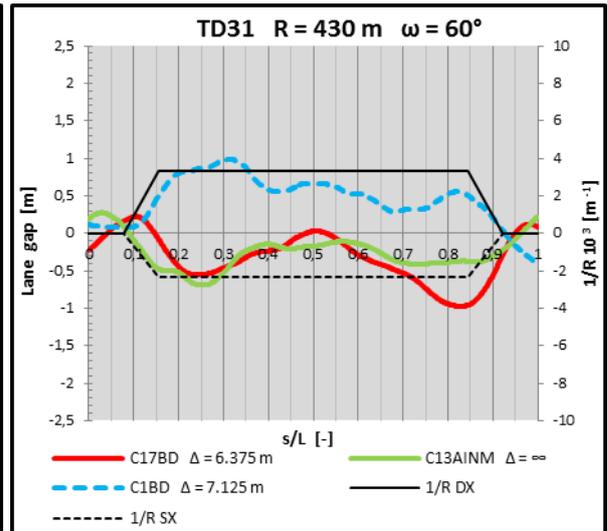
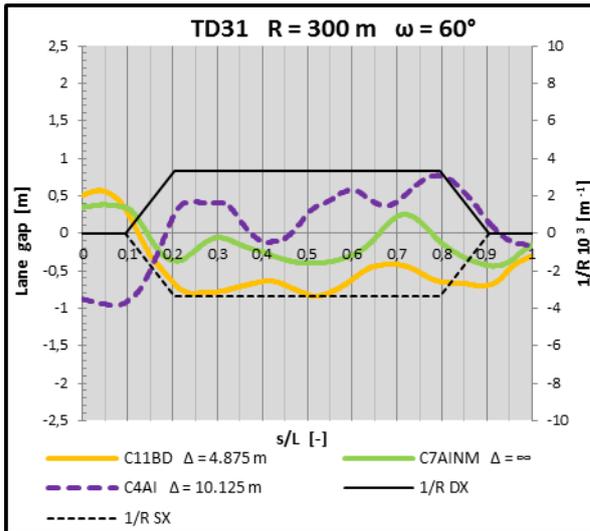


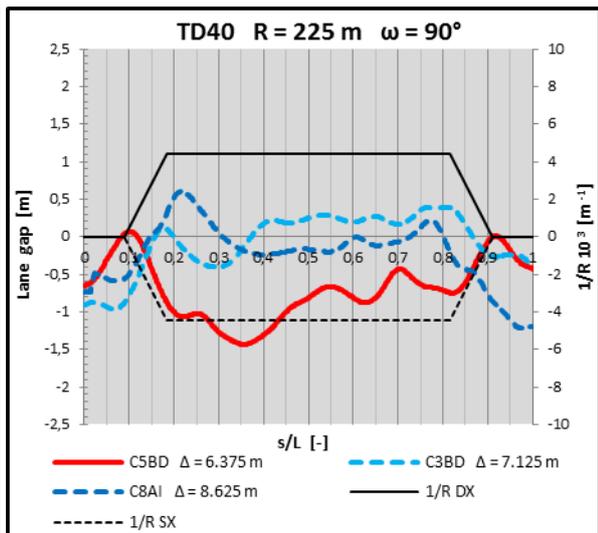
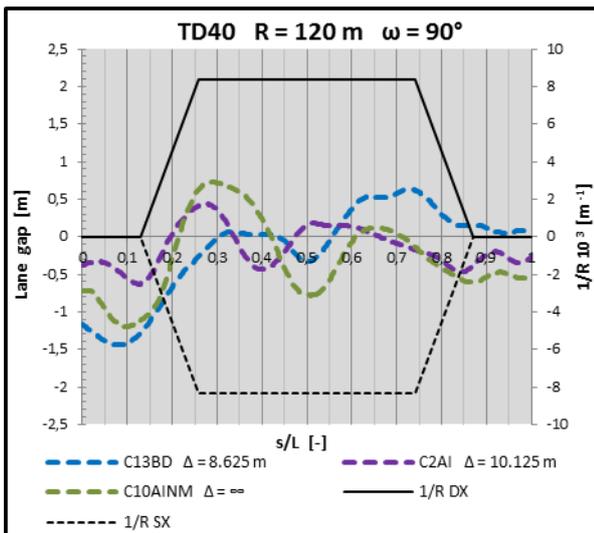
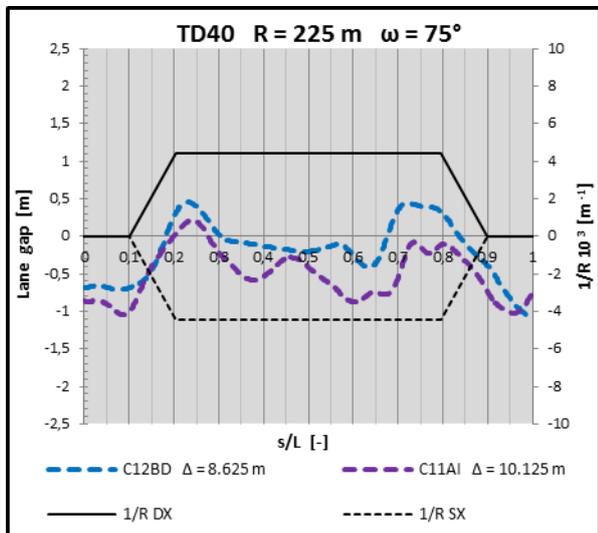
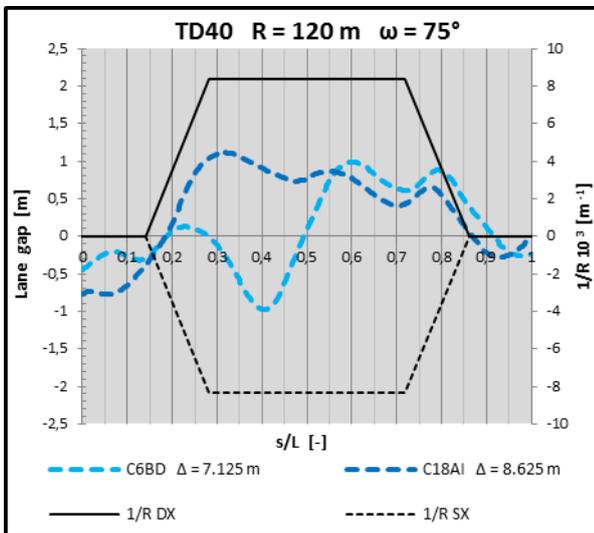
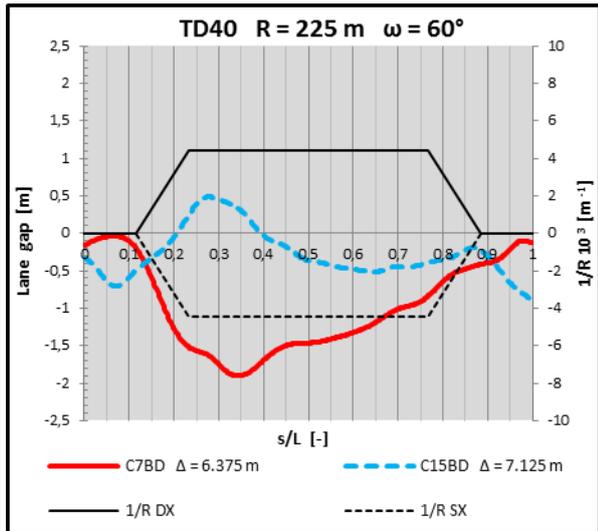
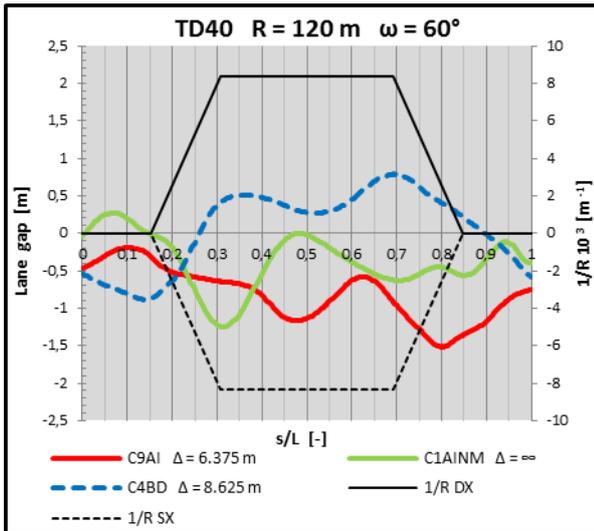


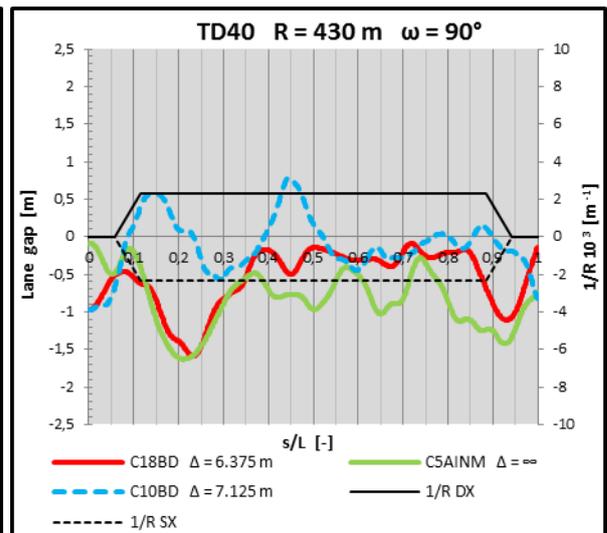
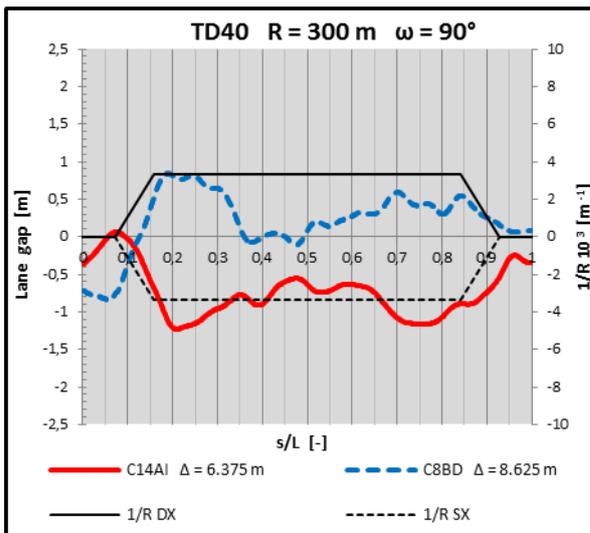
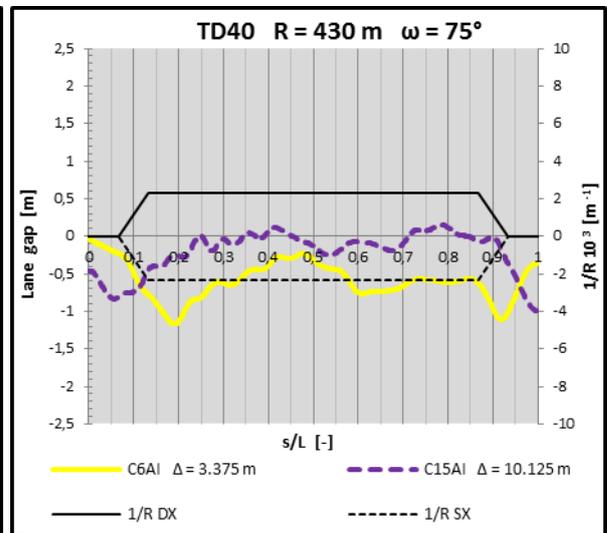
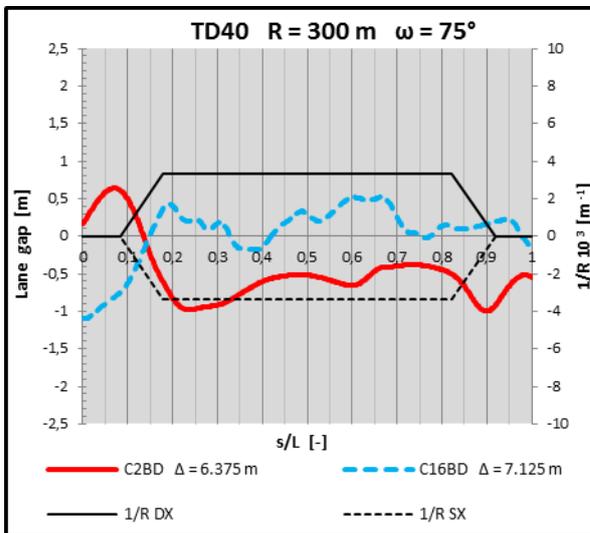
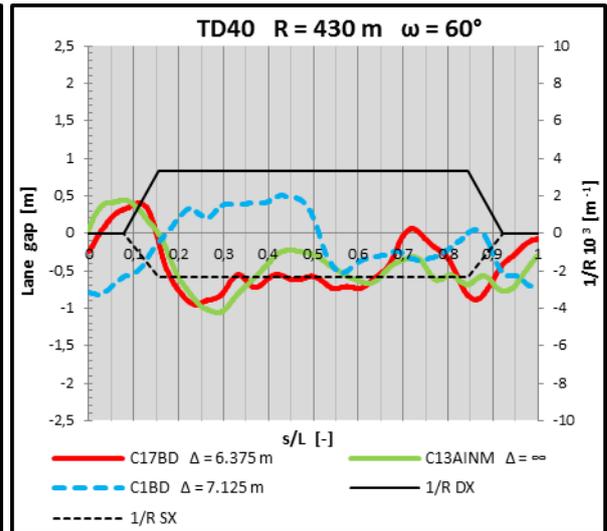
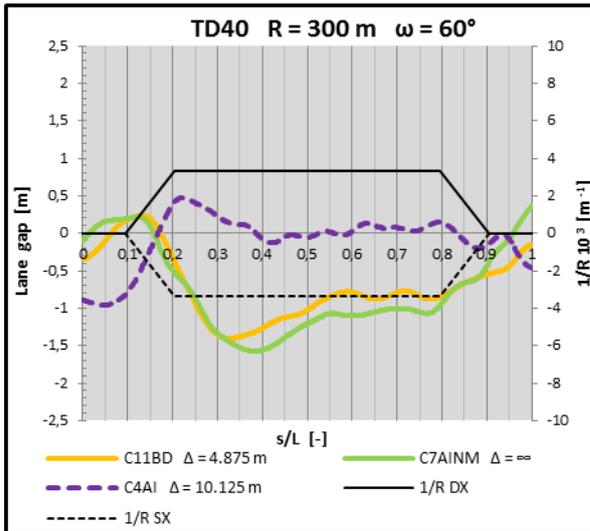




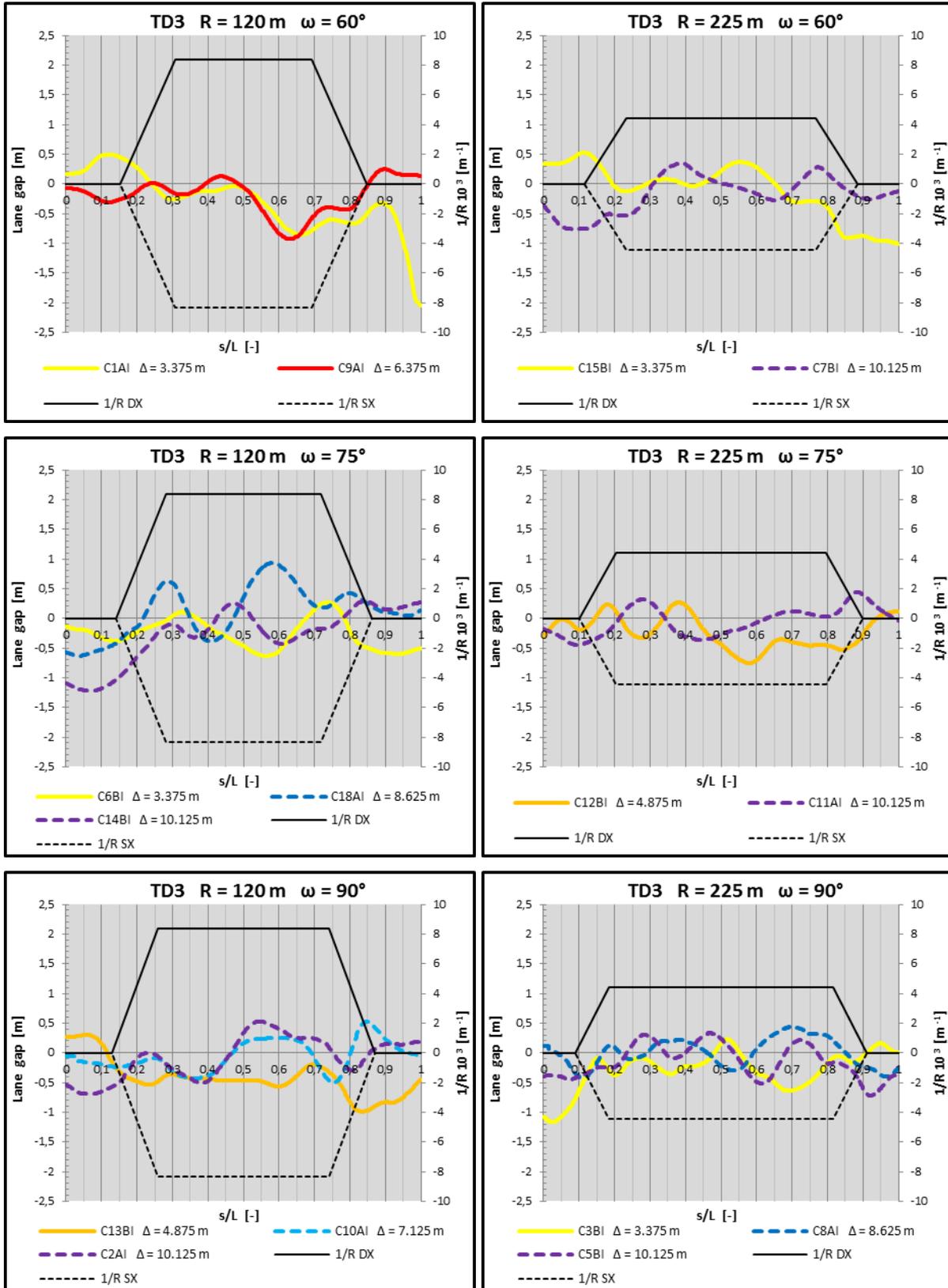


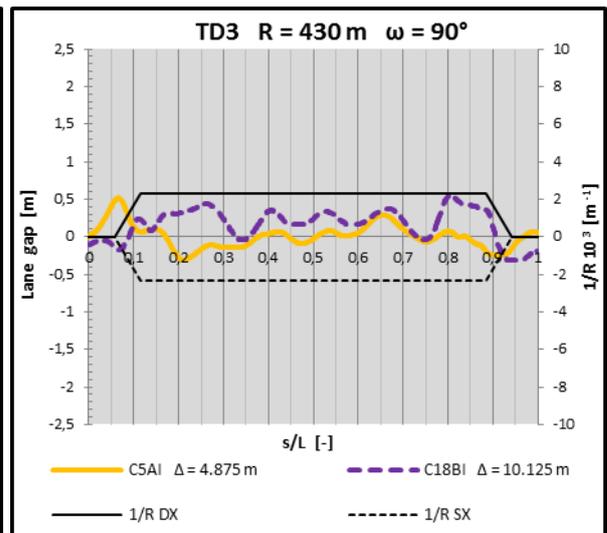
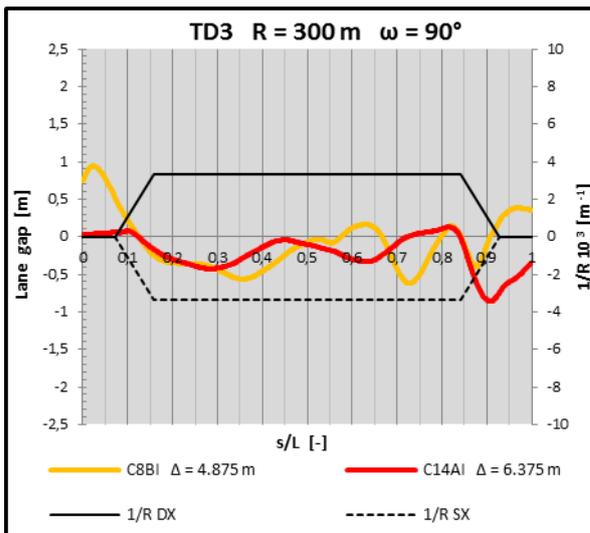
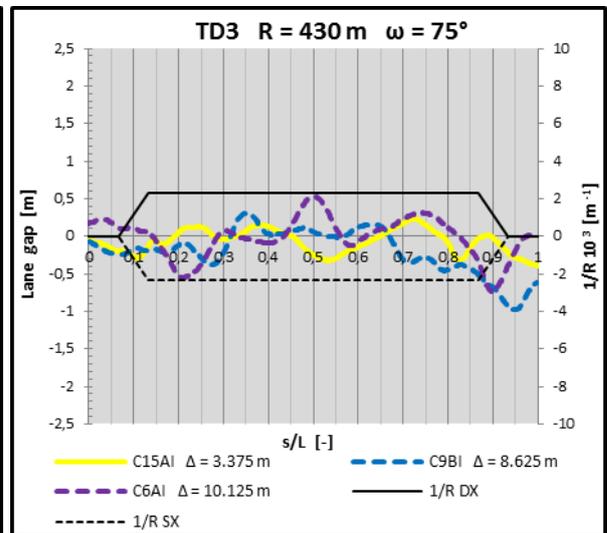
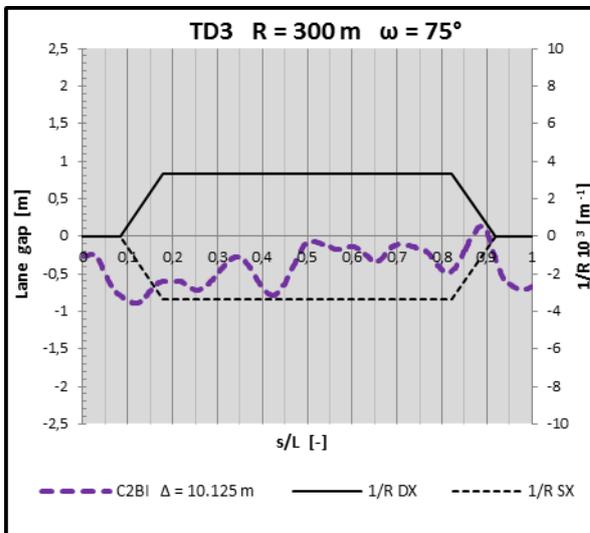
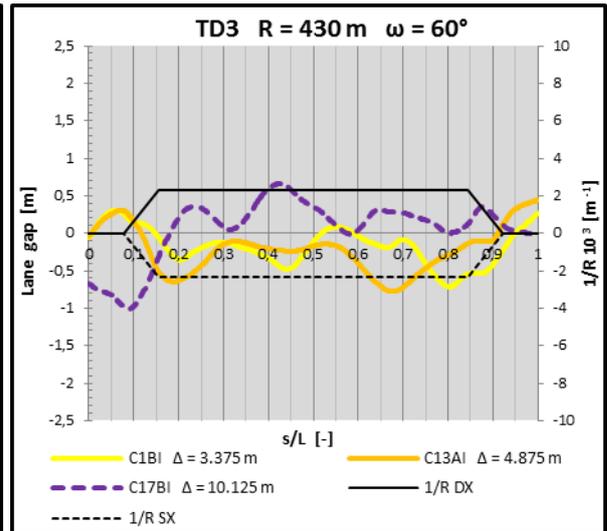
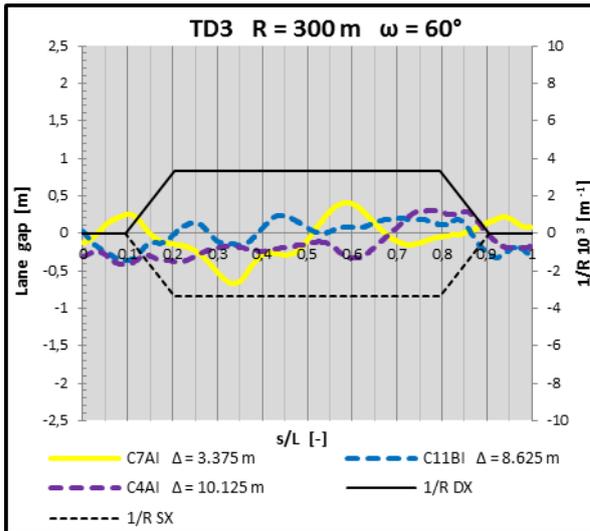


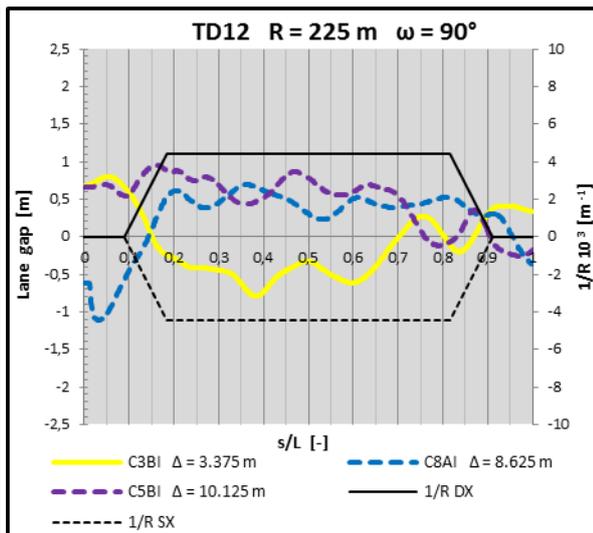
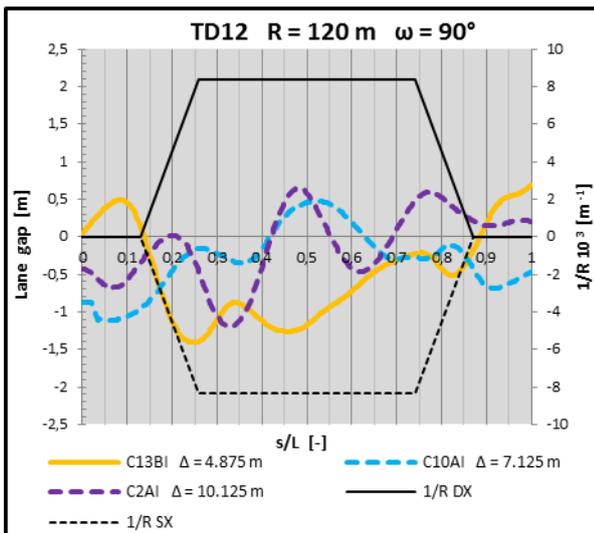
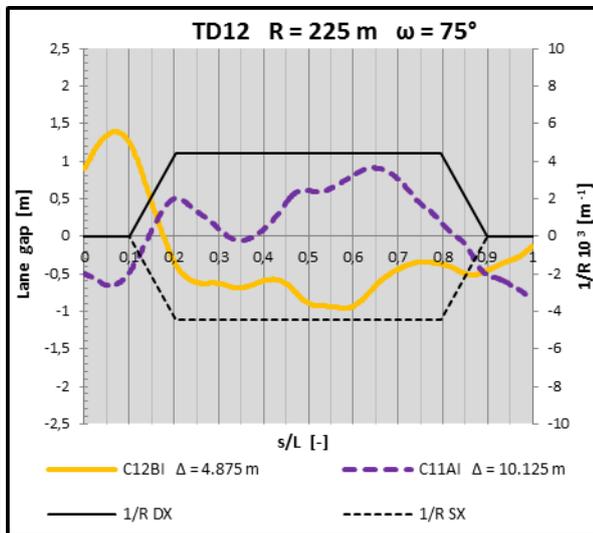
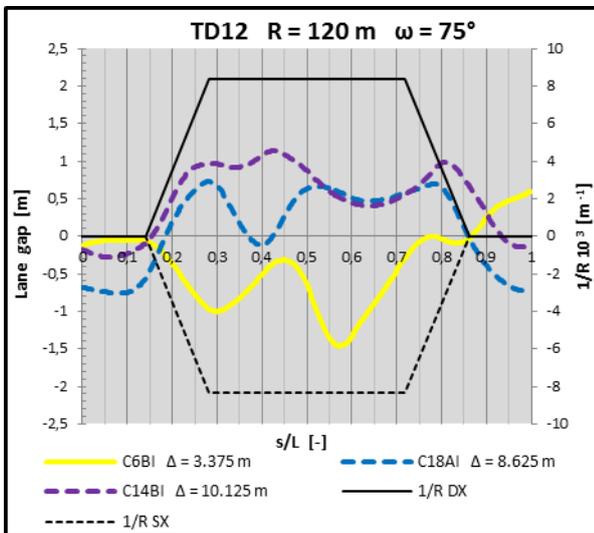
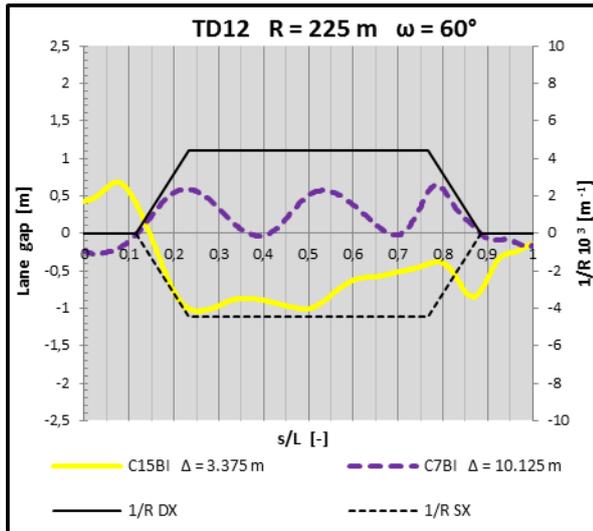
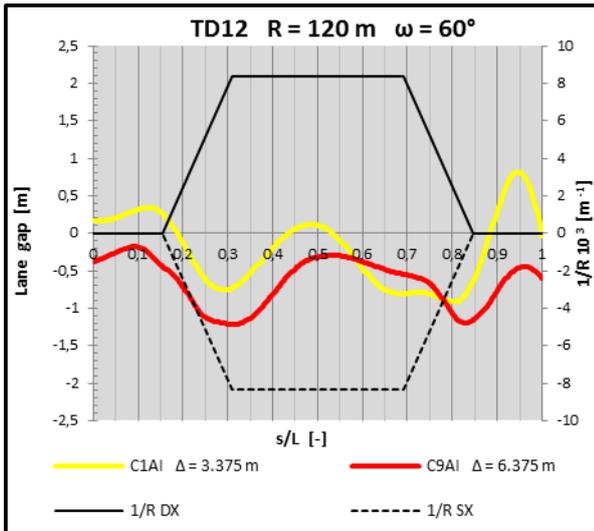


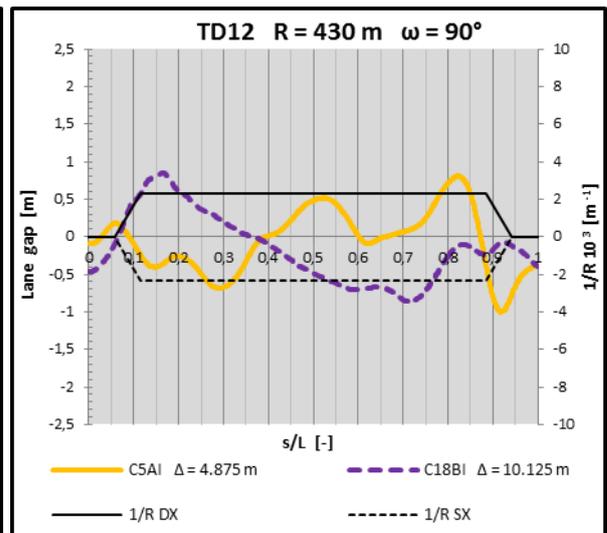
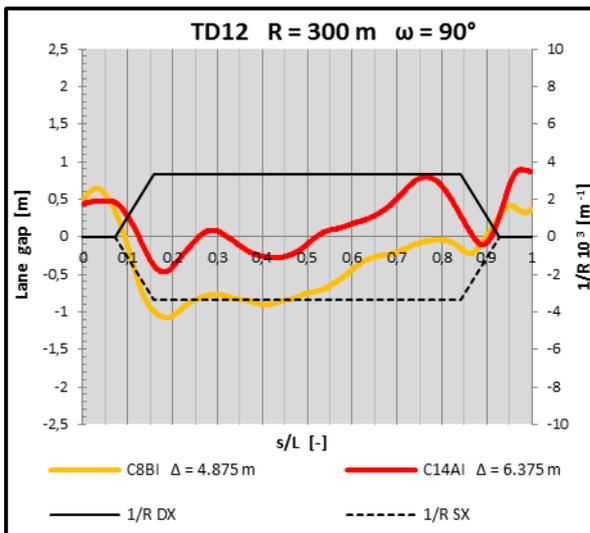
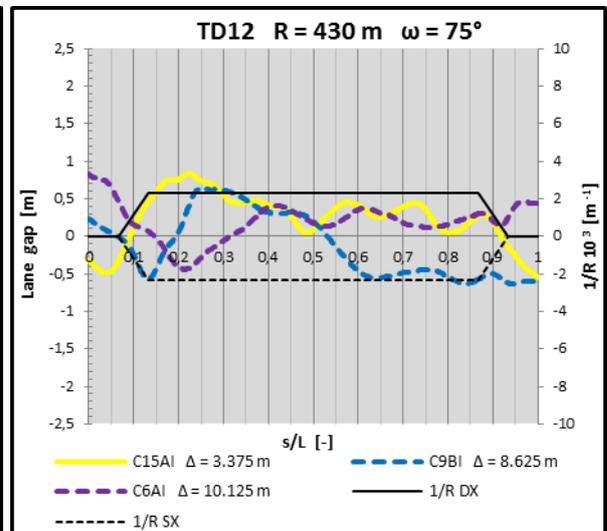
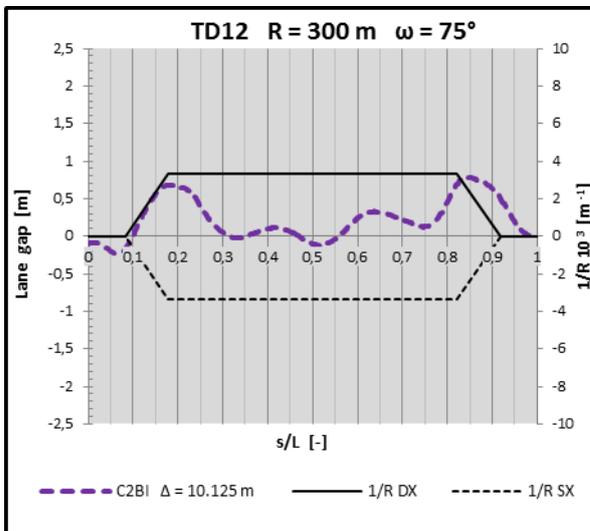
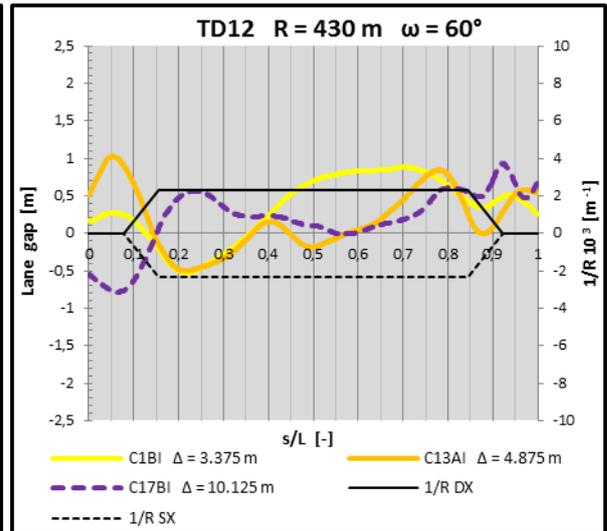
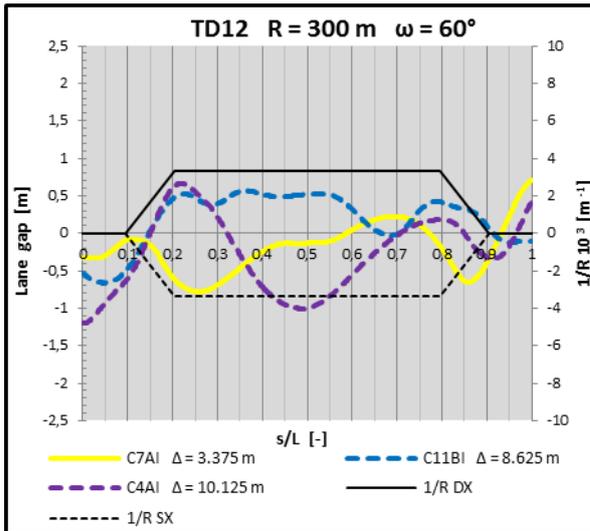


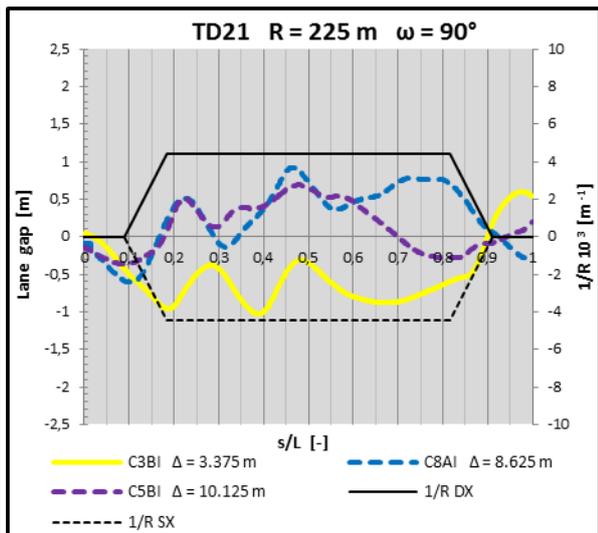
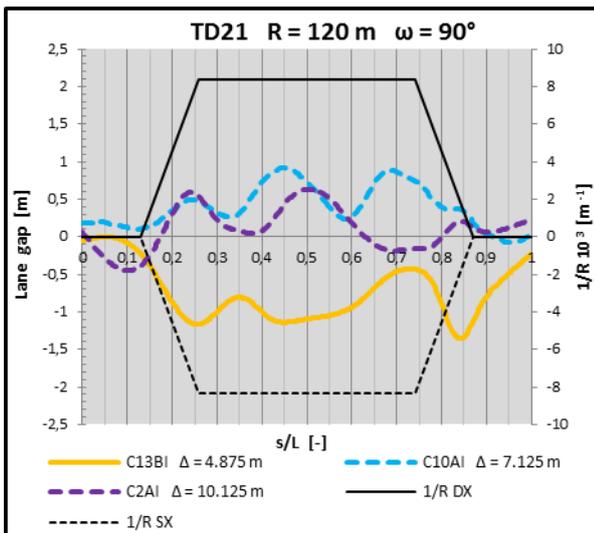
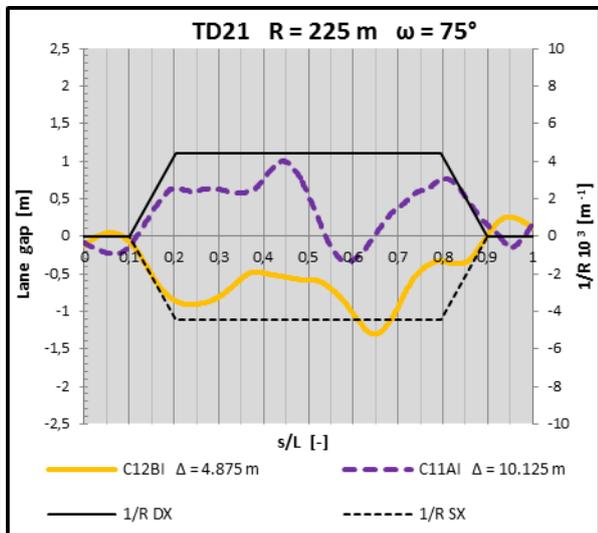
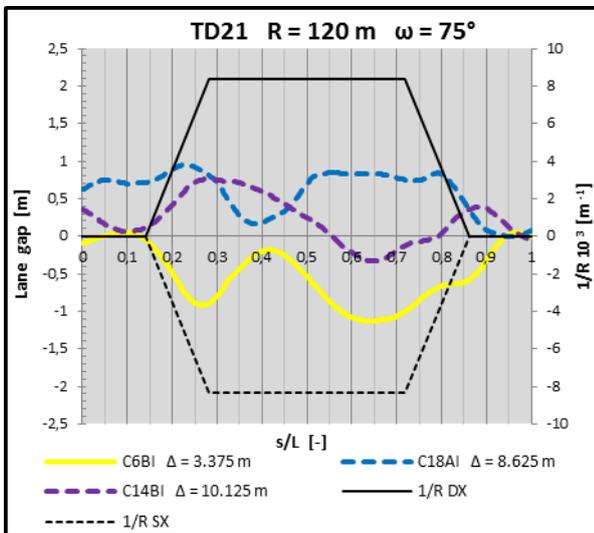
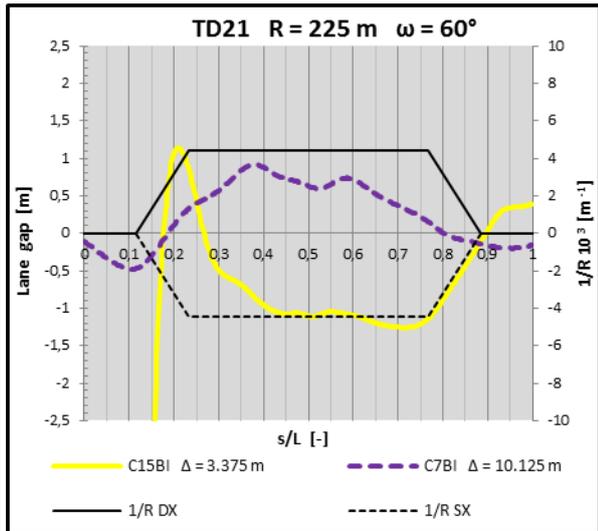
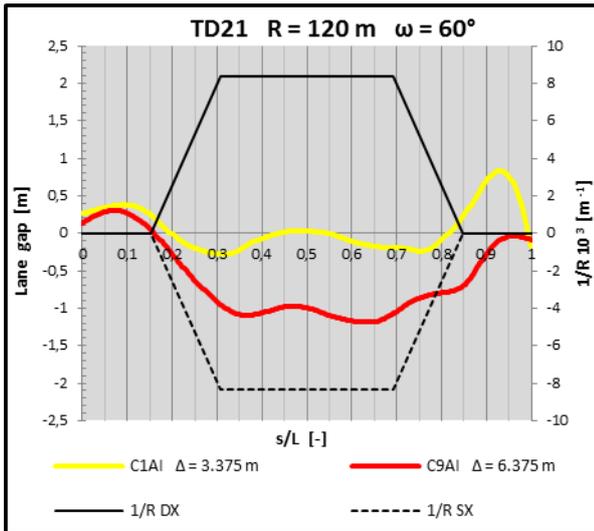
Scenari guidati: AI – BI

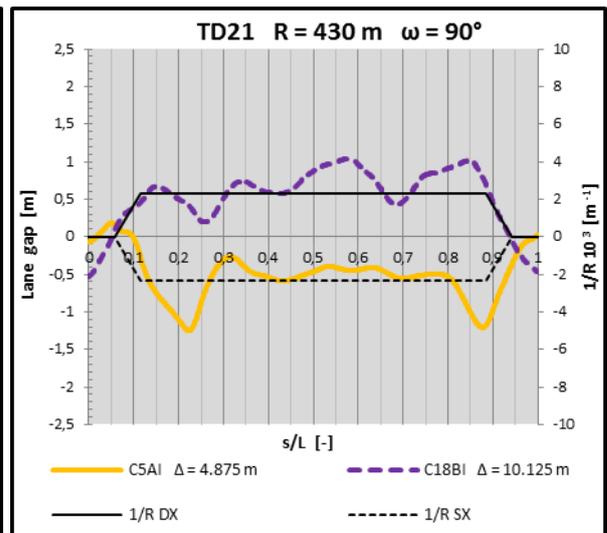
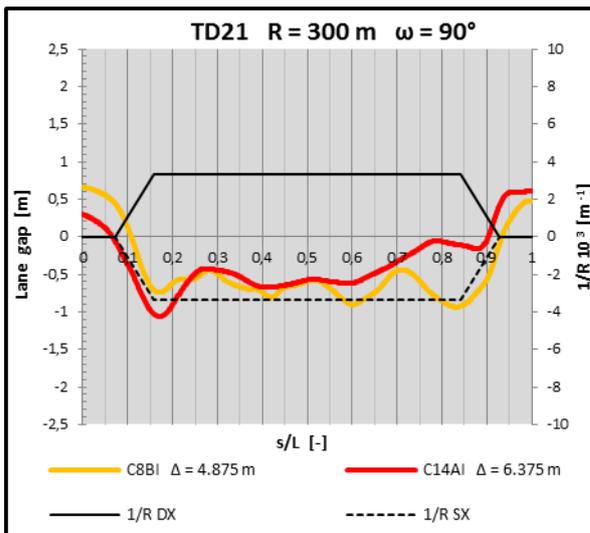
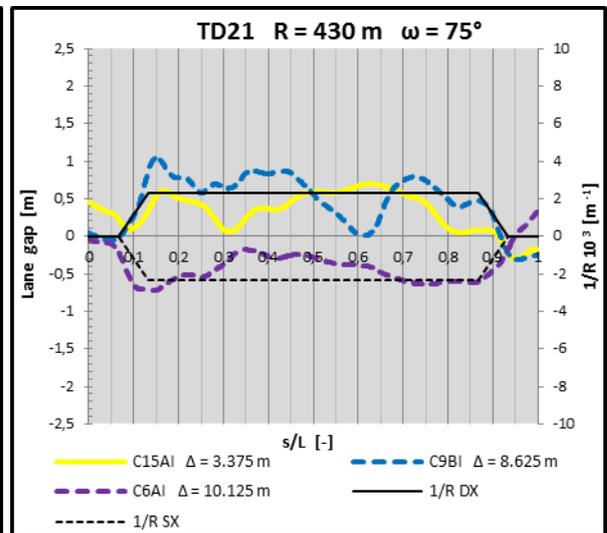
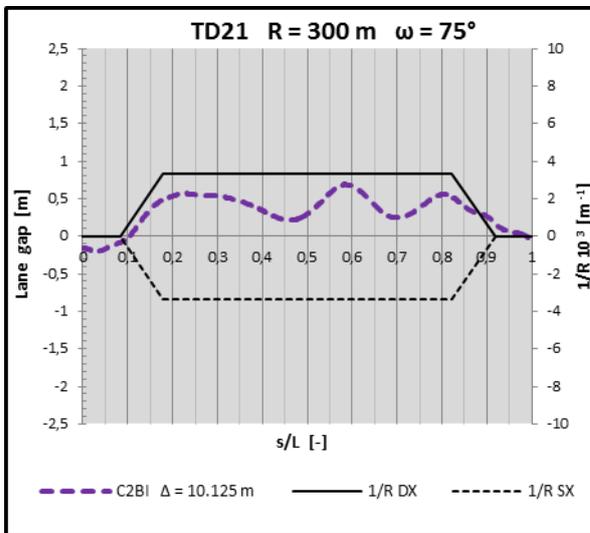
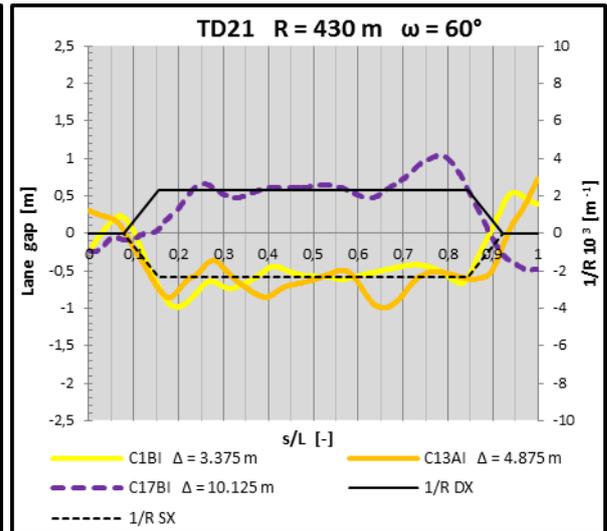
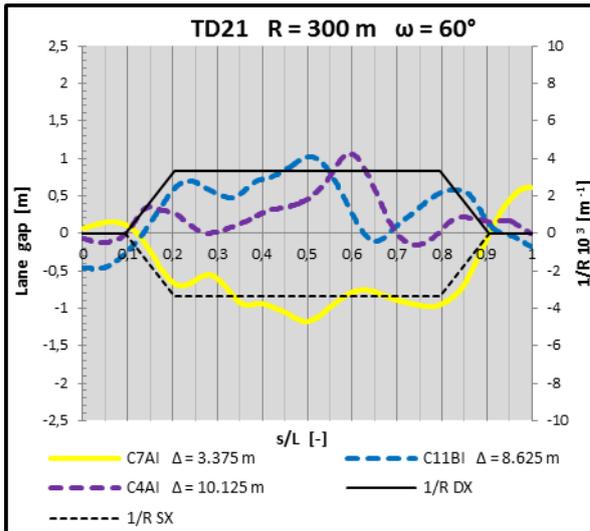


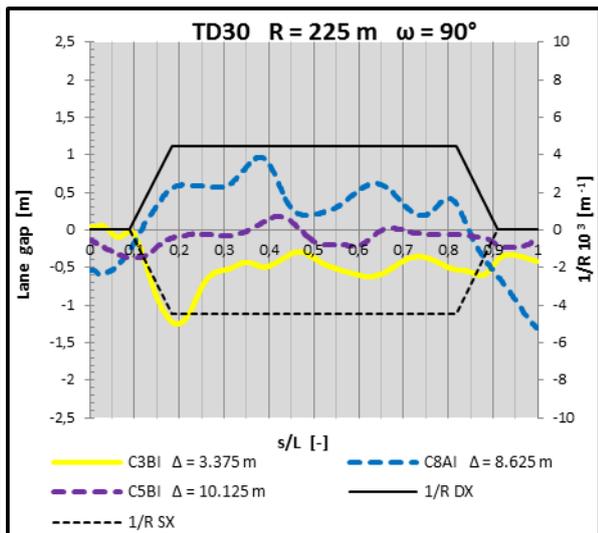
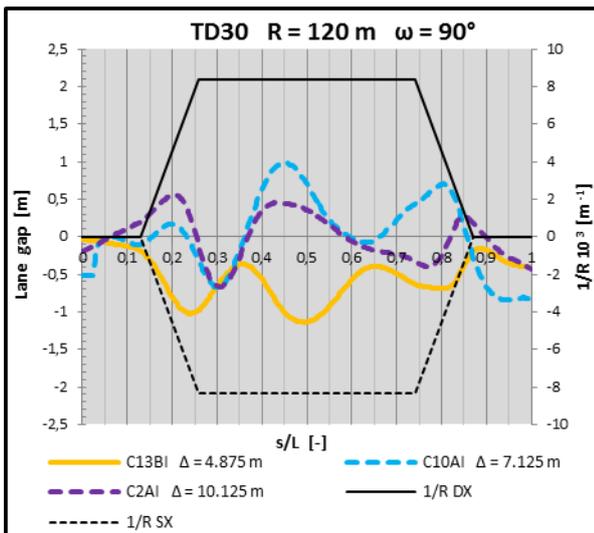
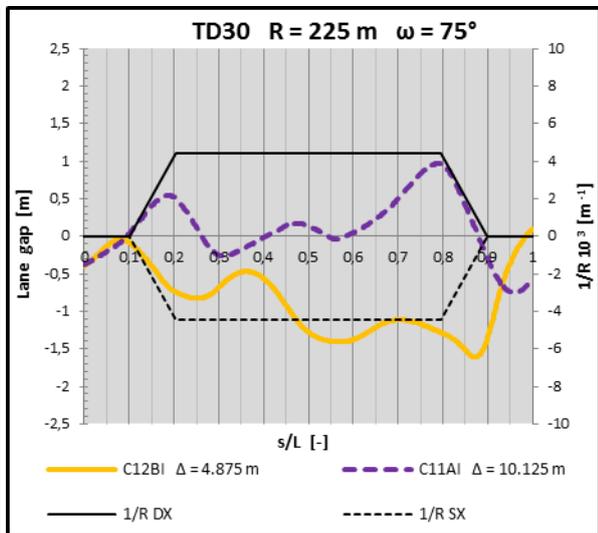
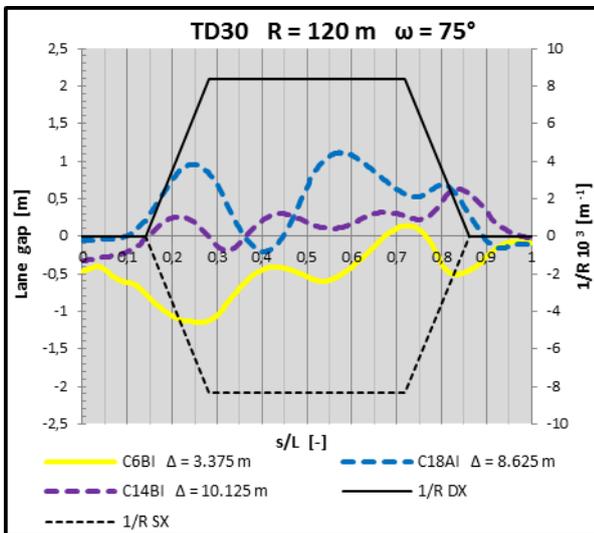
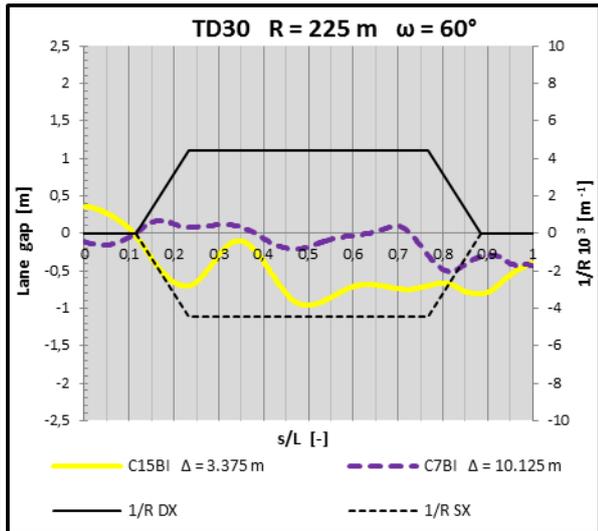
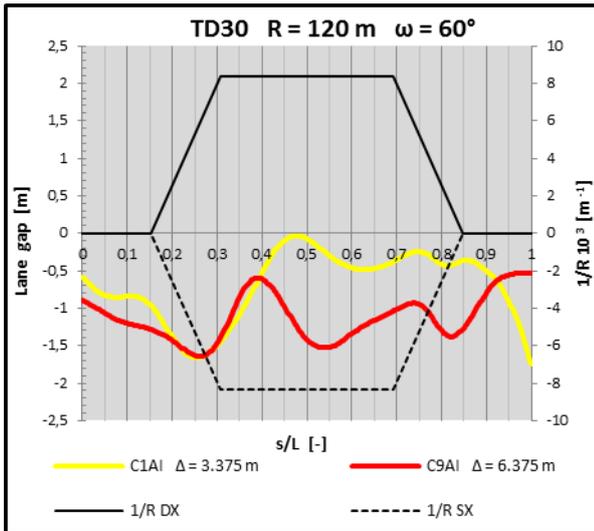


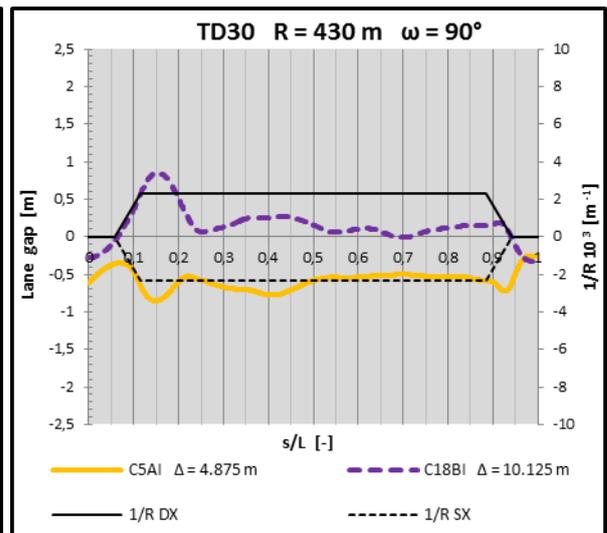
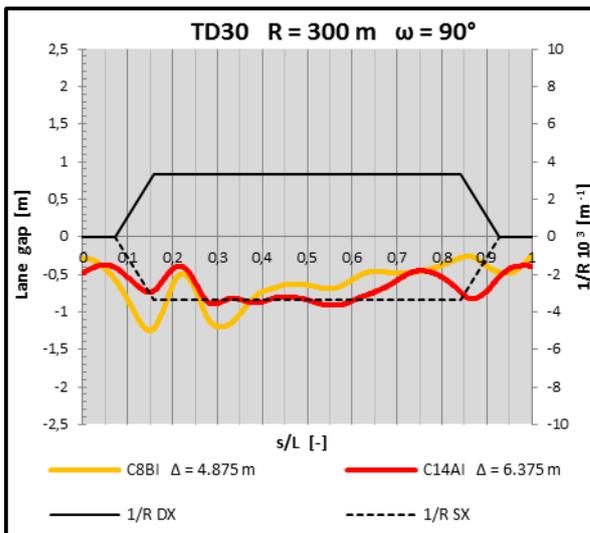
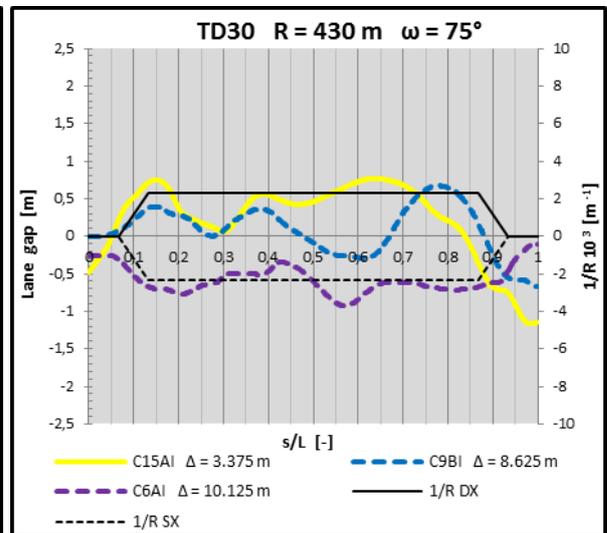
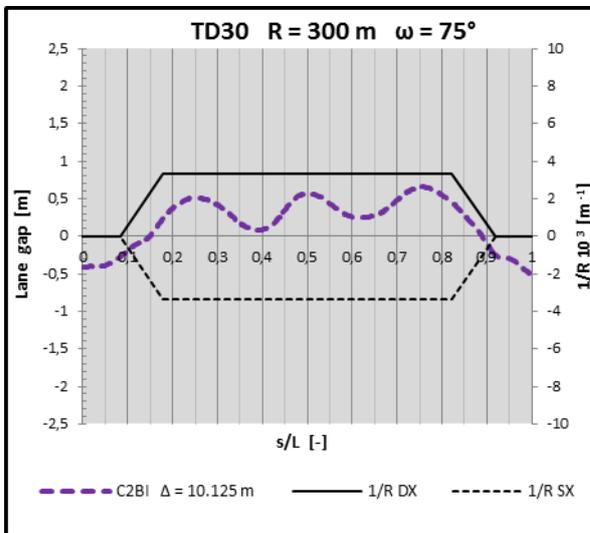
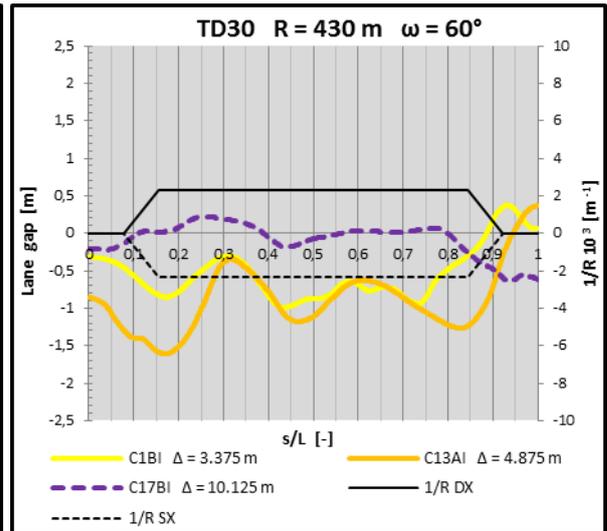
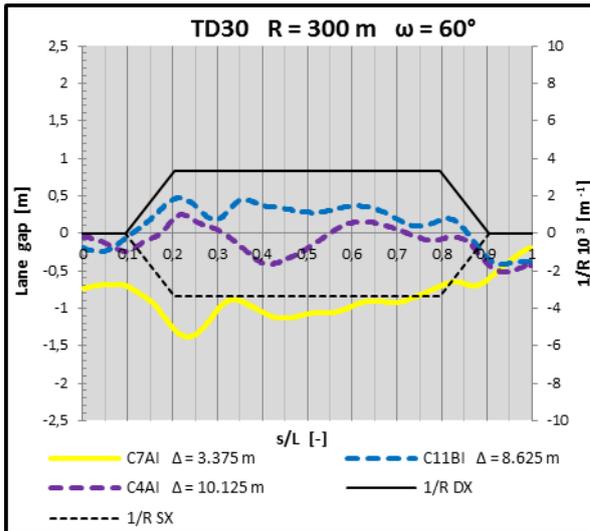


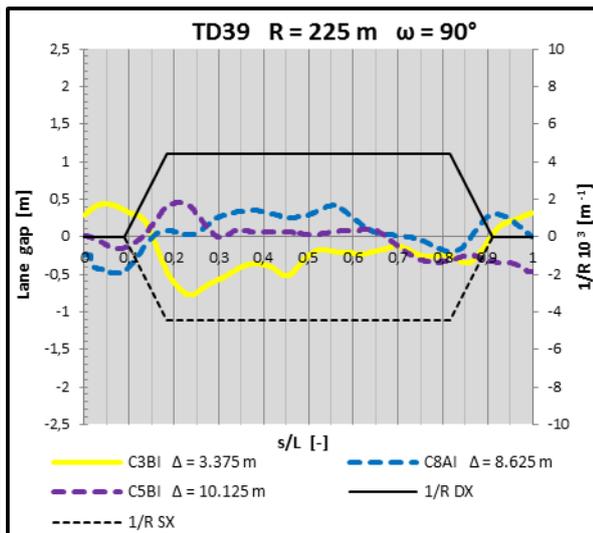
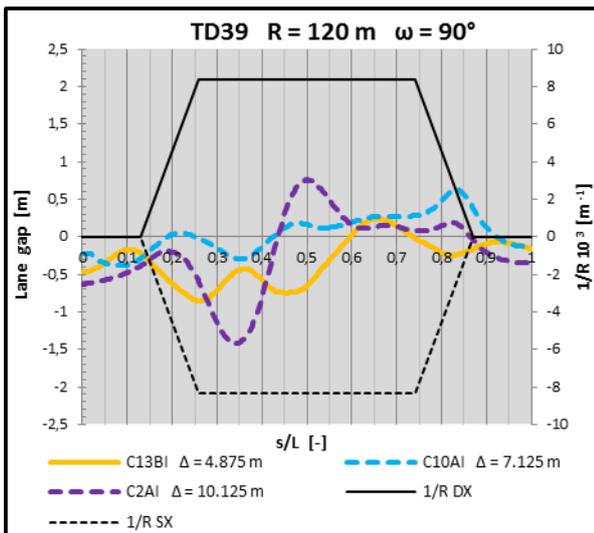
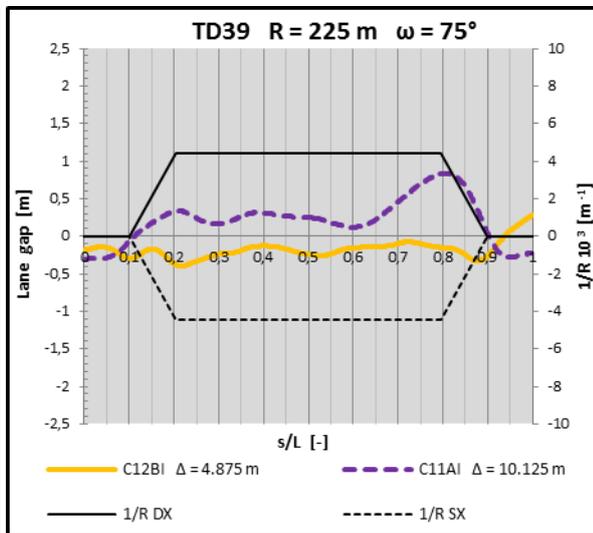
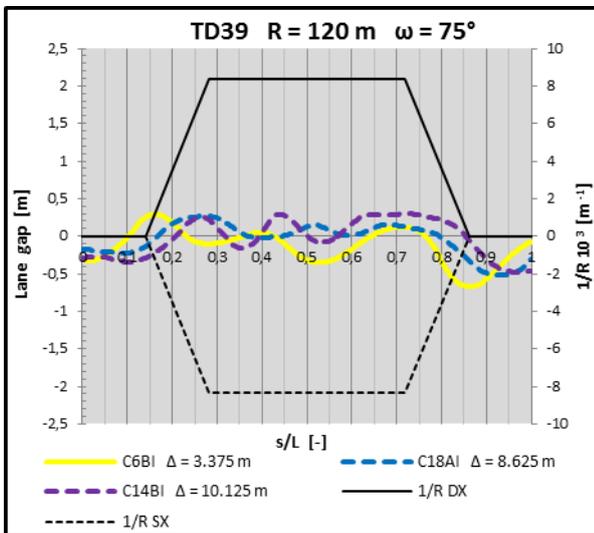
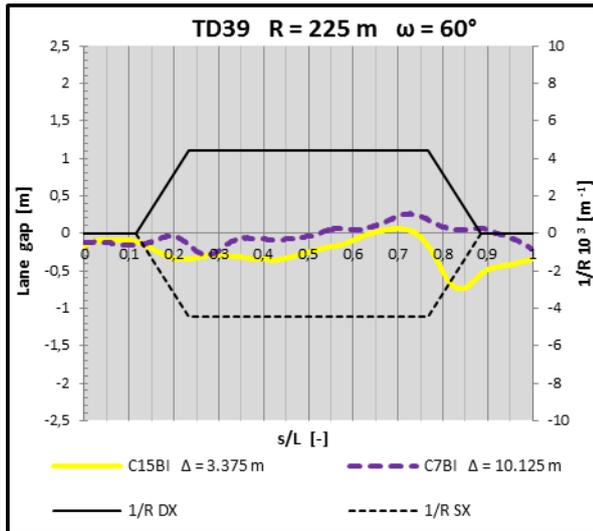
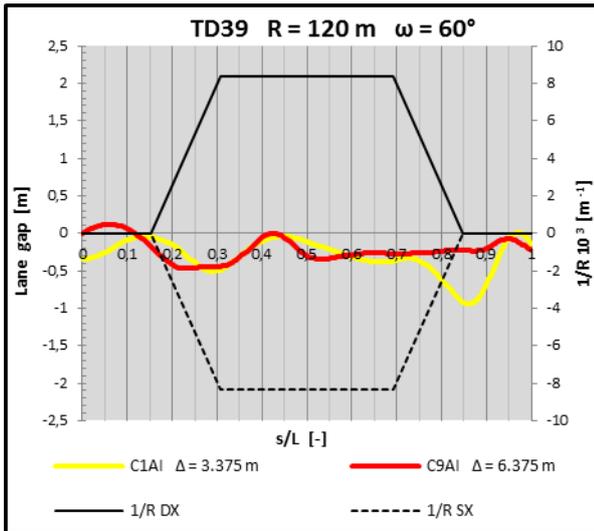


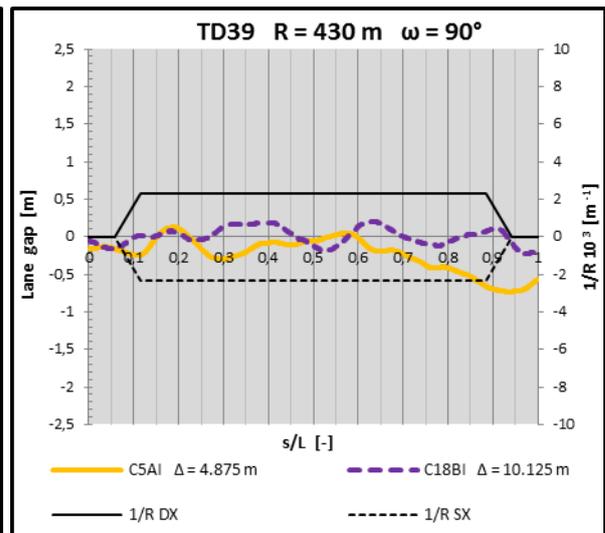
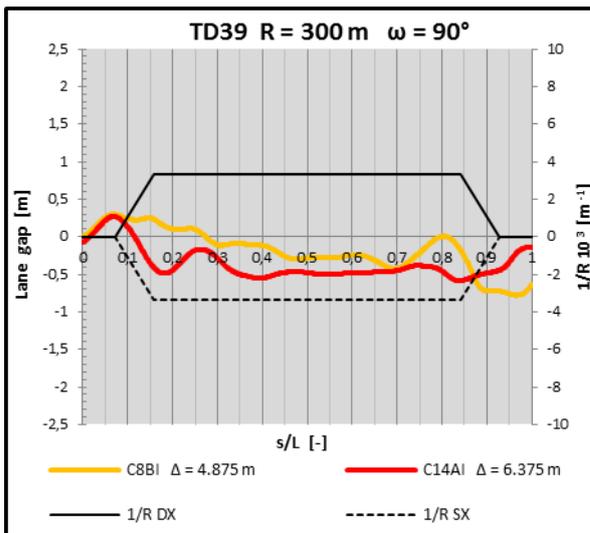
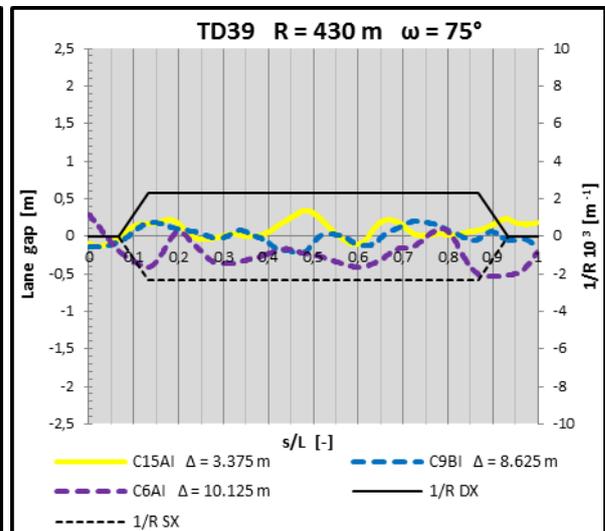
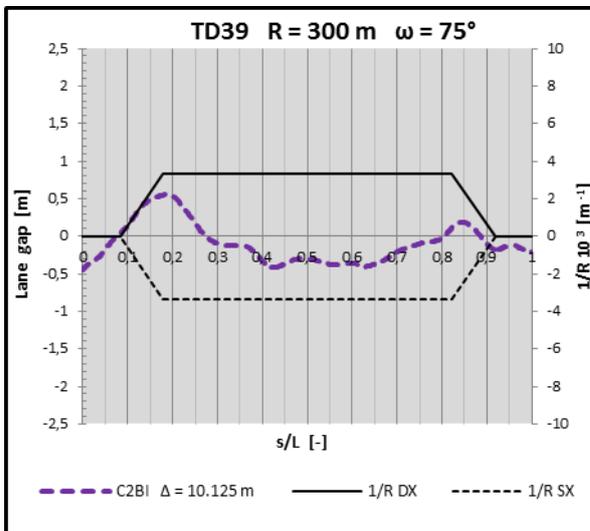
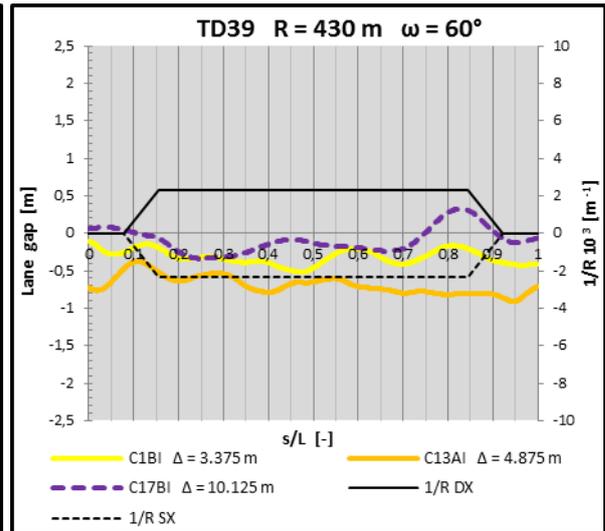
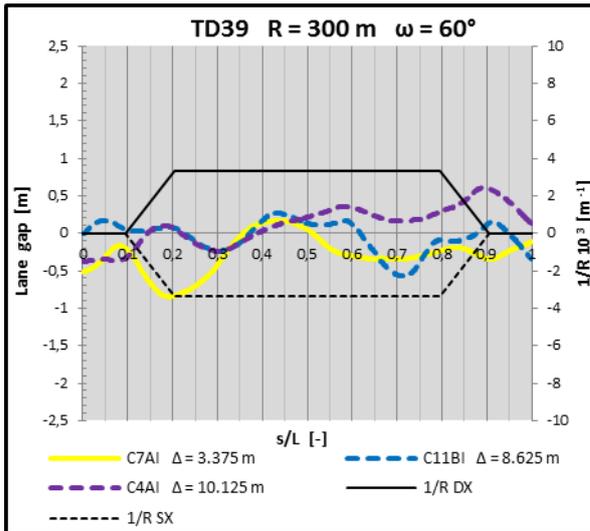




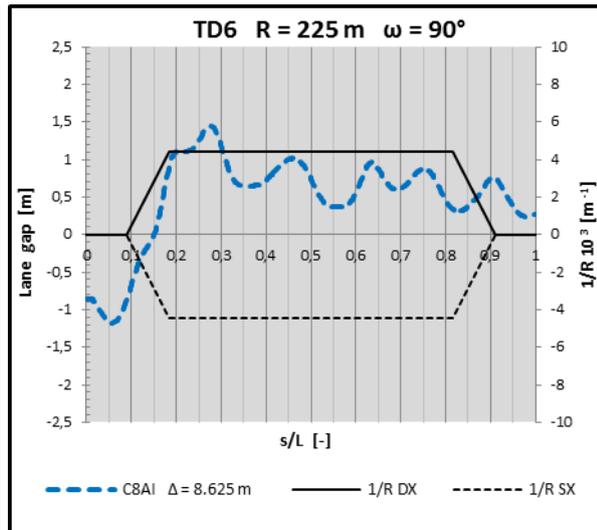
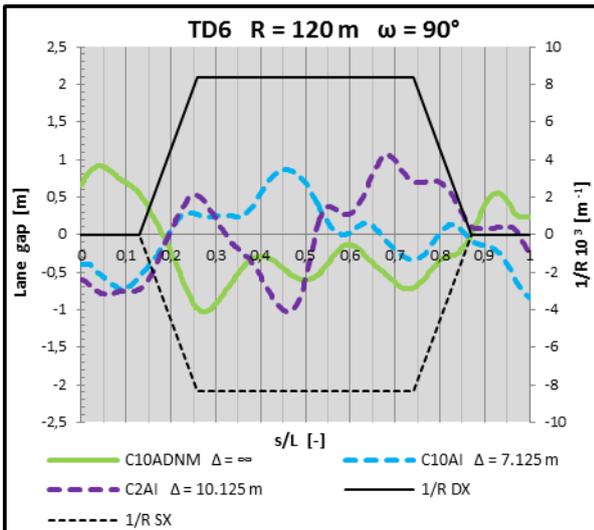
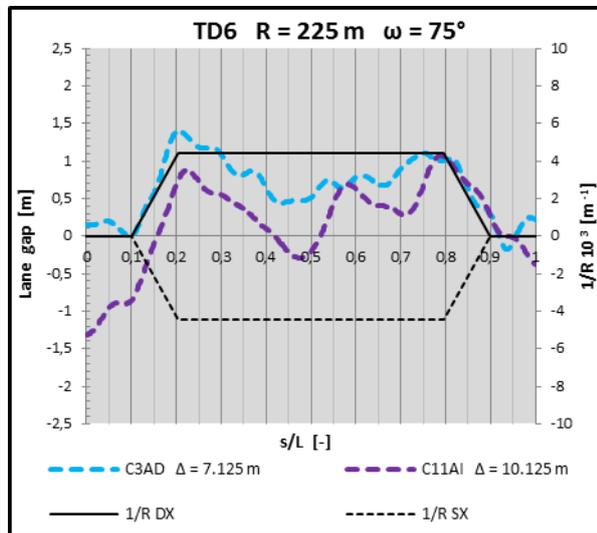
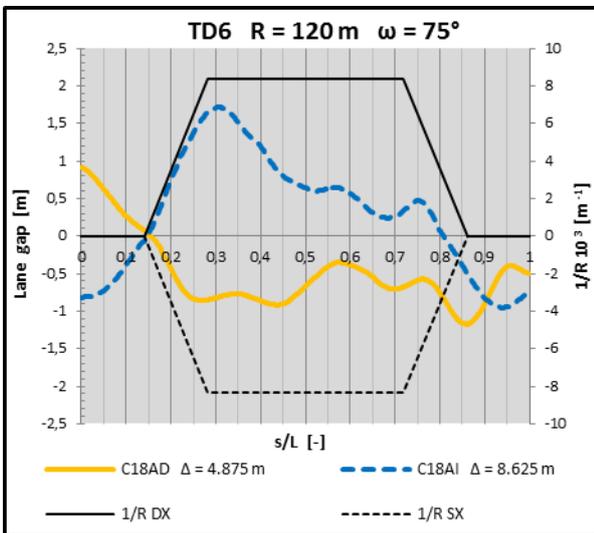
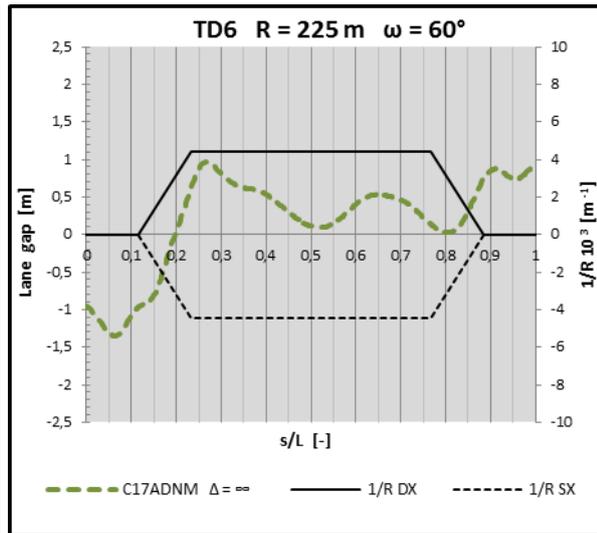
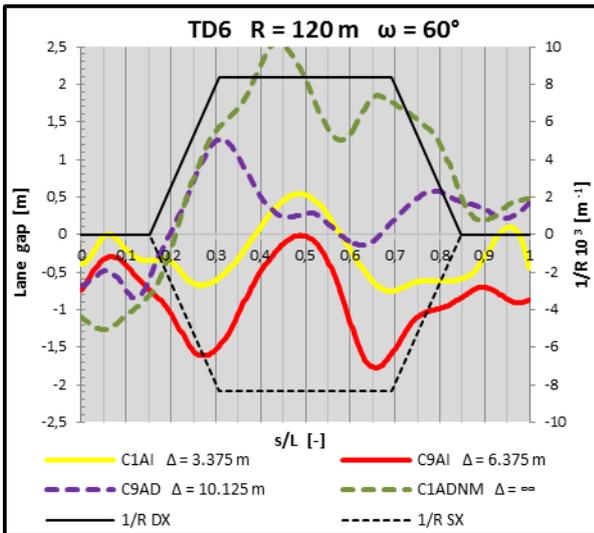


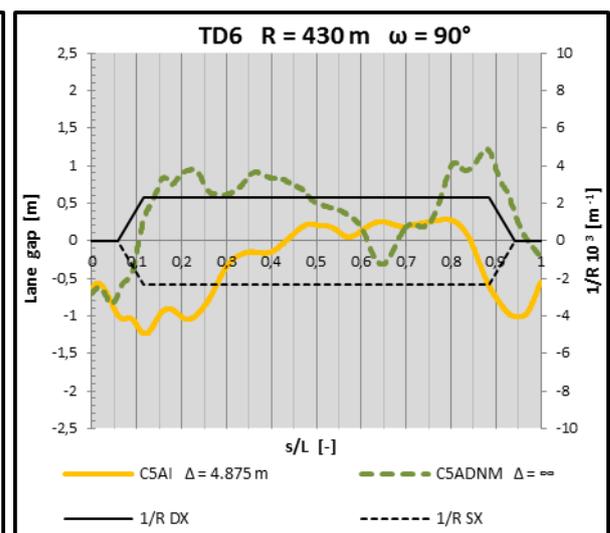
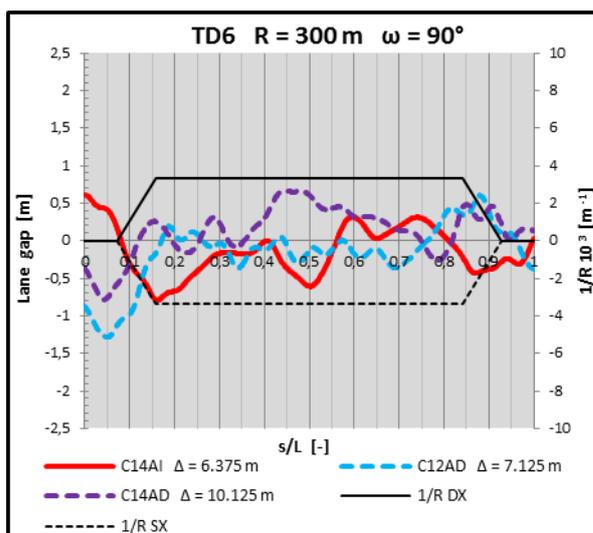
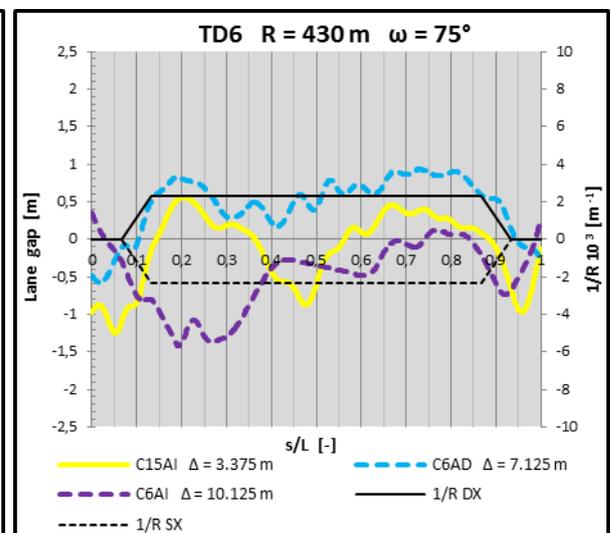
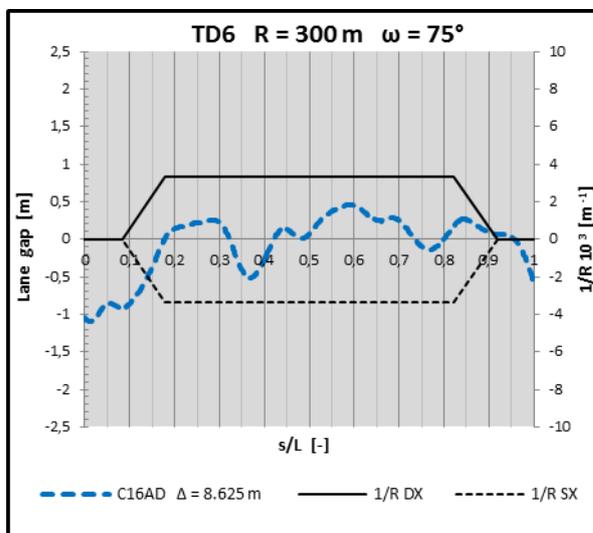
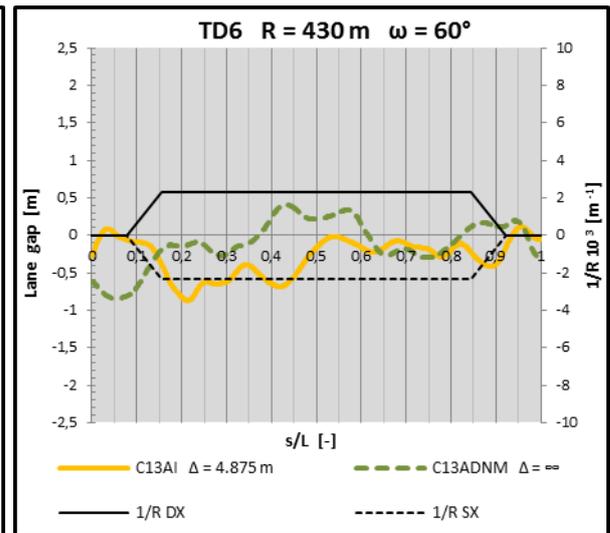
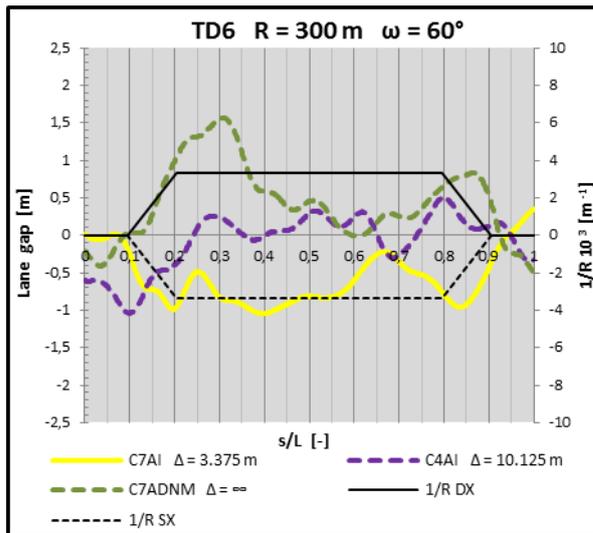


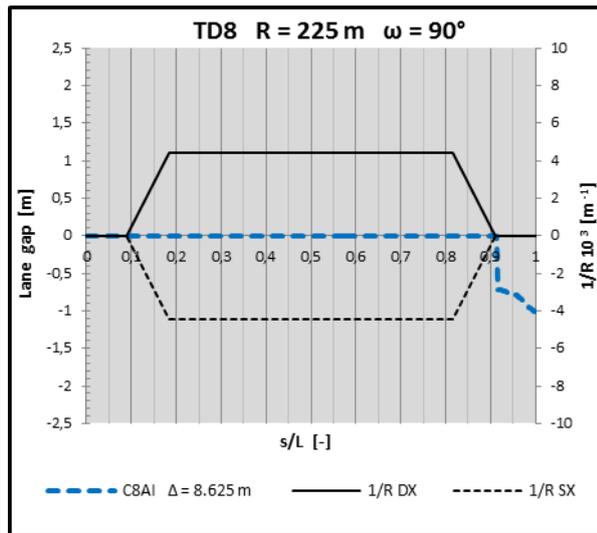
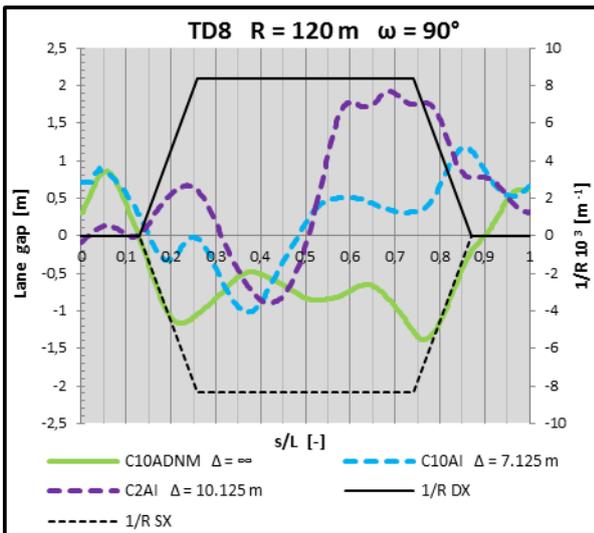
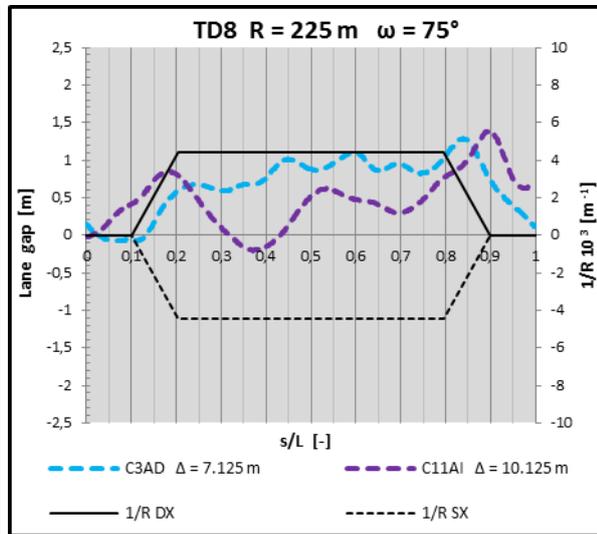
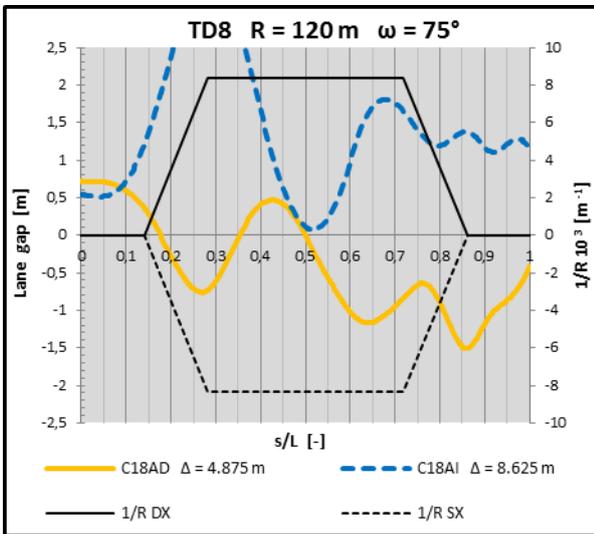
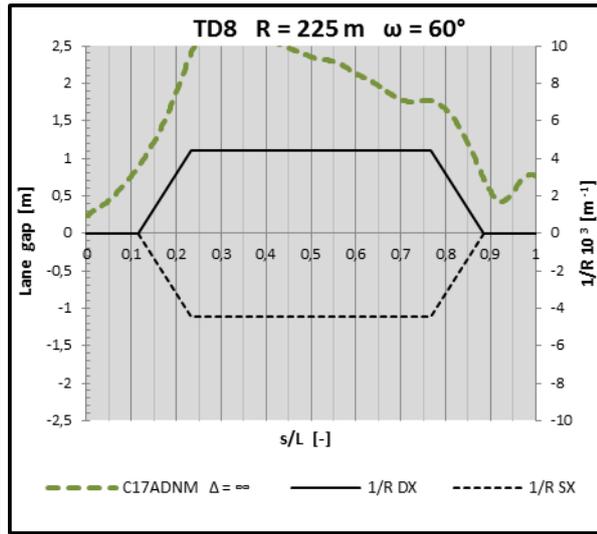
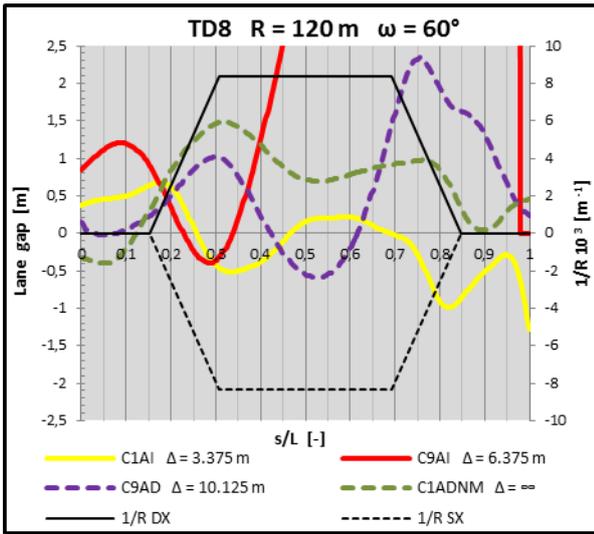


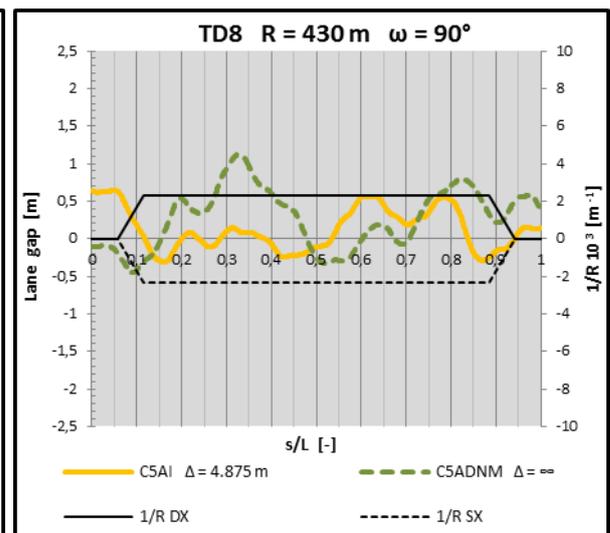
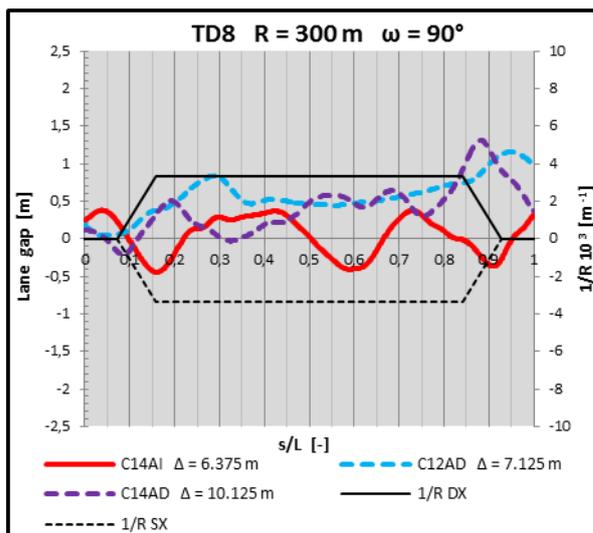
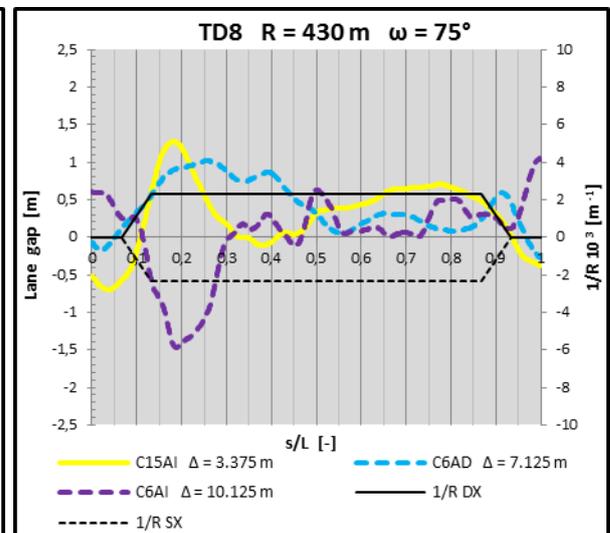
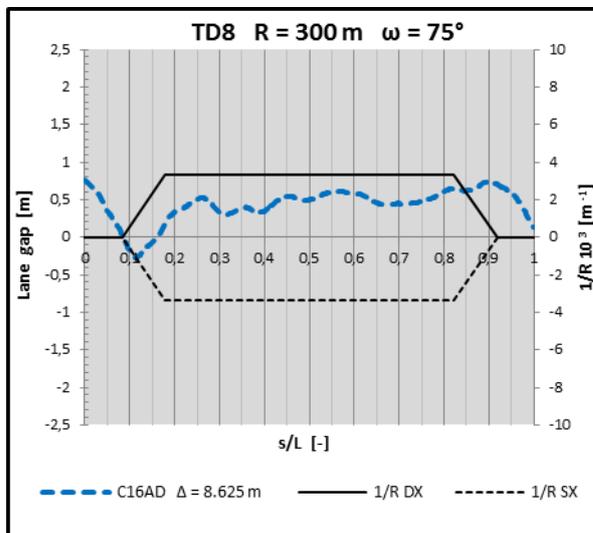
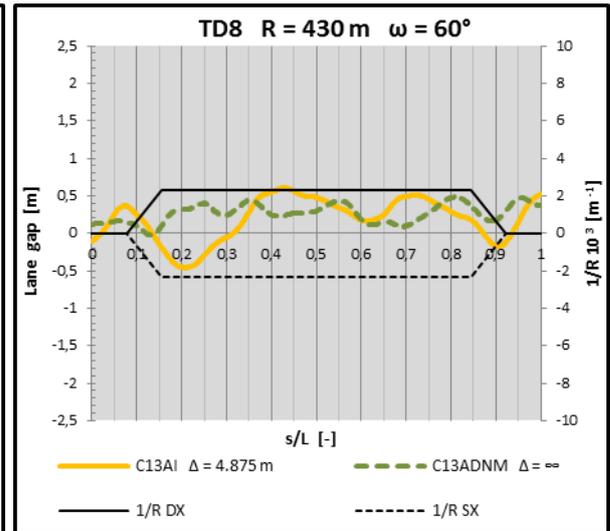
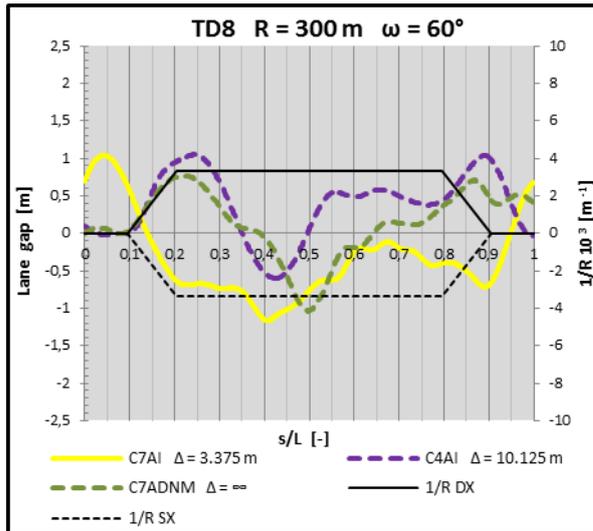


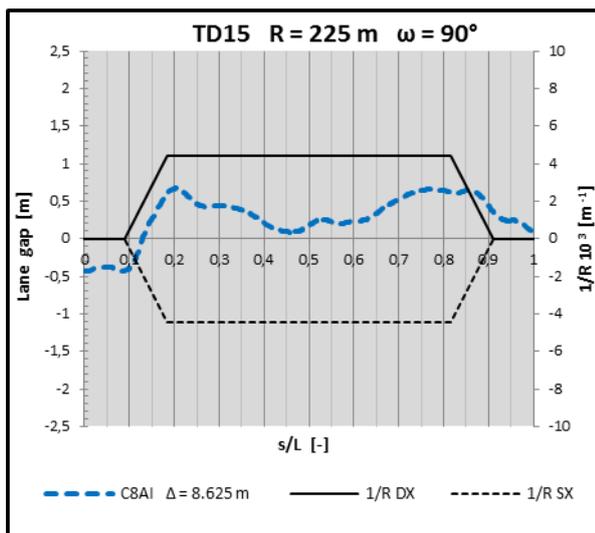
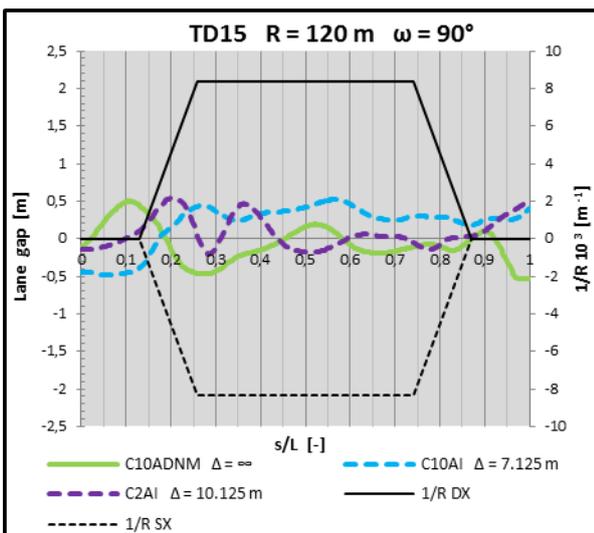
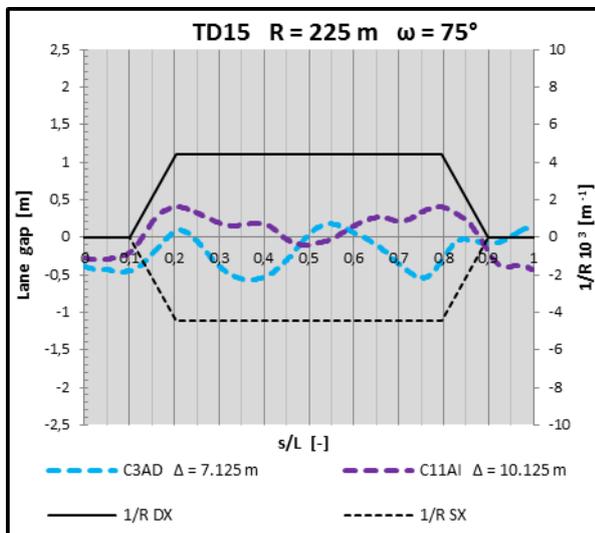
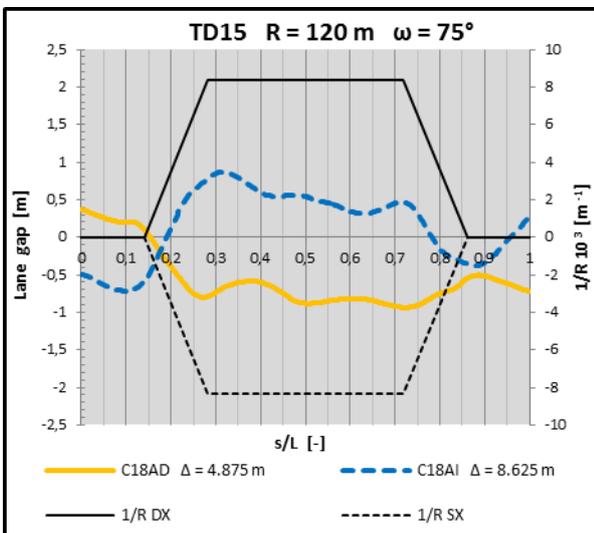
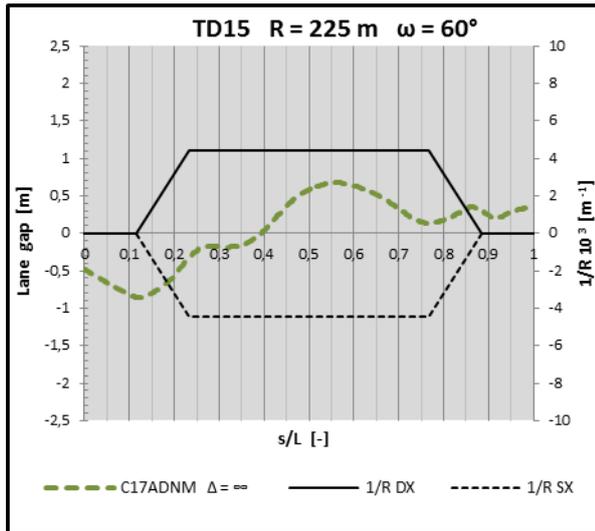
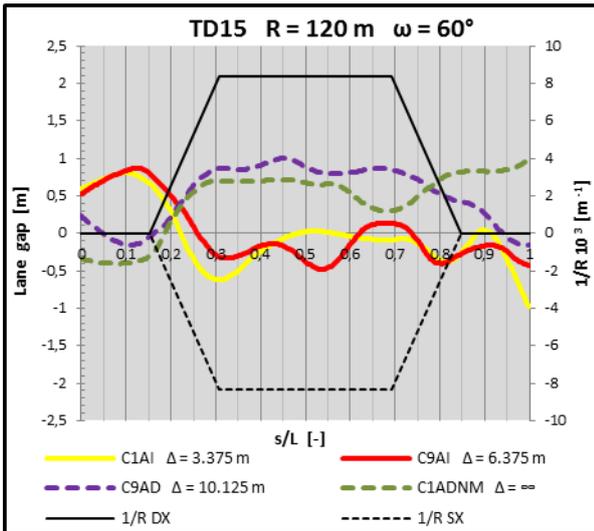
Scenari guidati: AI – ADN

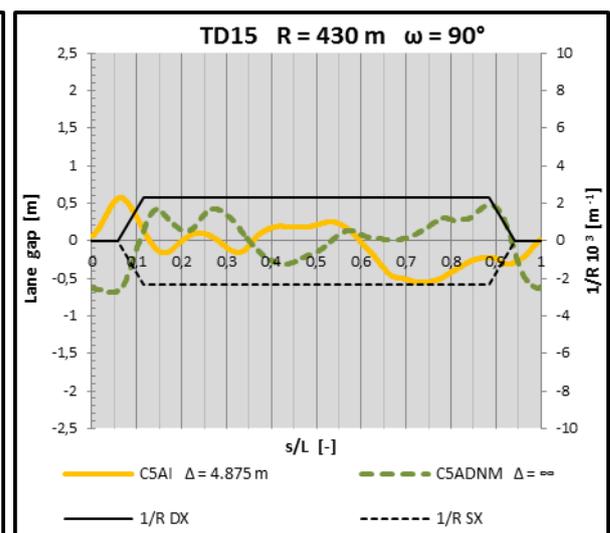
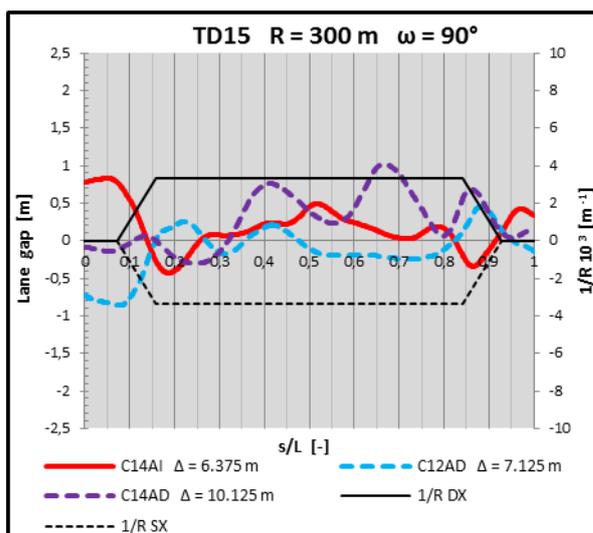
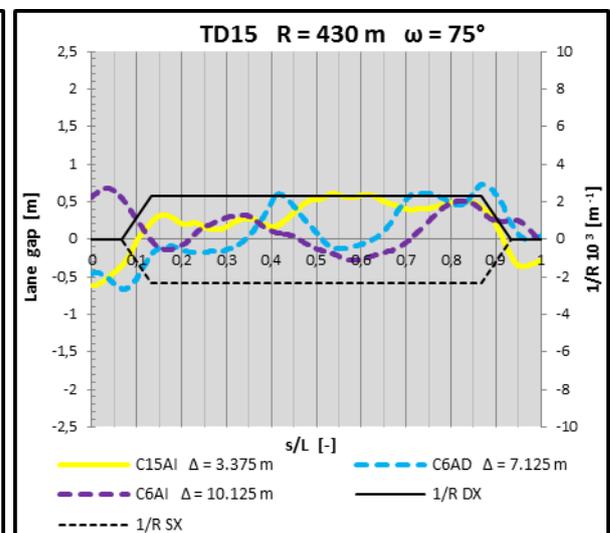
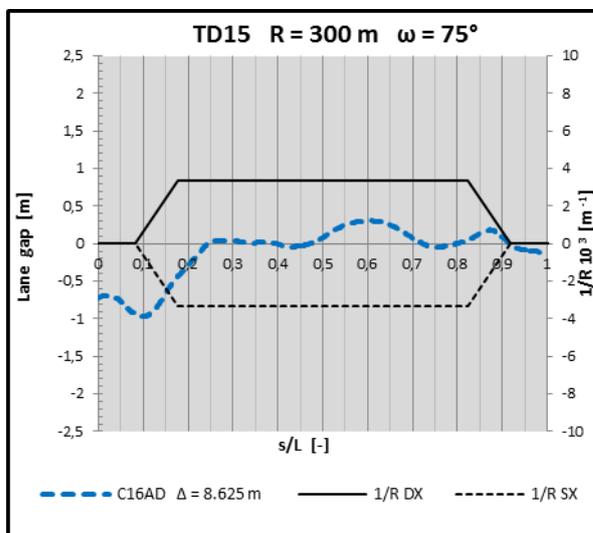
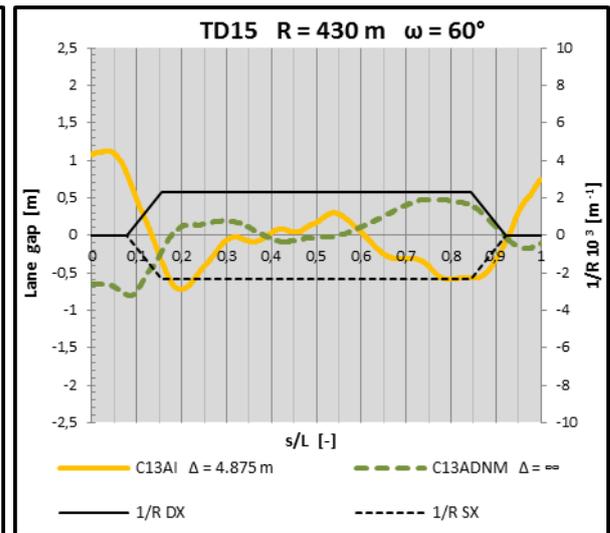
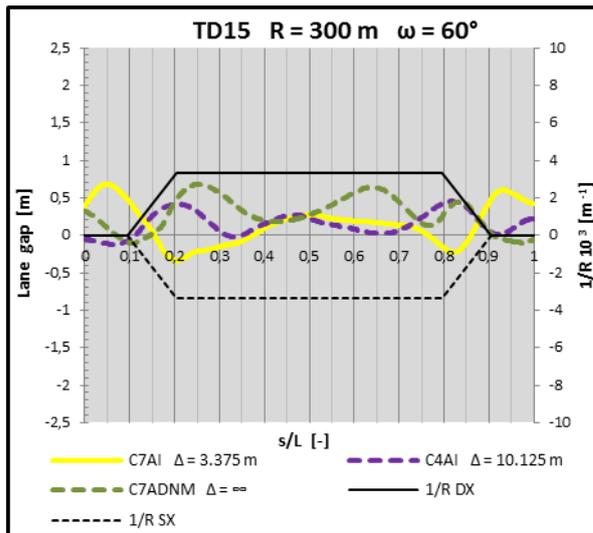


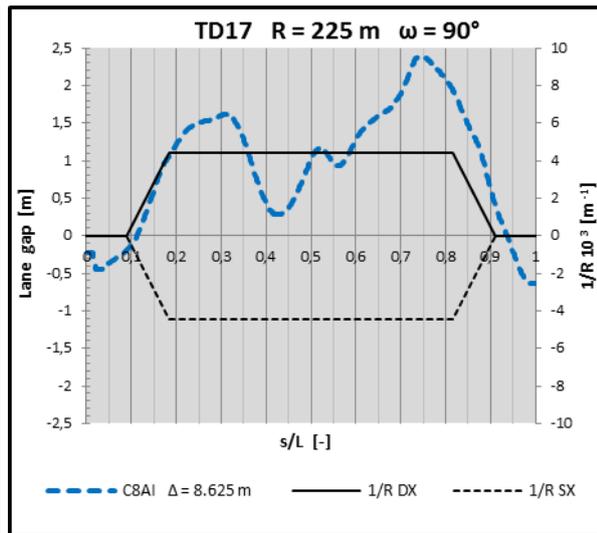
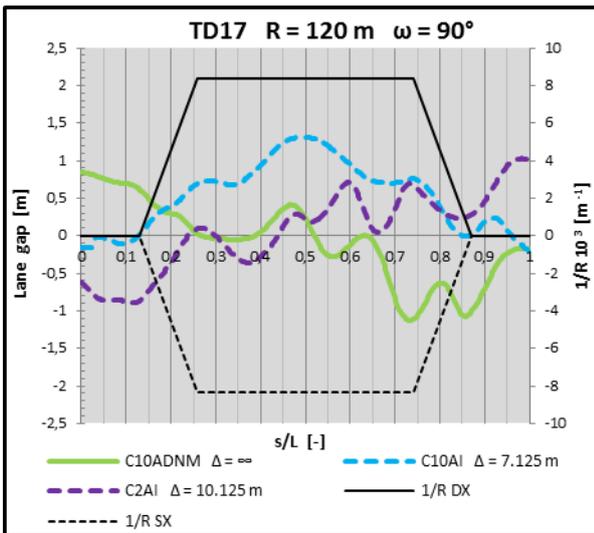
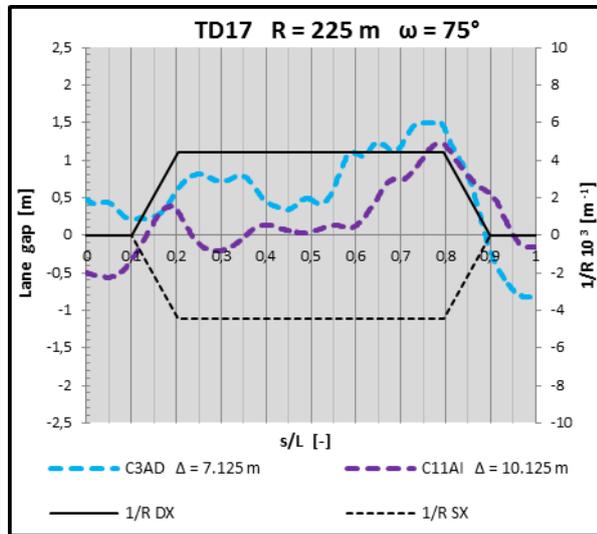
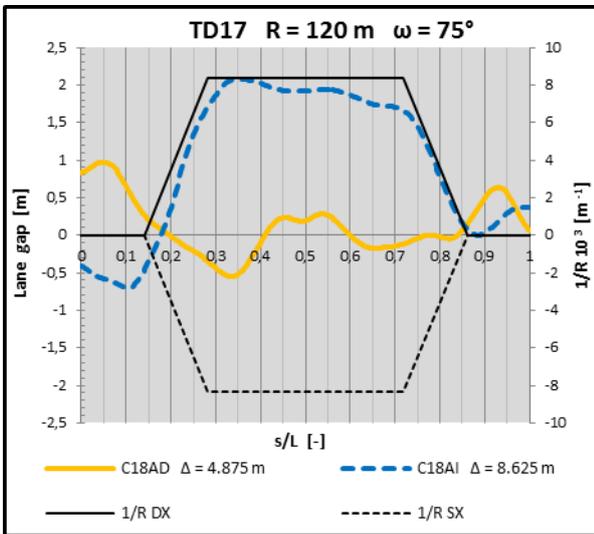
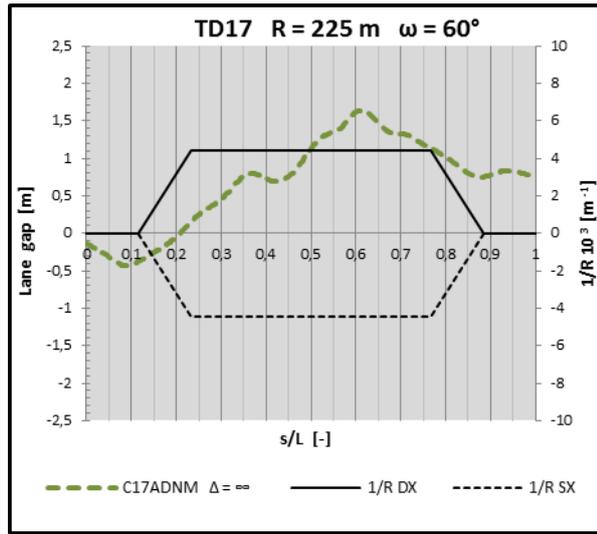
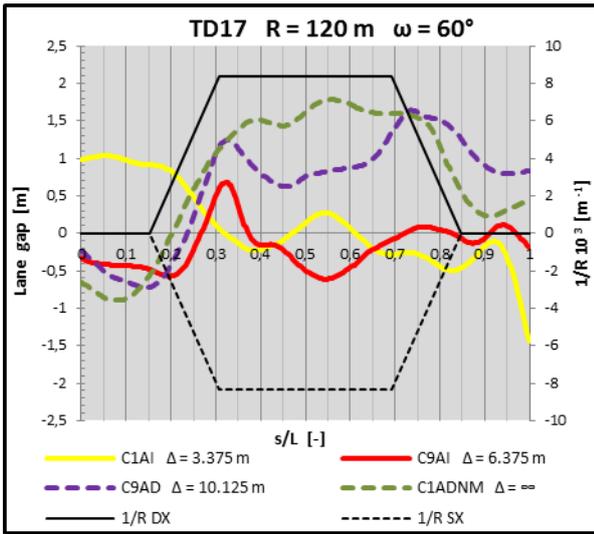


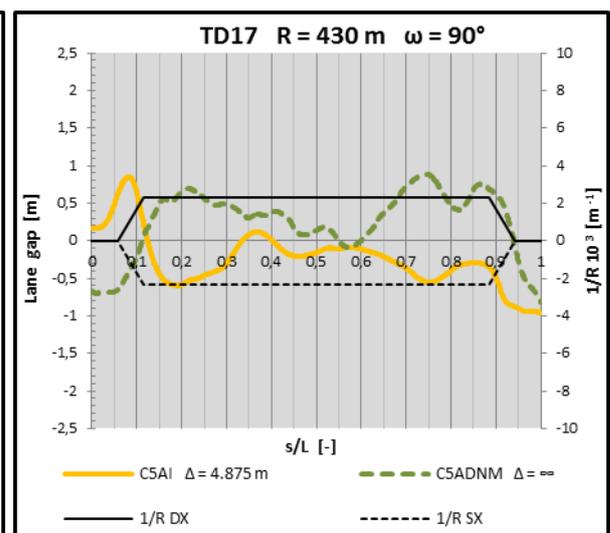
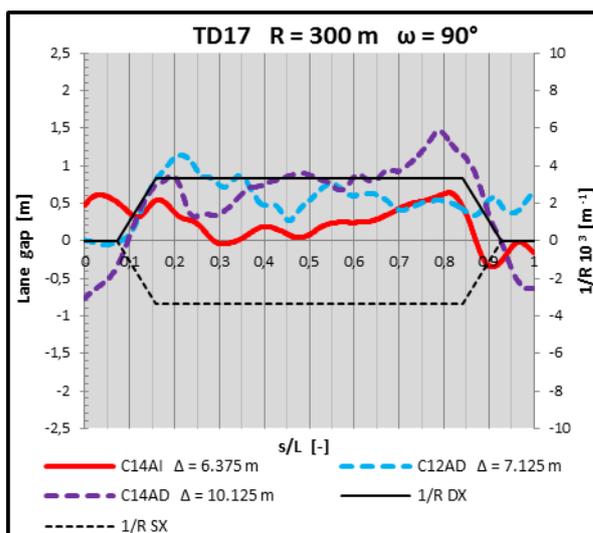
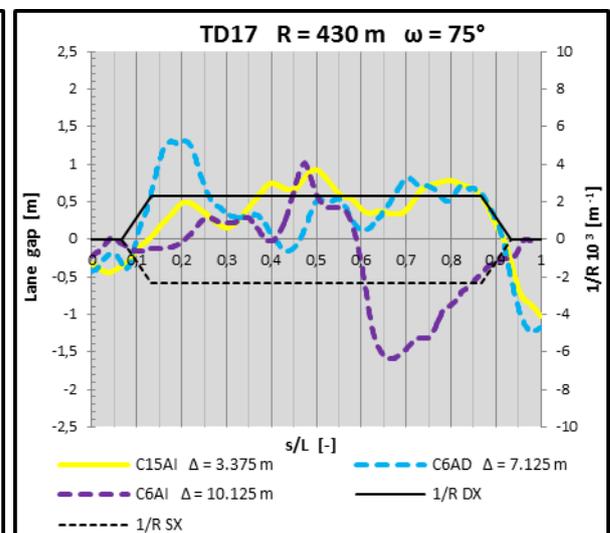
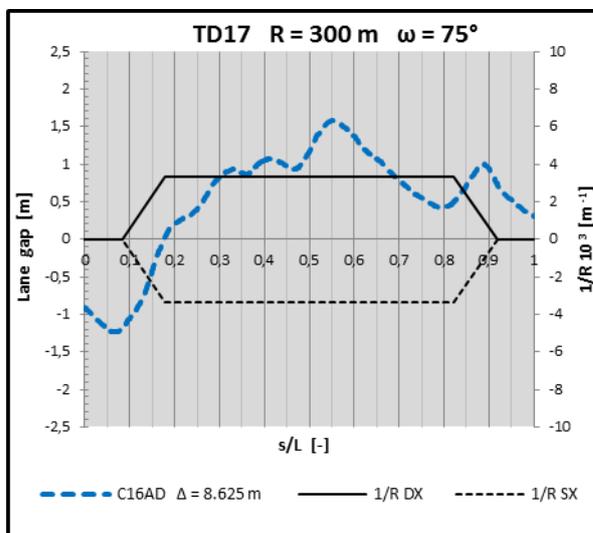
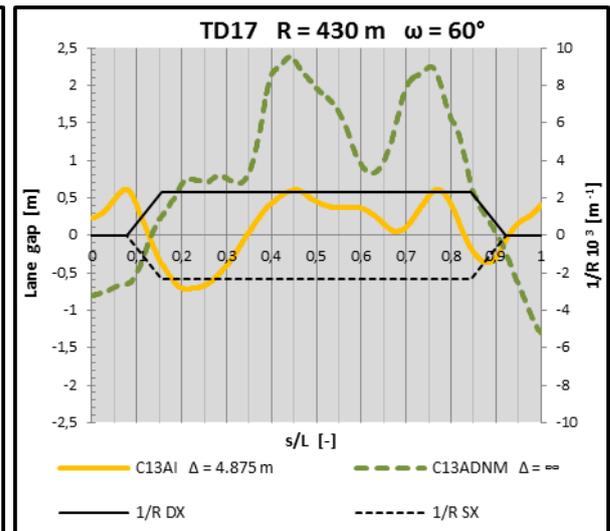
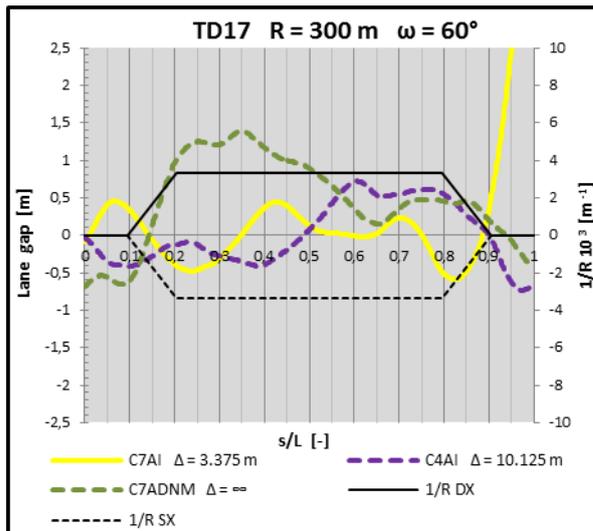


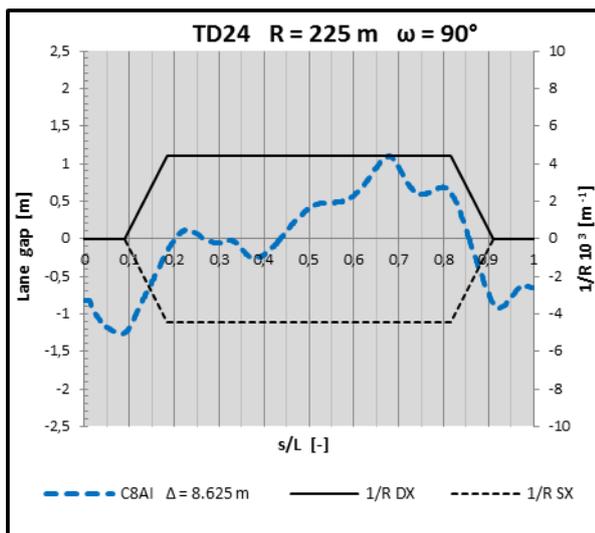
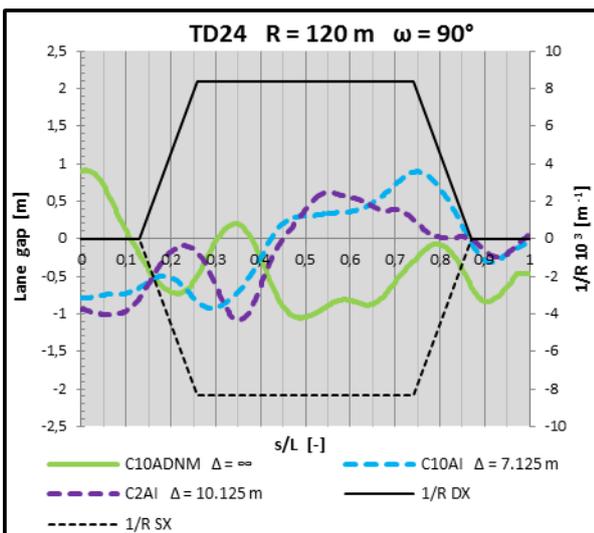
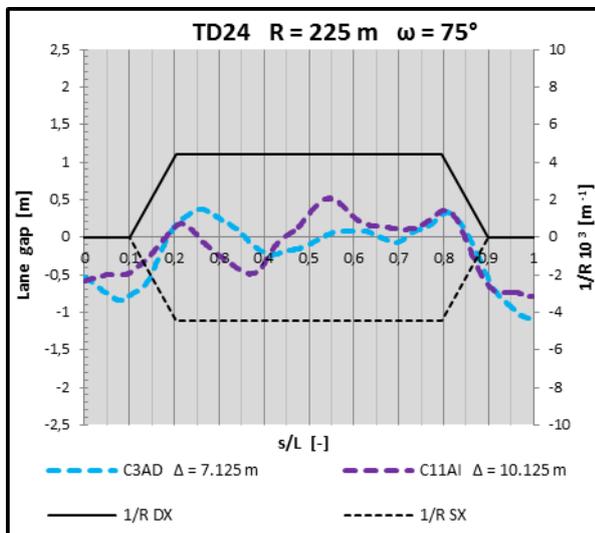
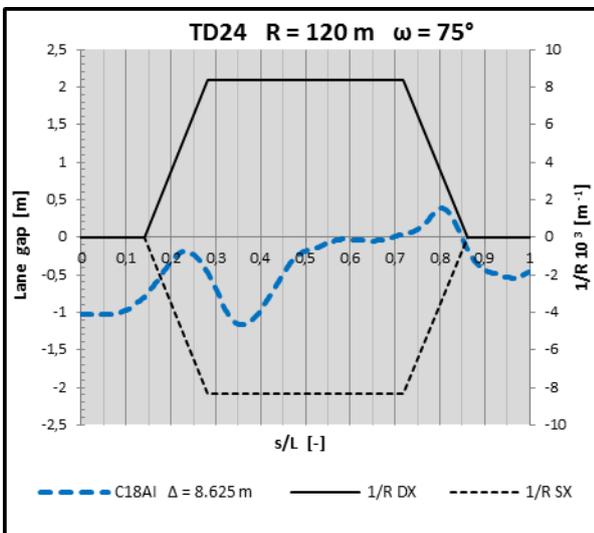
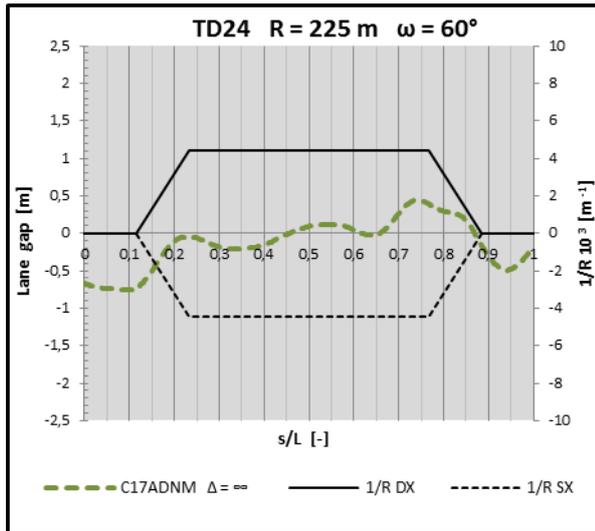
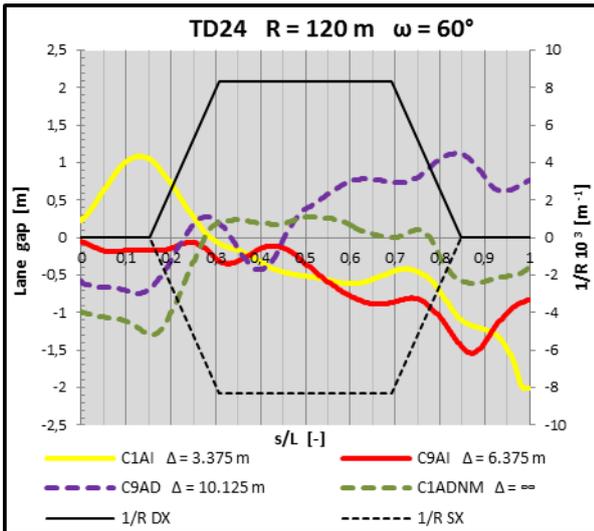


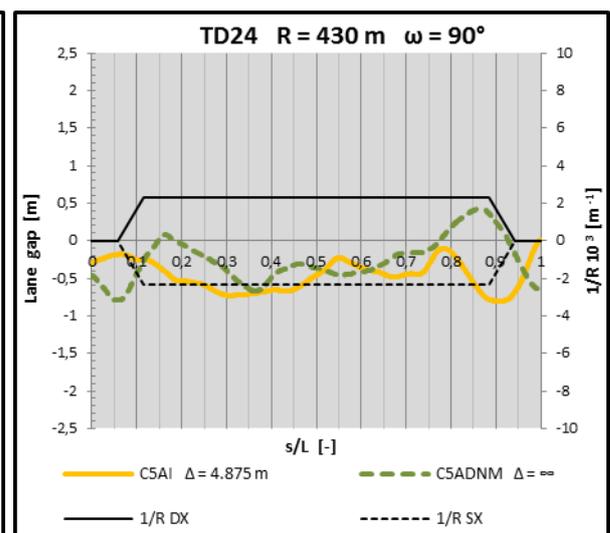
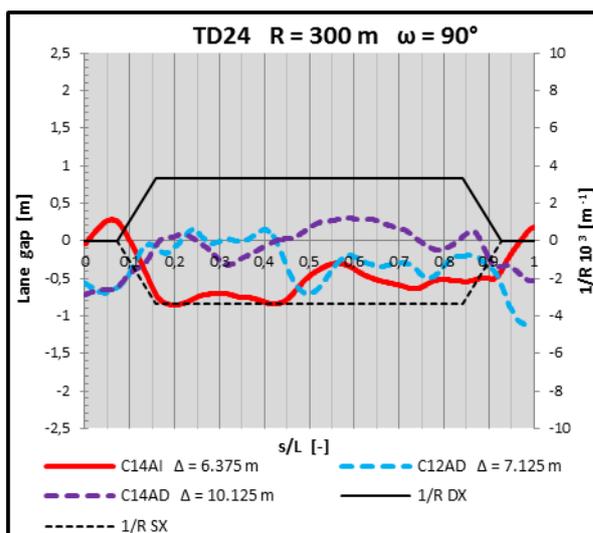
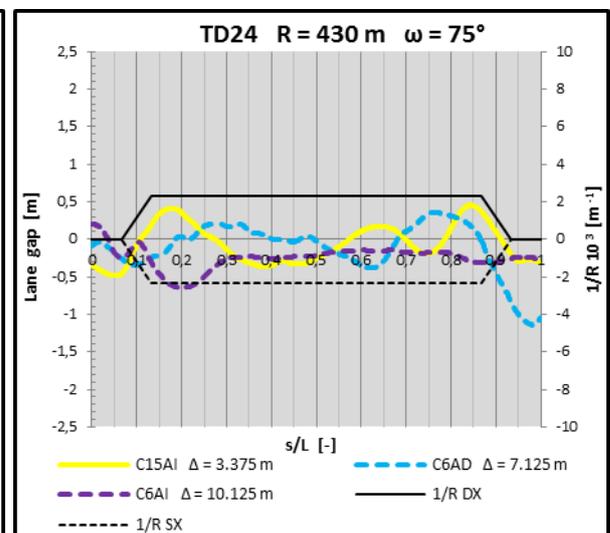
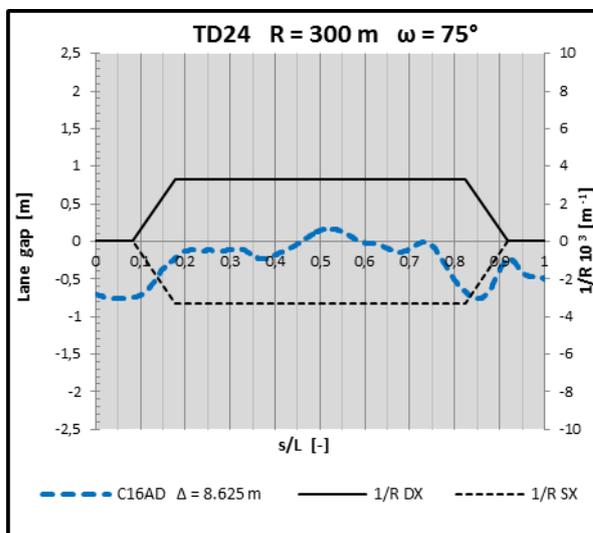
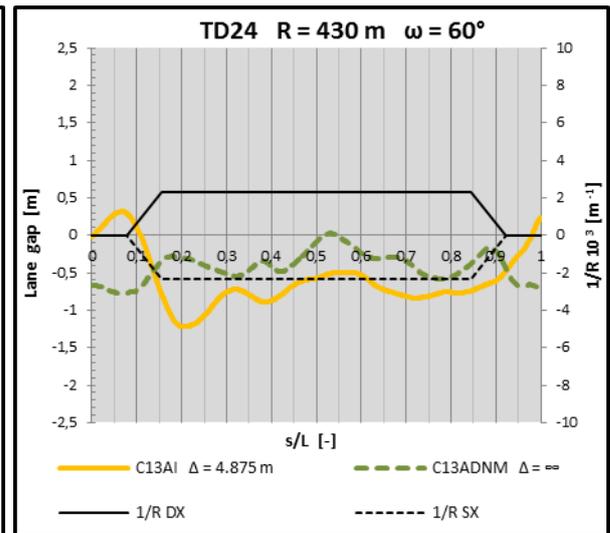
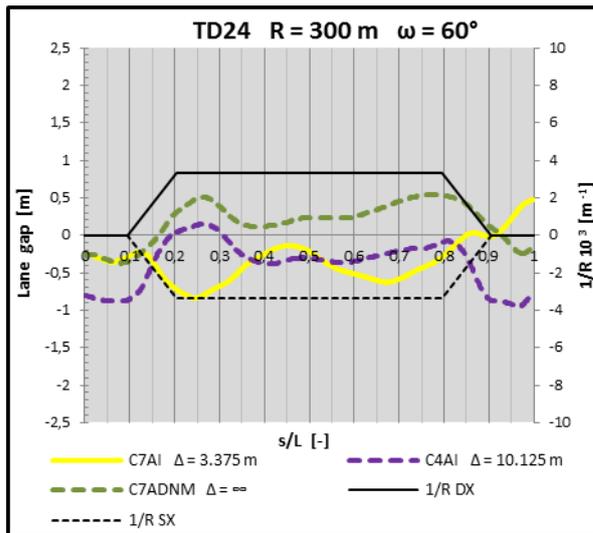


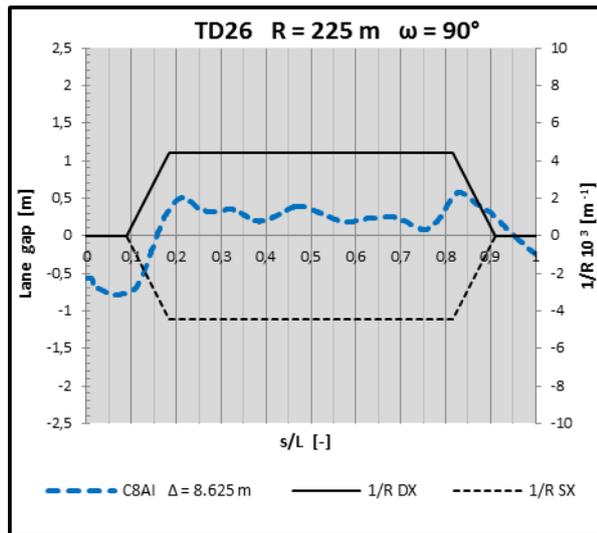
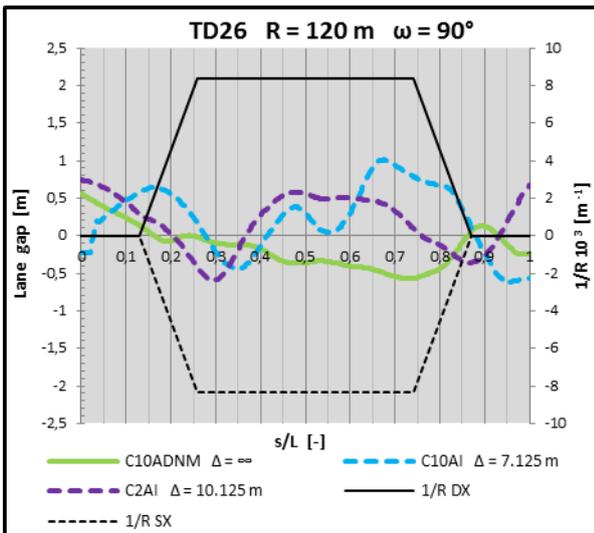
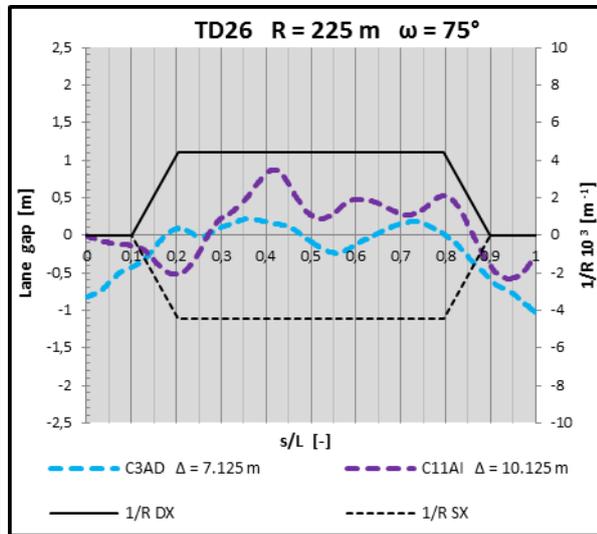
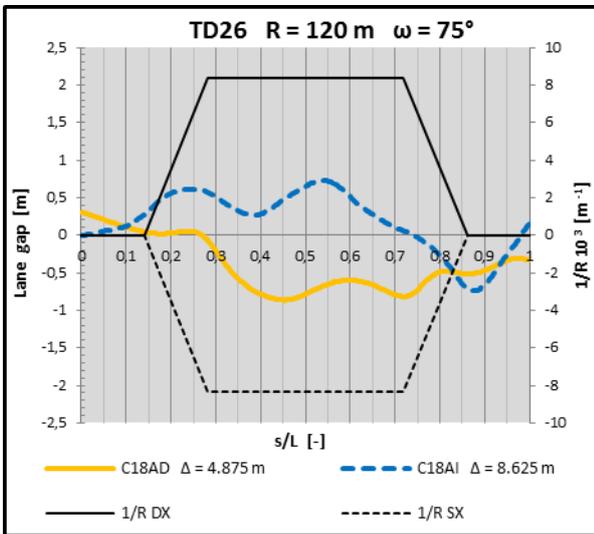
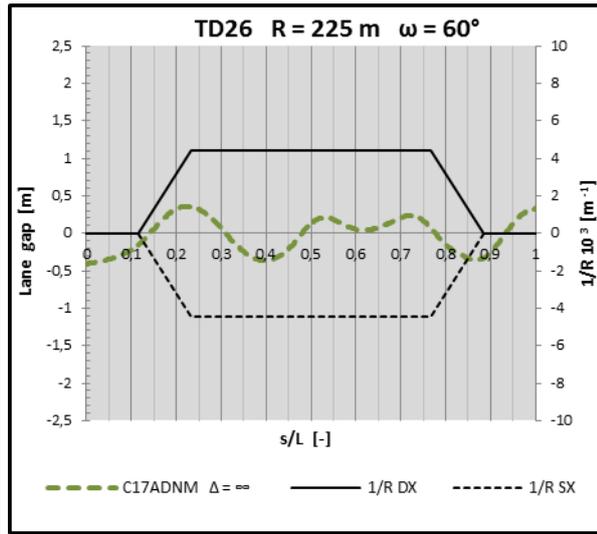
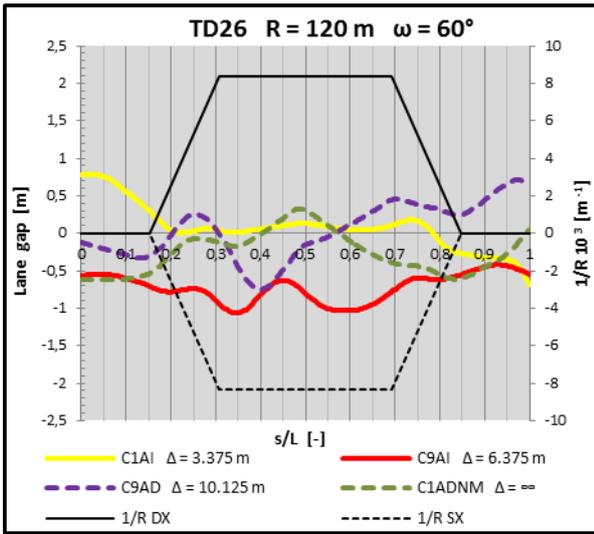


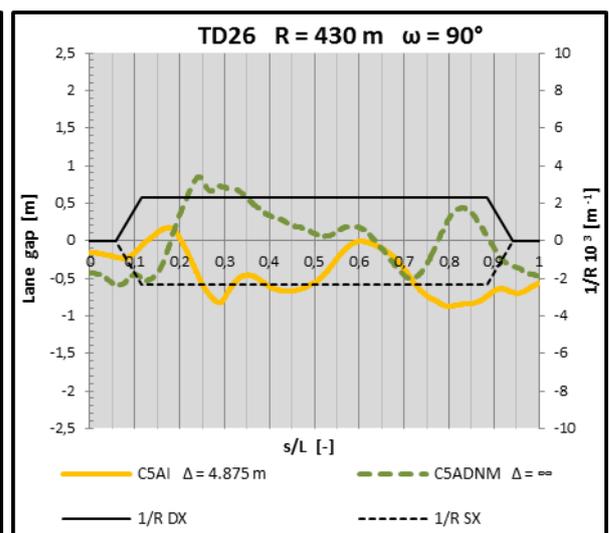
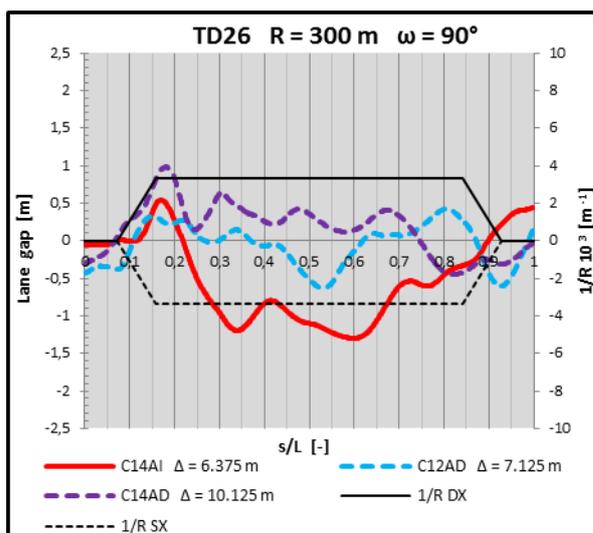
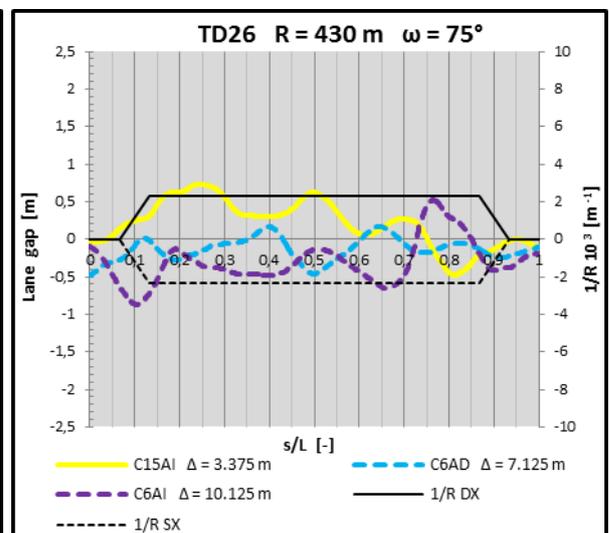
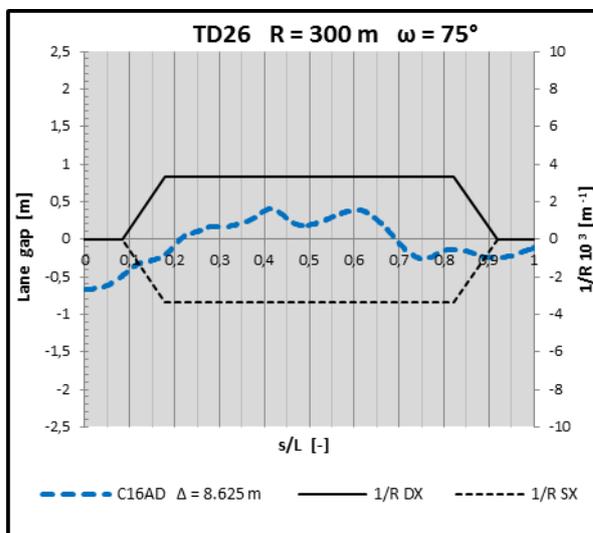
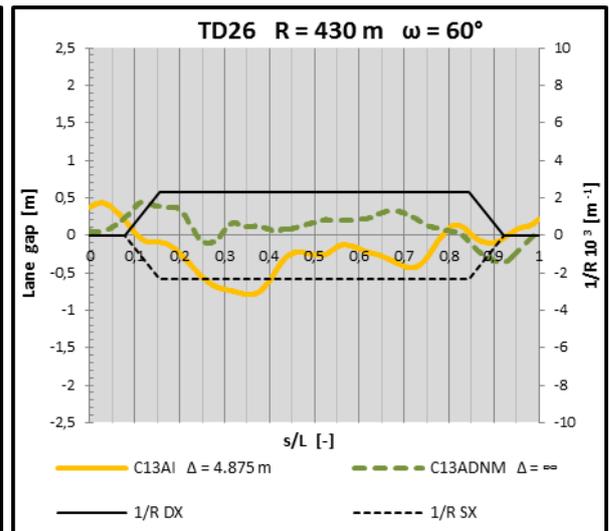
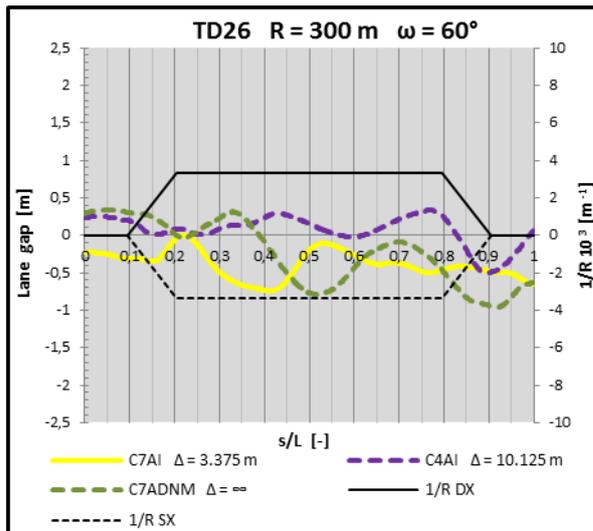


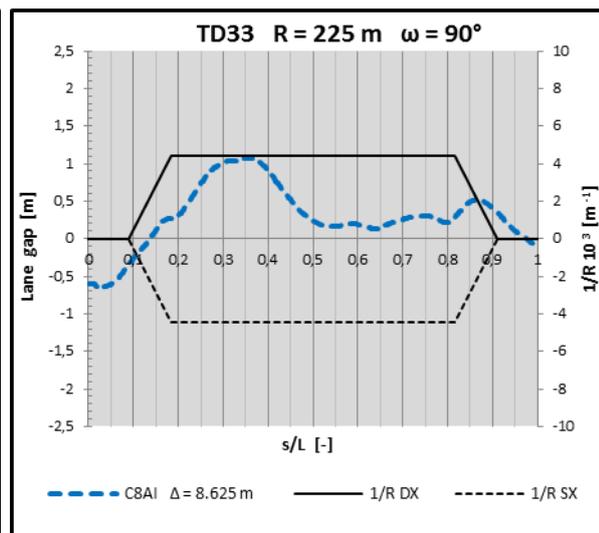
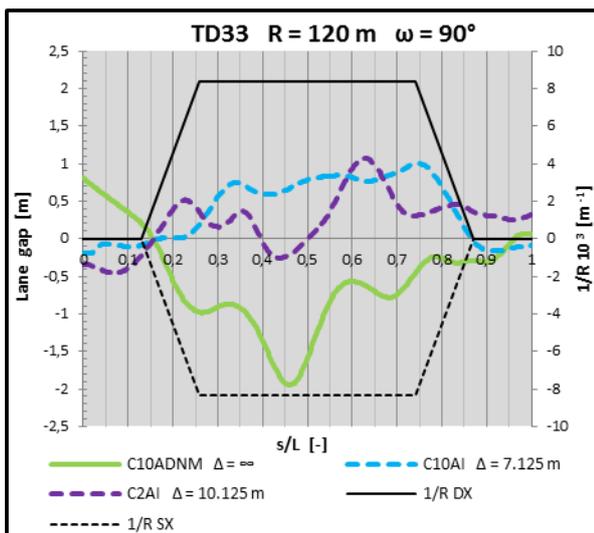
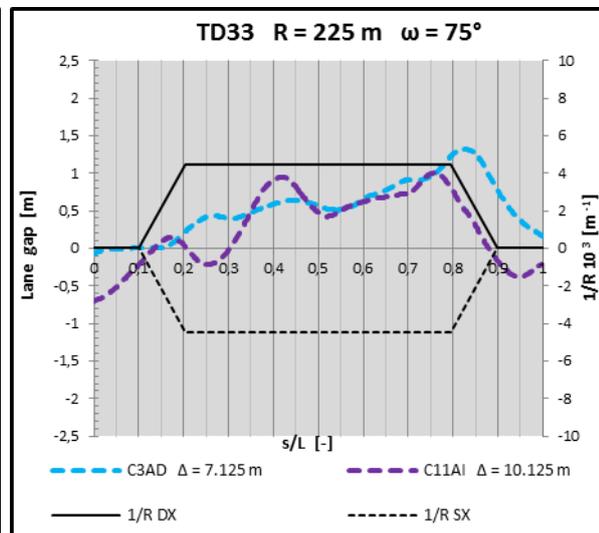
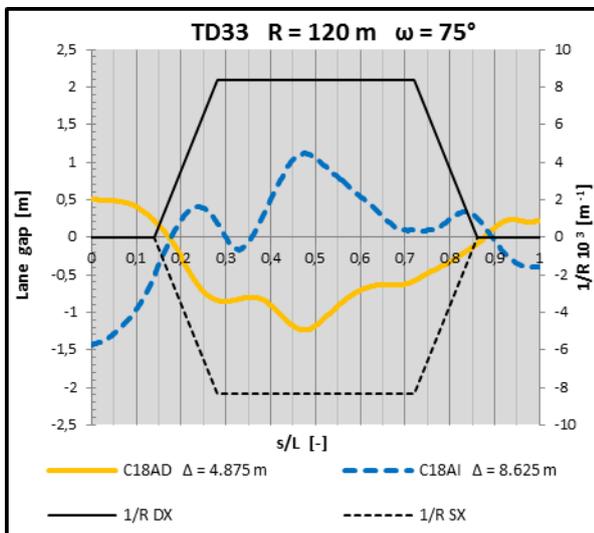
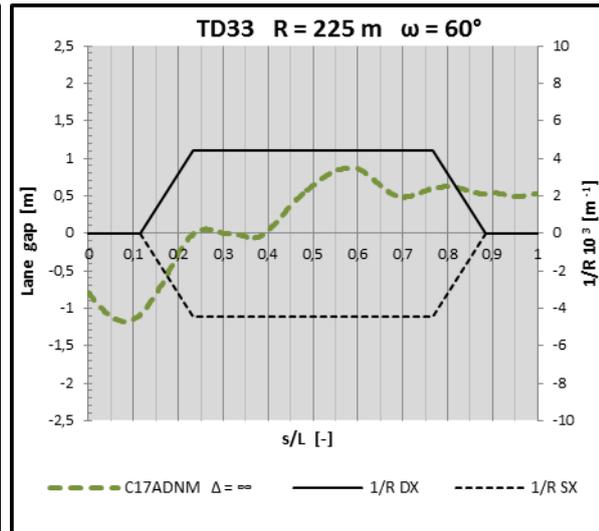
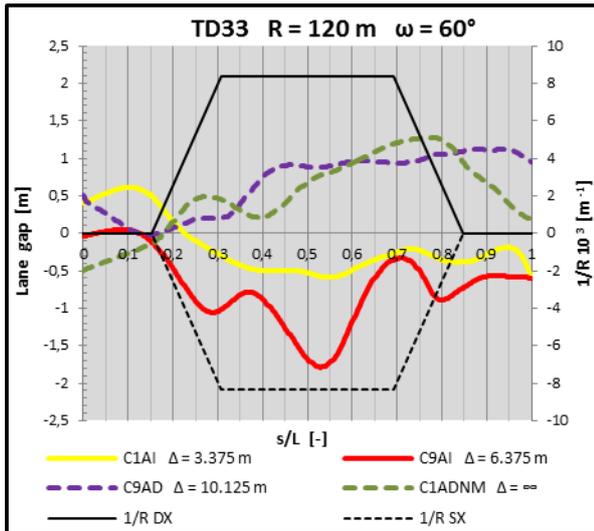


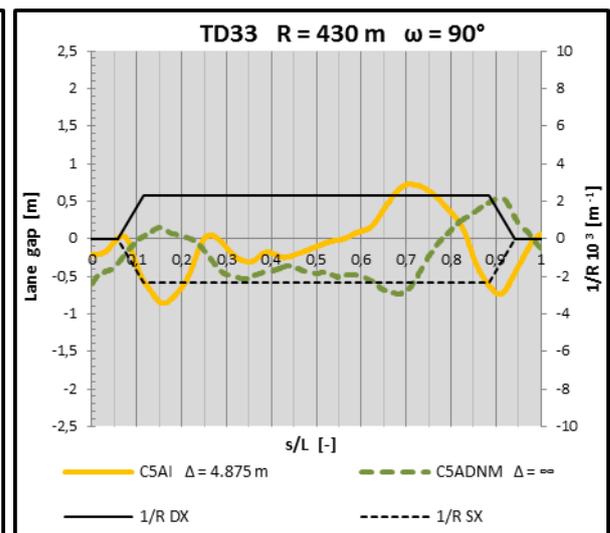
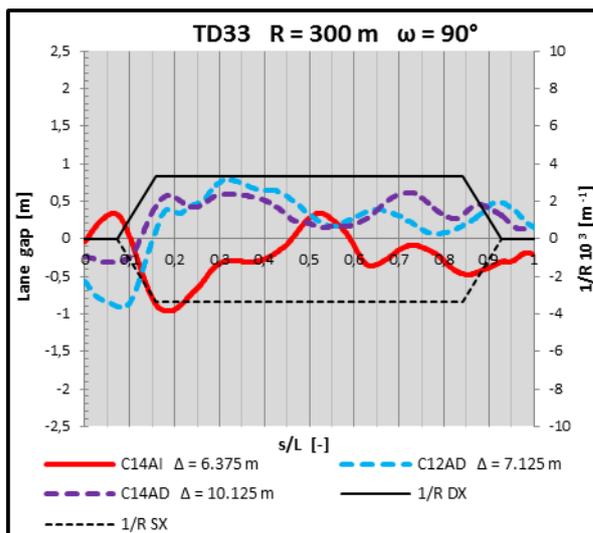
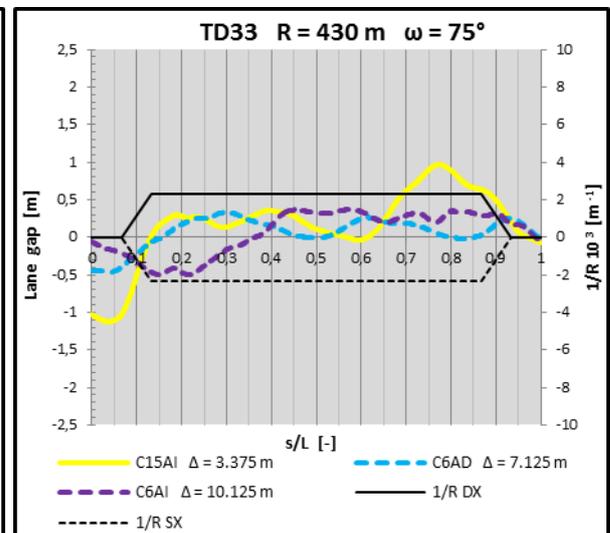
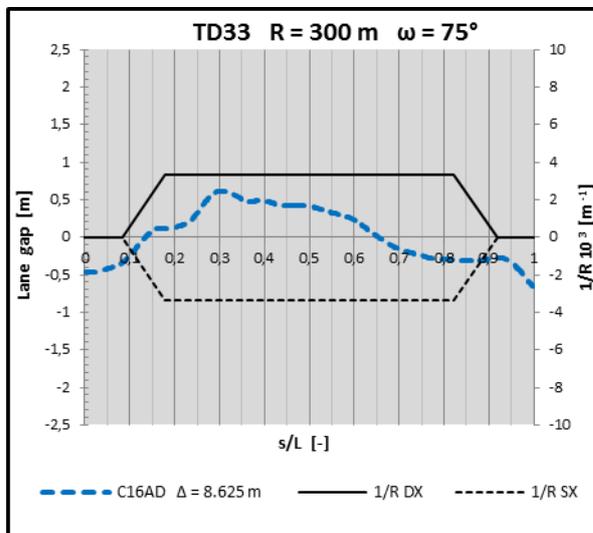
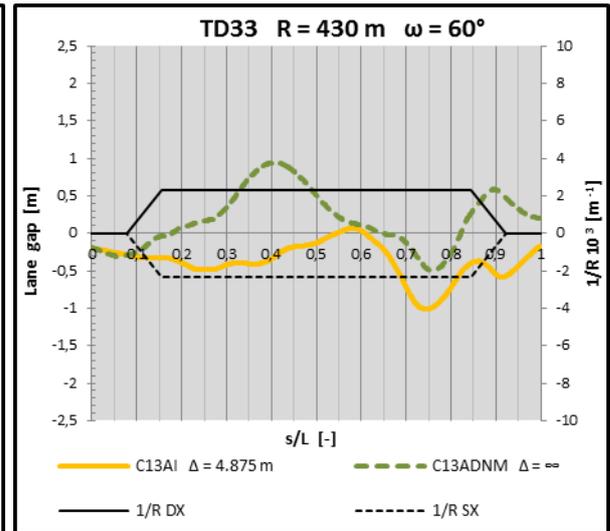
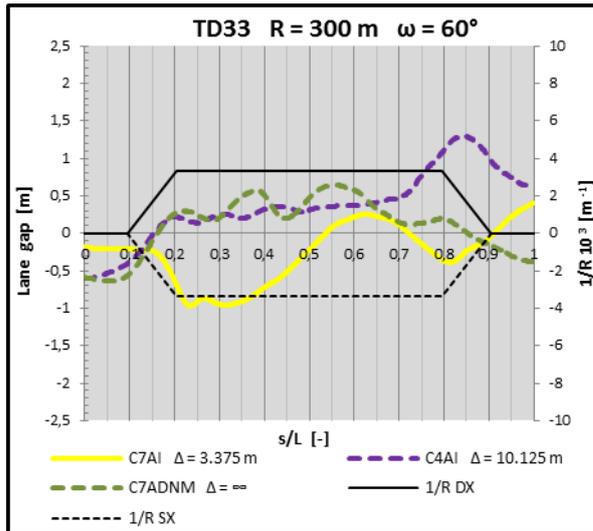


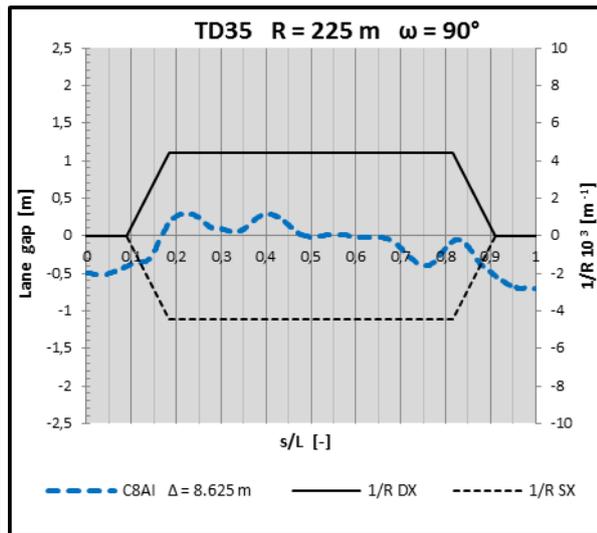
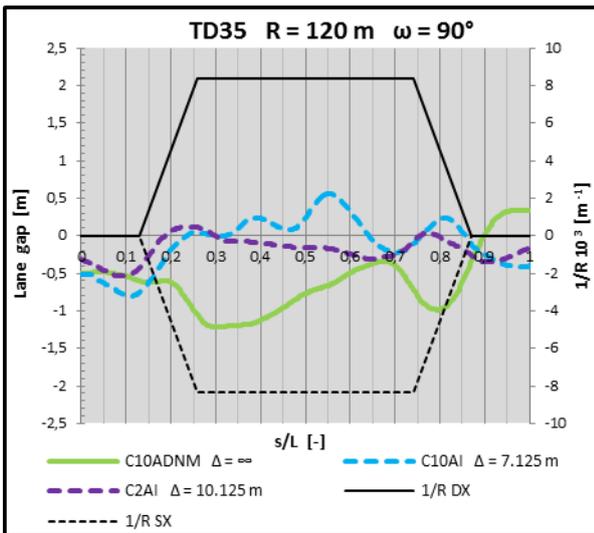
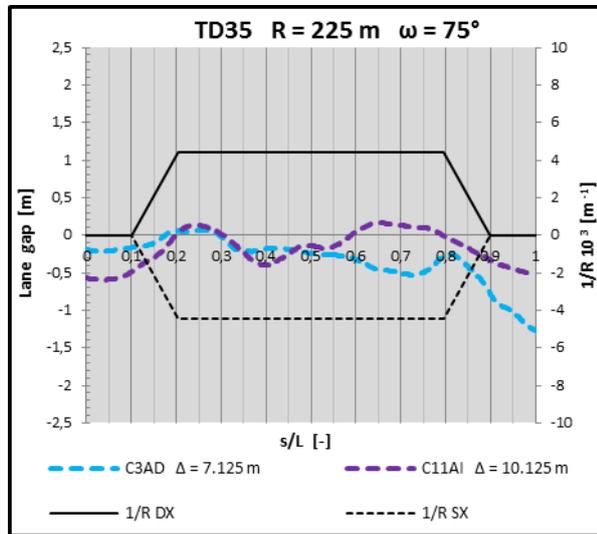
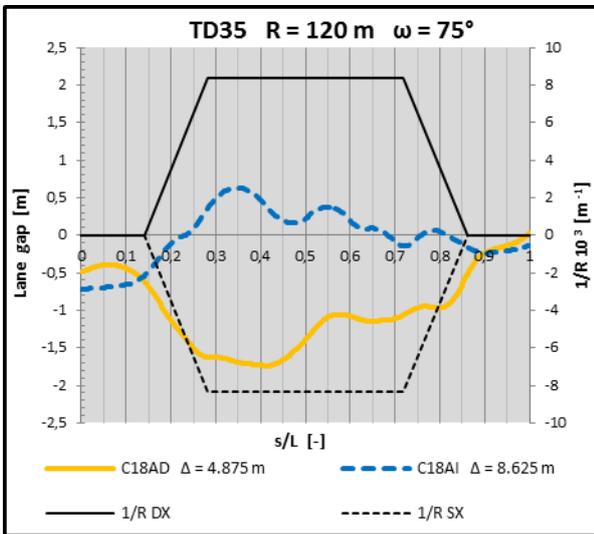
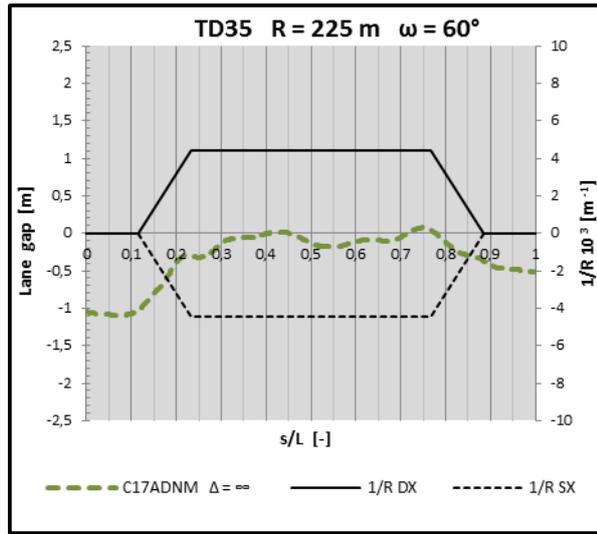
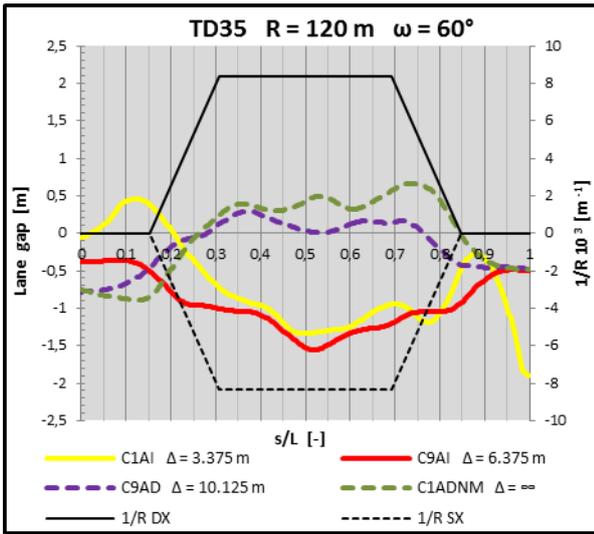


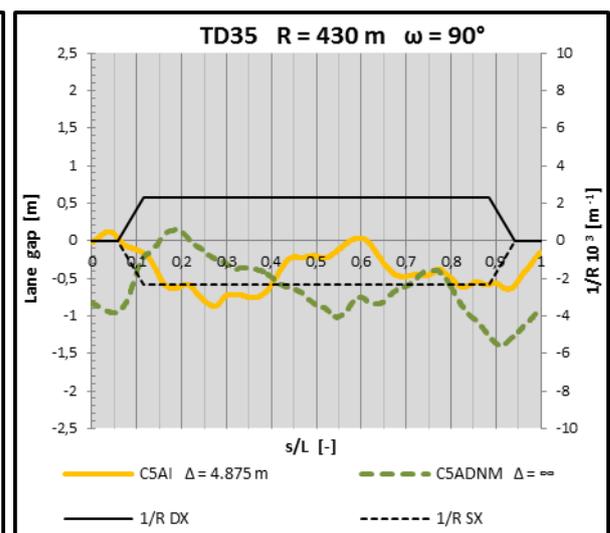
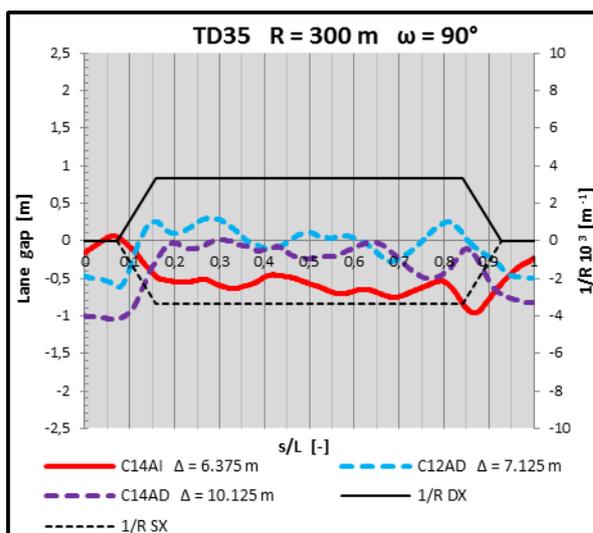
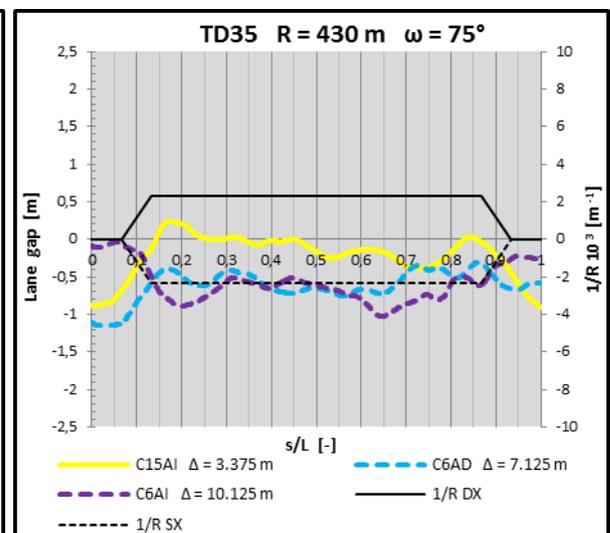
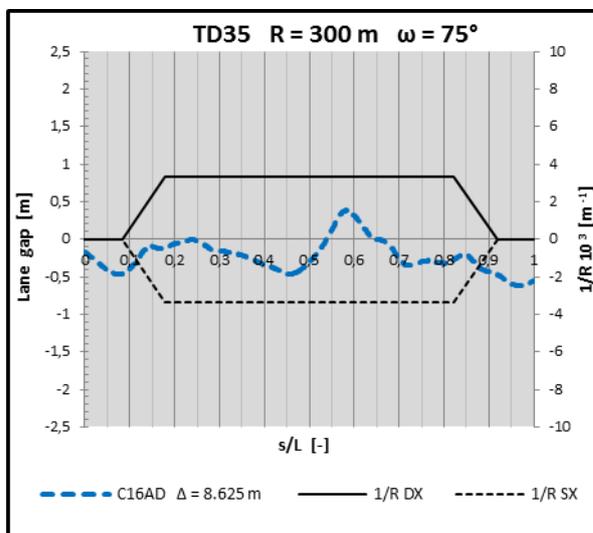
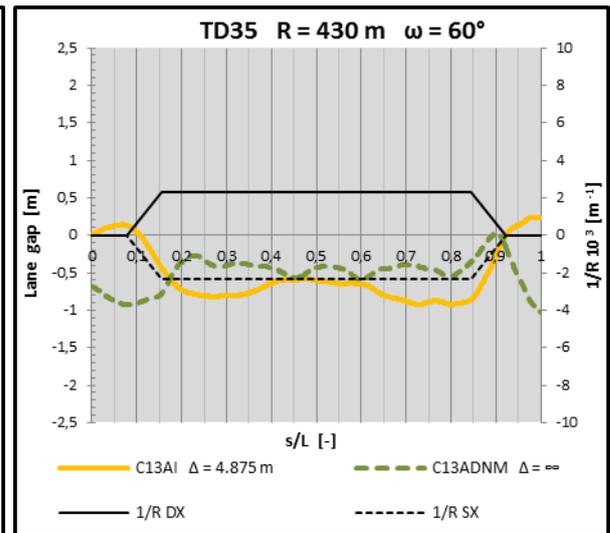
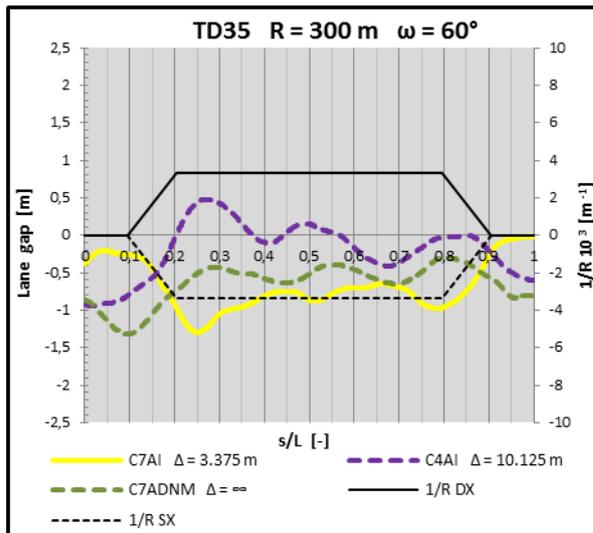




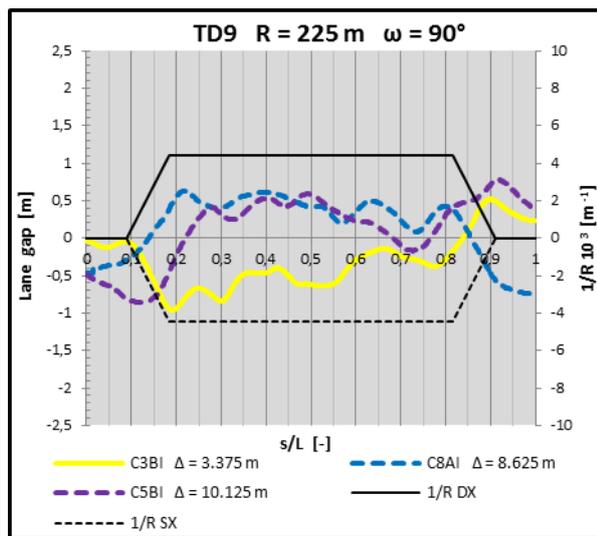
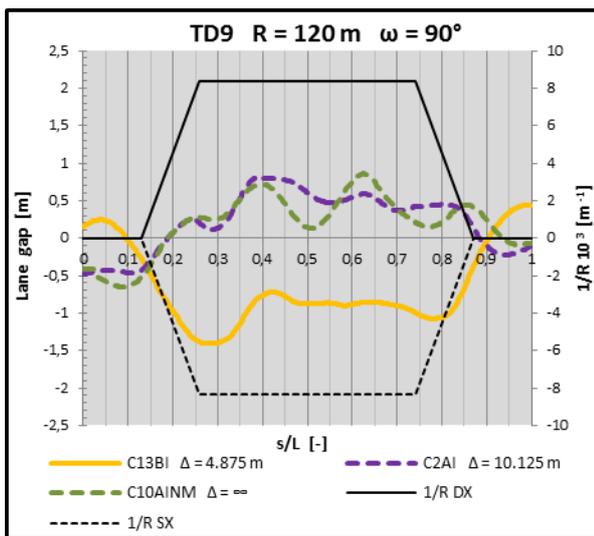
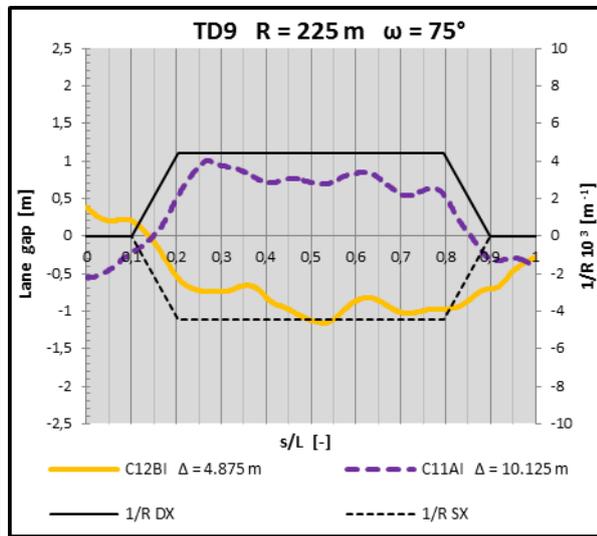
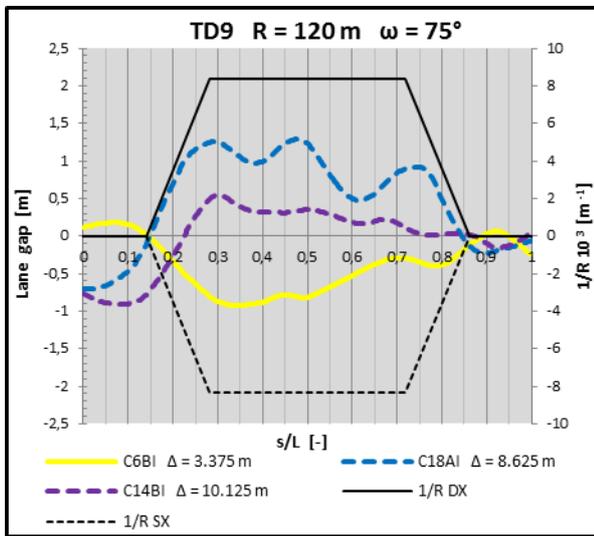
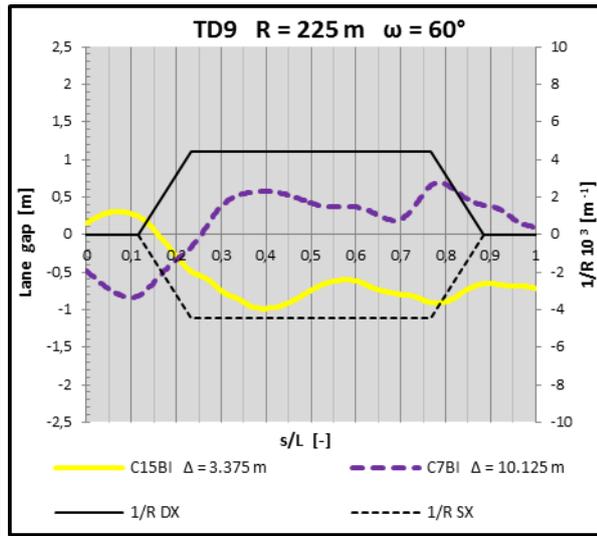
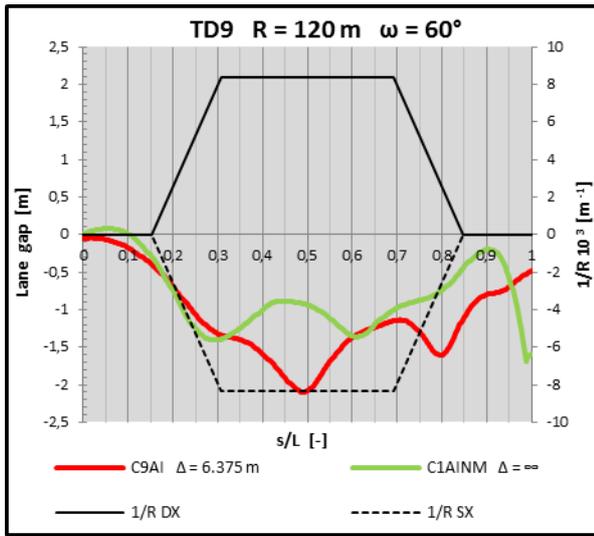


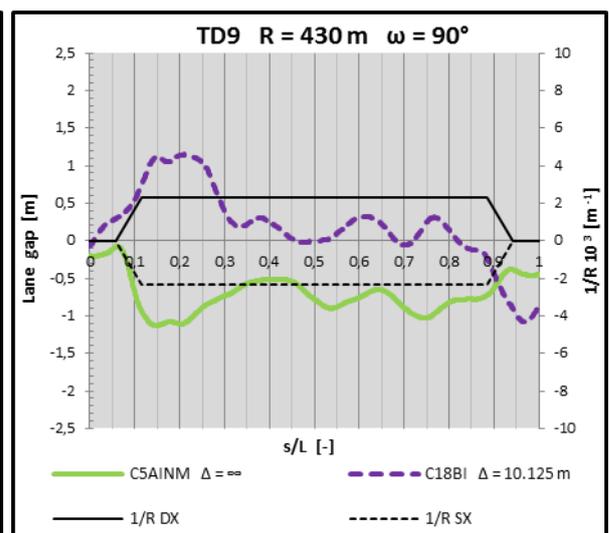
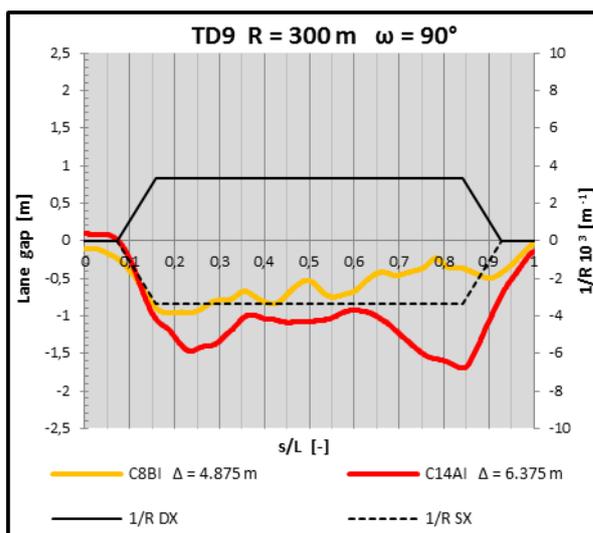
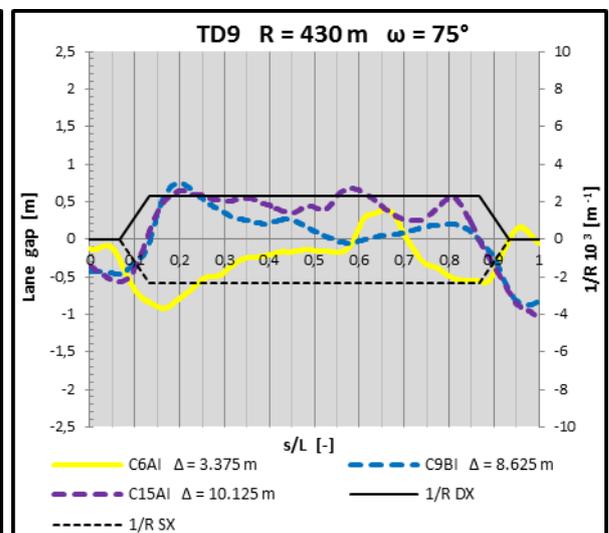
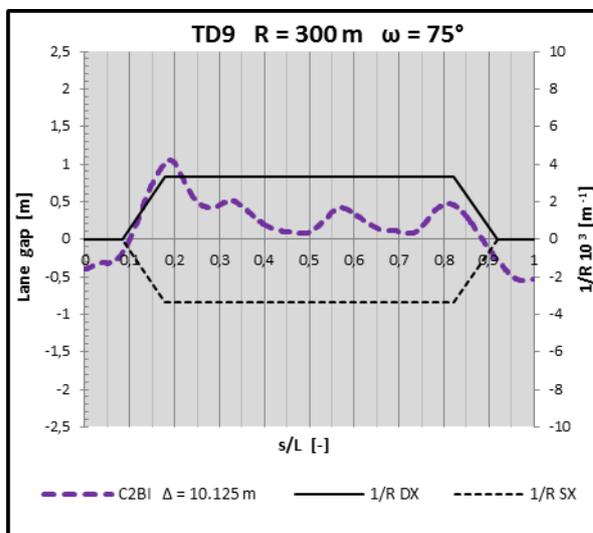
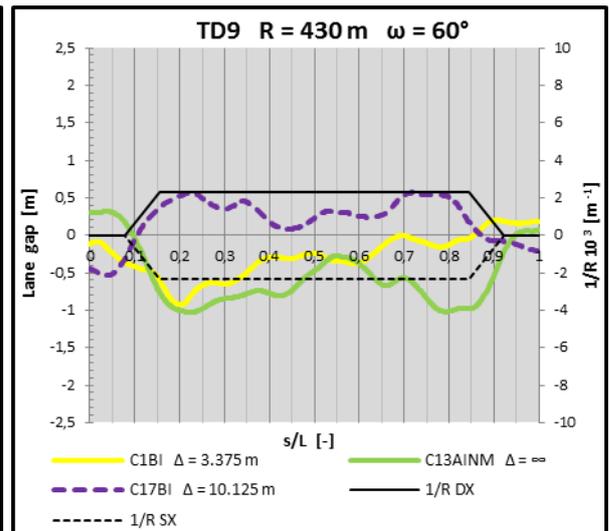
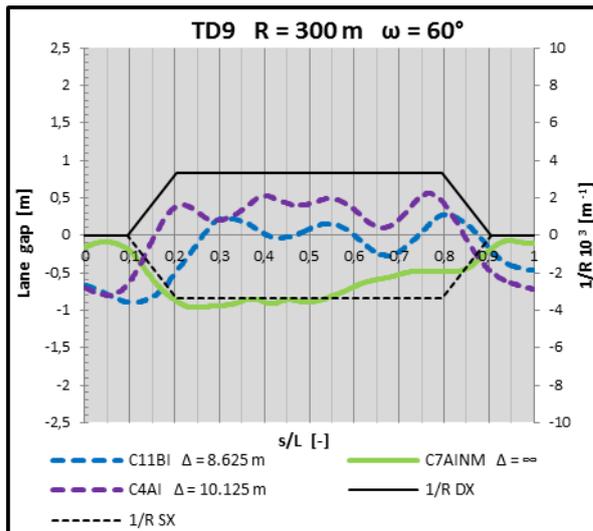


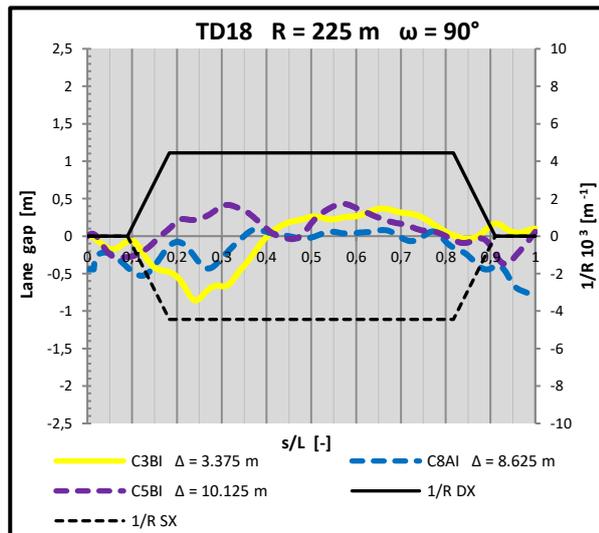
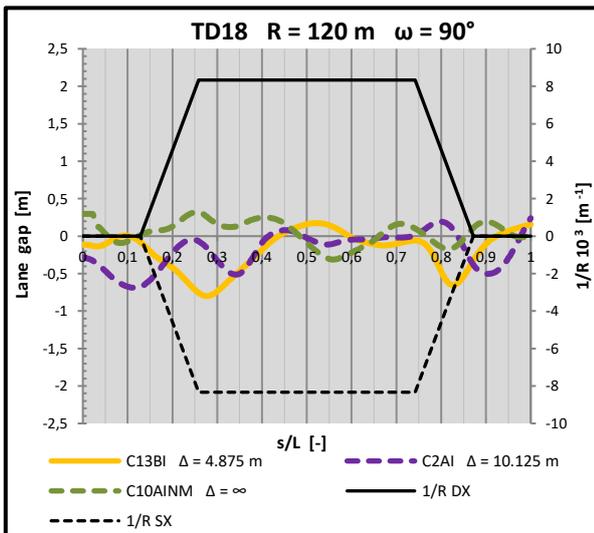
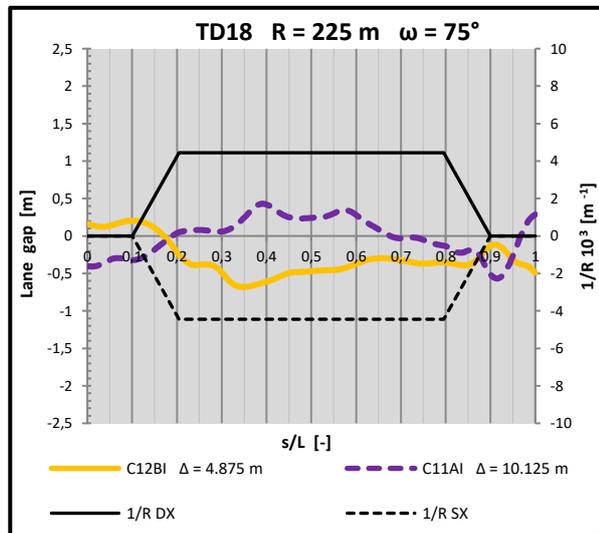
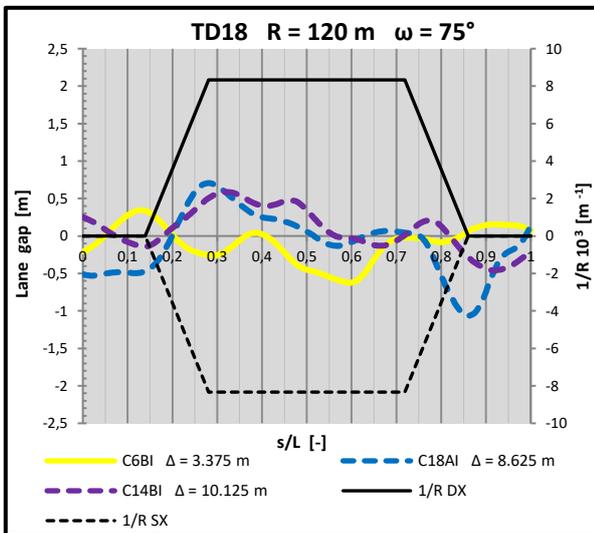
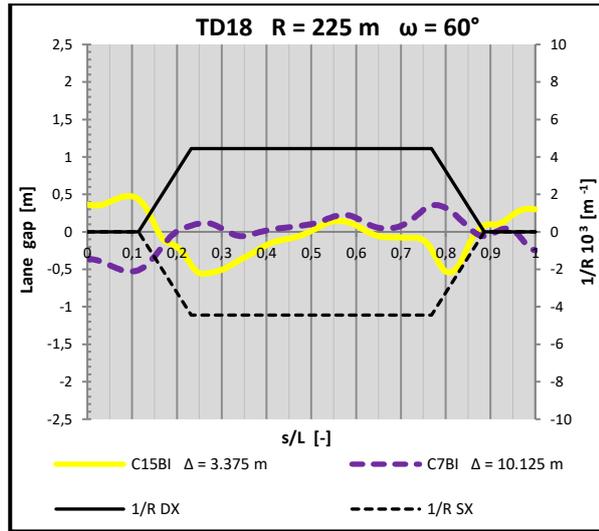
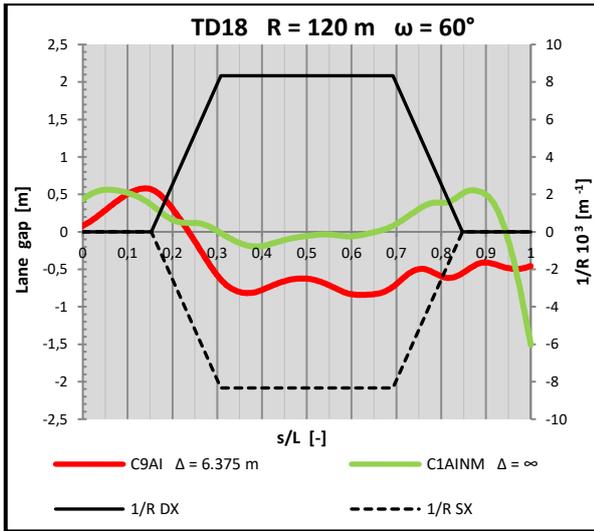


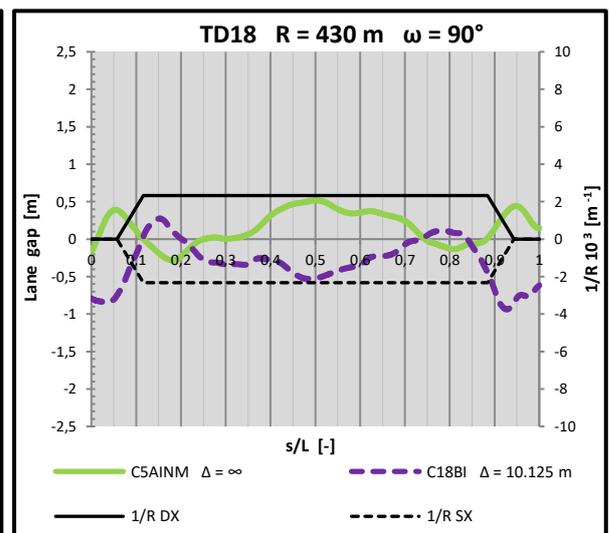
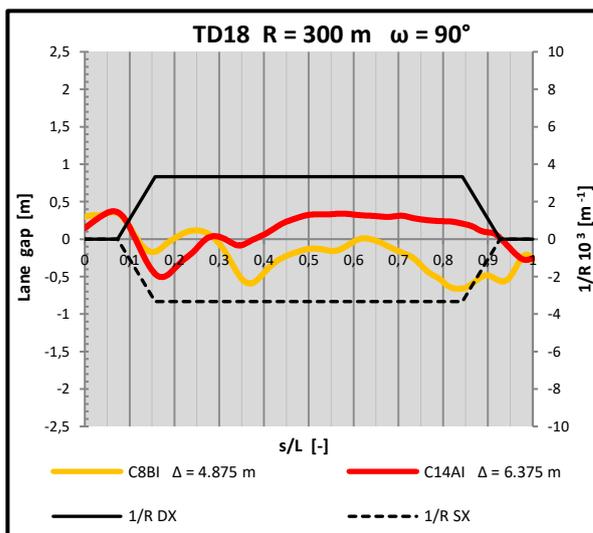
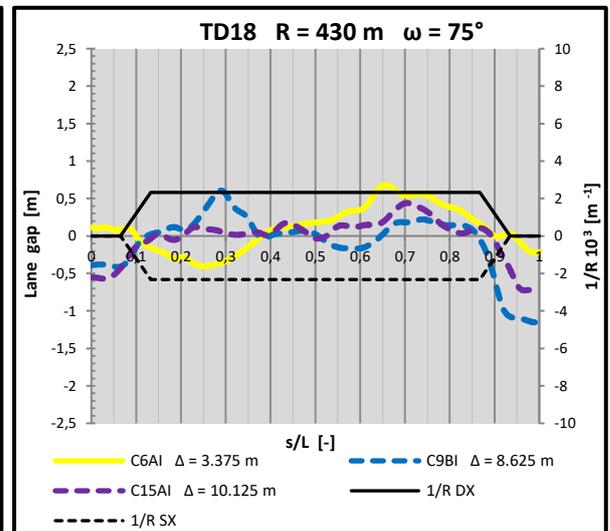
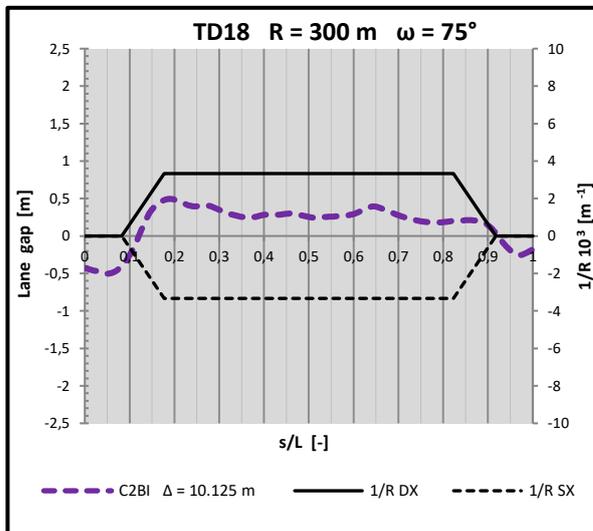
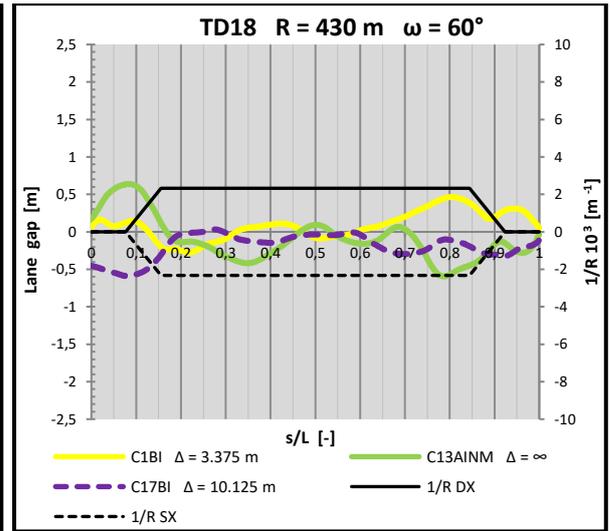
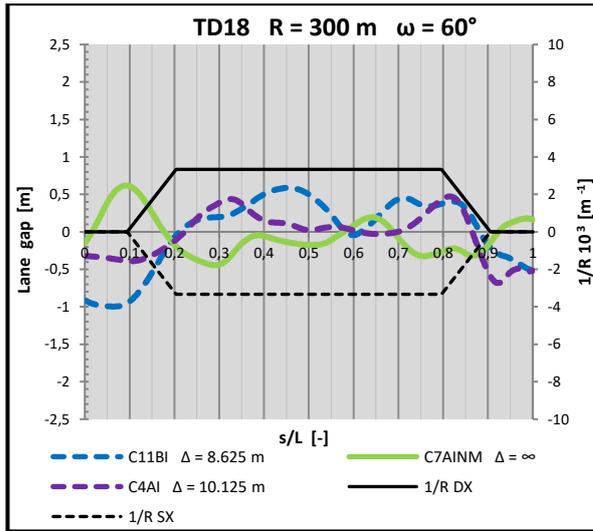


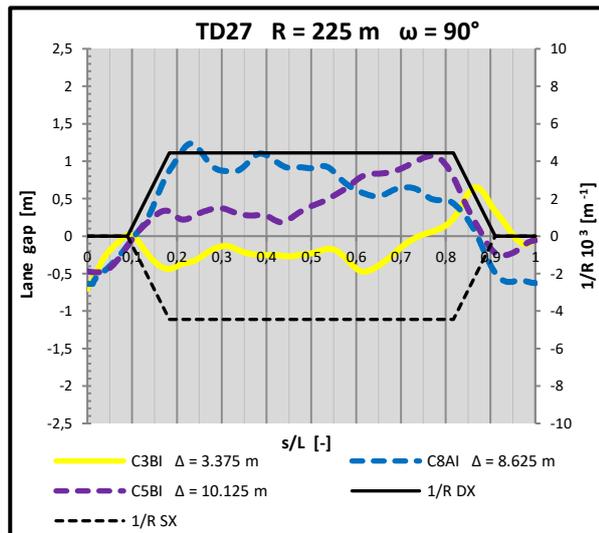
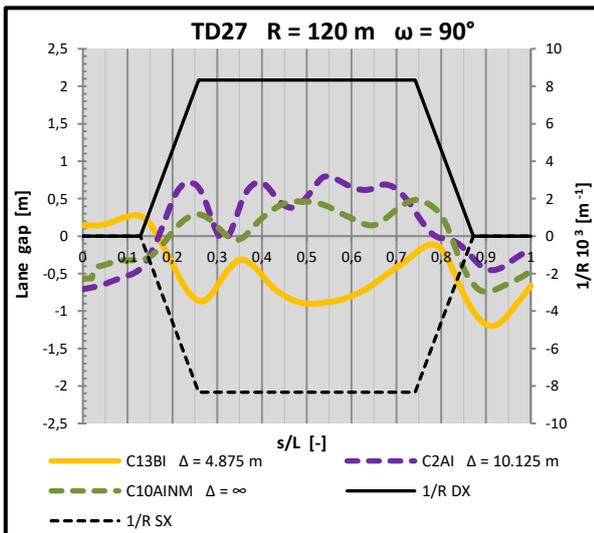
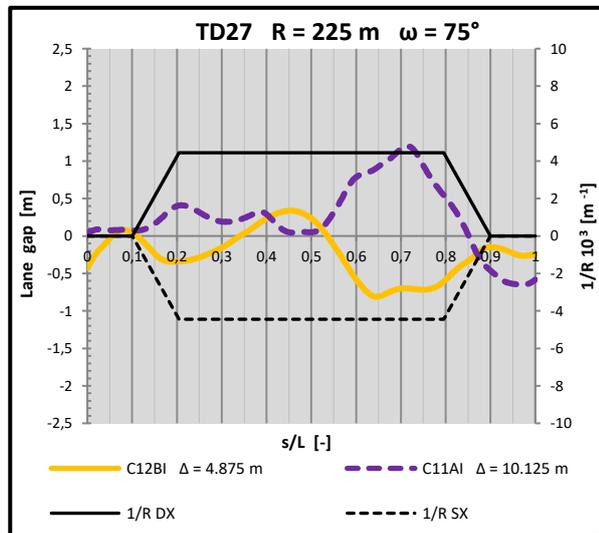
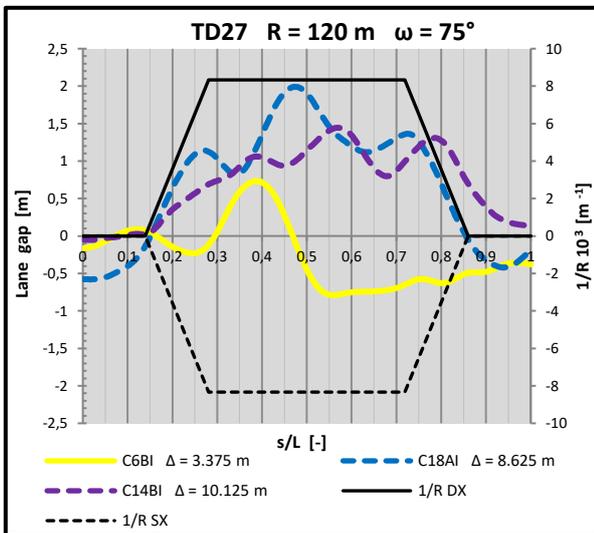
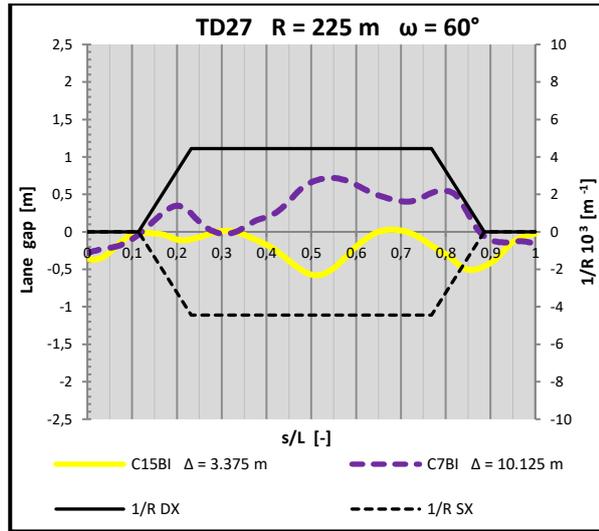
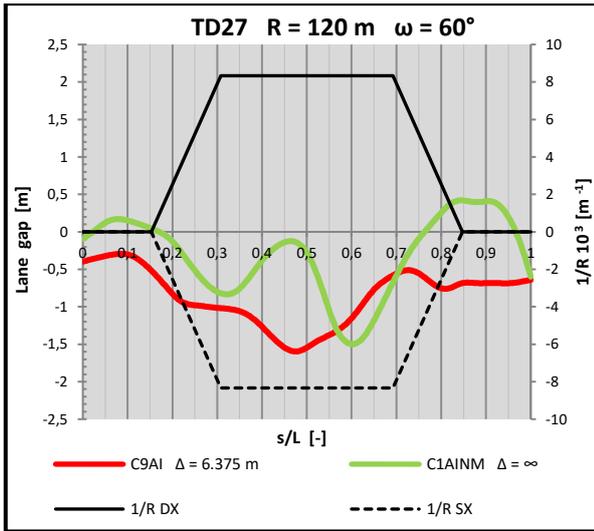
Scenari guidati: BI - AINM

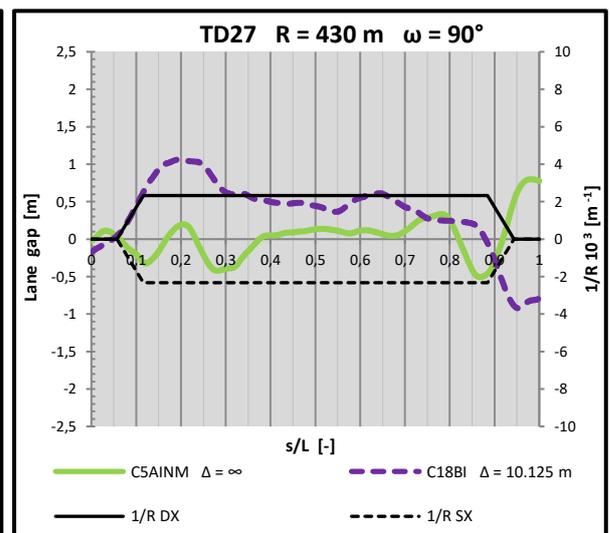
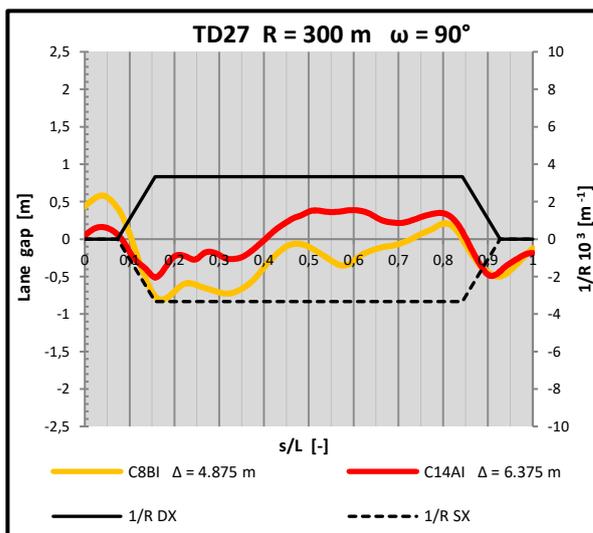
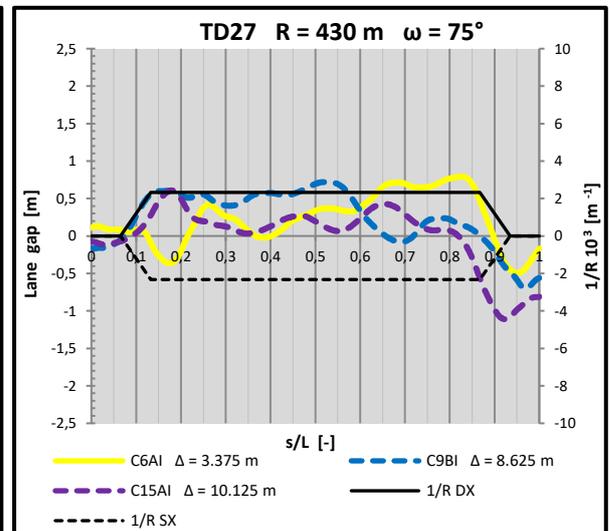
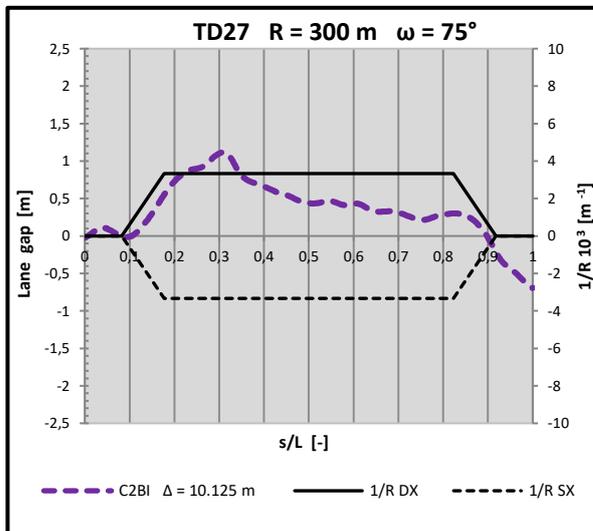
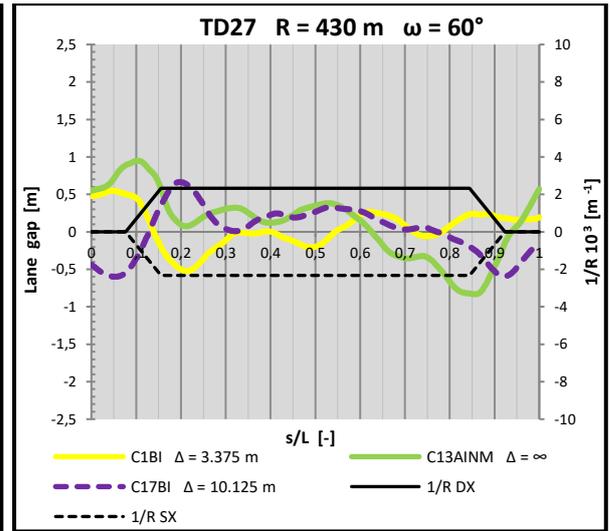
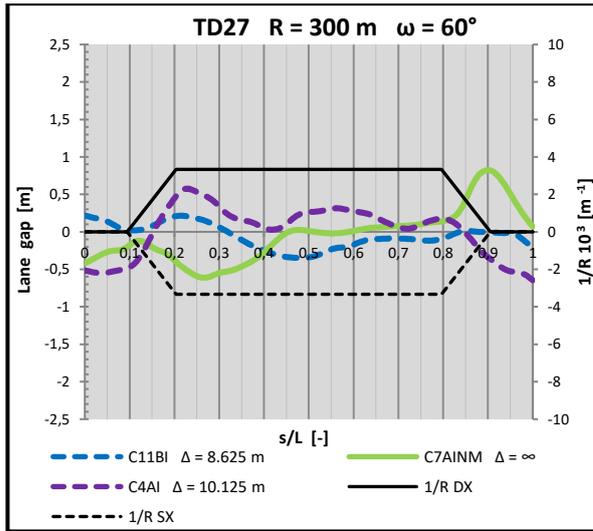


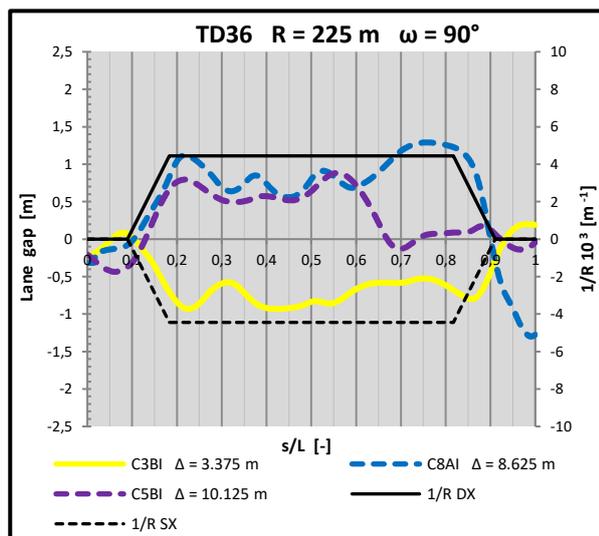
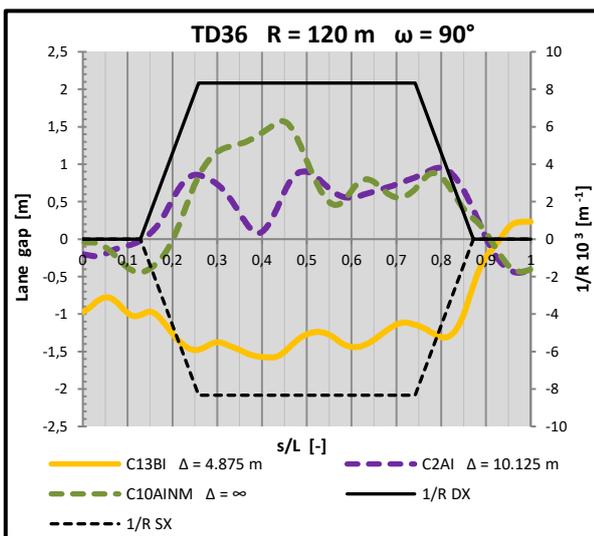
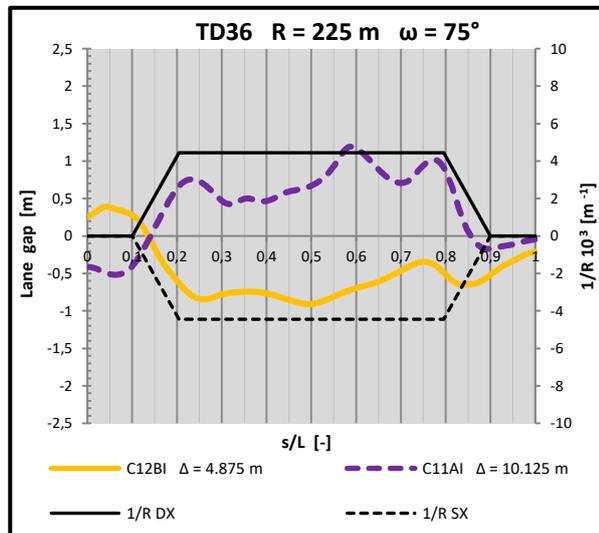
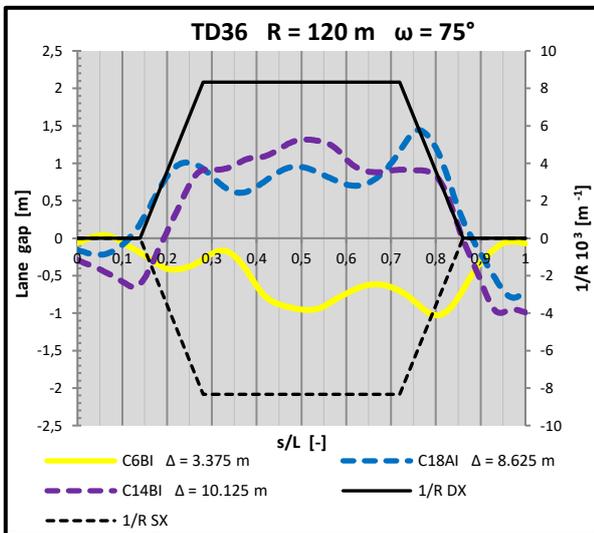
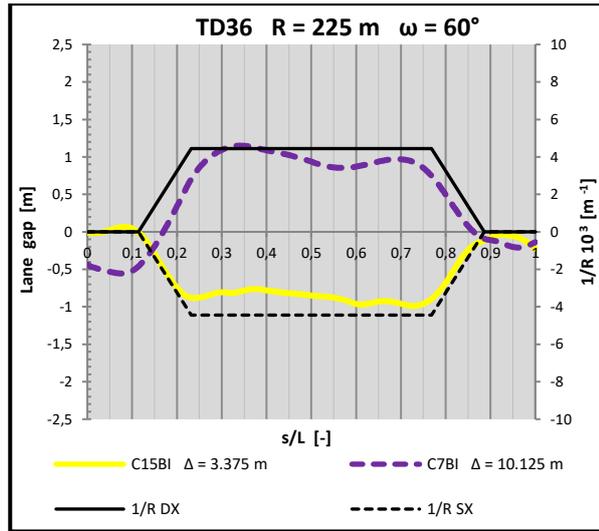
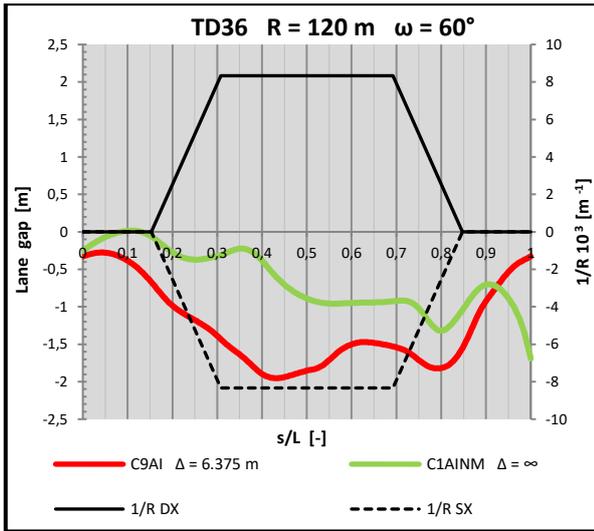


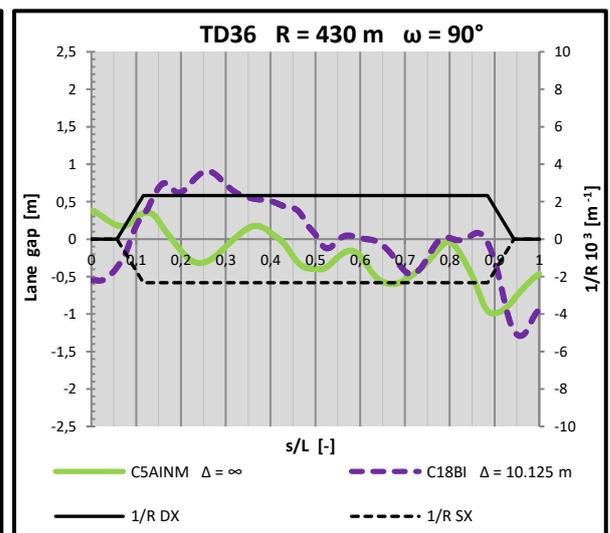
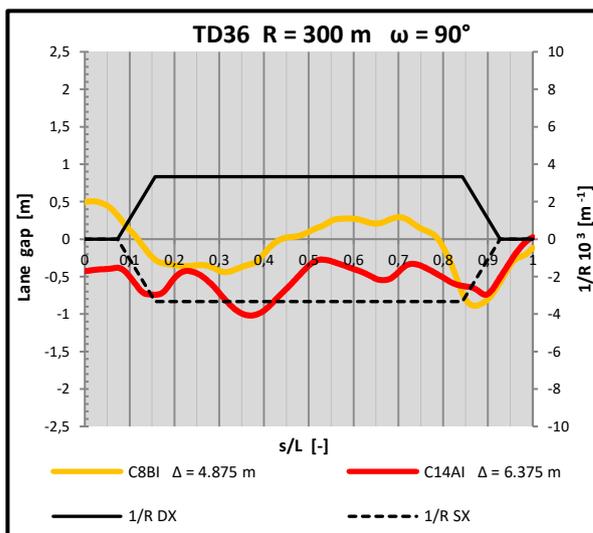
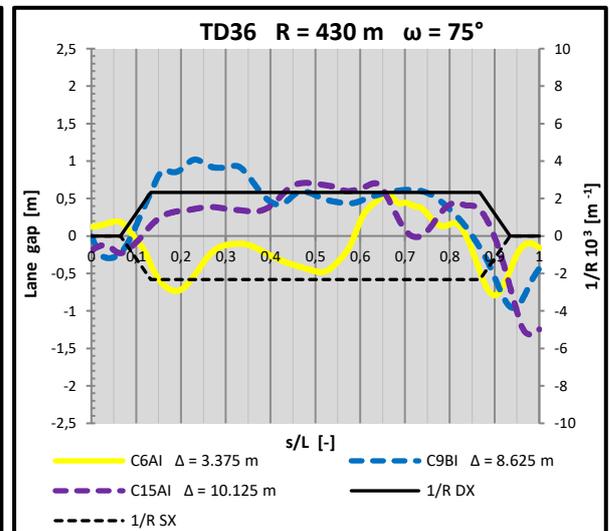
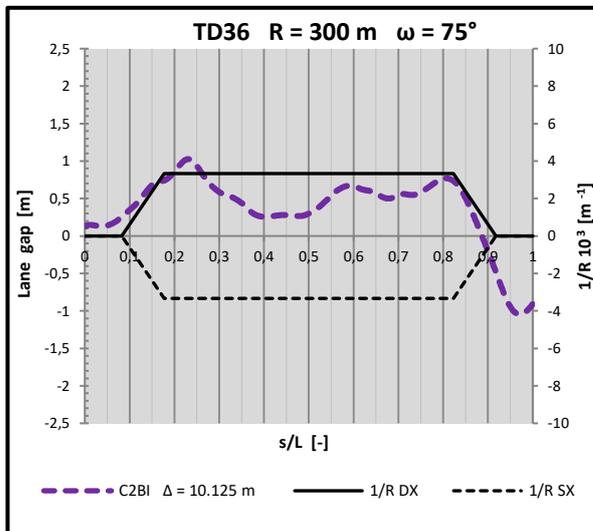
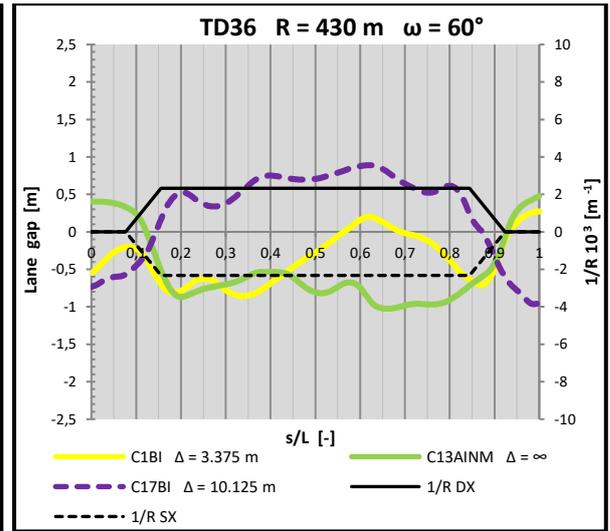
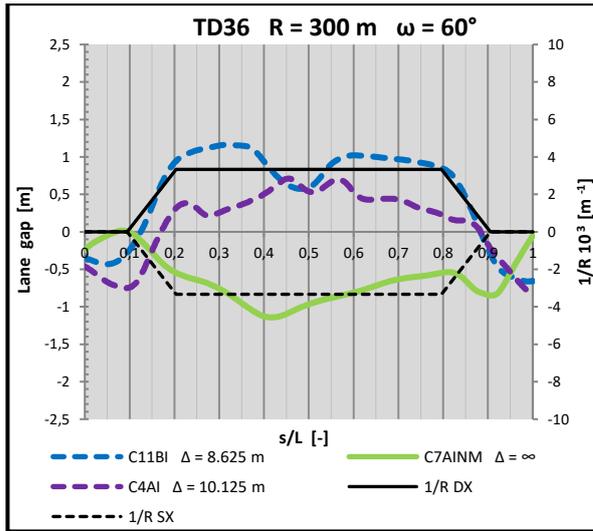




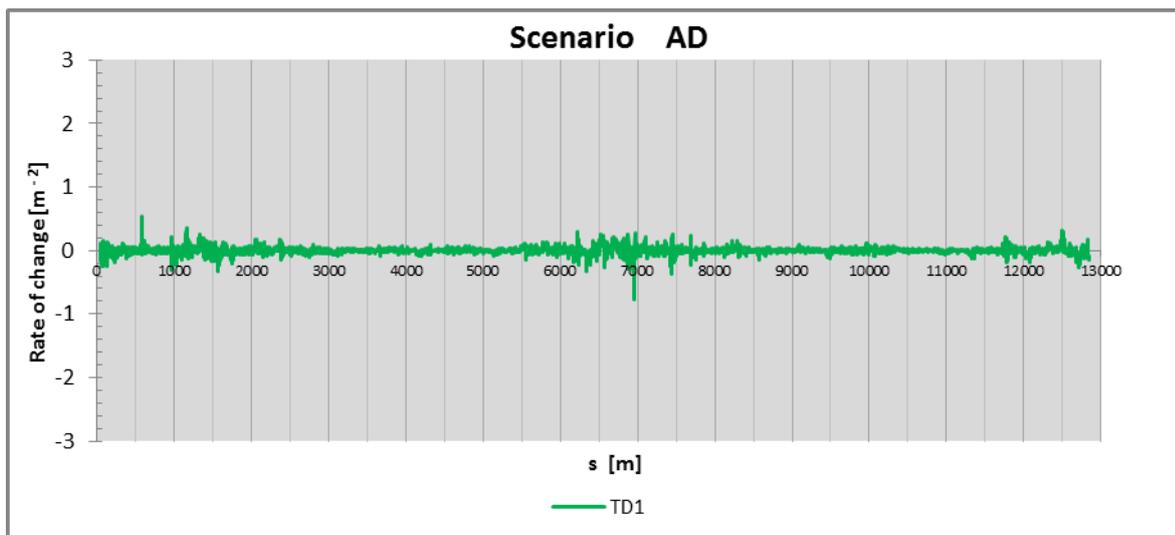
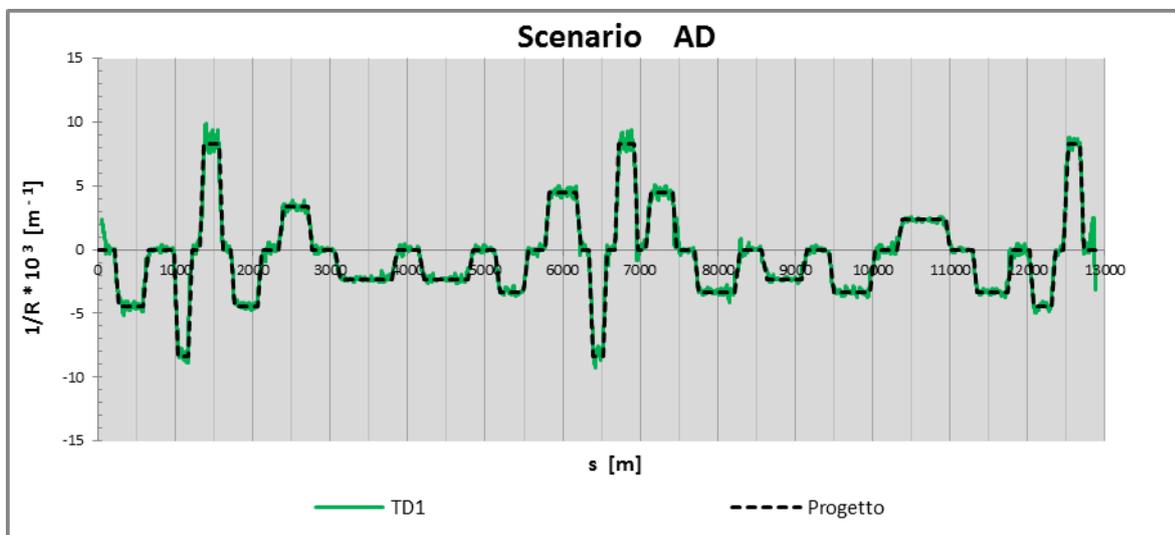
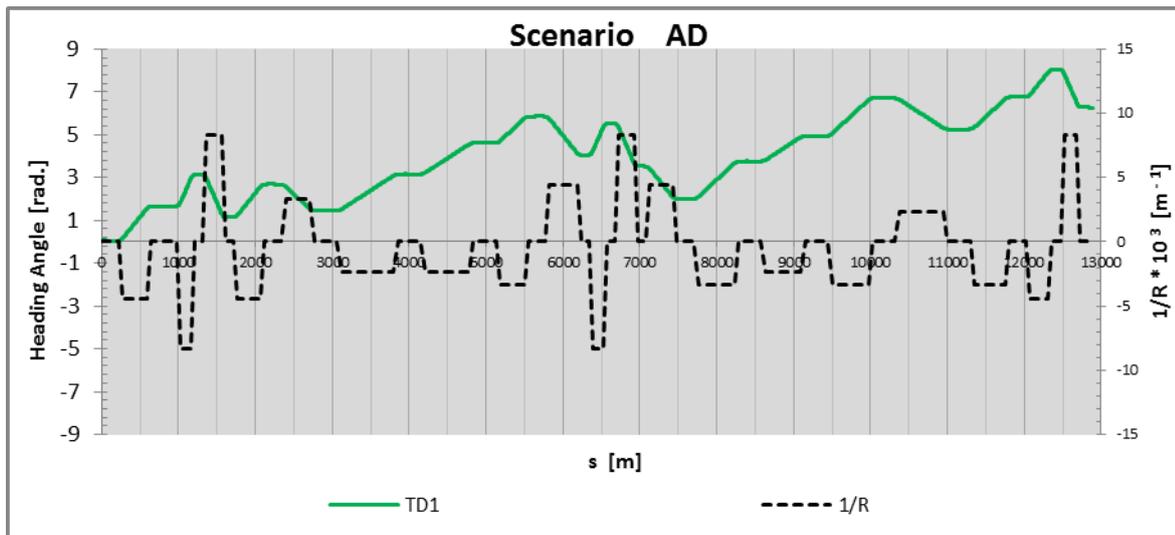


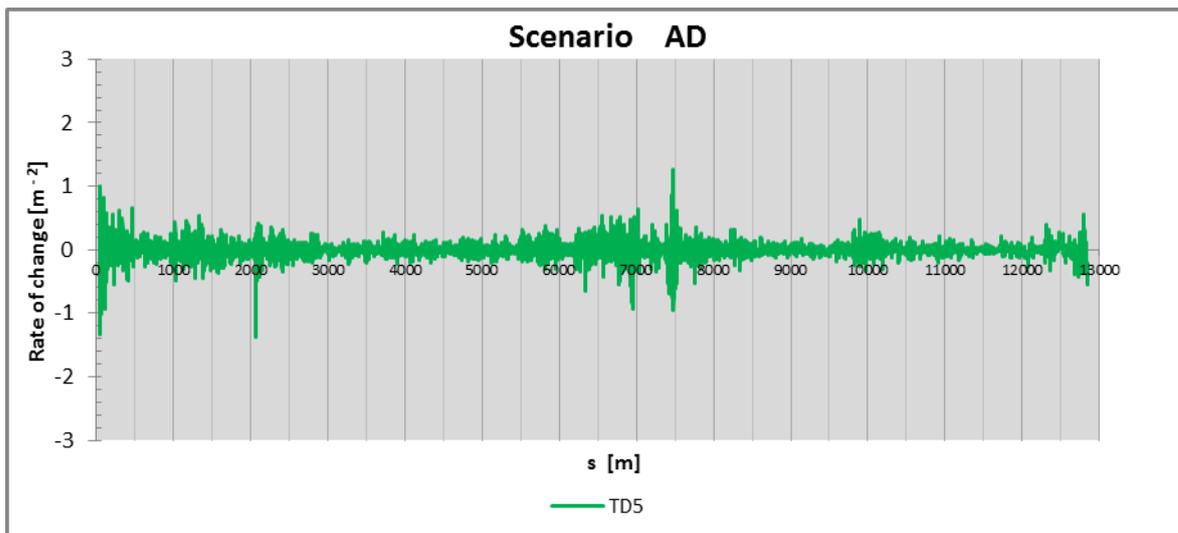
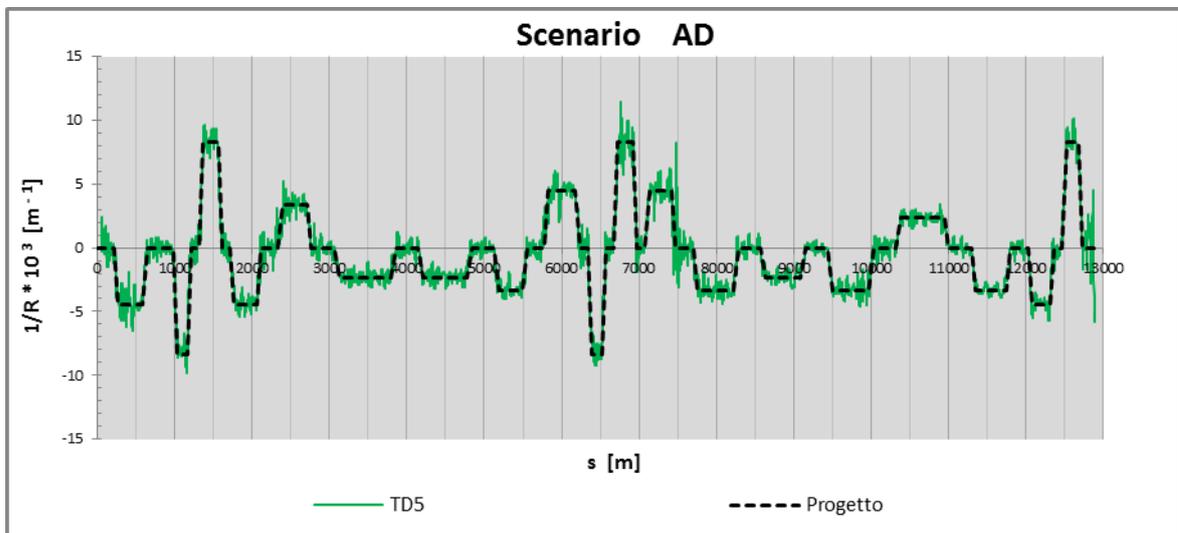
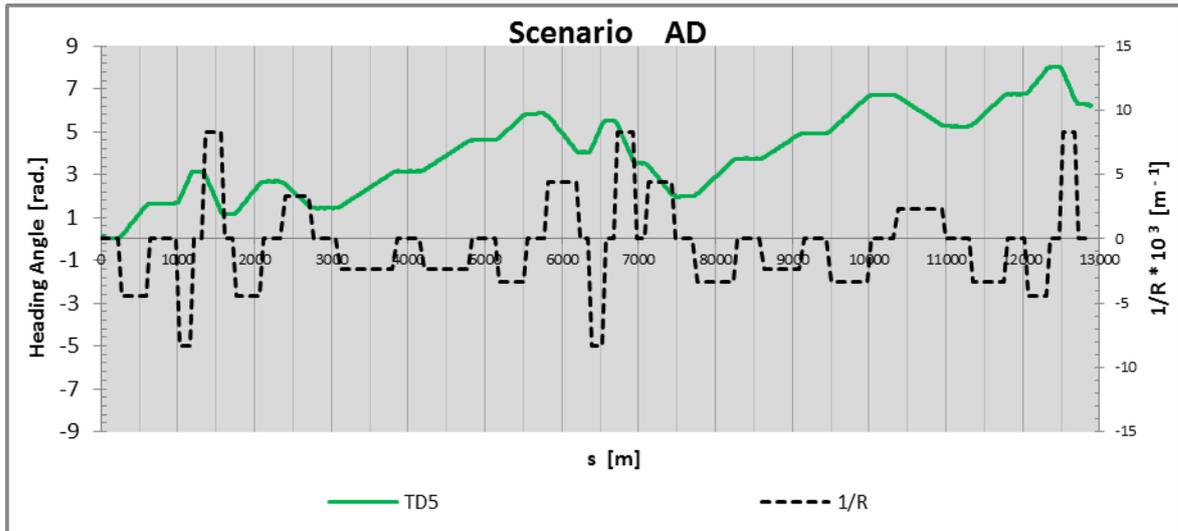


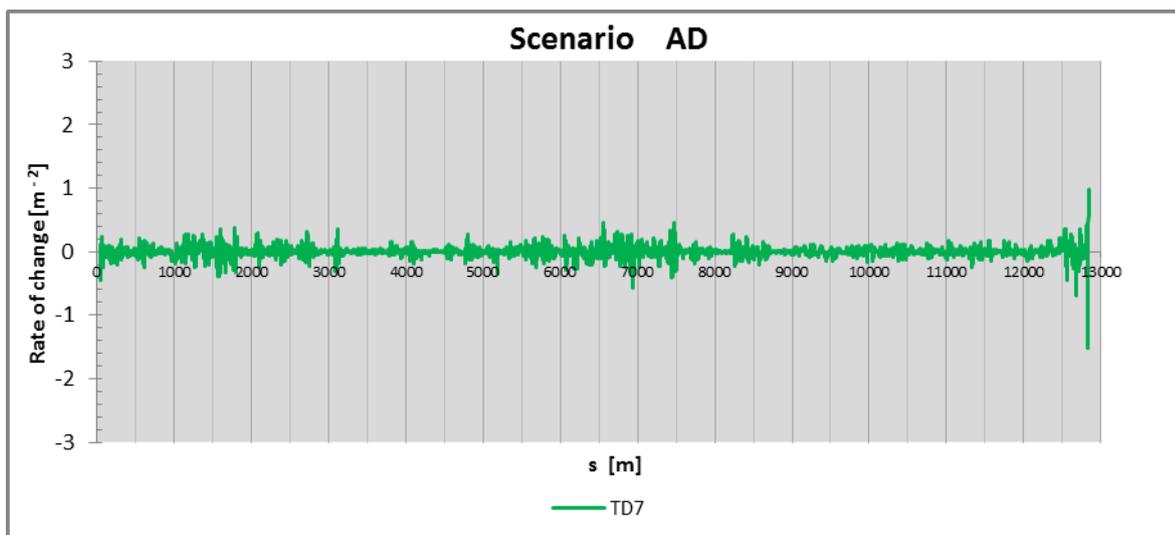
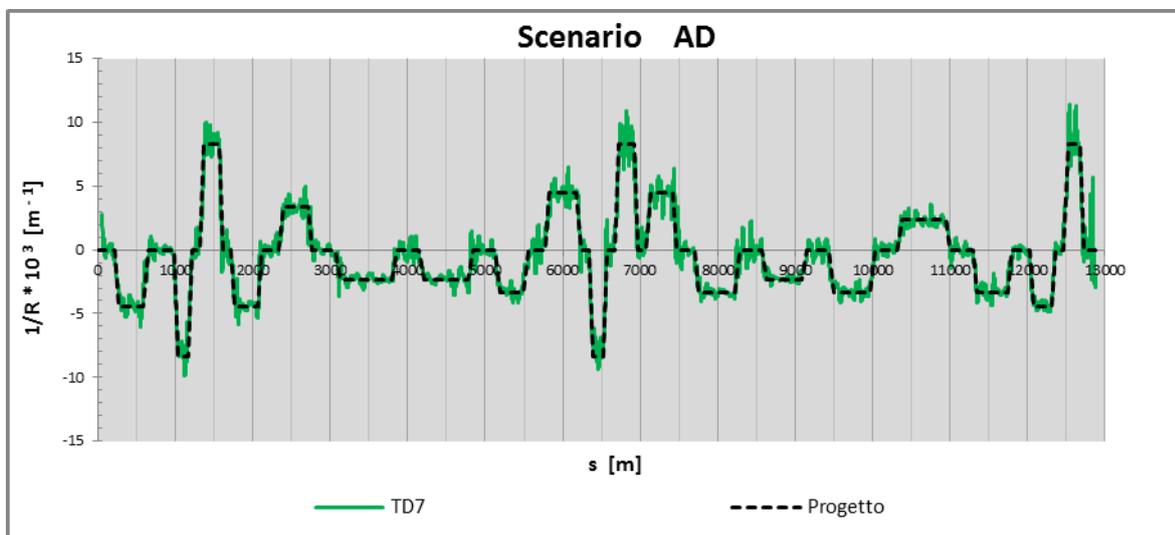
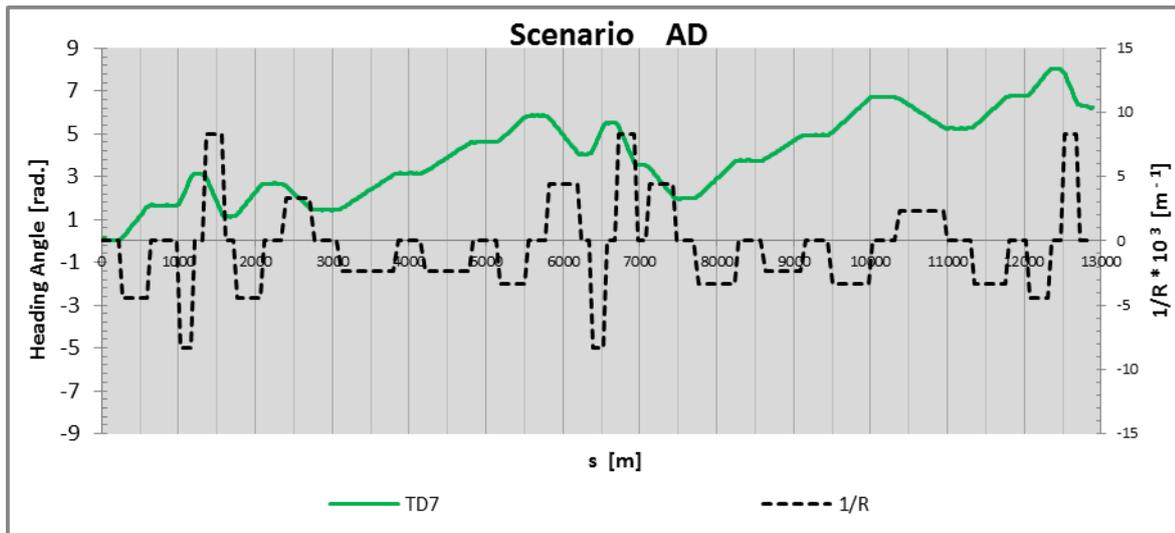


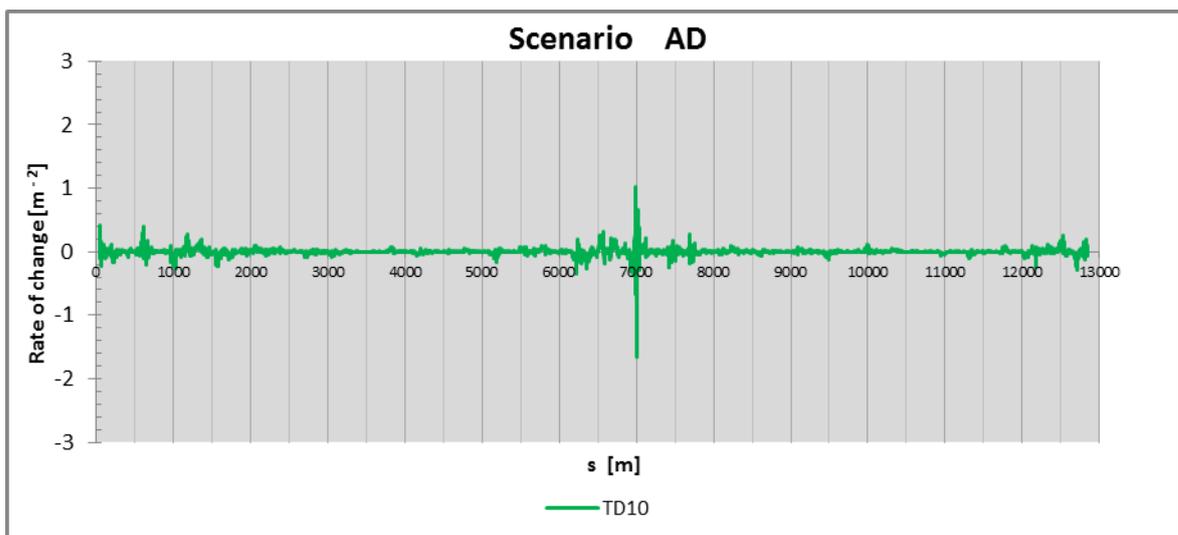
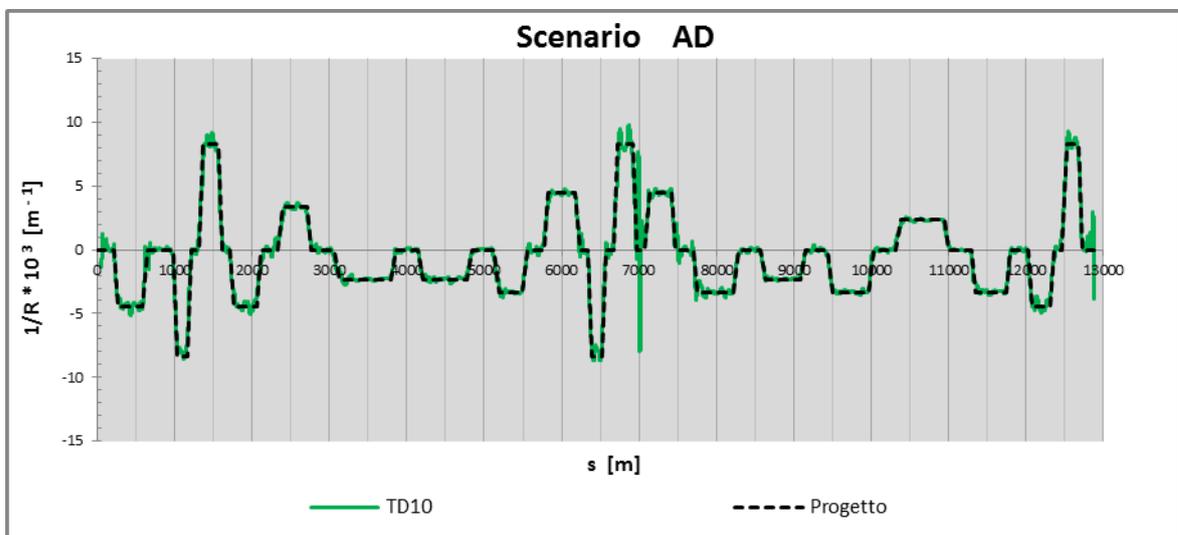
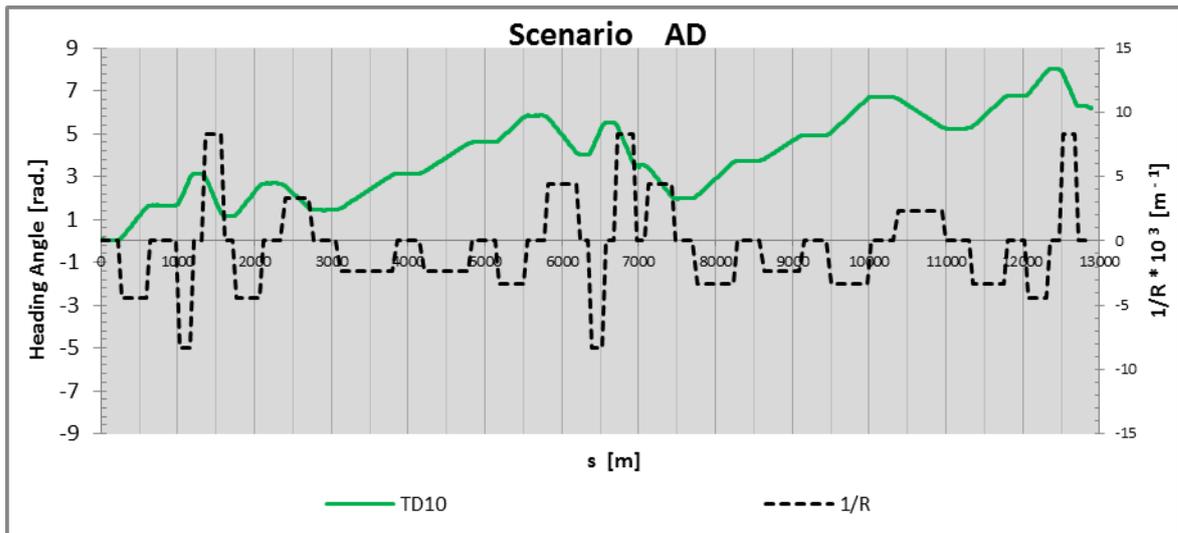


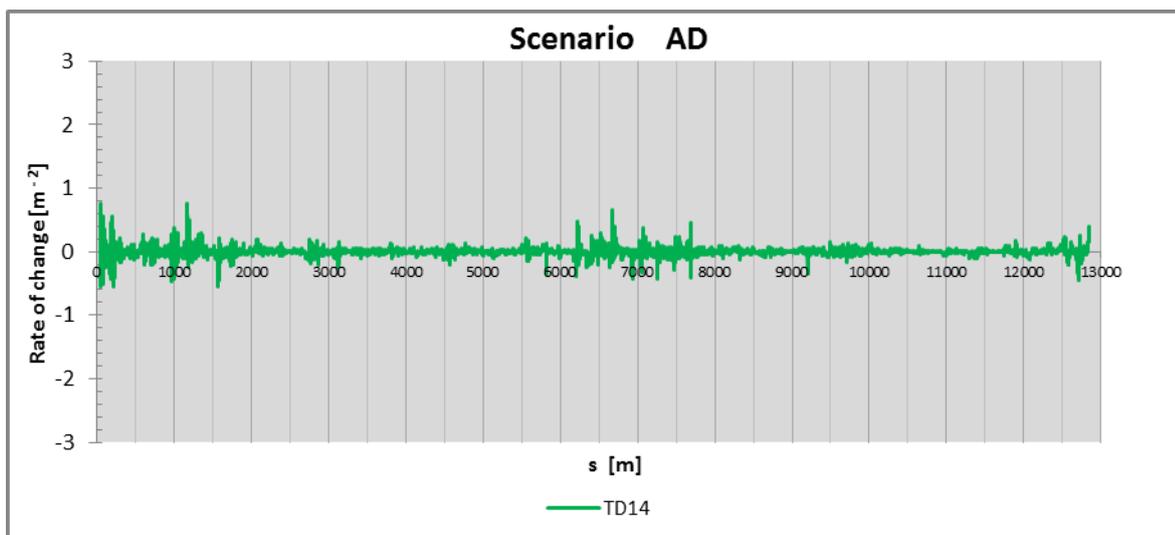
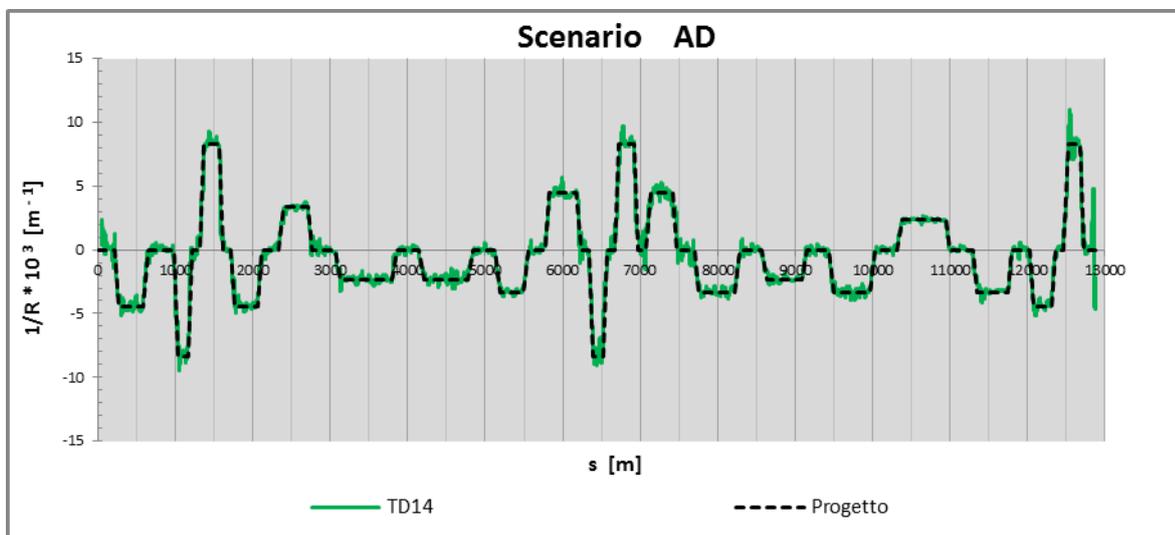
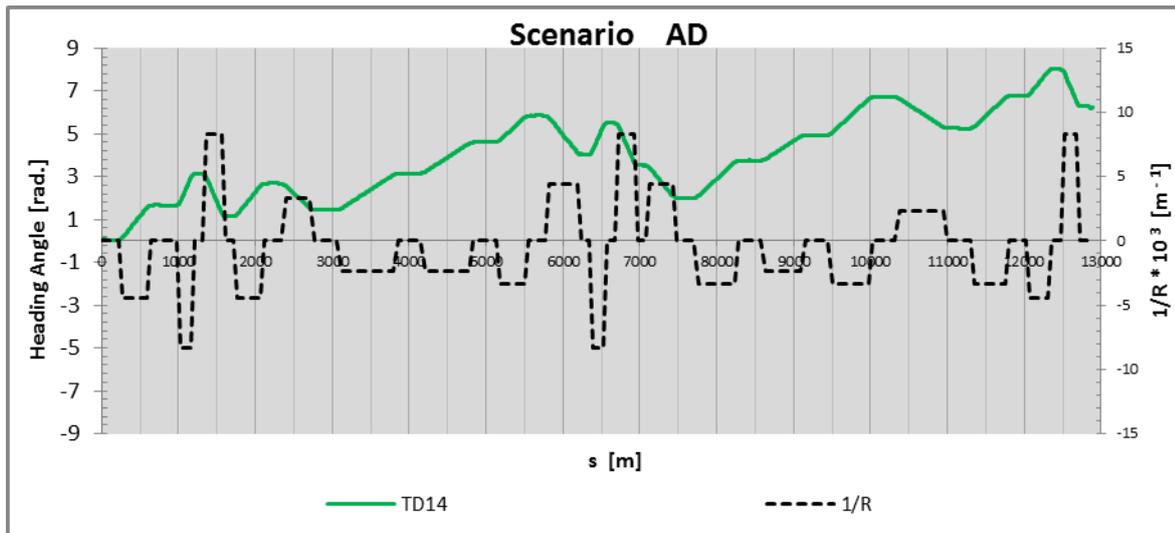
Appendice H) Profili di heading angle, curvatura e variazione di curvatura

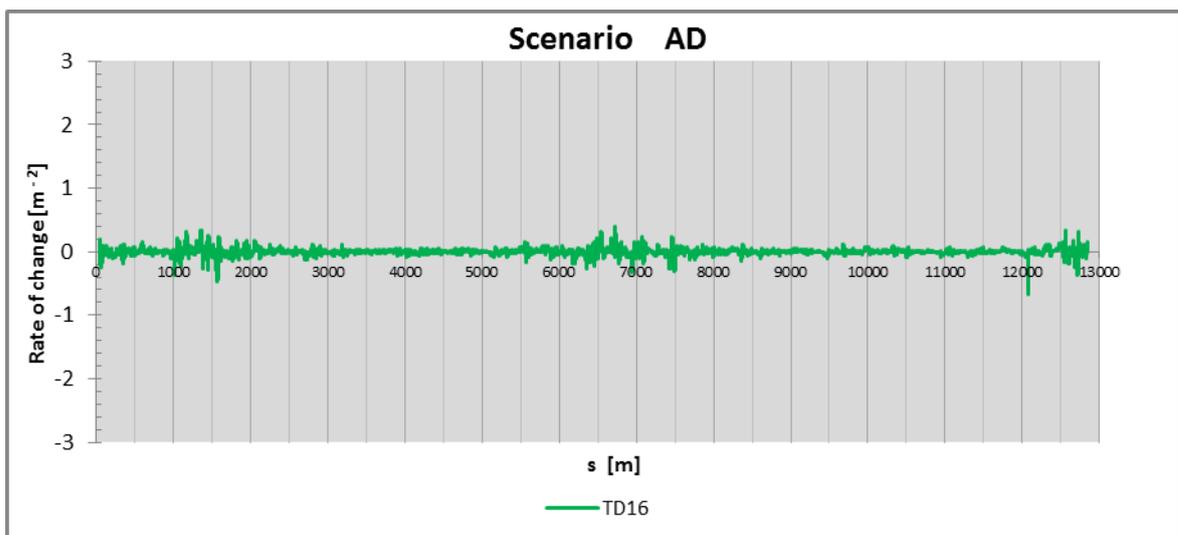
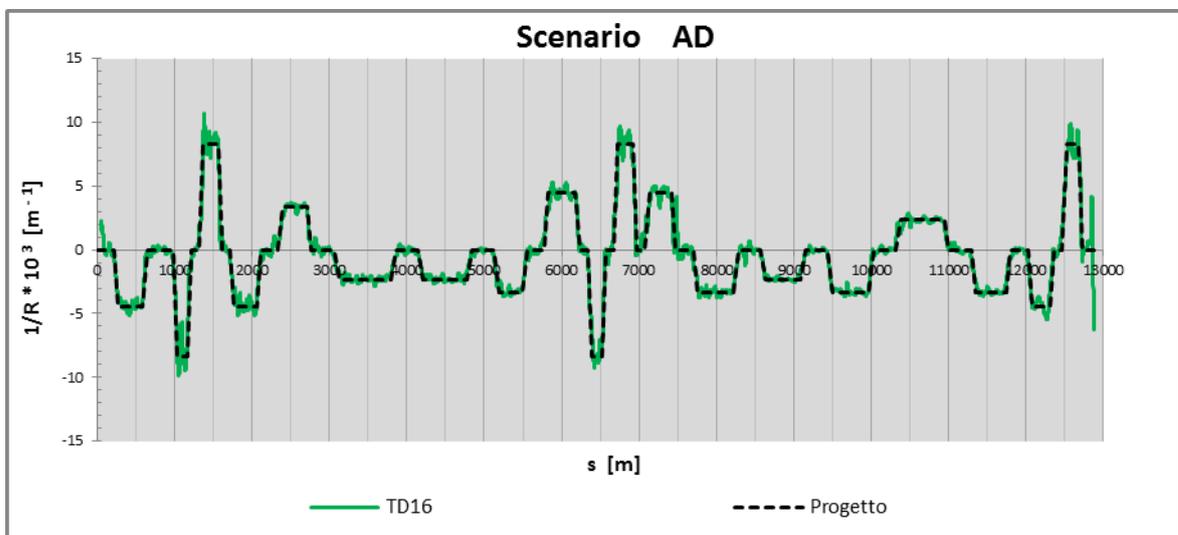
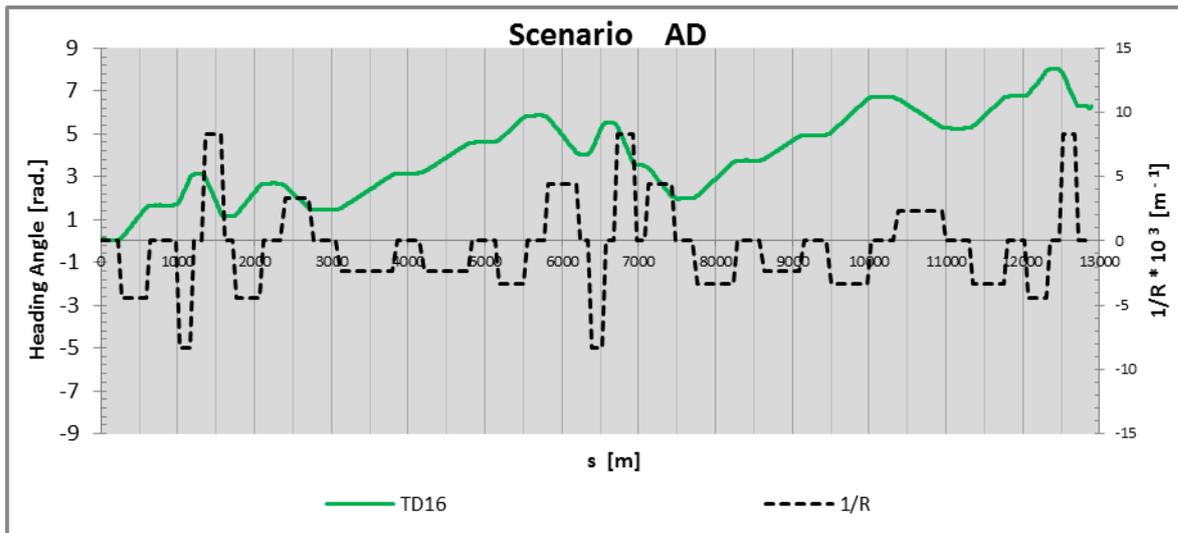


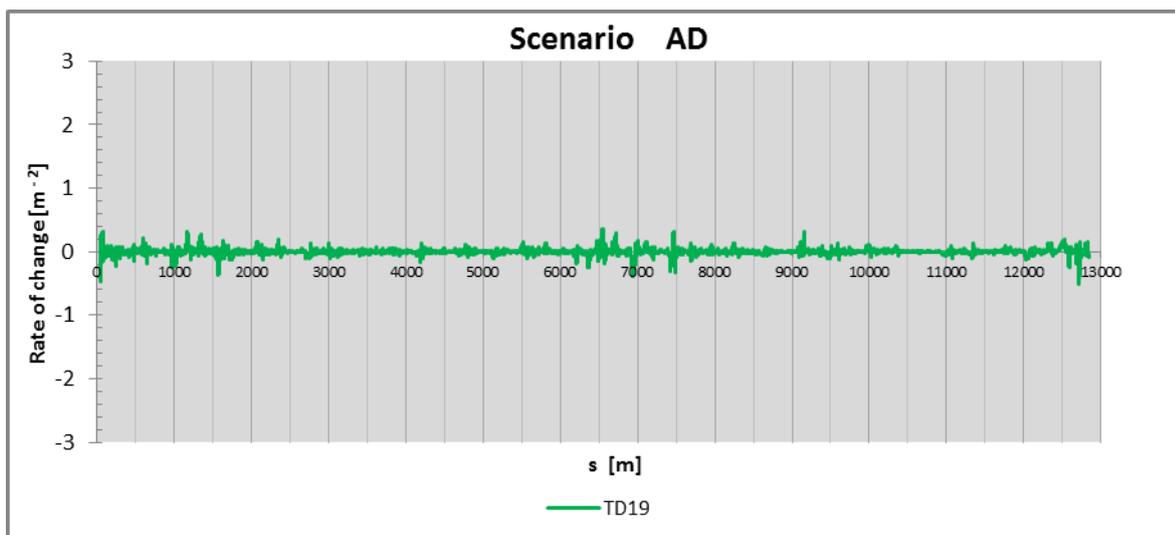
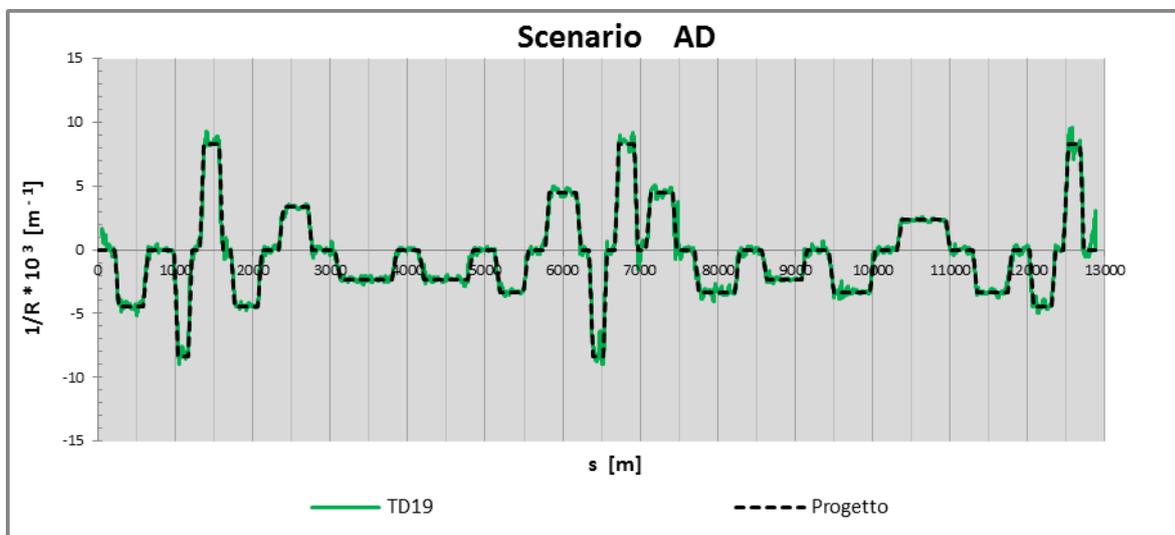
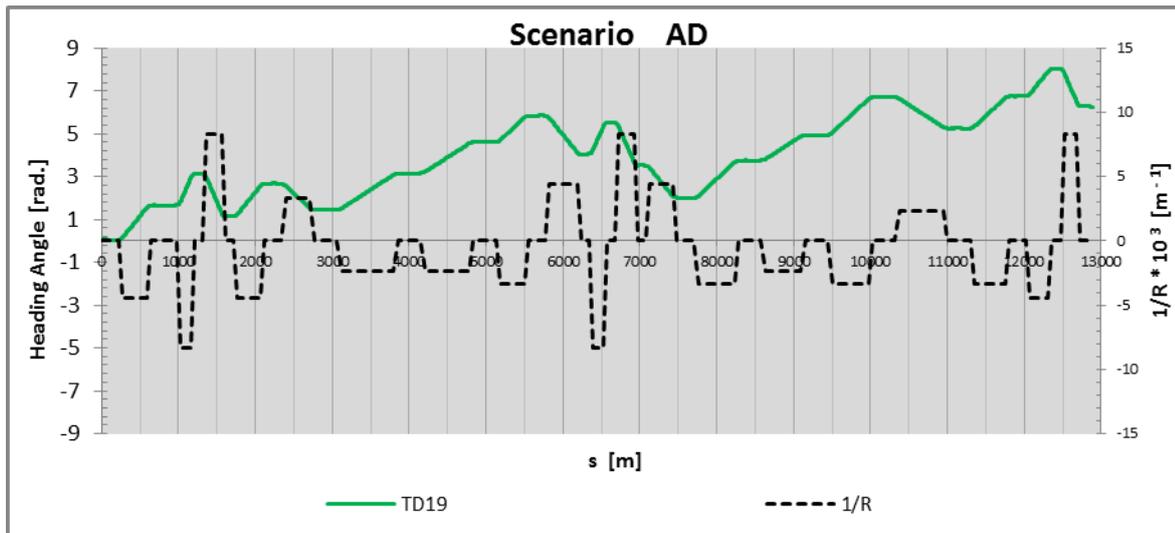


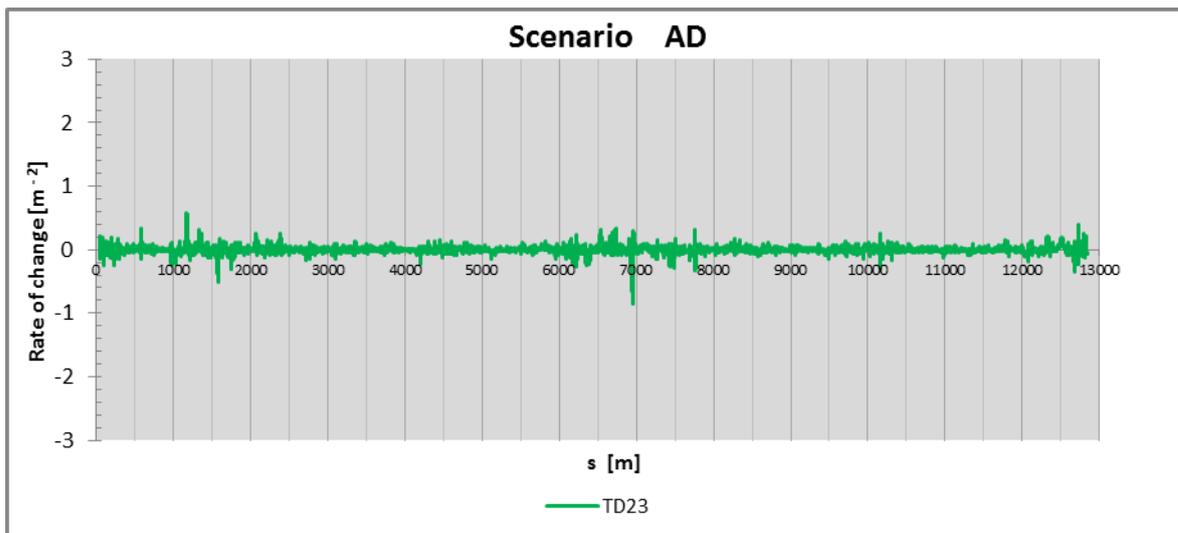
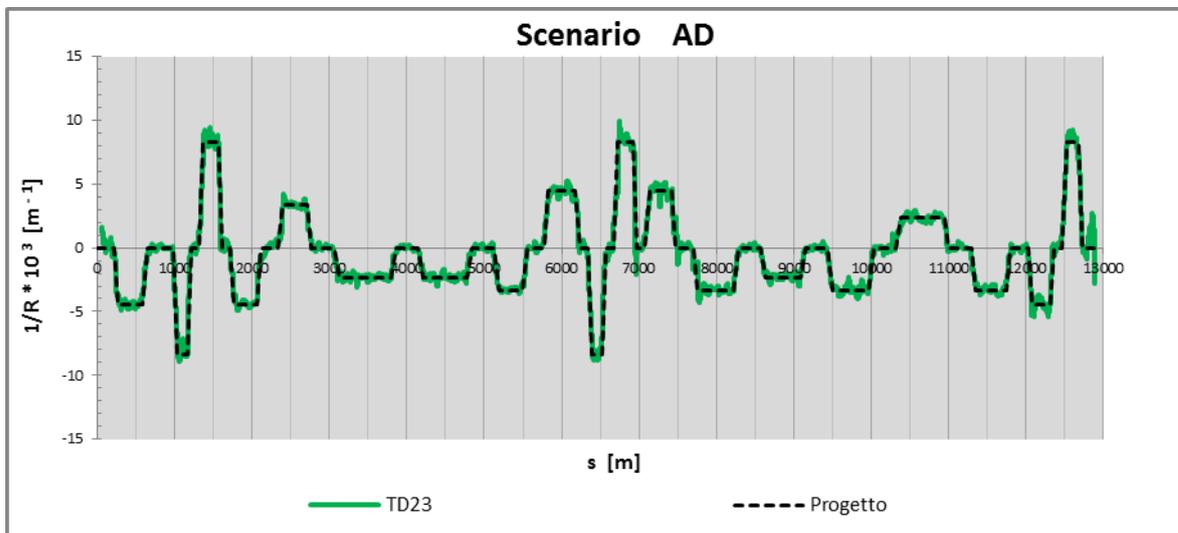
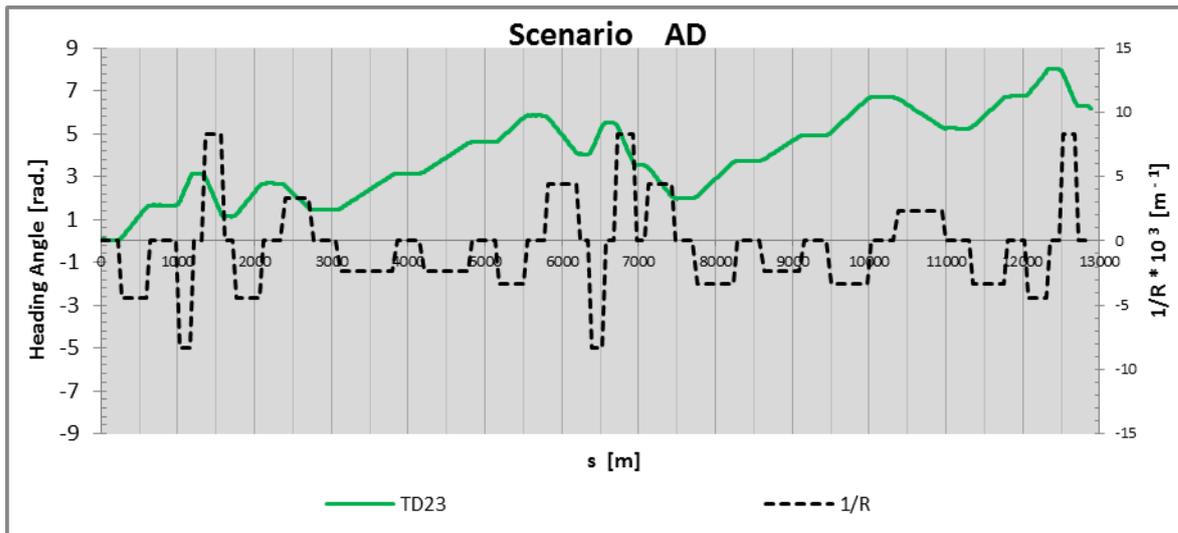


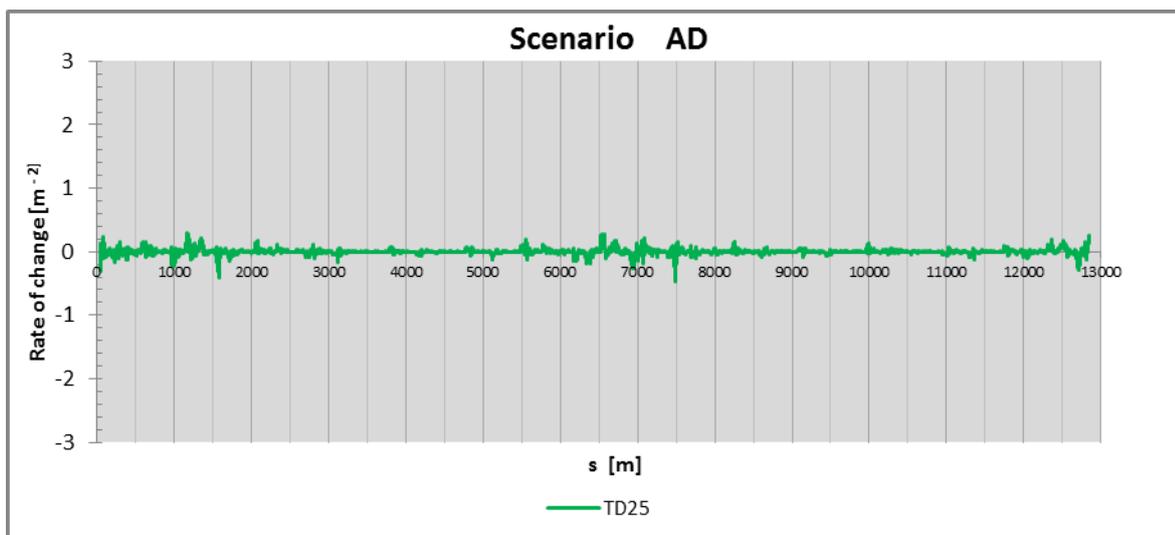
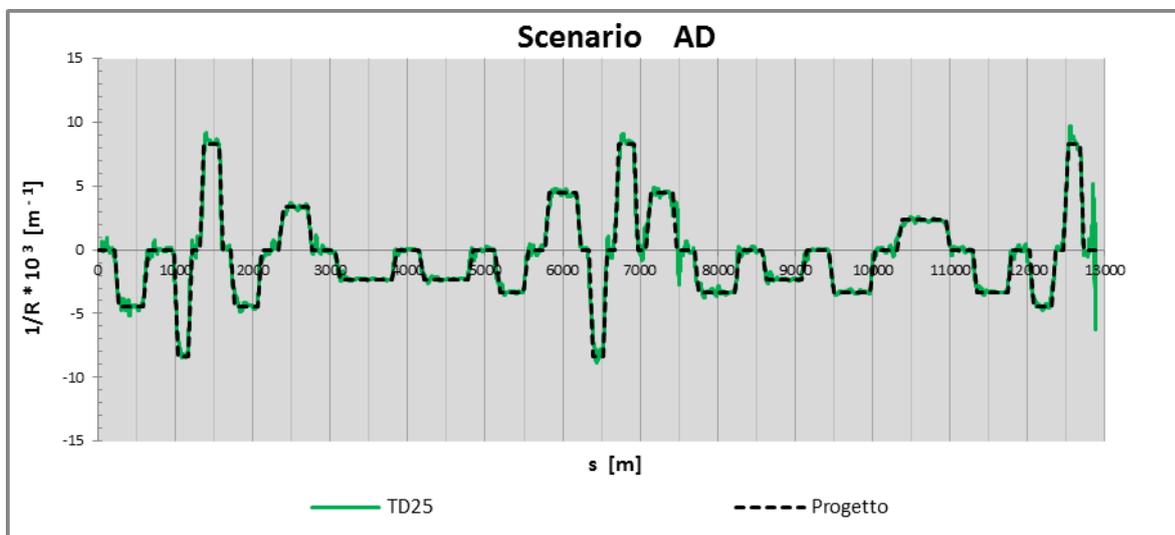
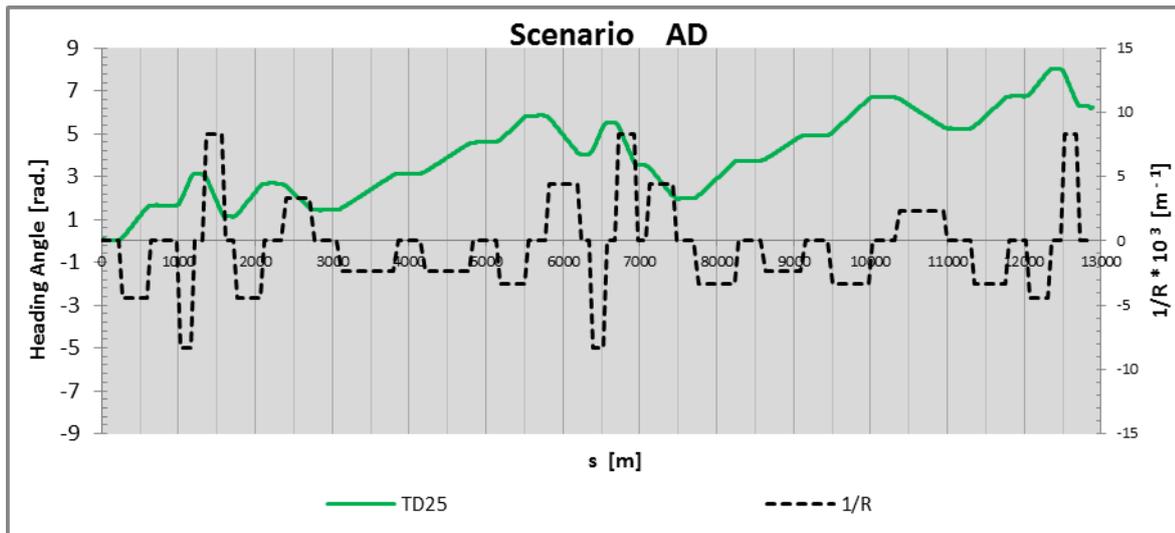


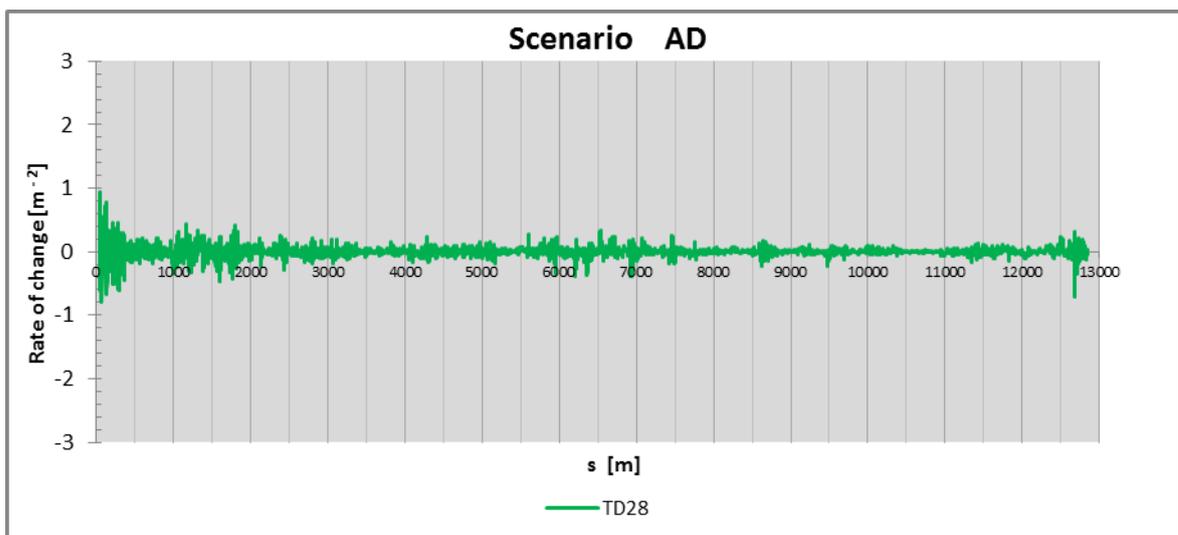
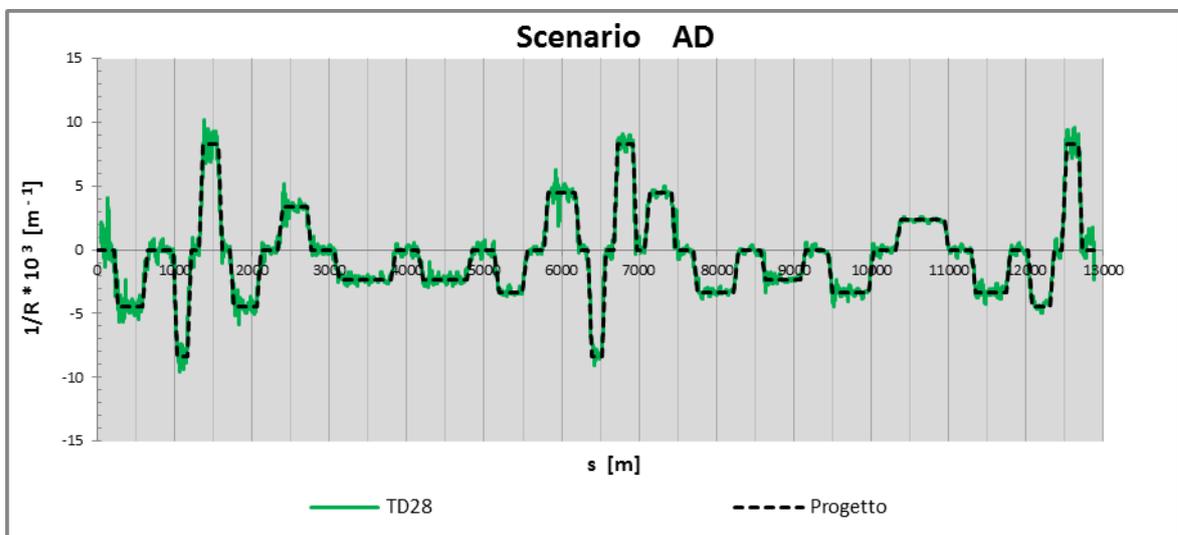
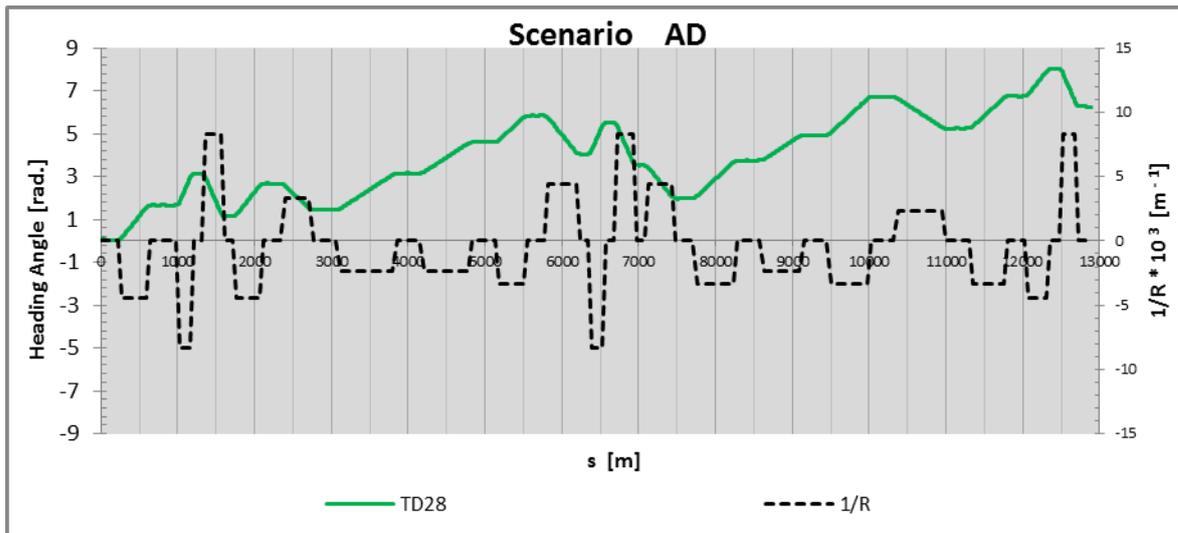


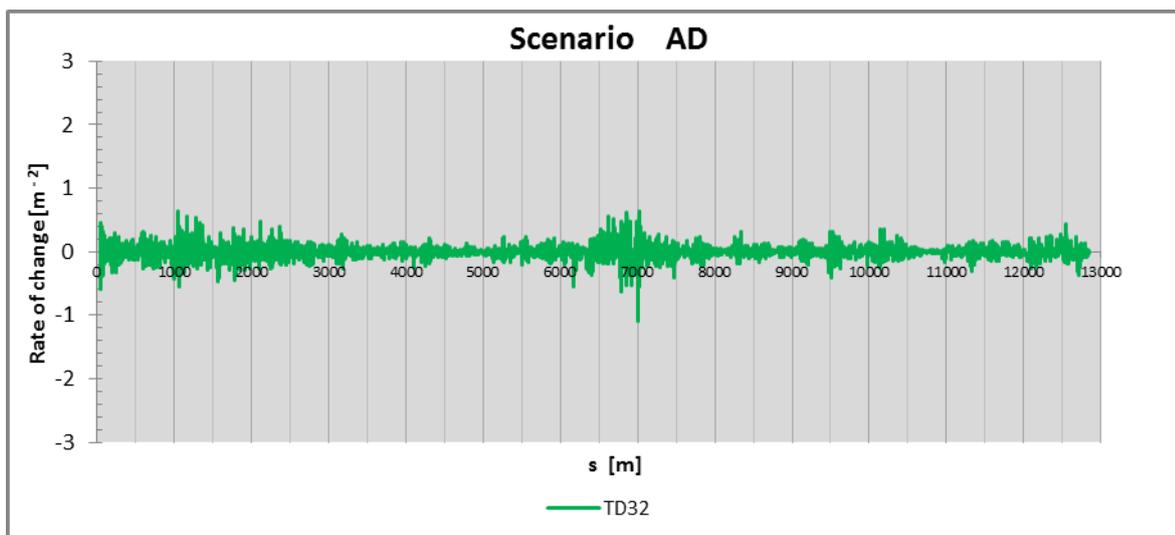
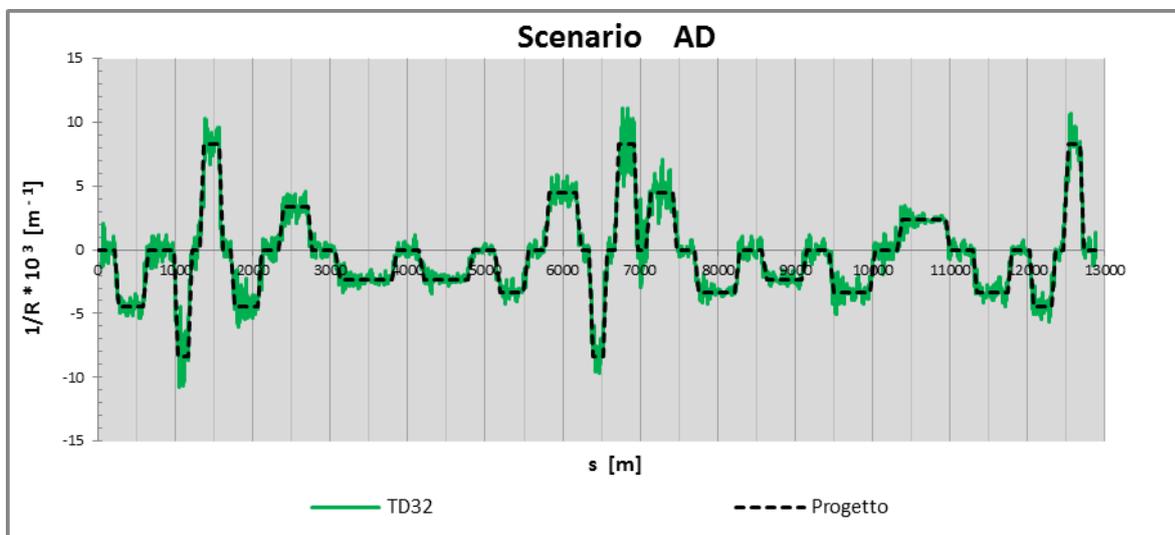
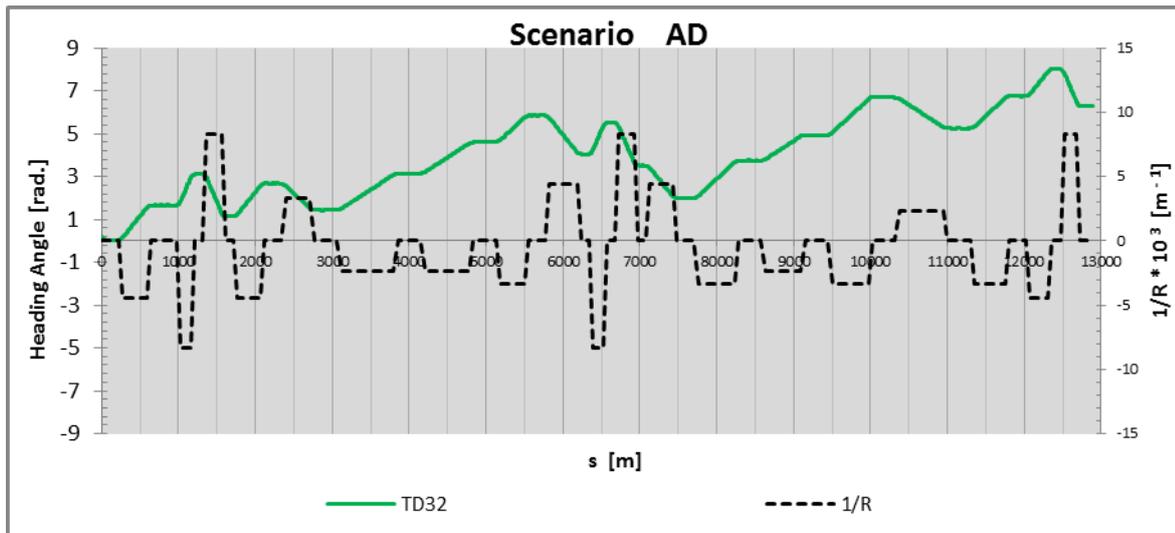


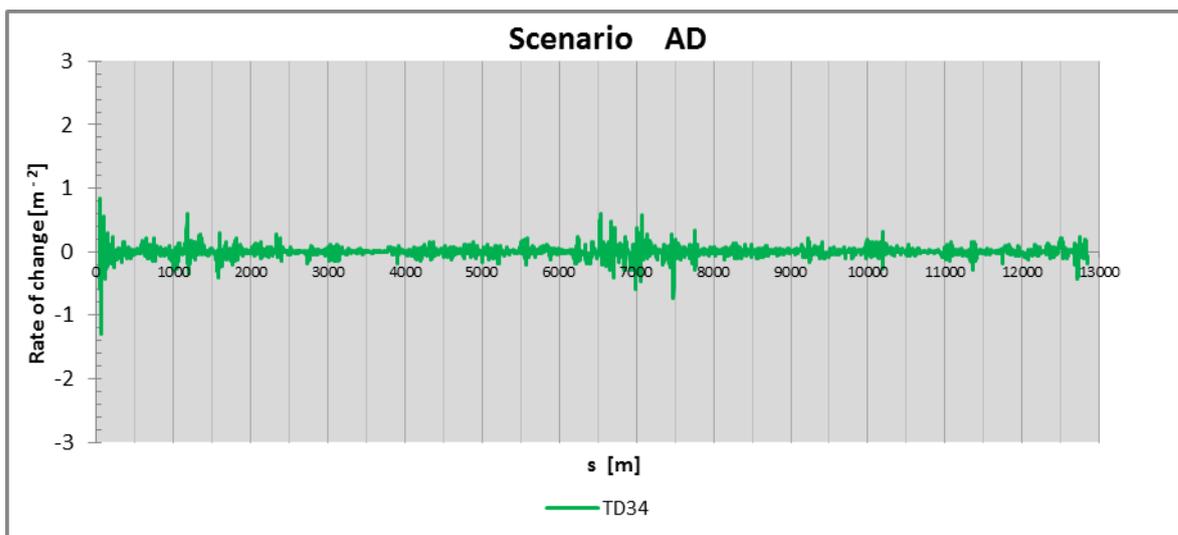
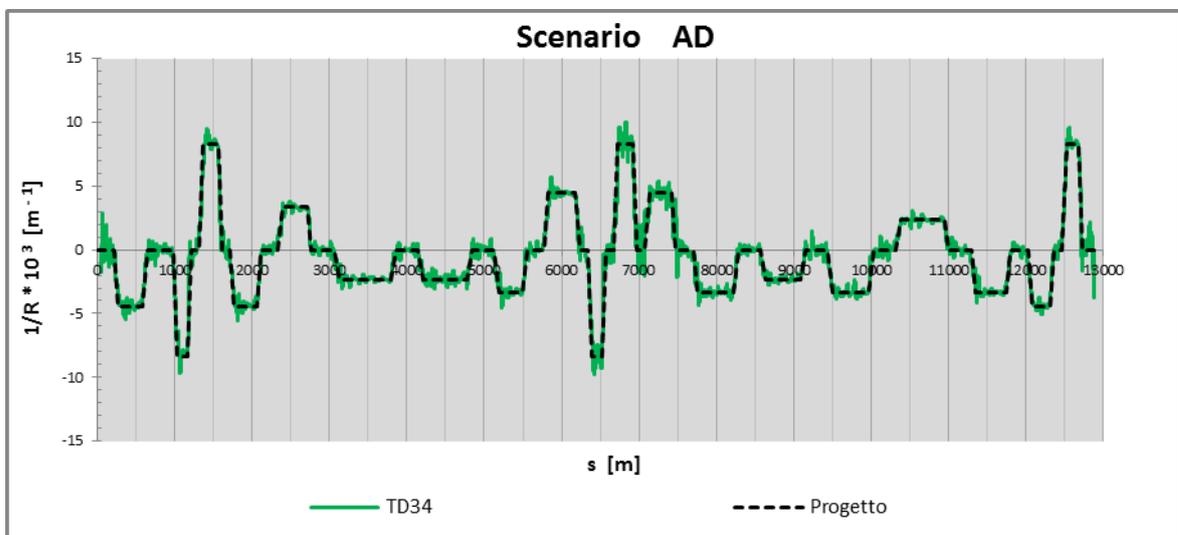
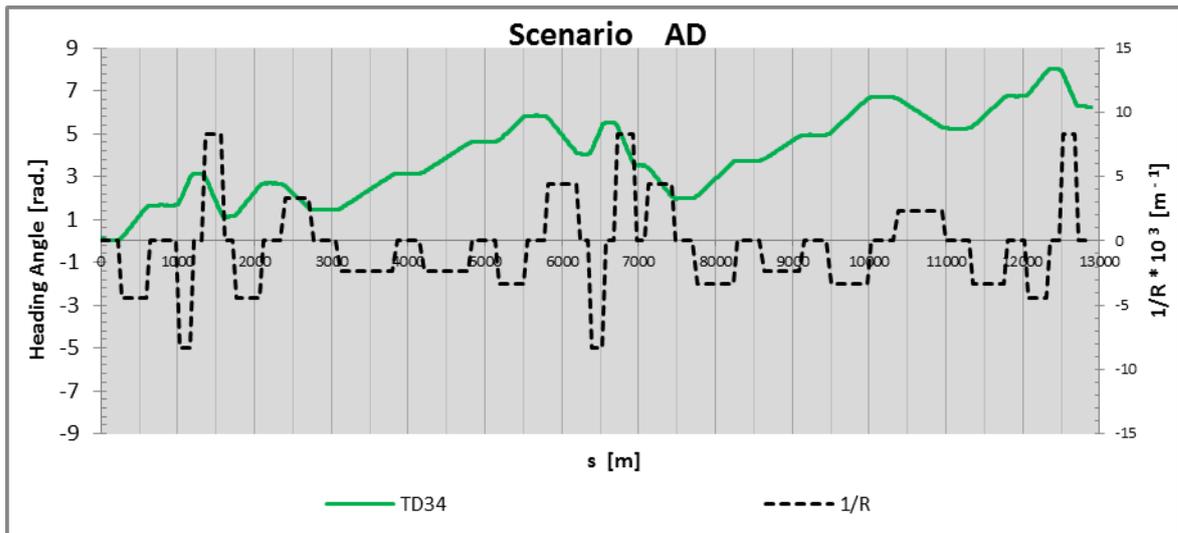


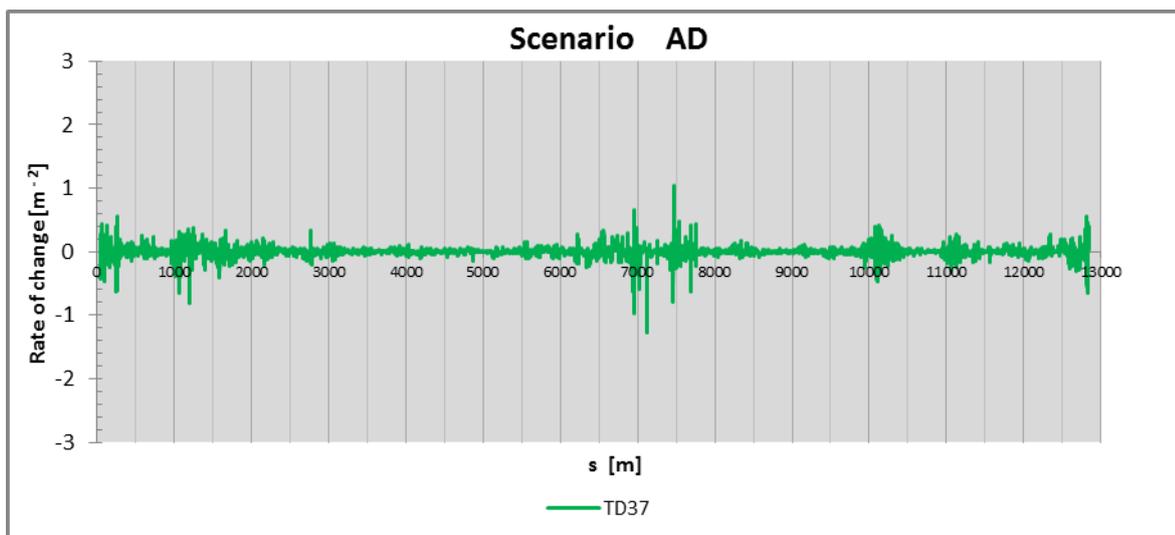
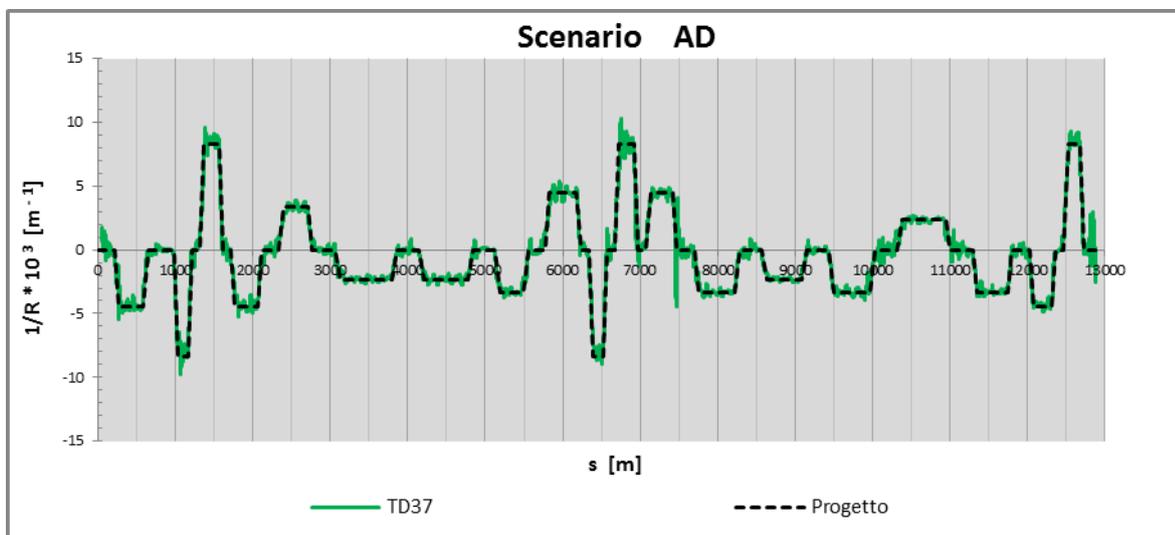
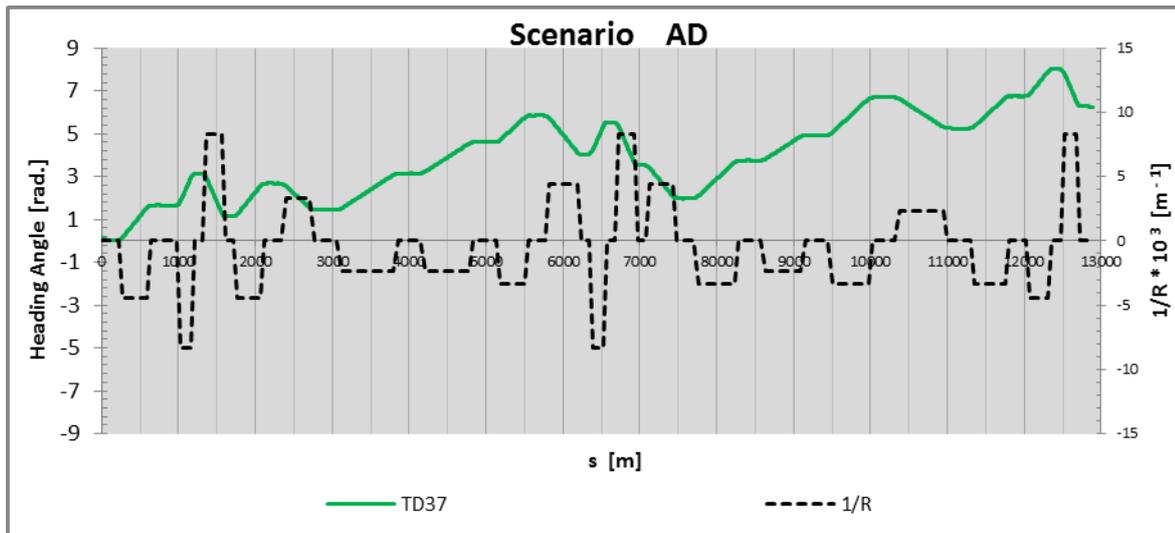


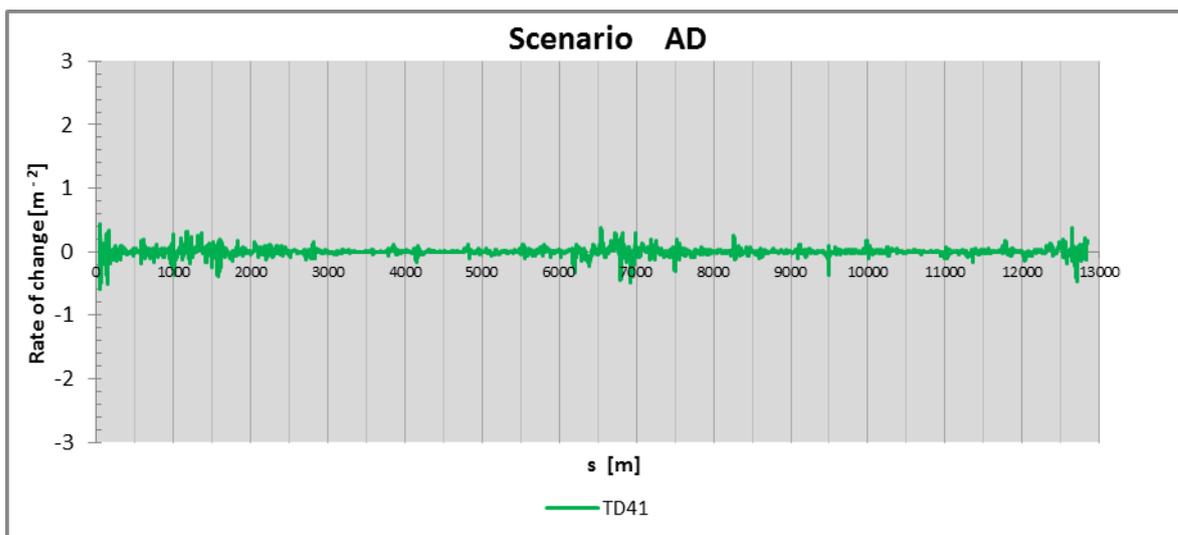
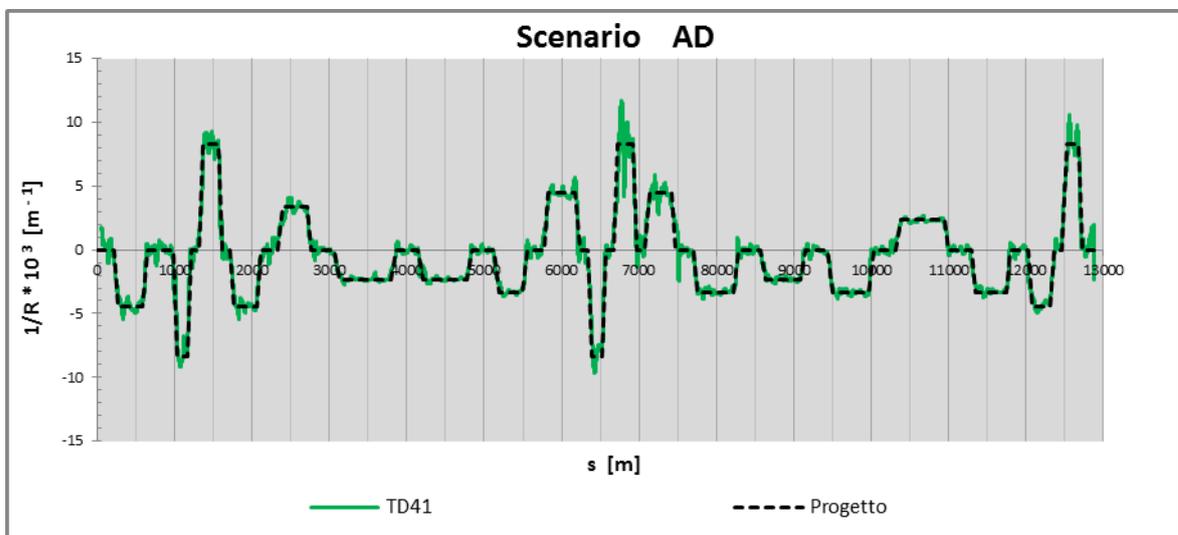
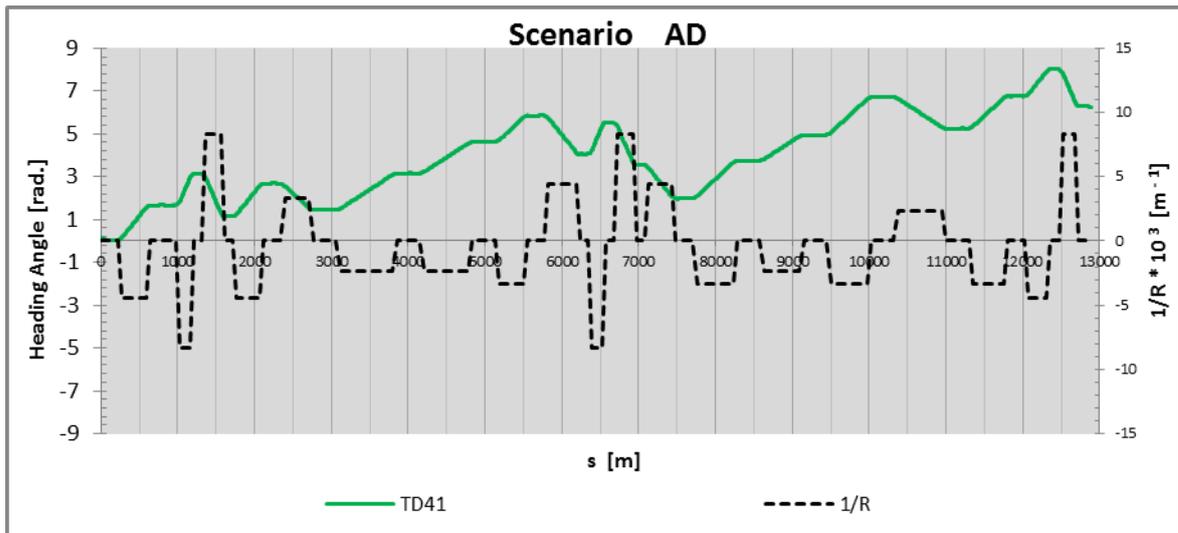


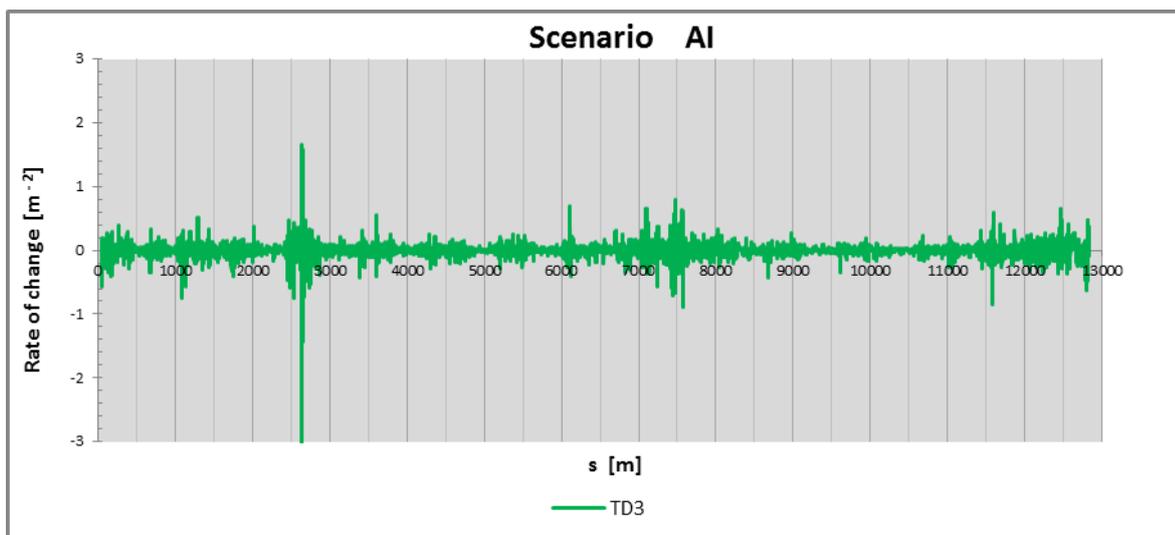
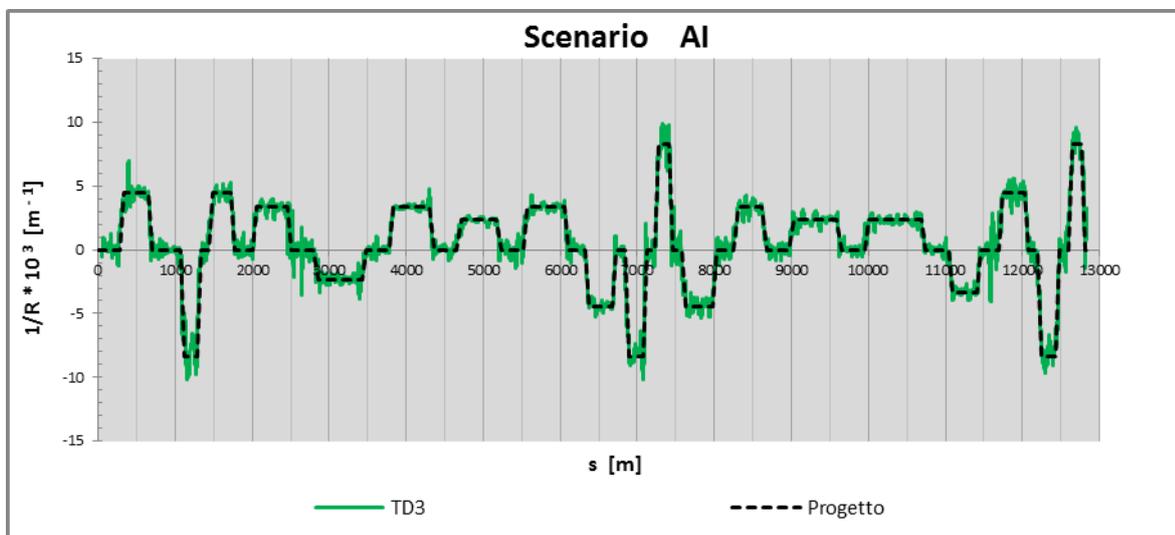
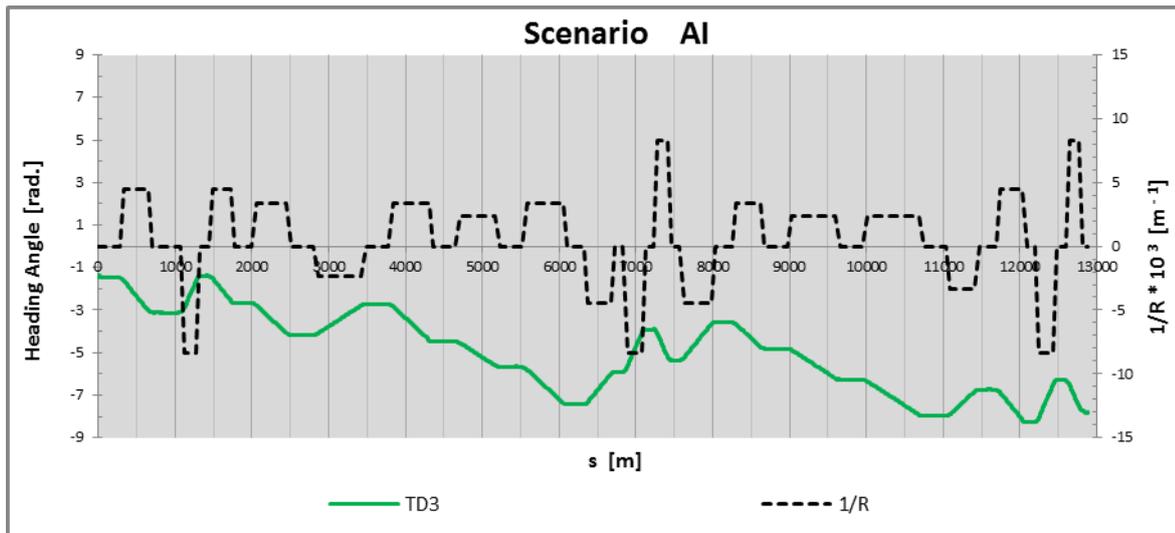


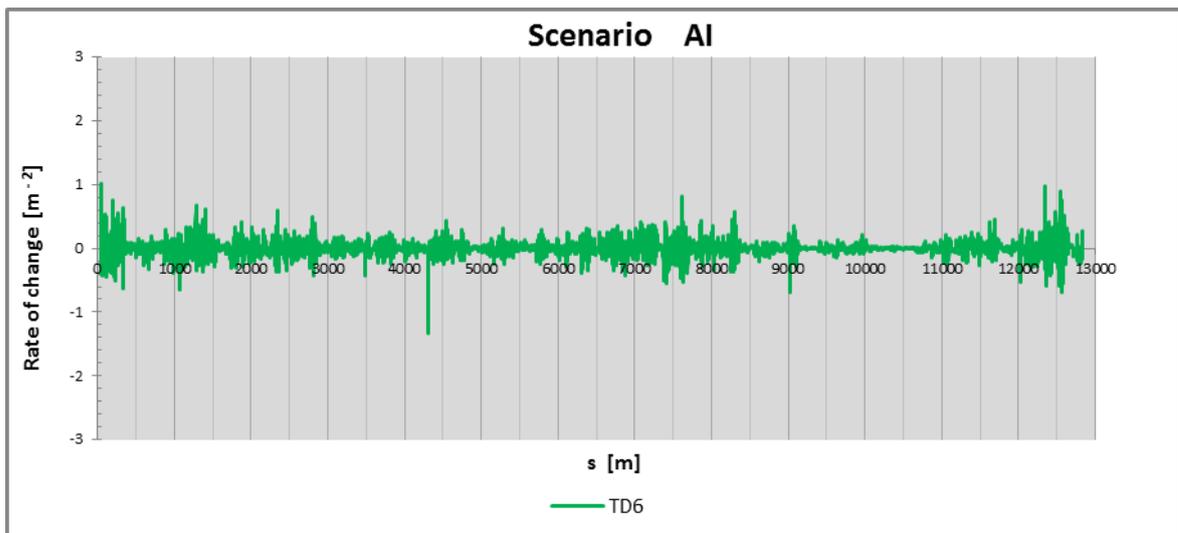
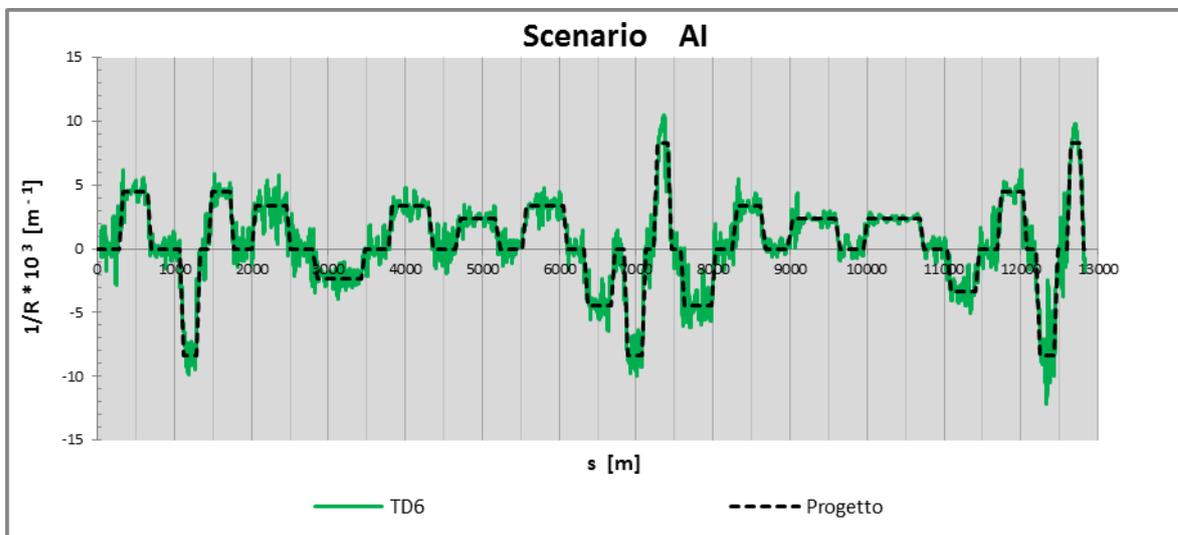
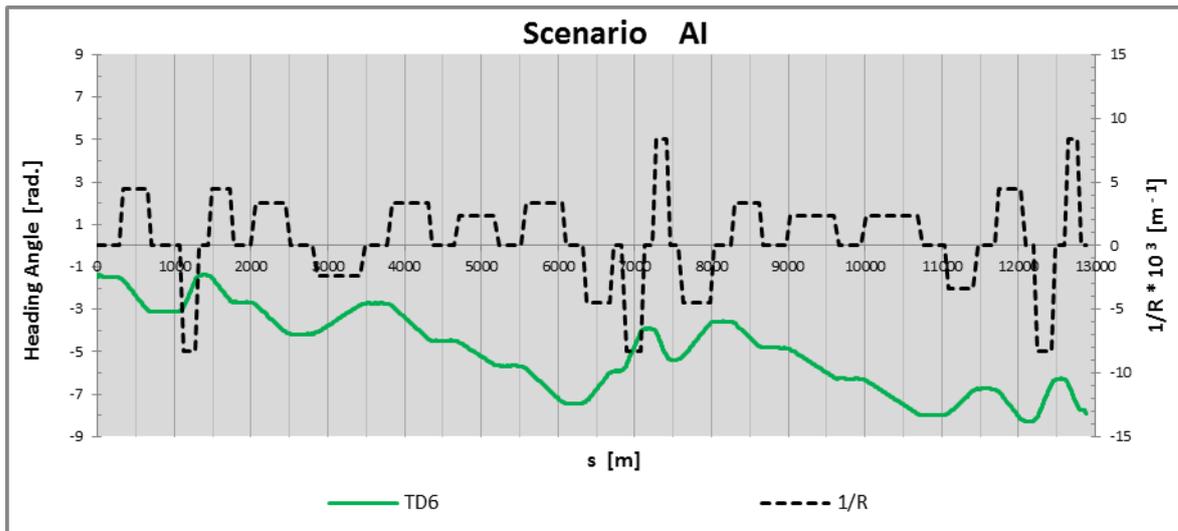


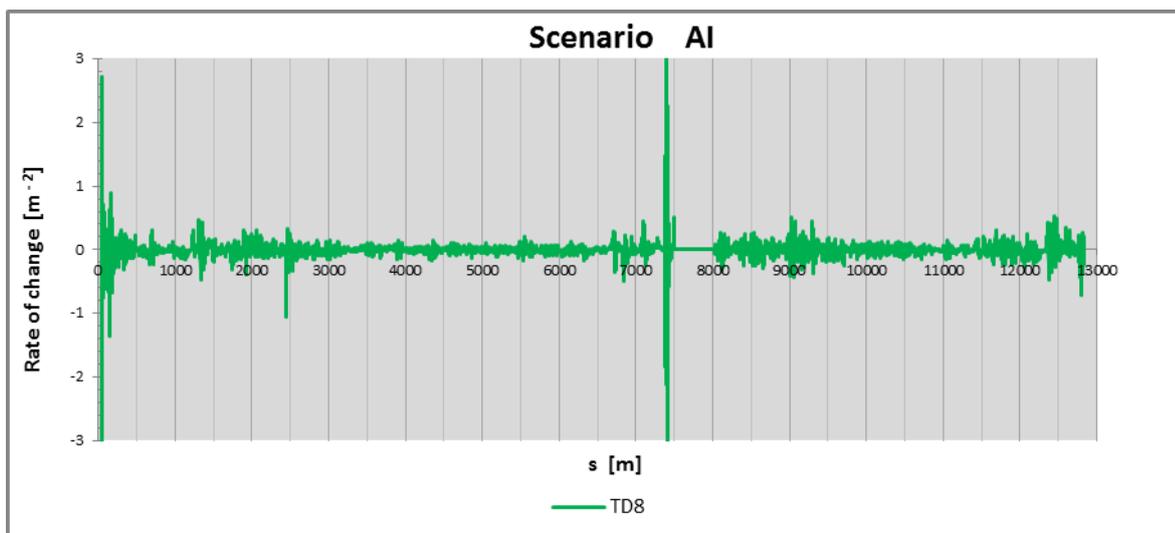
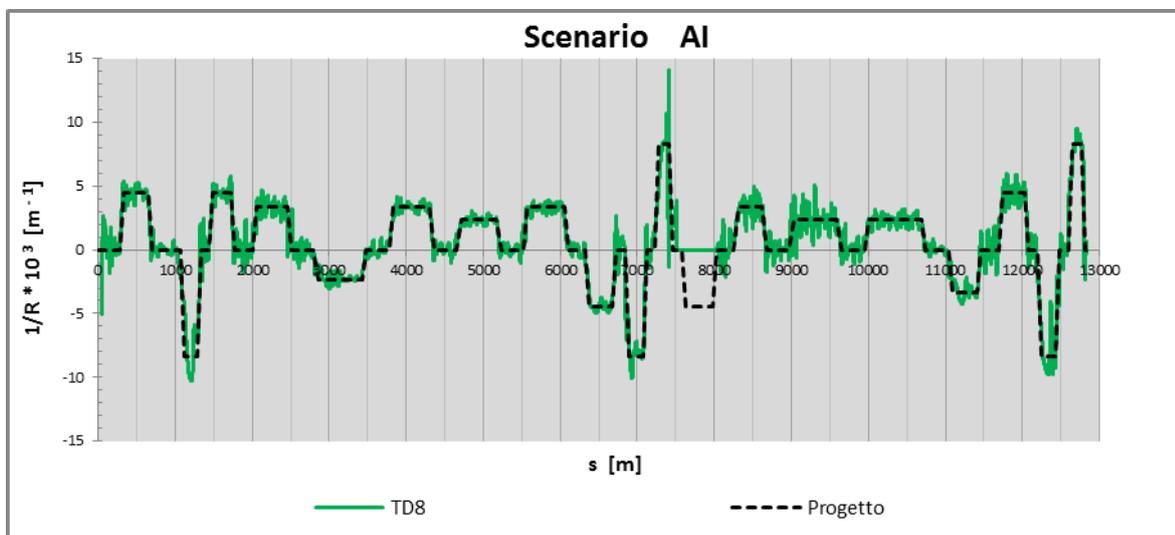
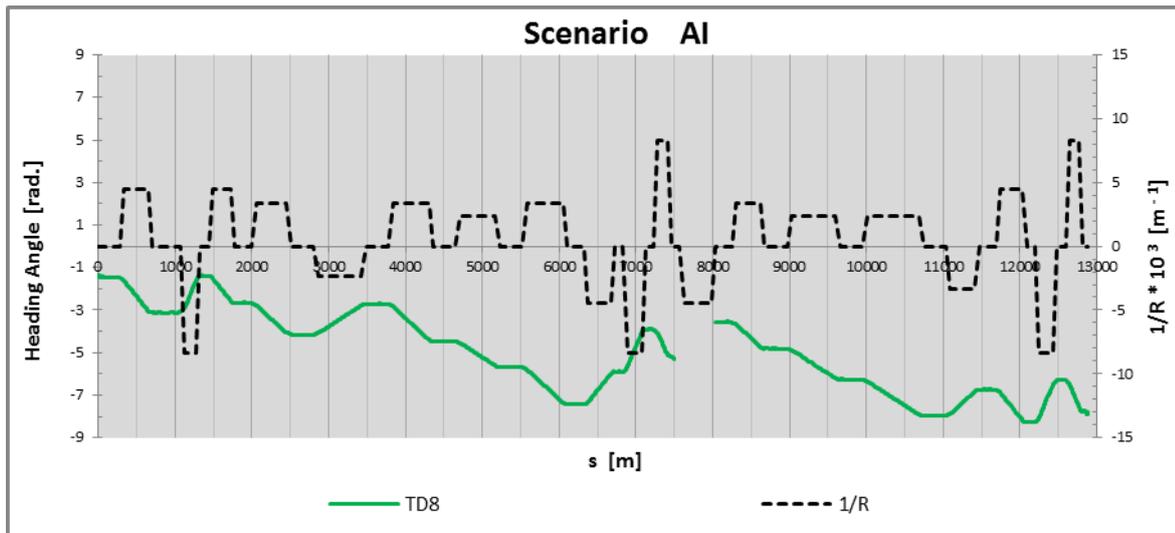


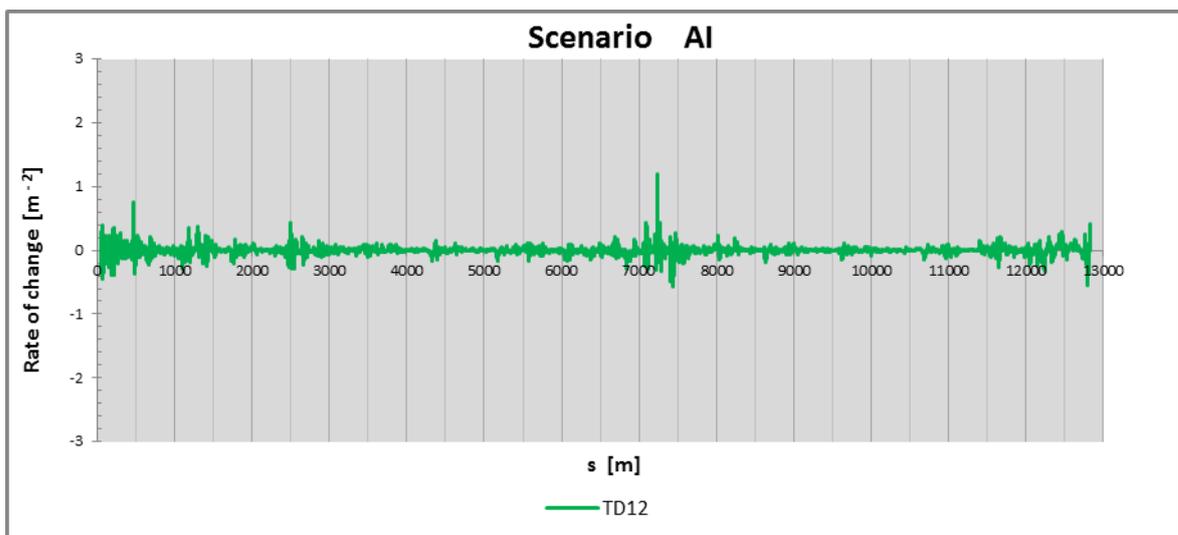
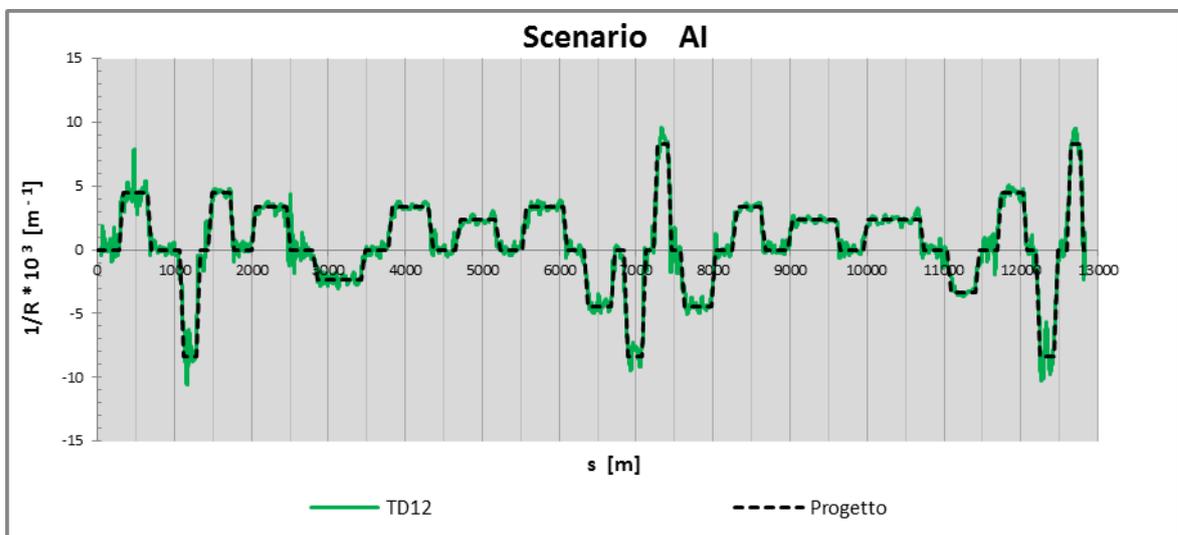
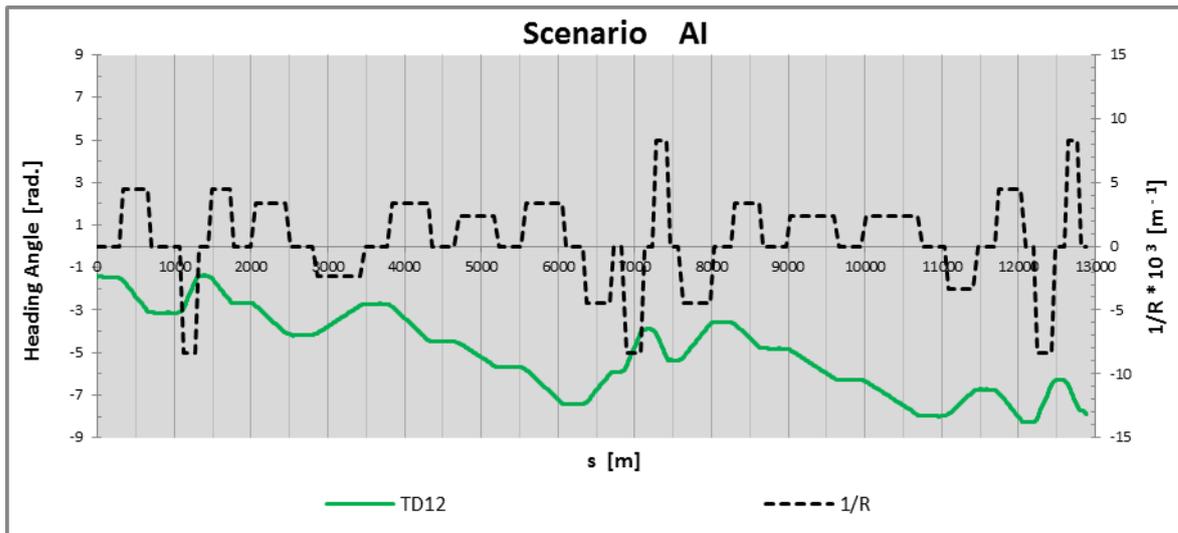


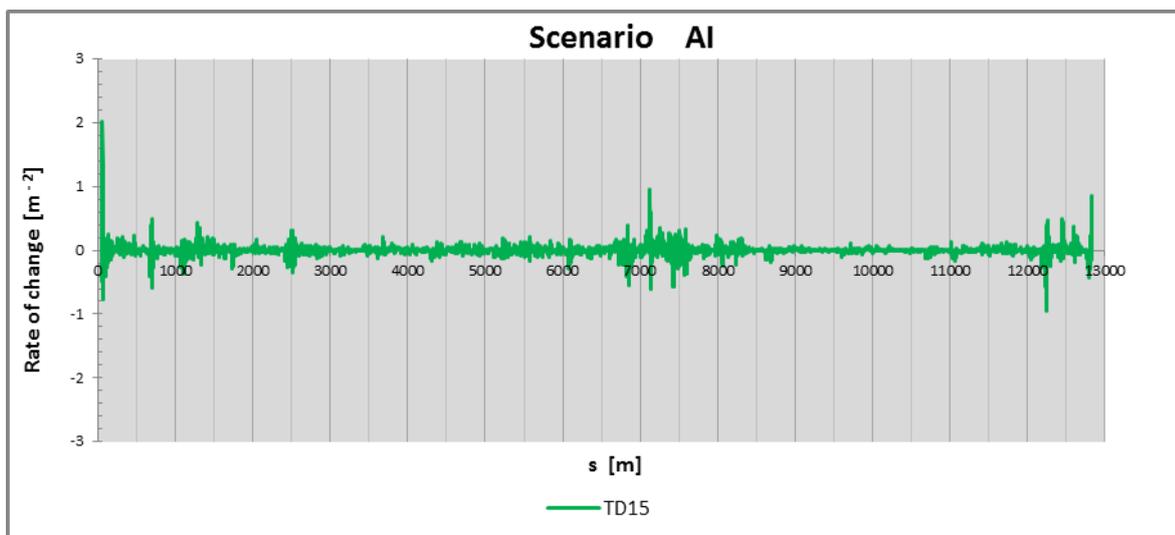
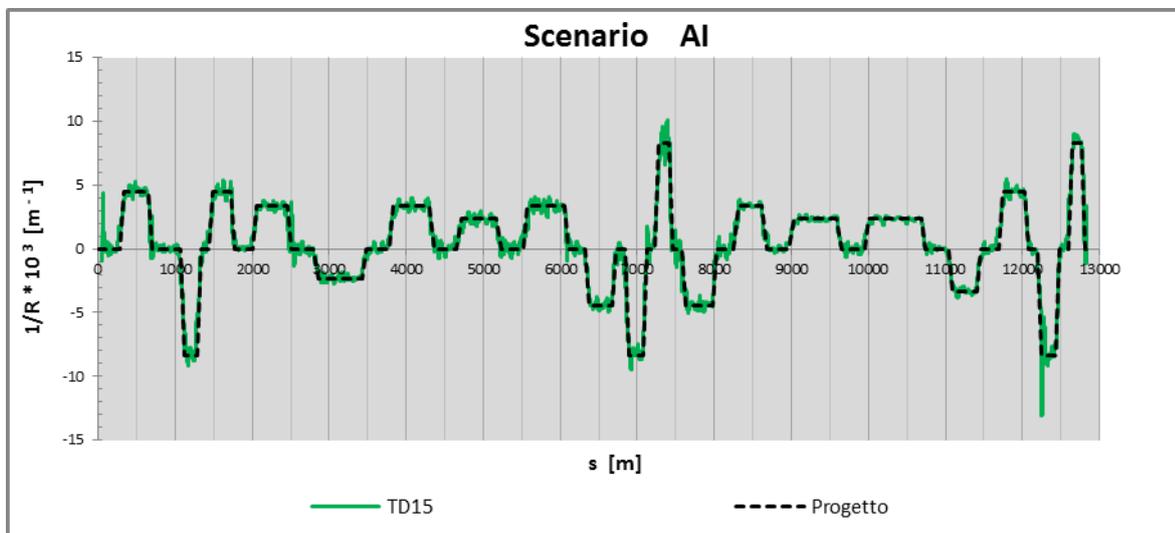
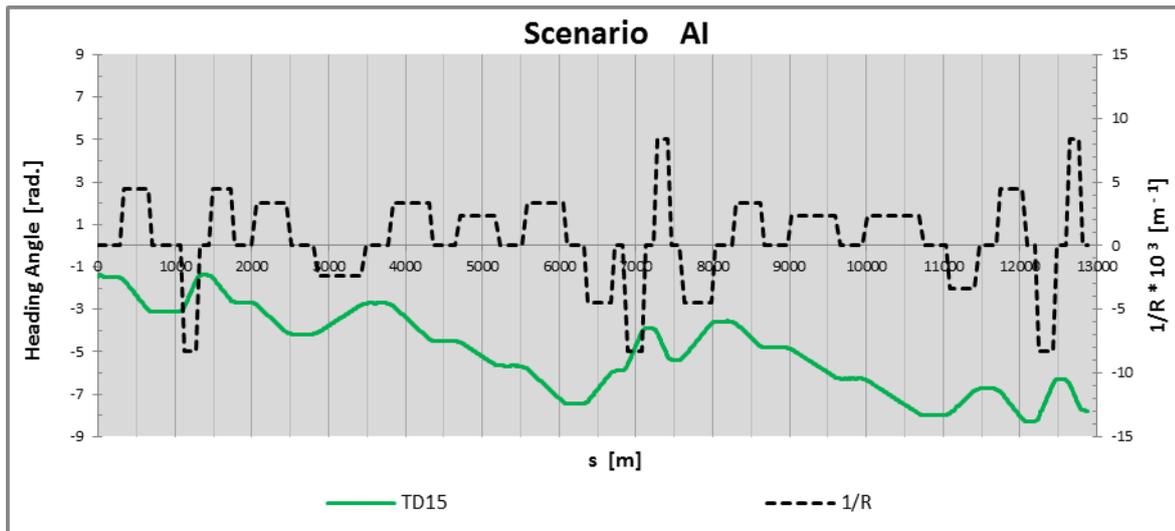


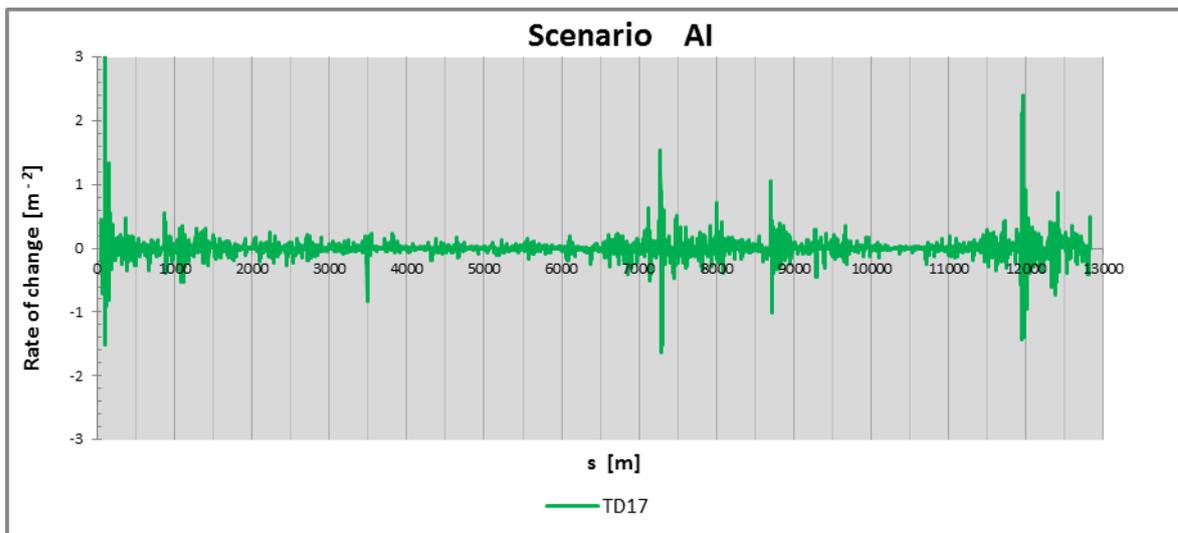
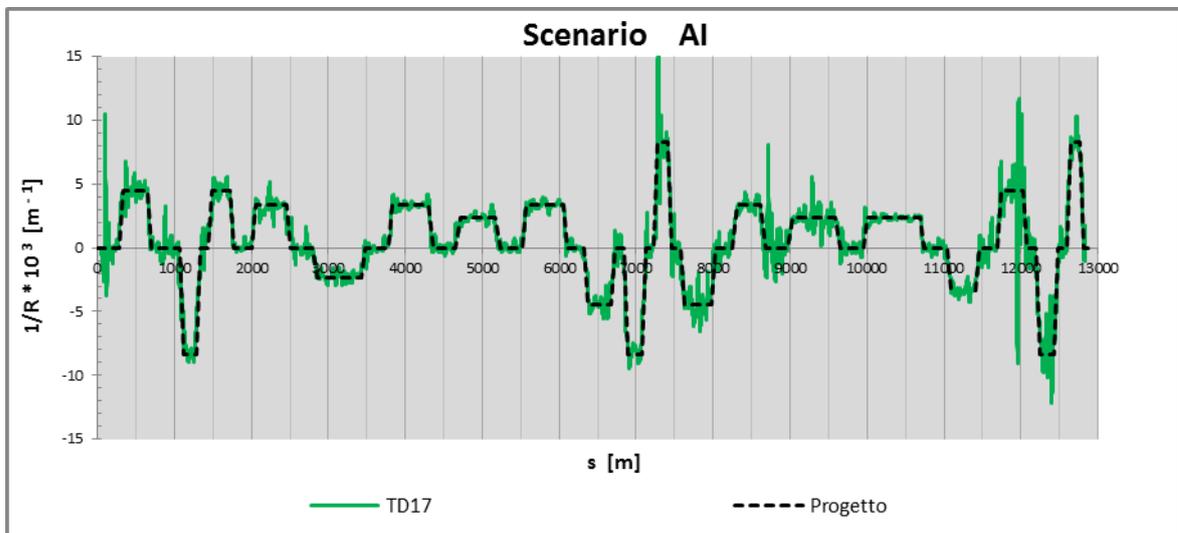
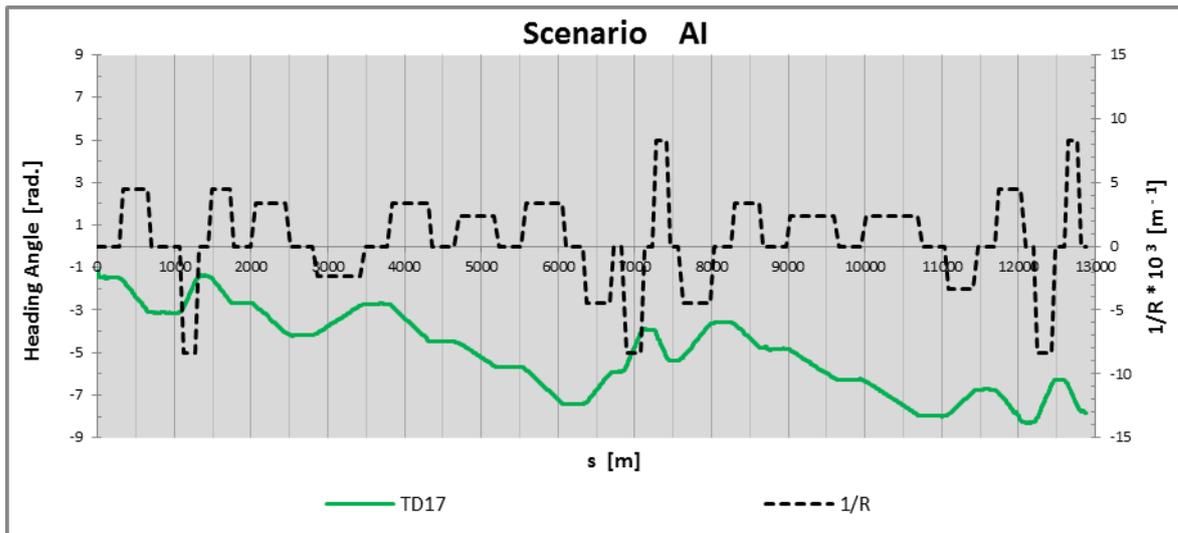


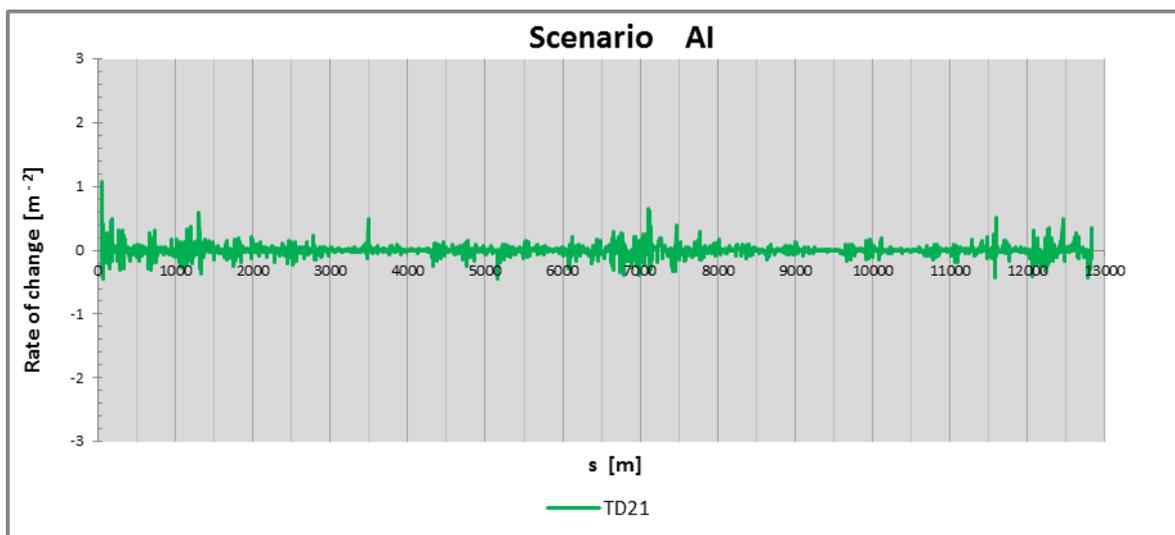
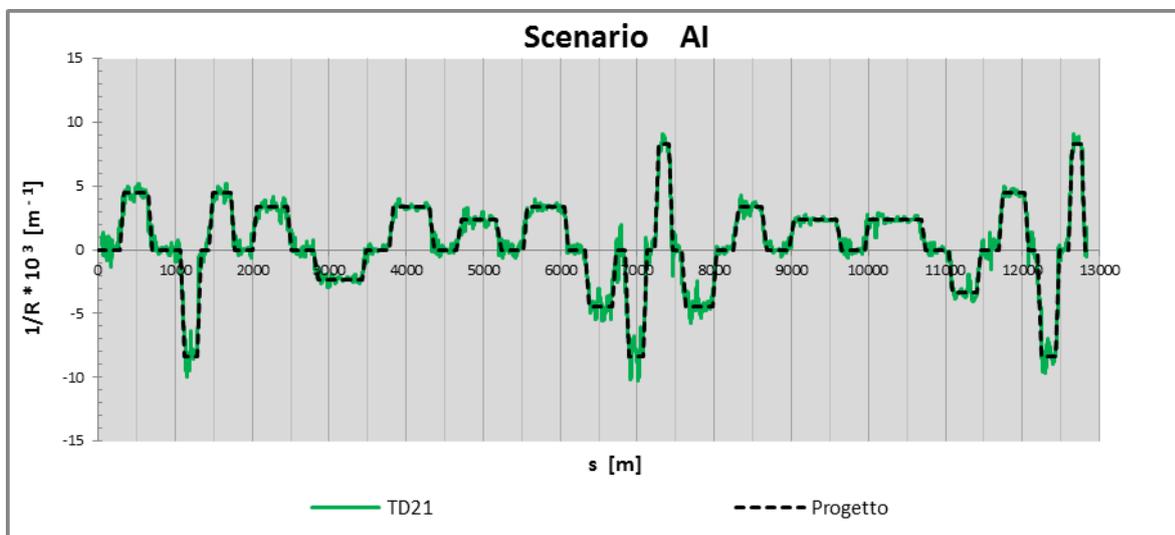
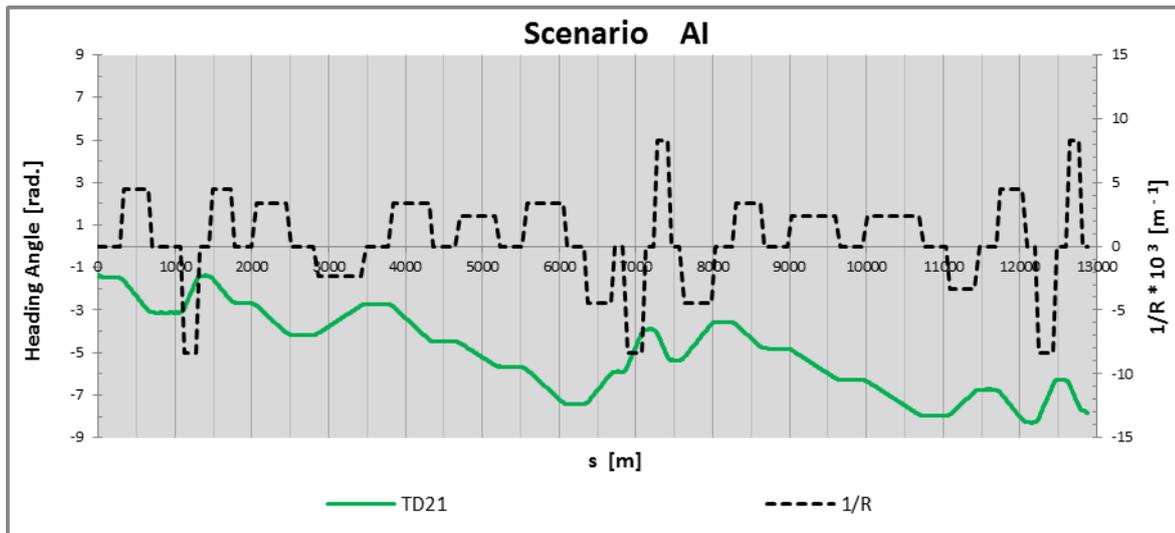


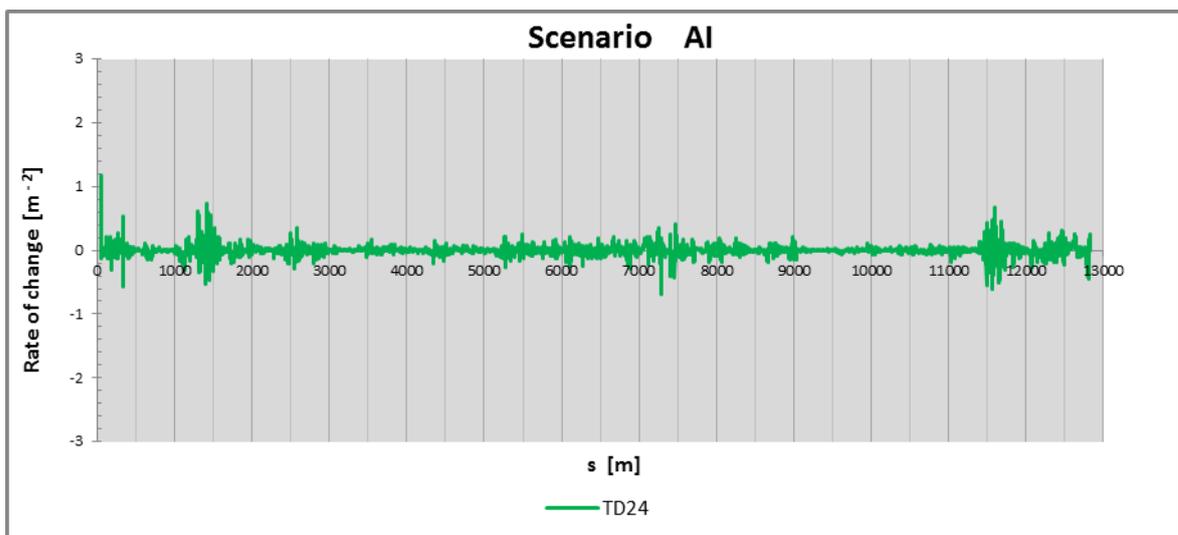
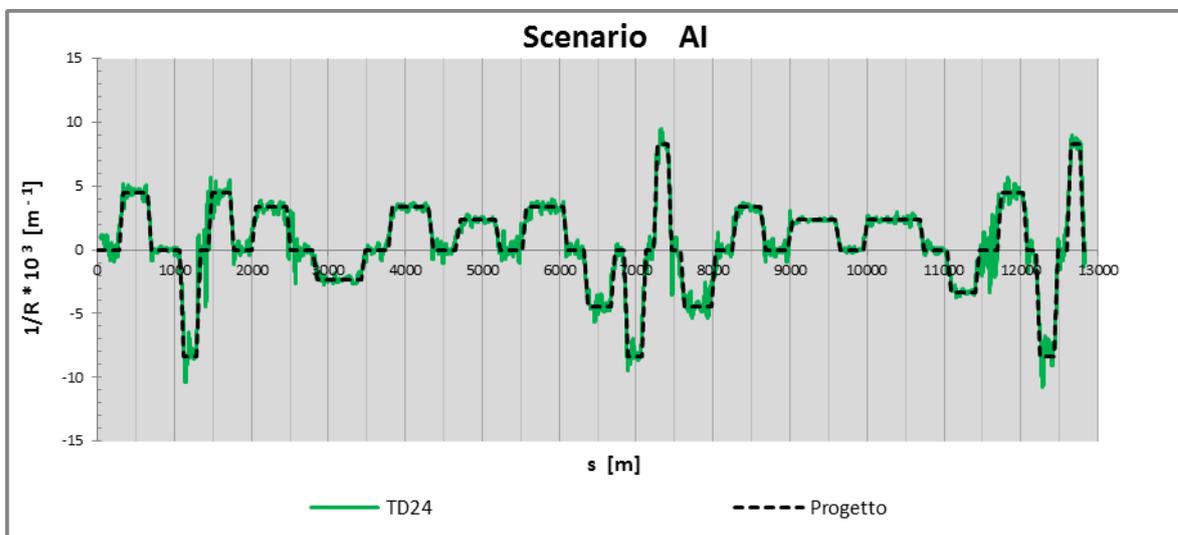
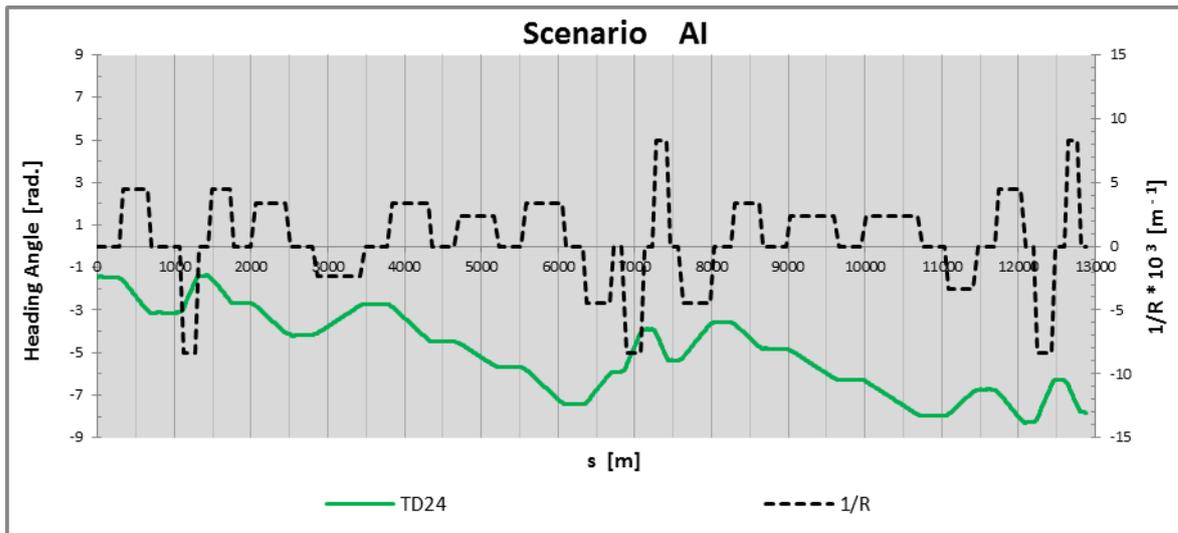


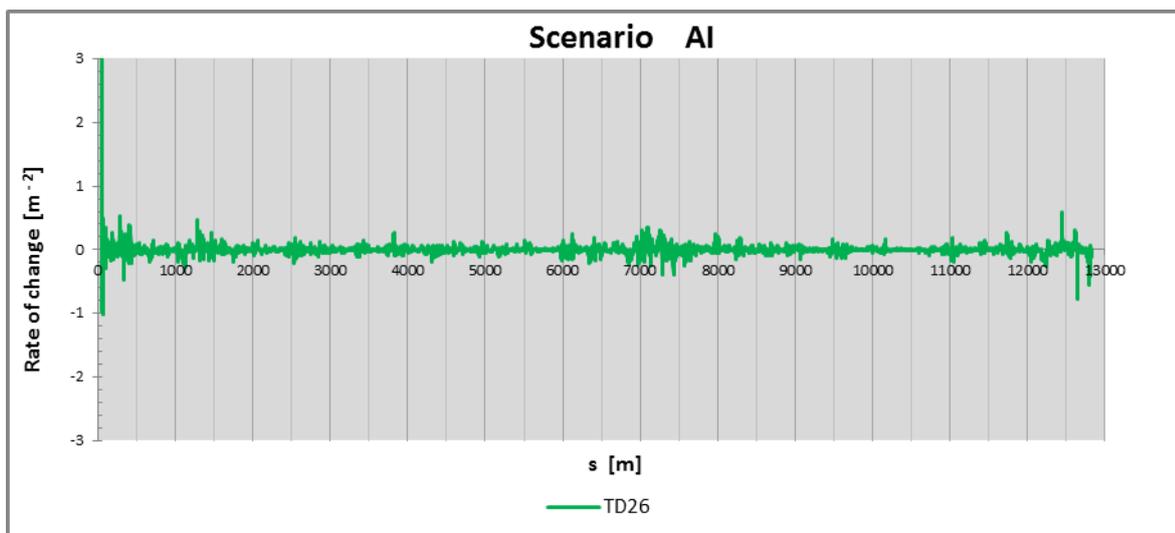
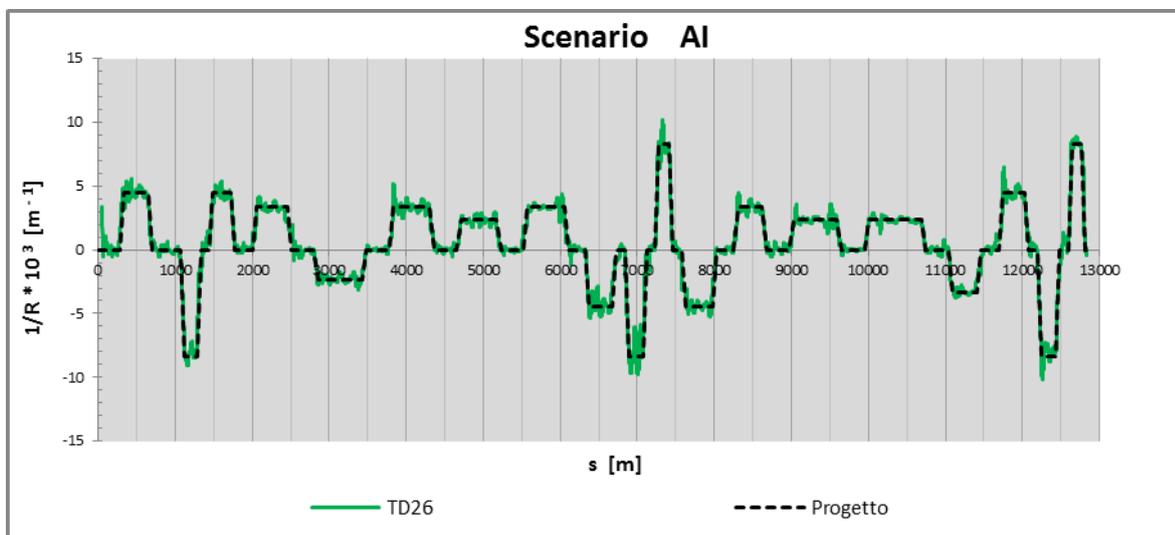
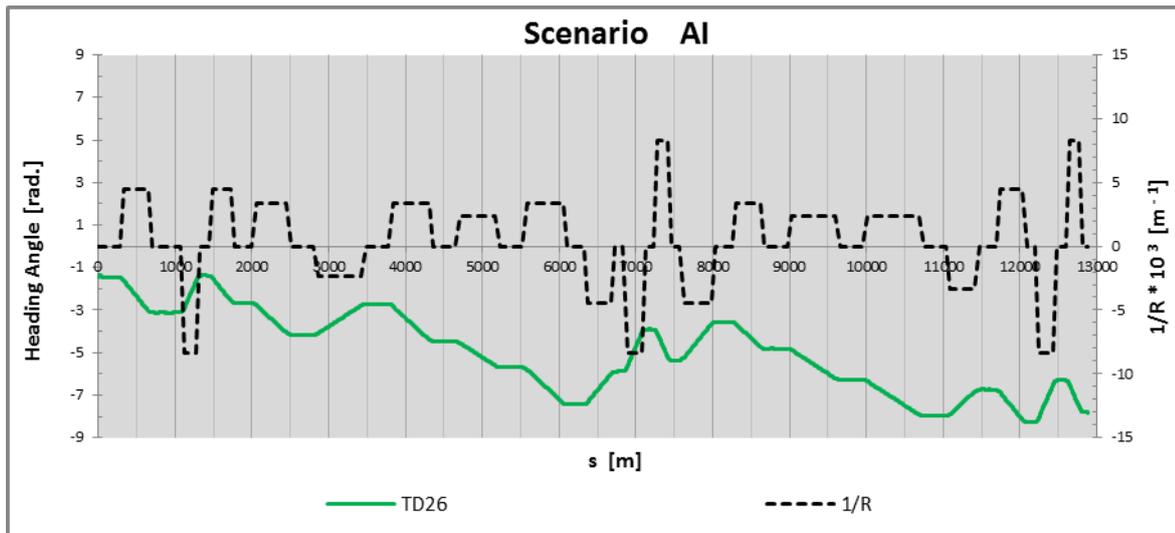


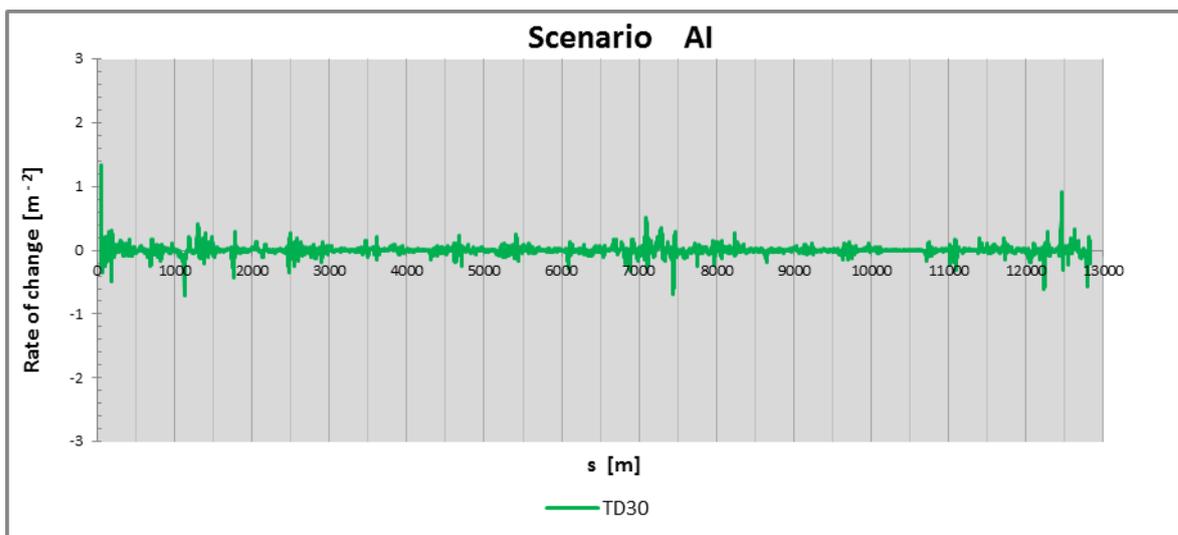
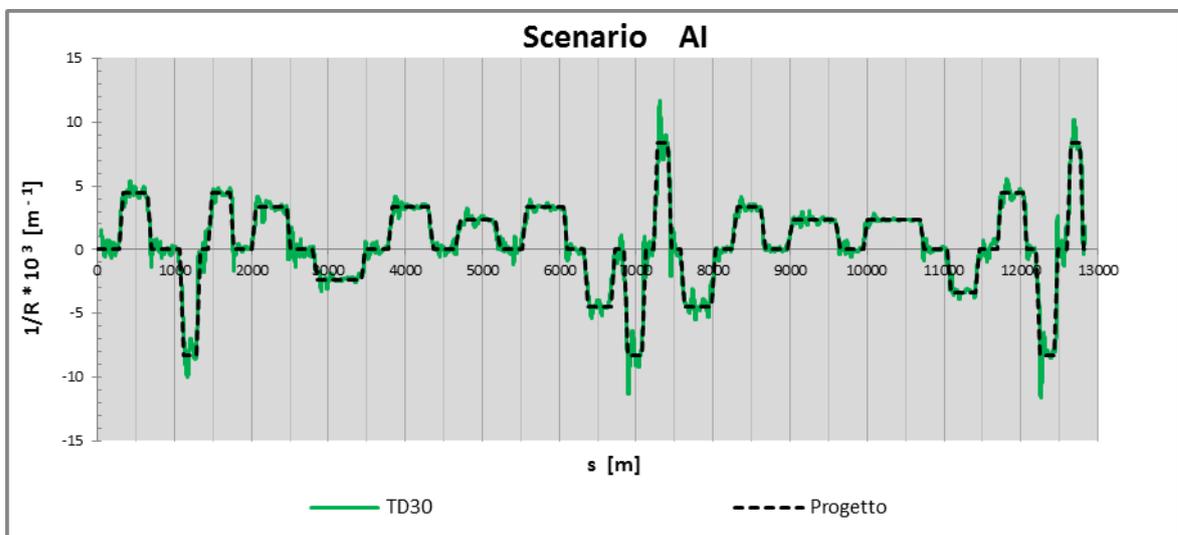
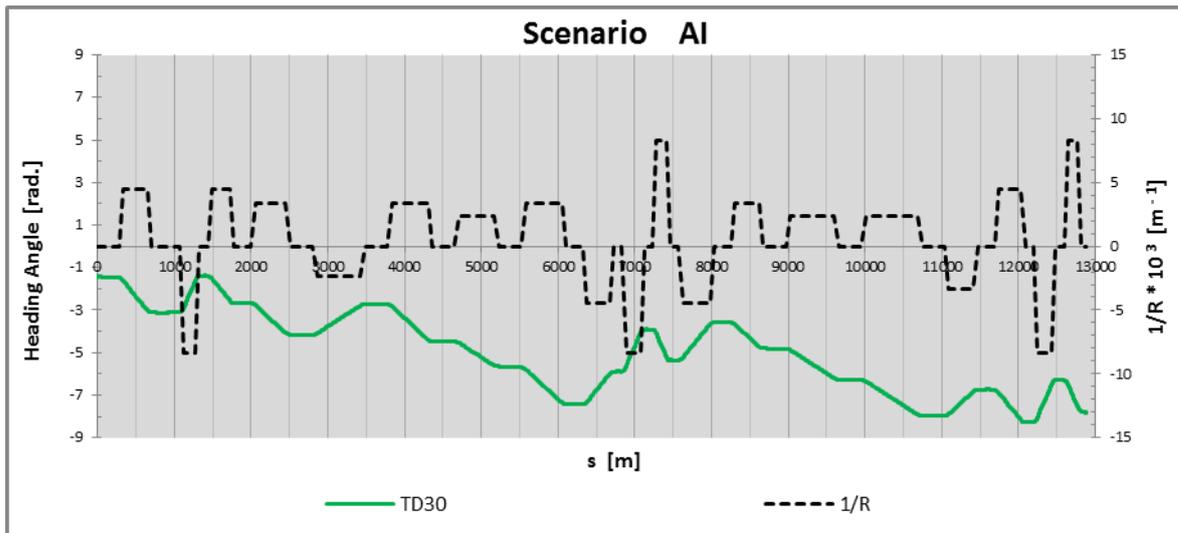


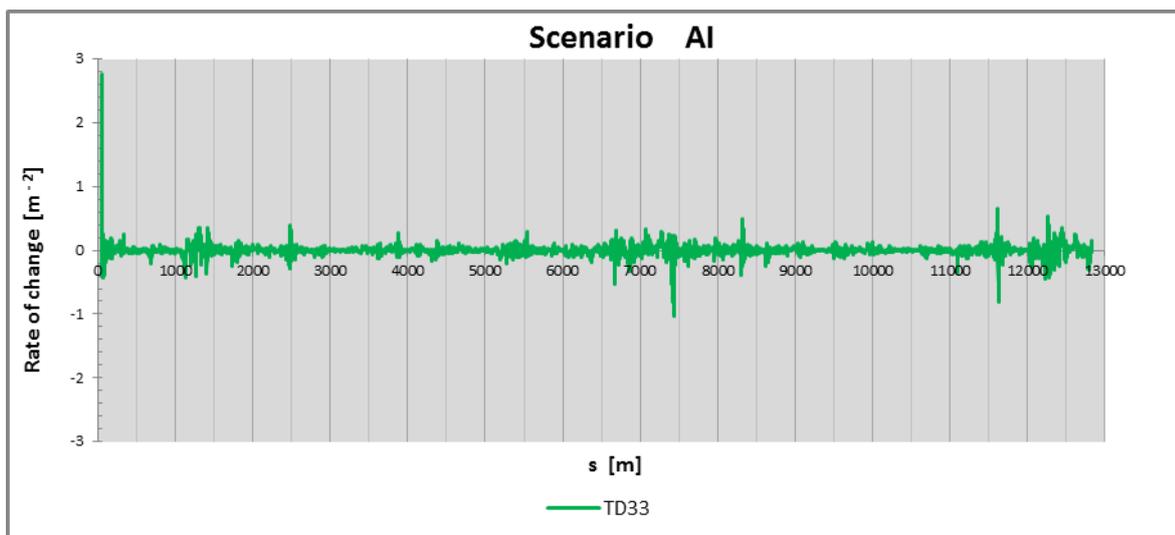
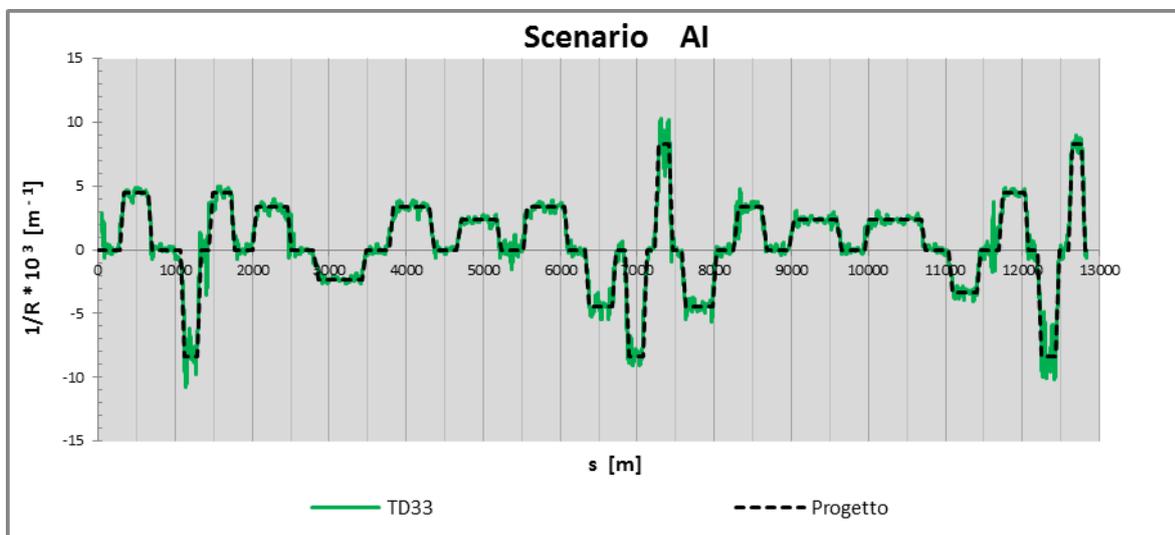
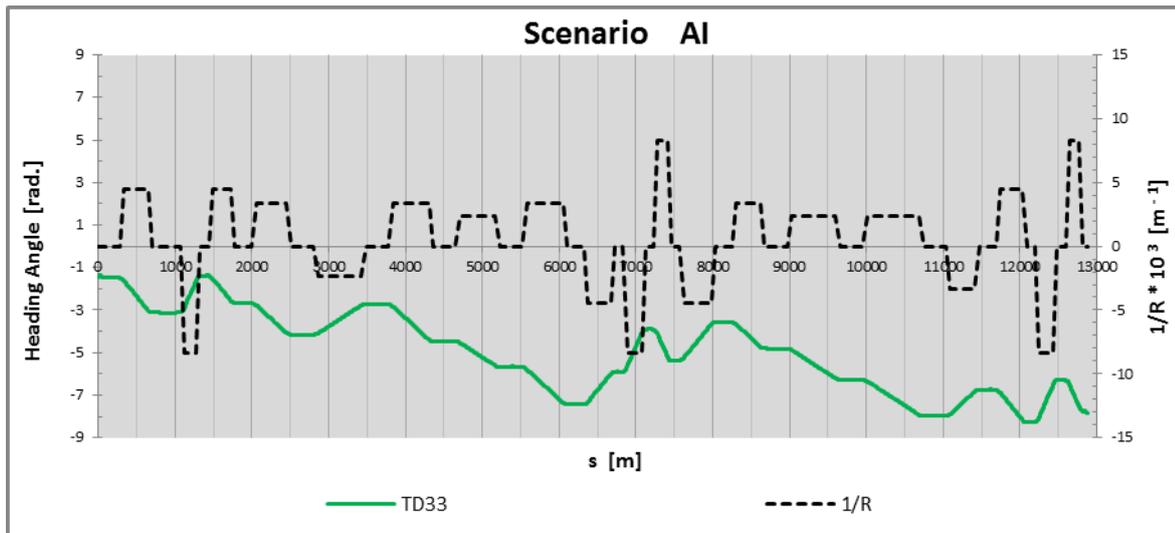


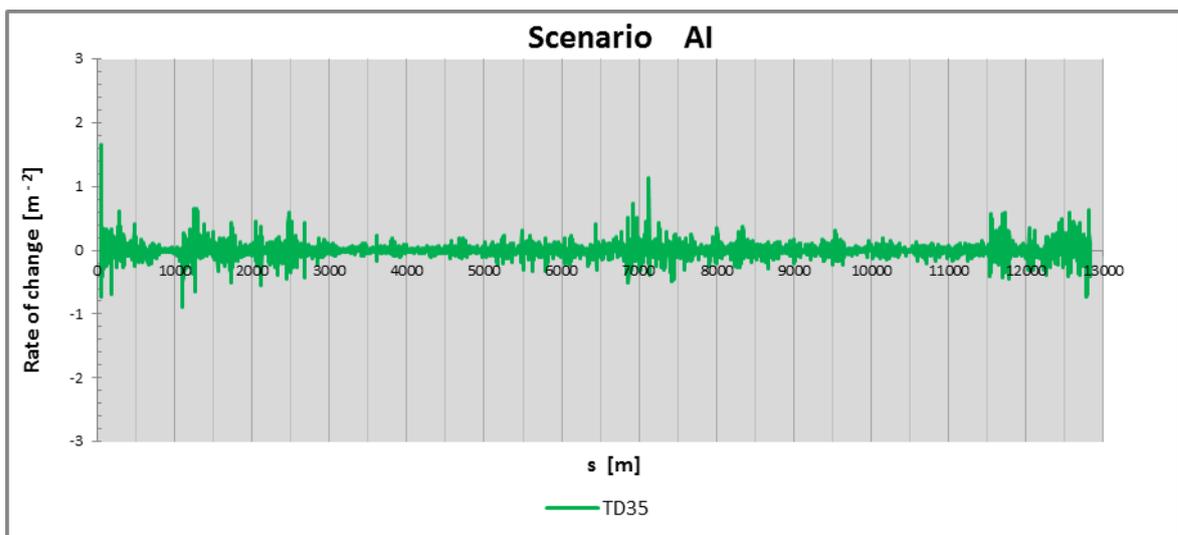
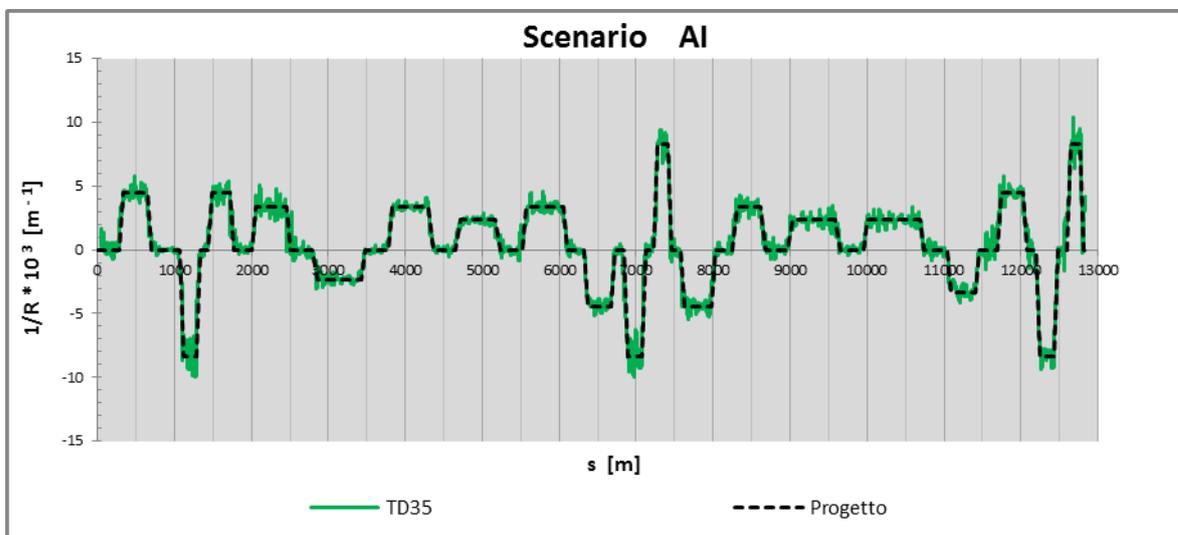
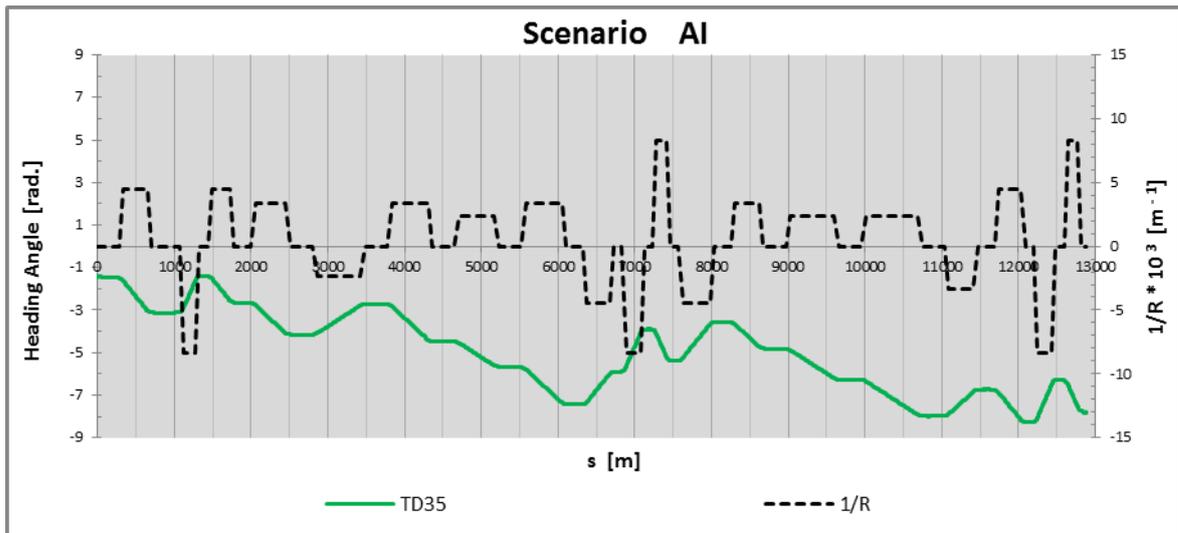


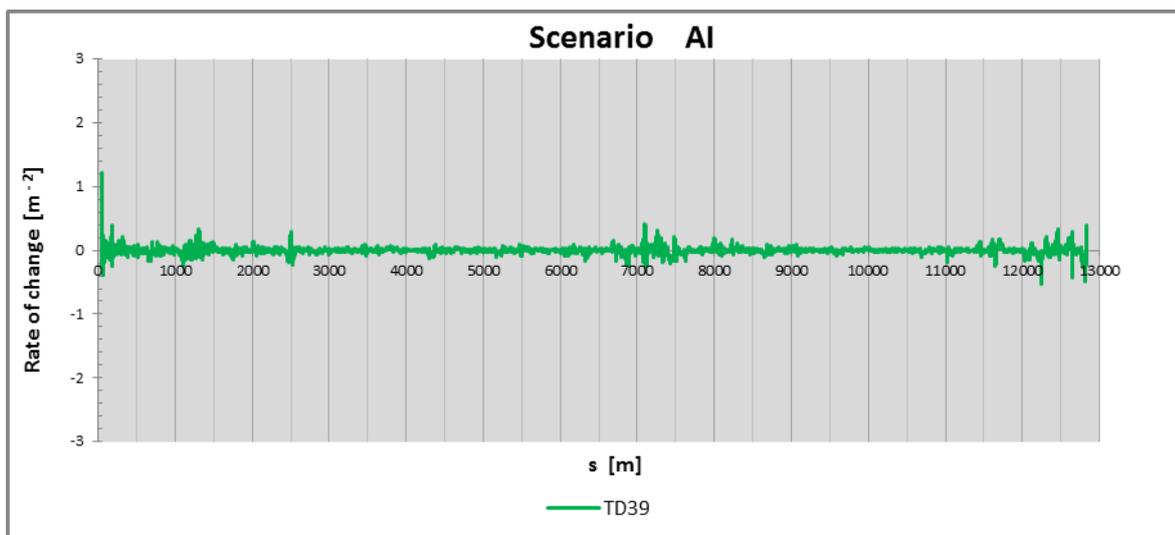
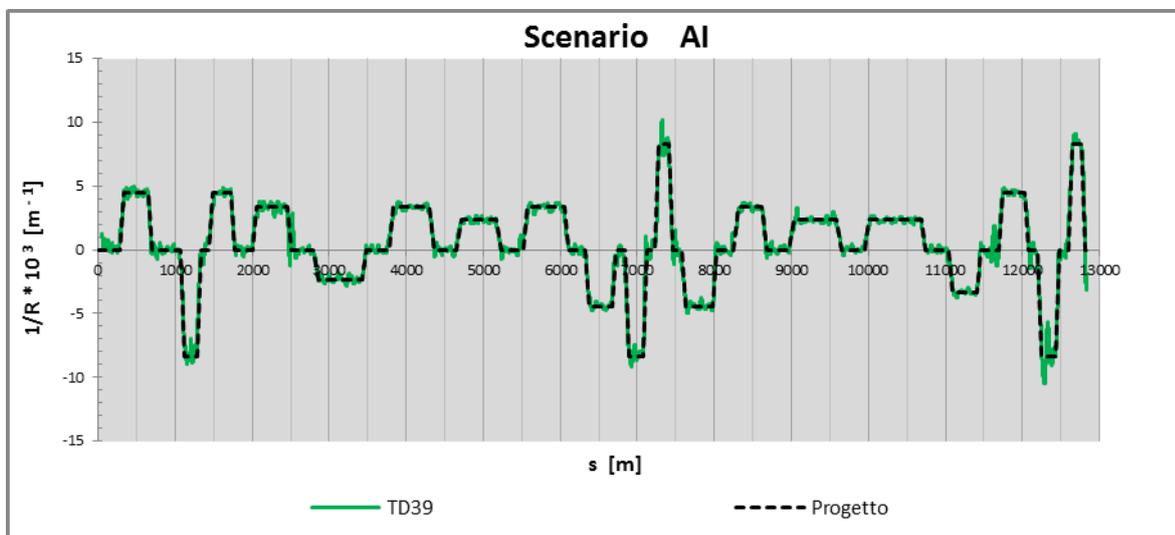
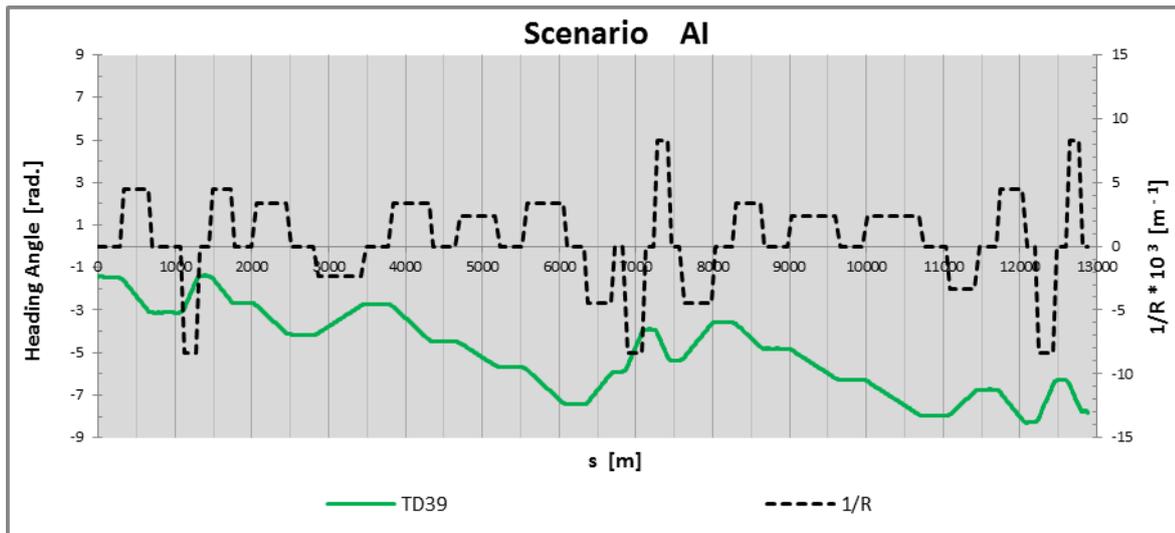


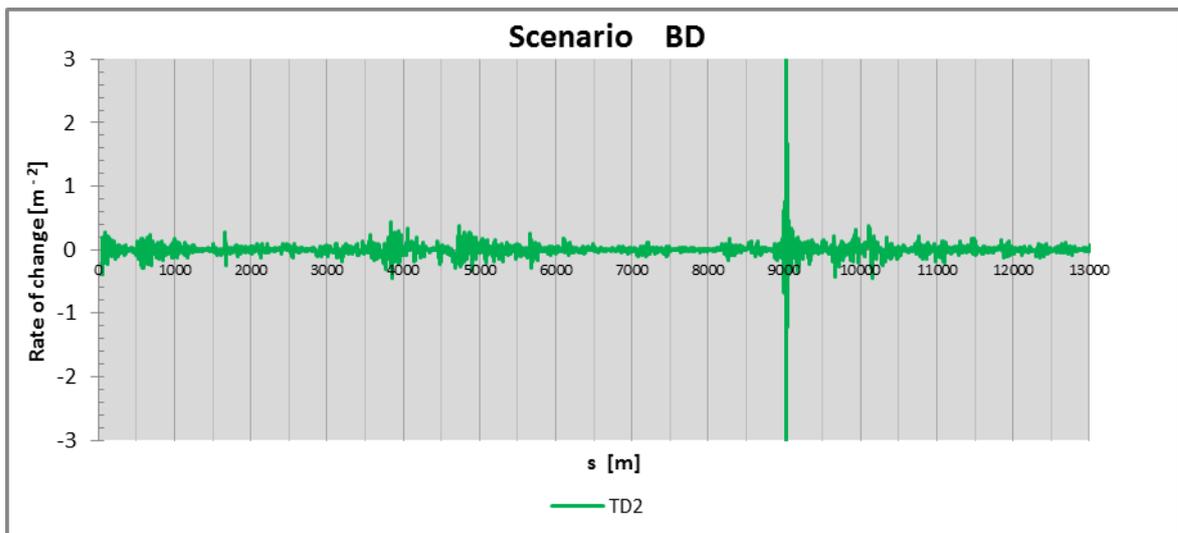
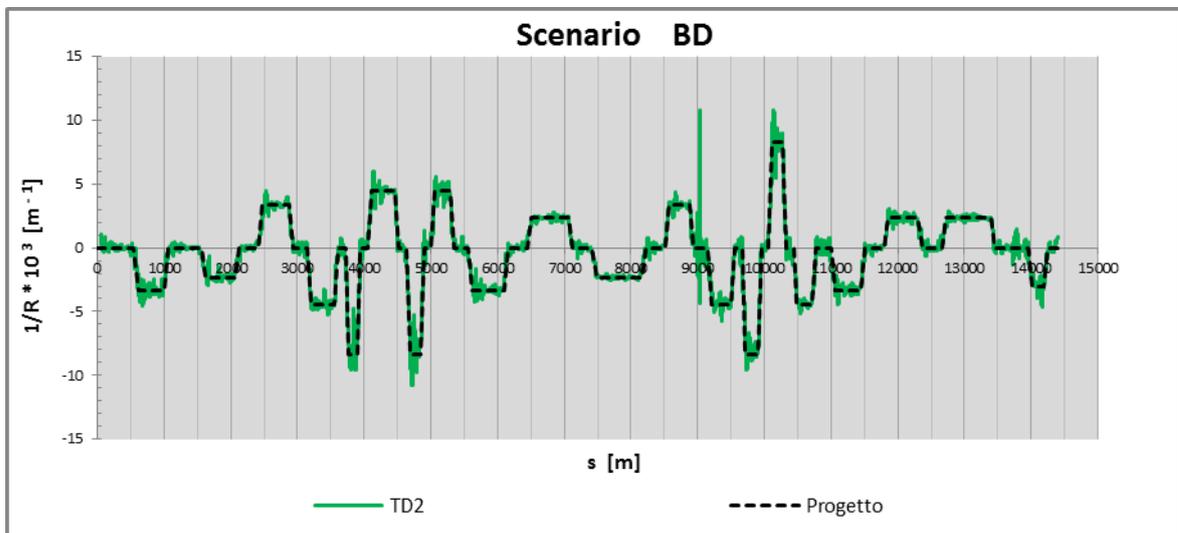
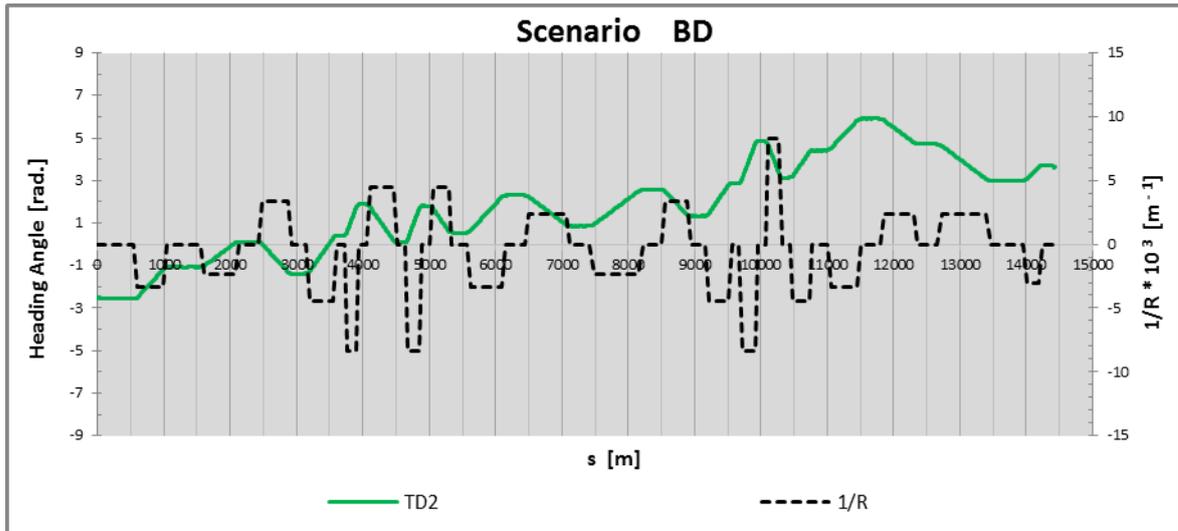


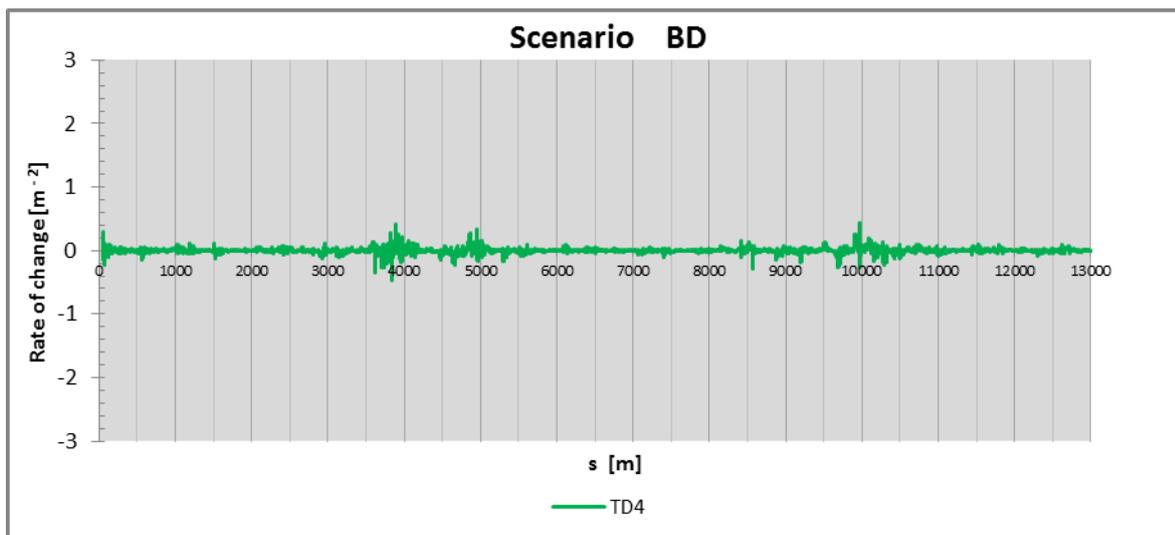
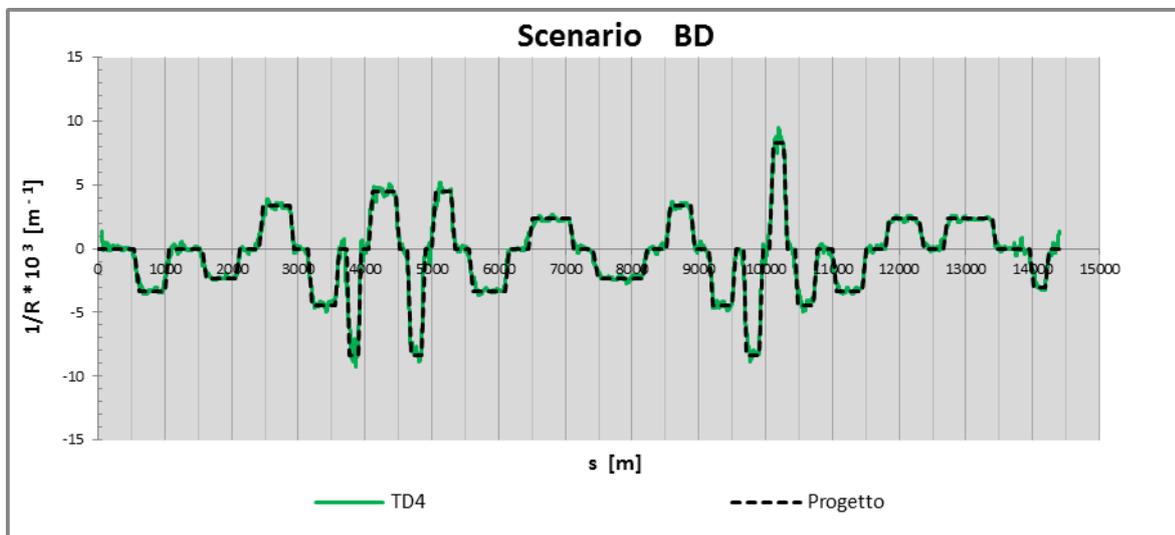
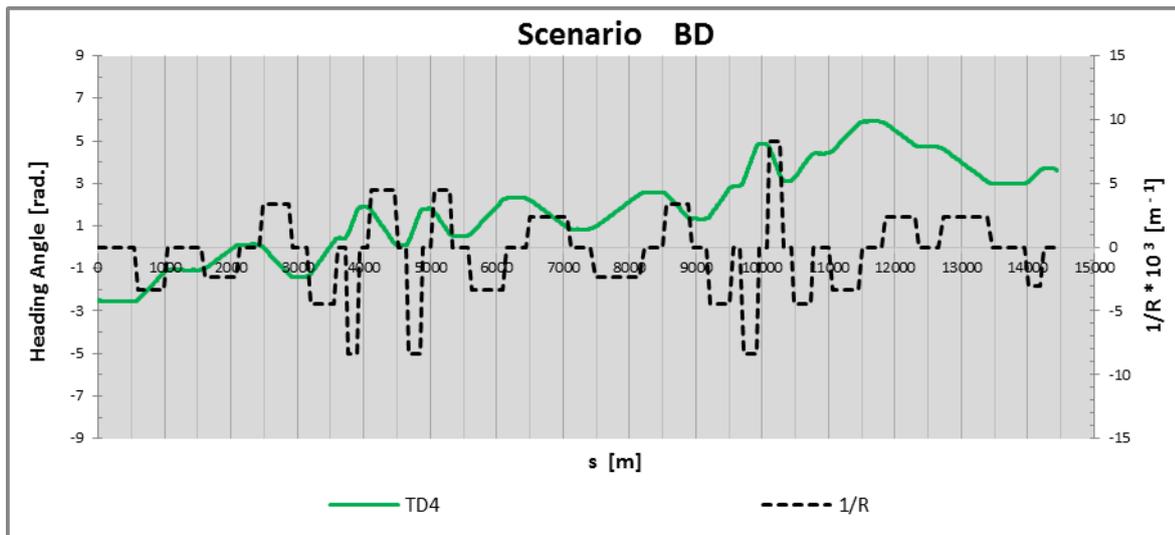


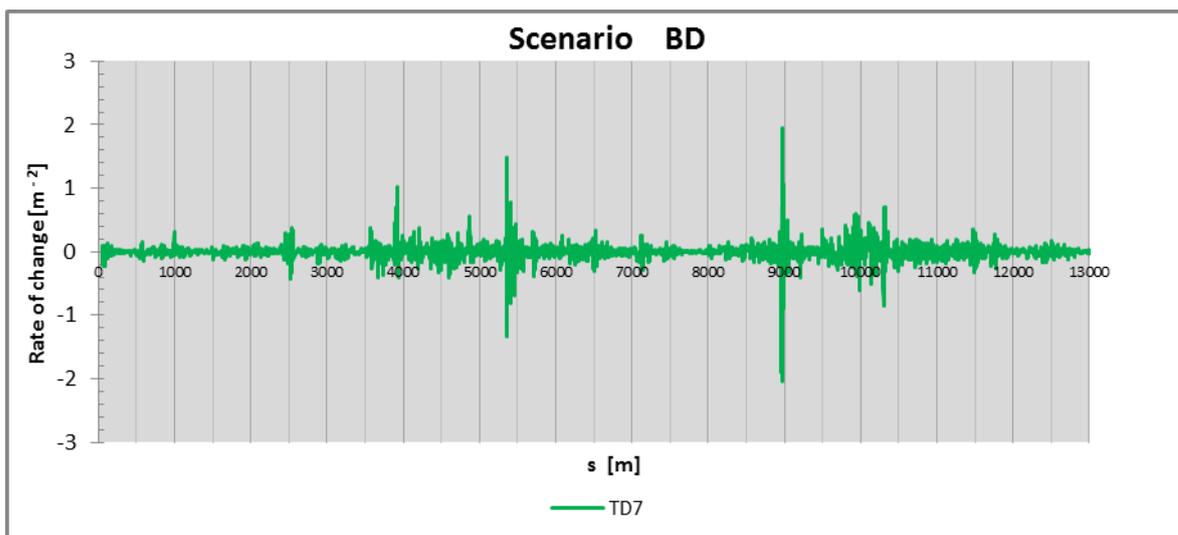
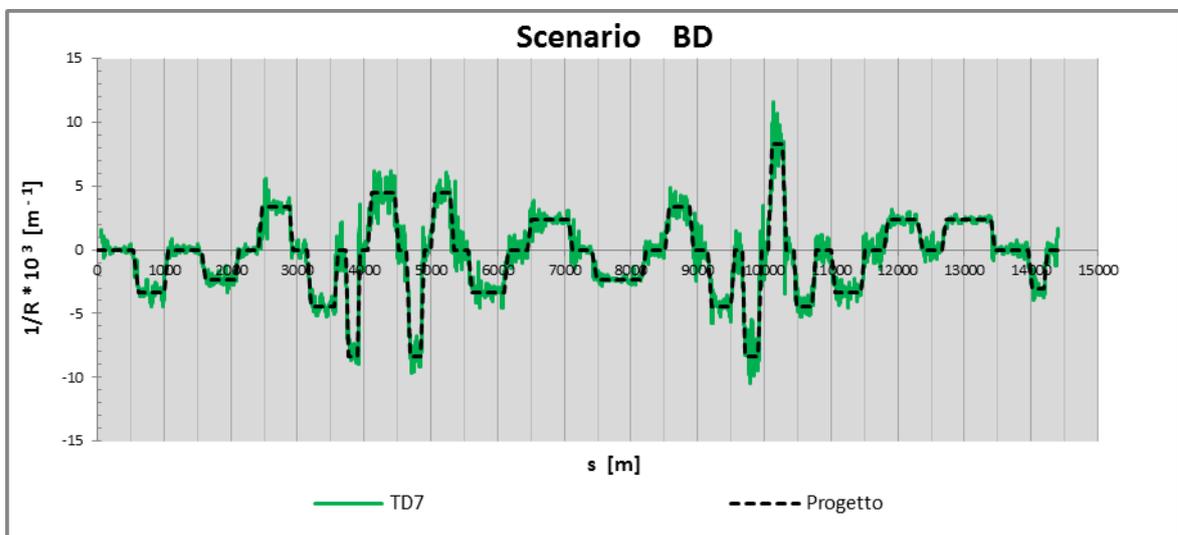
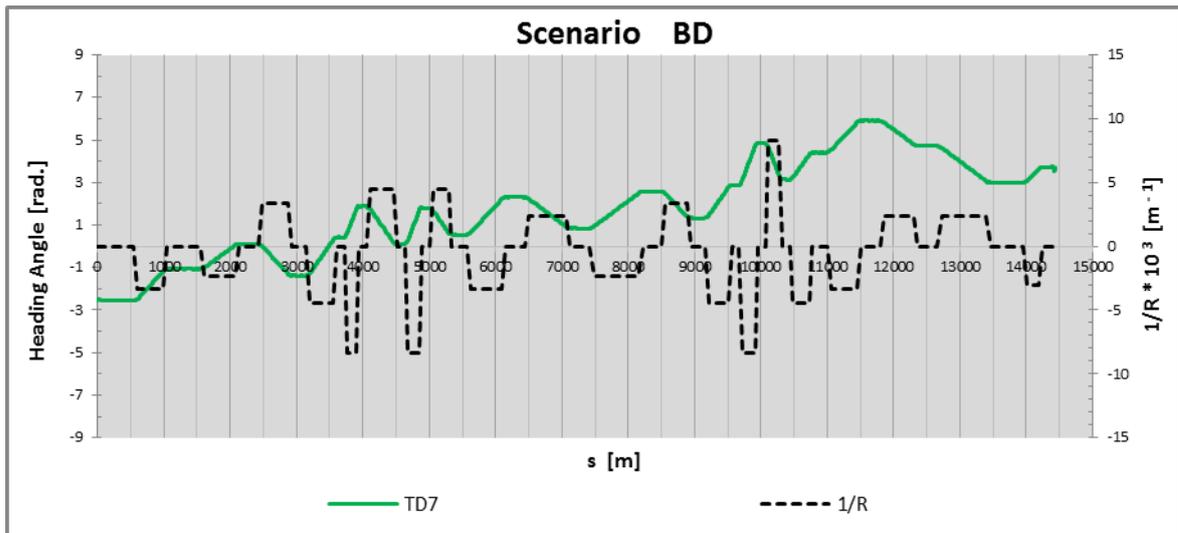


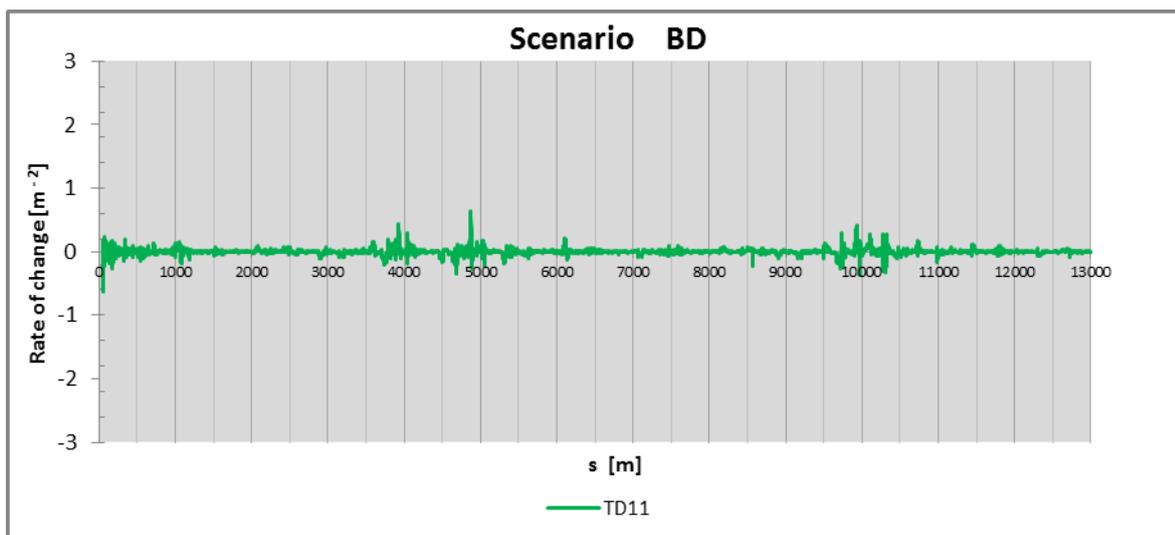
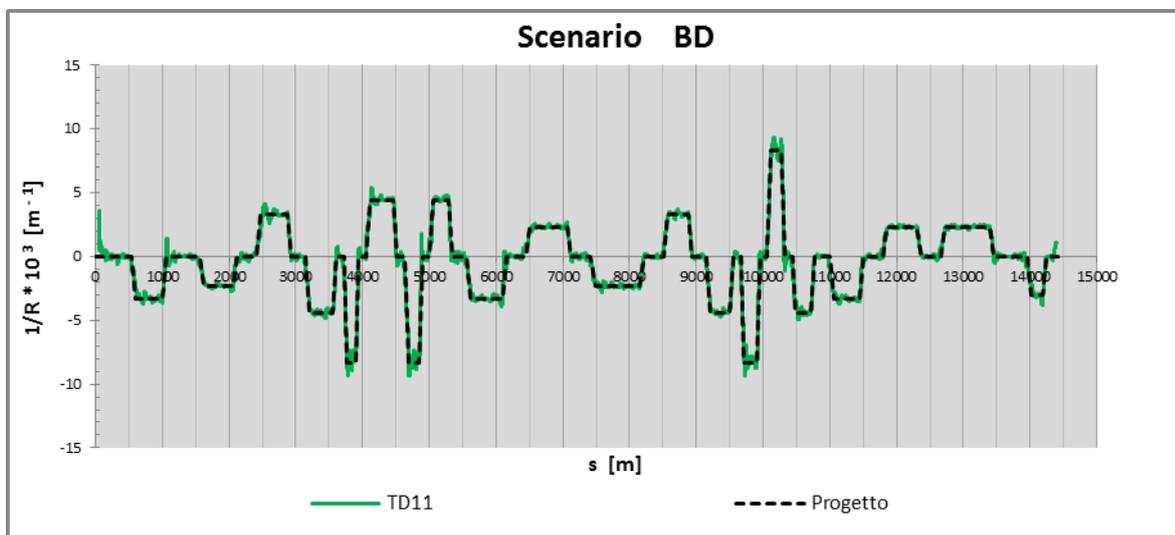
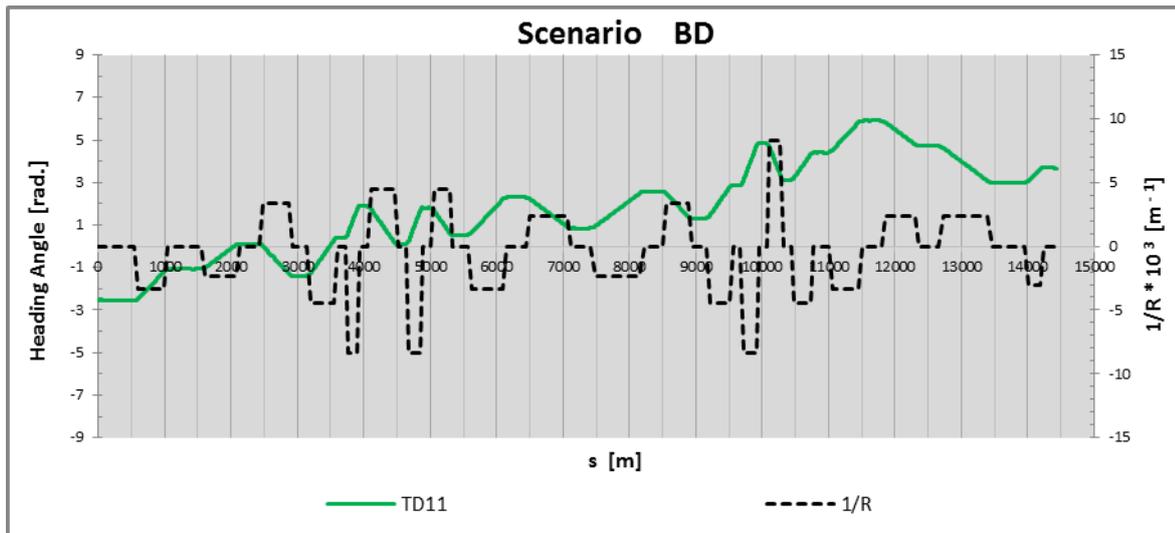


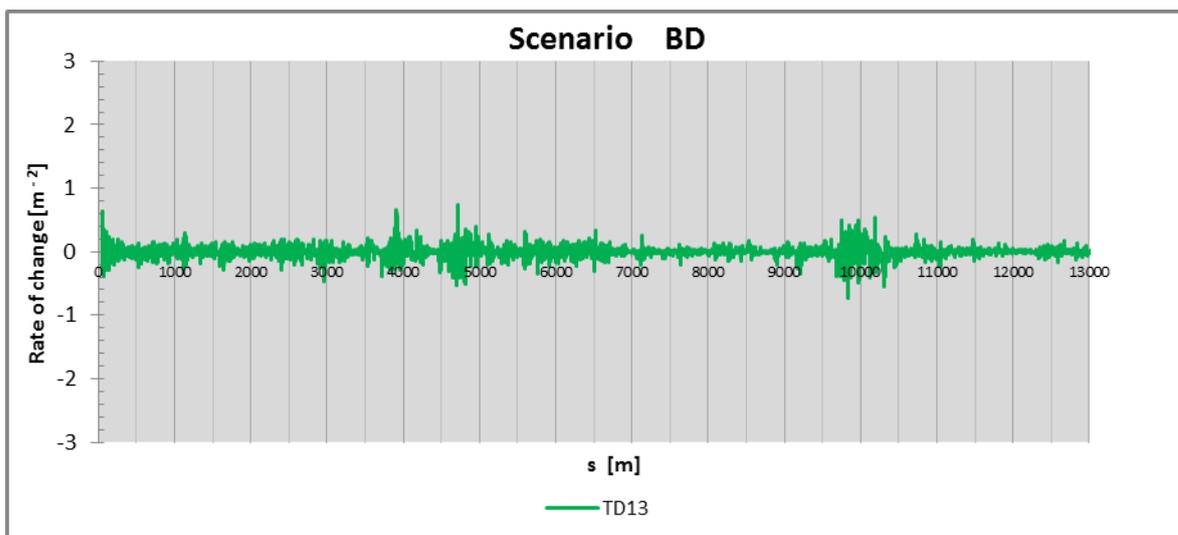
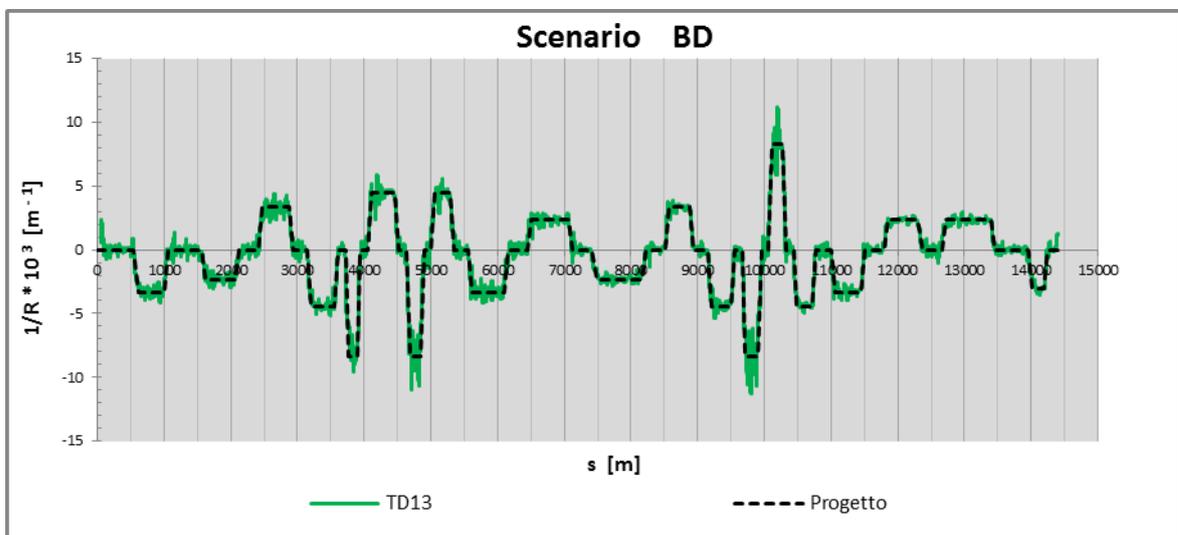
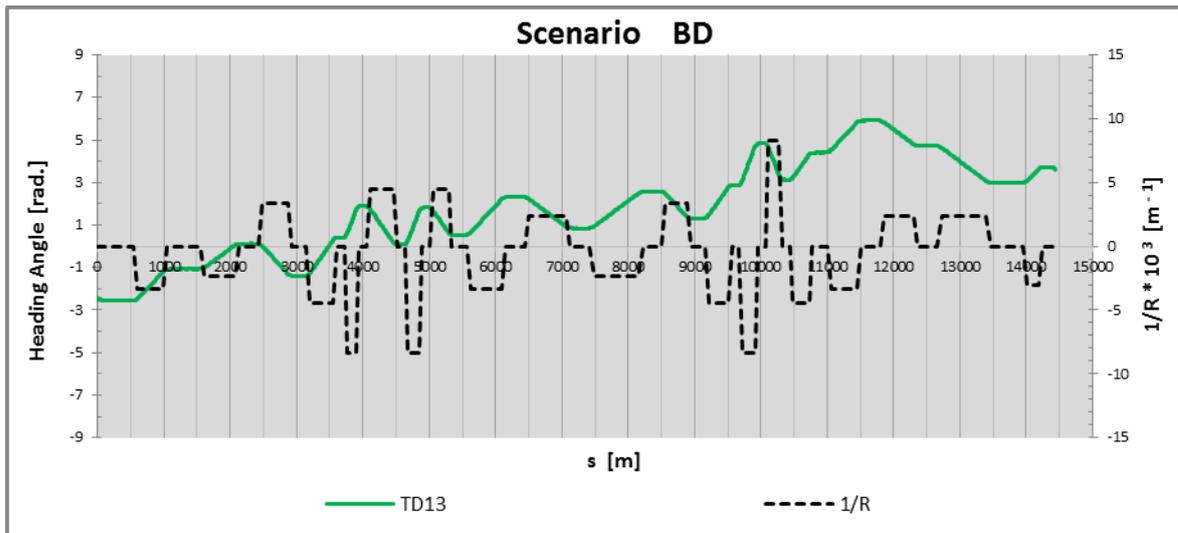


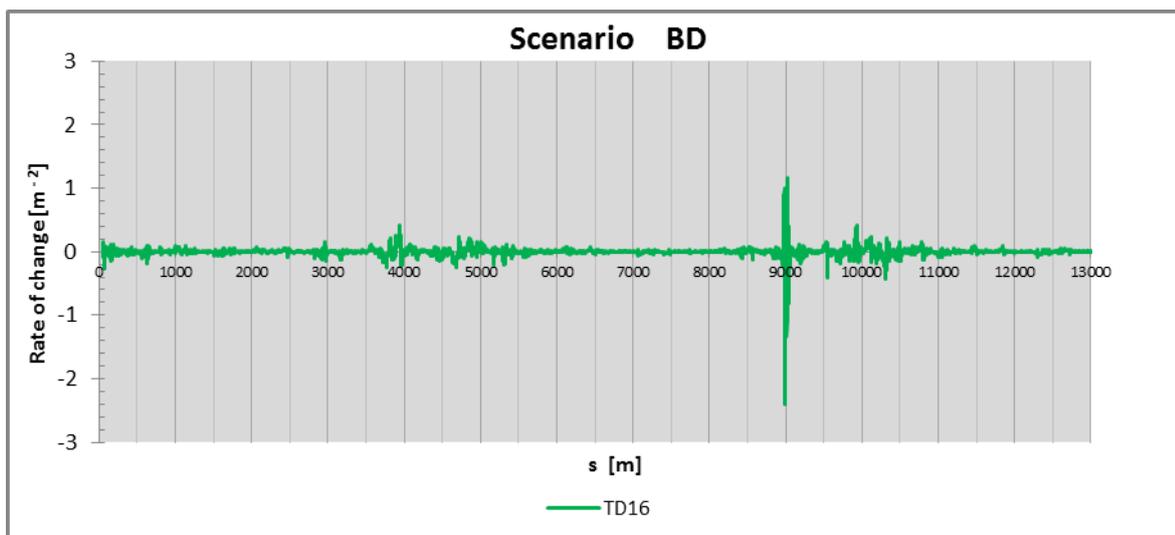
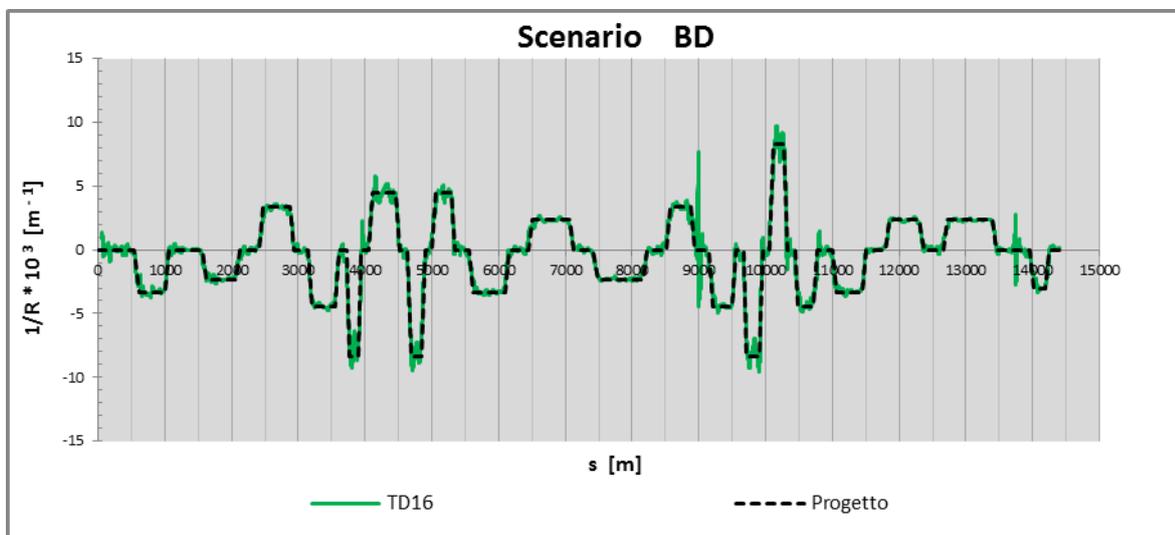
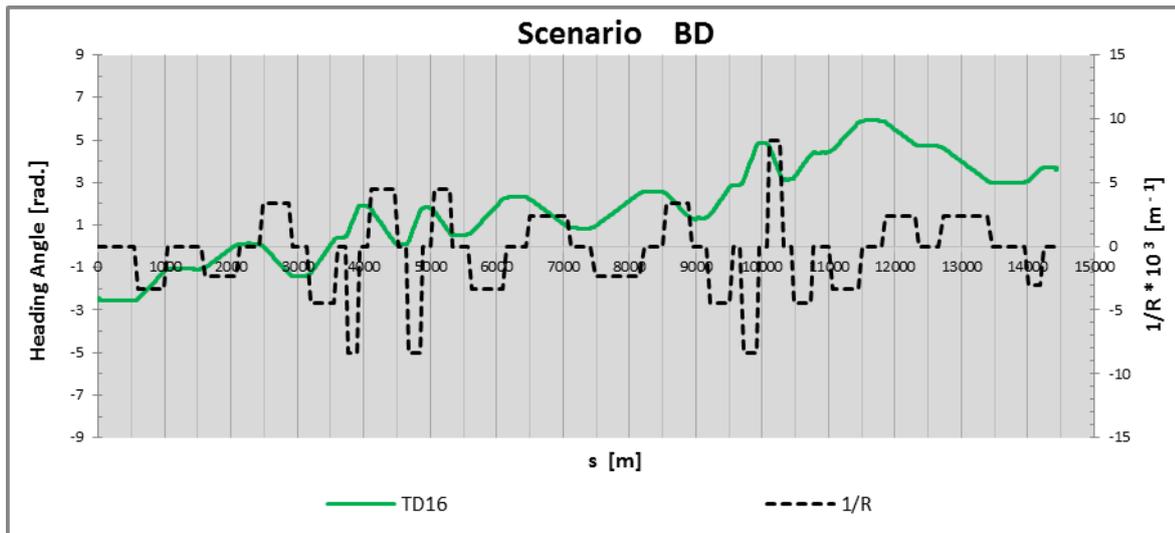


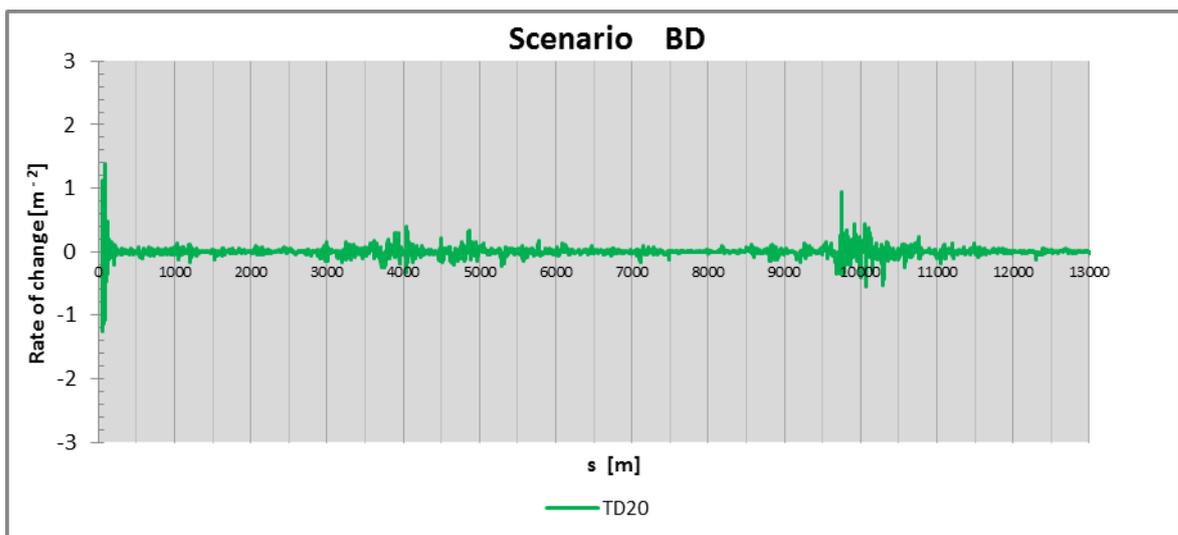
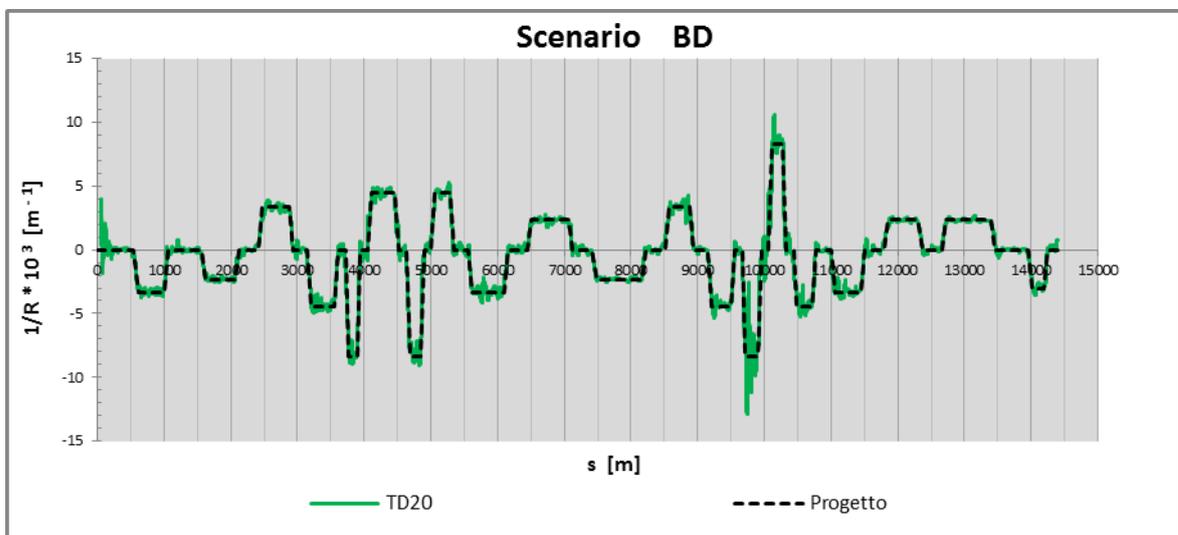
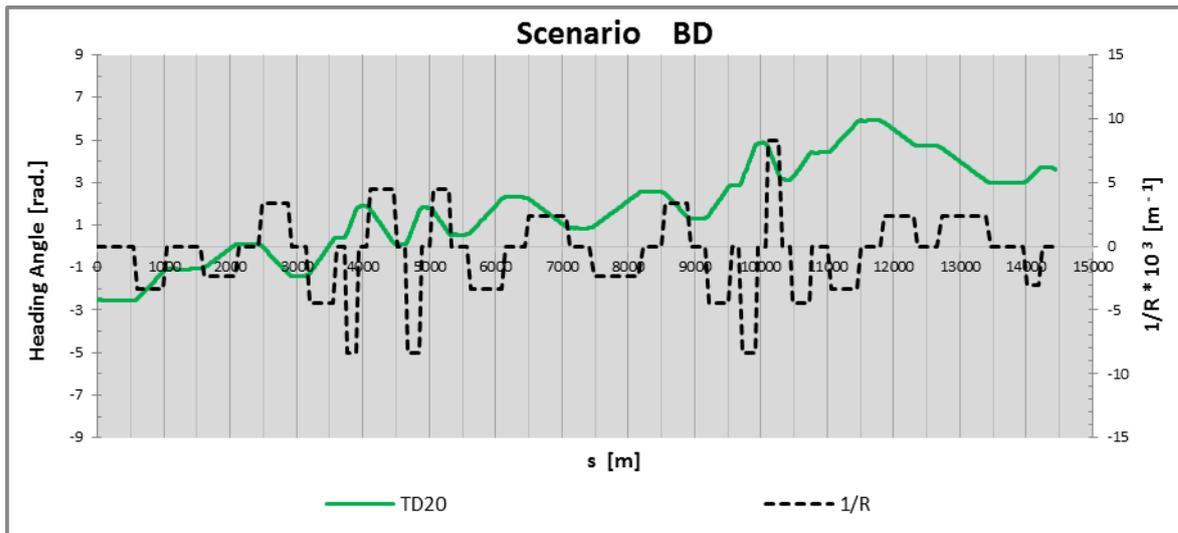


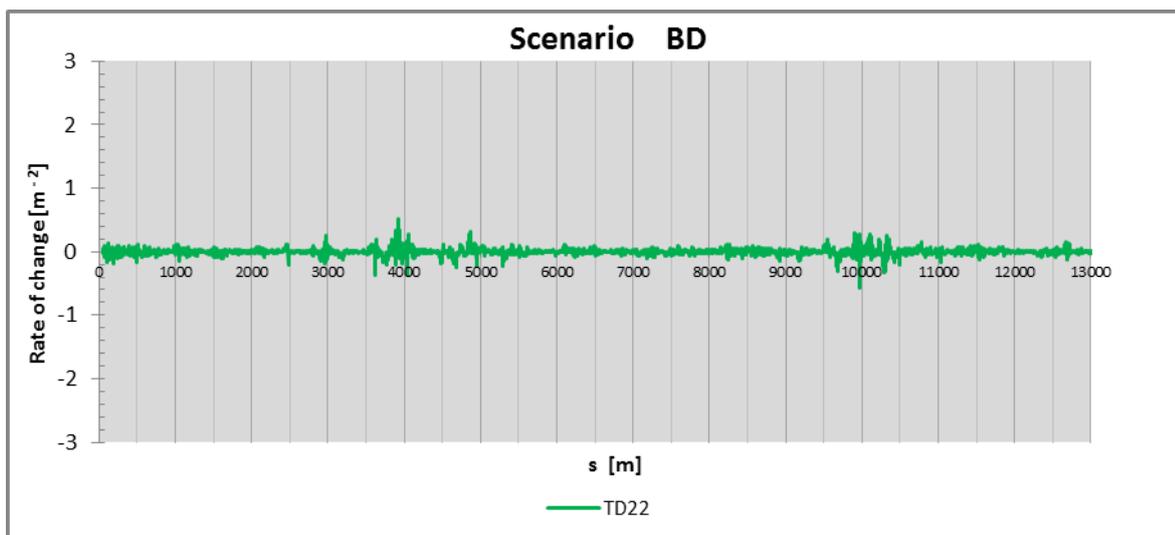
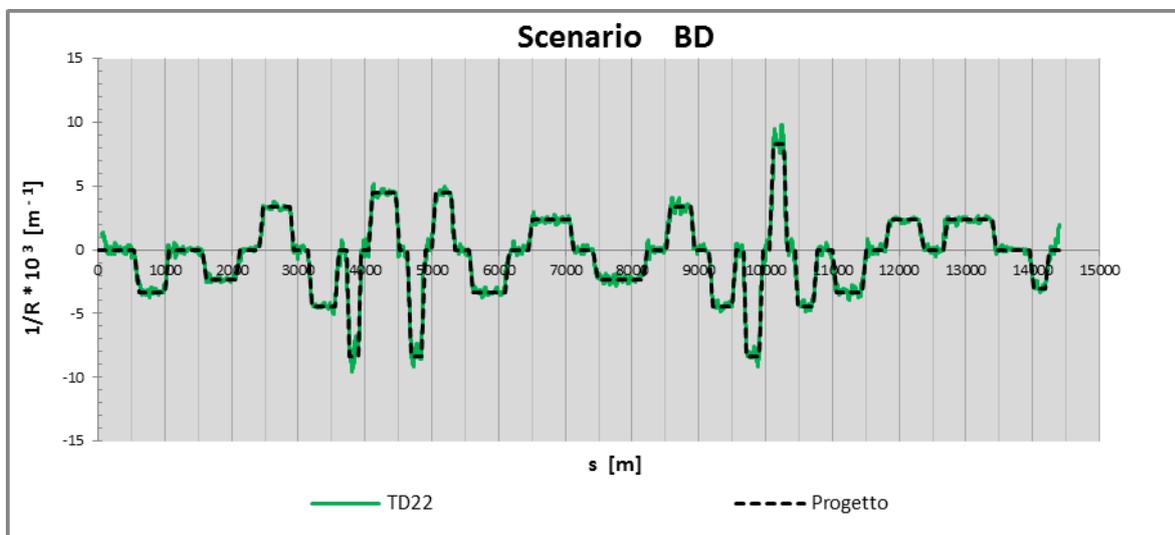
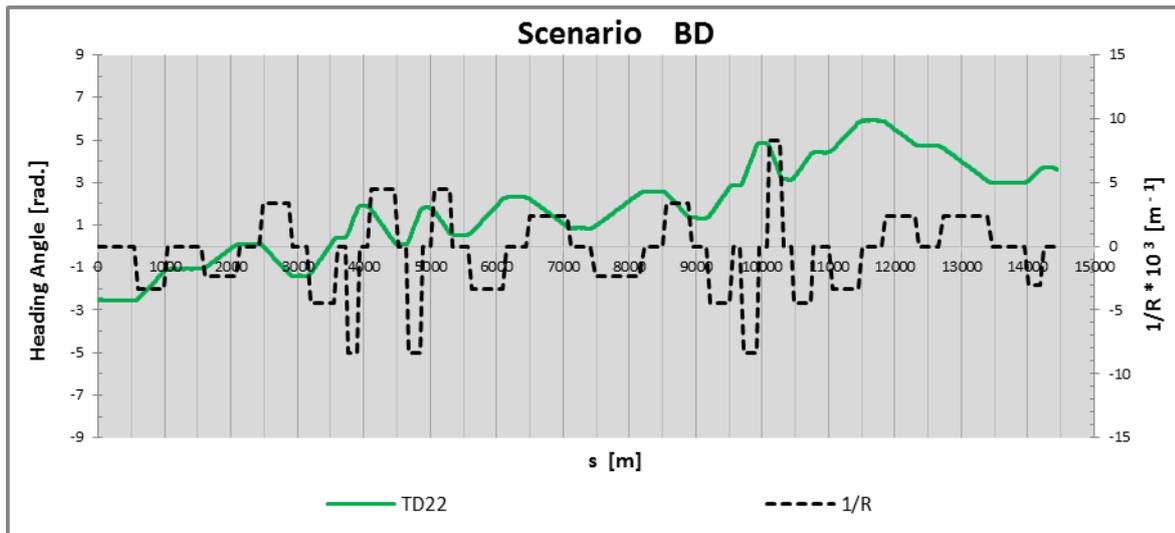


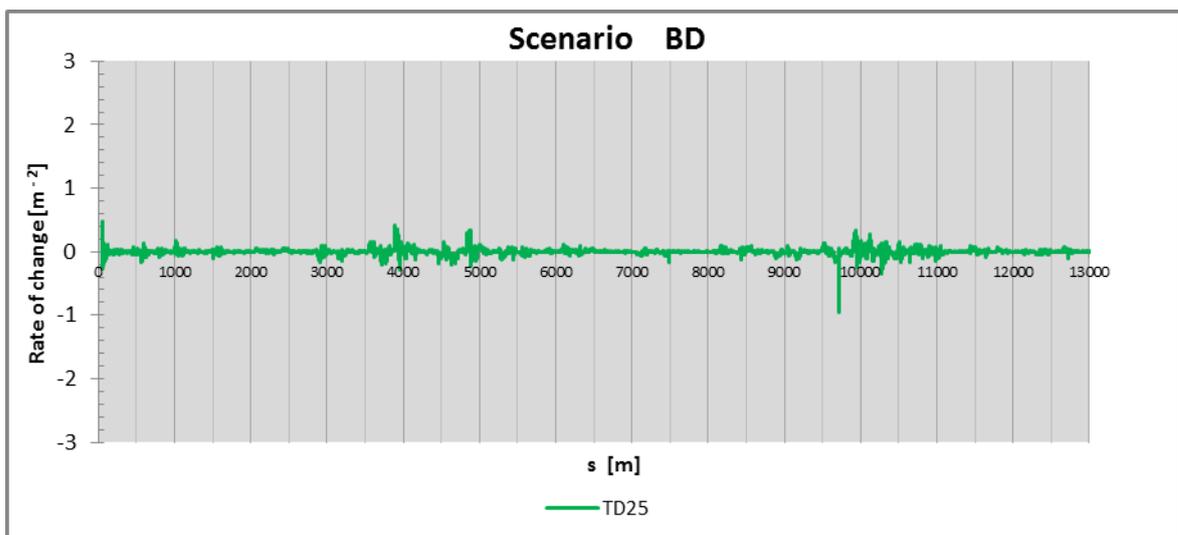
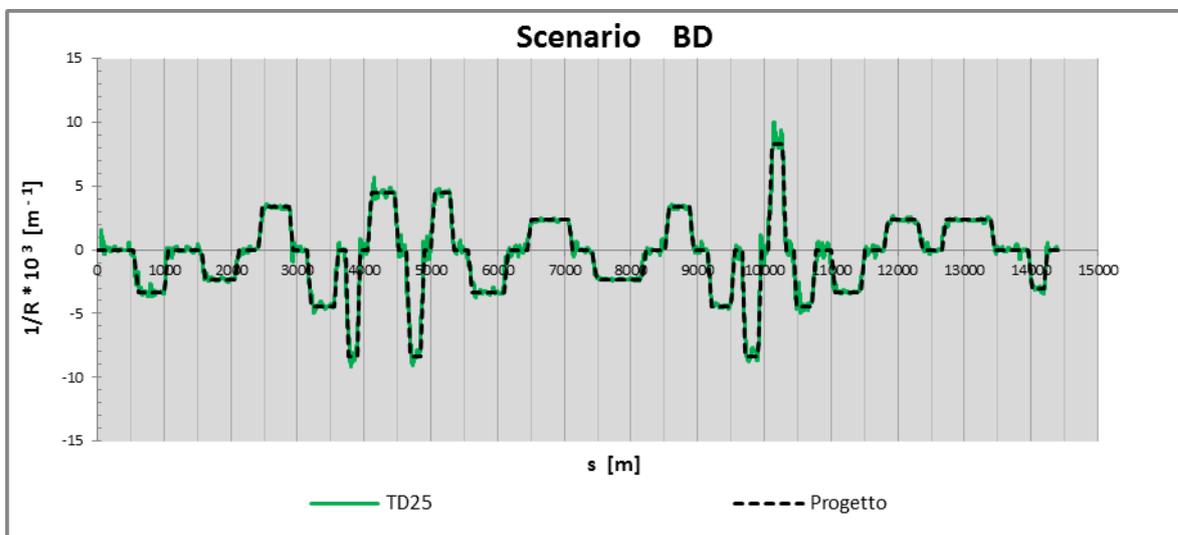
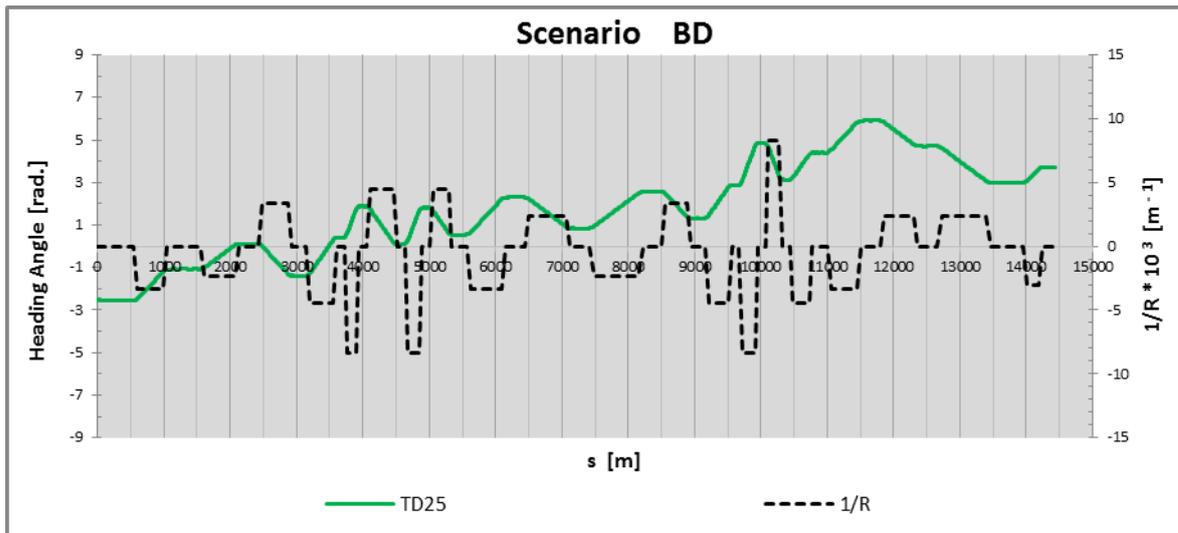


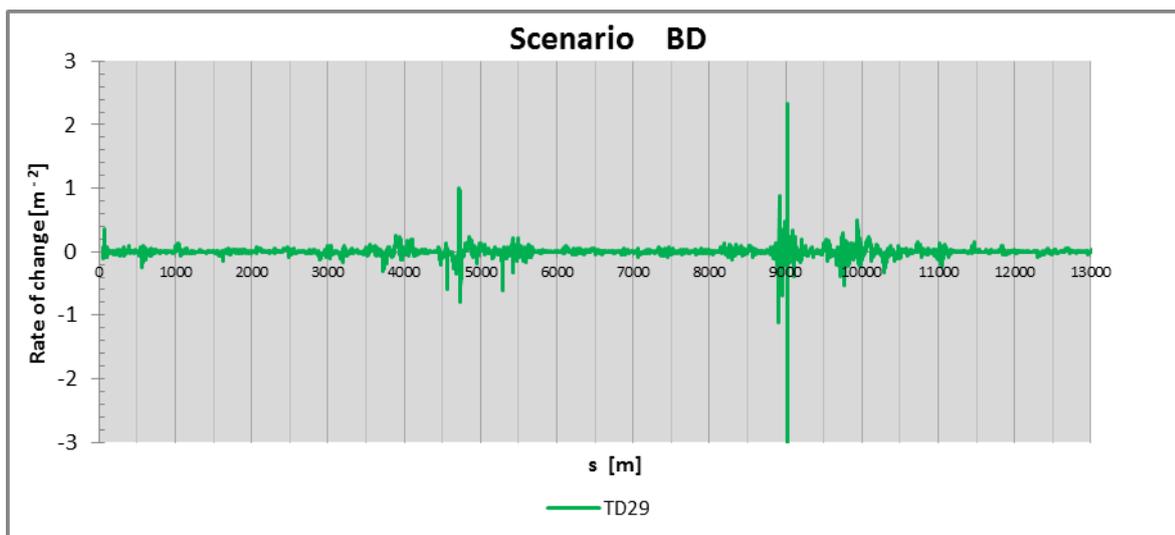
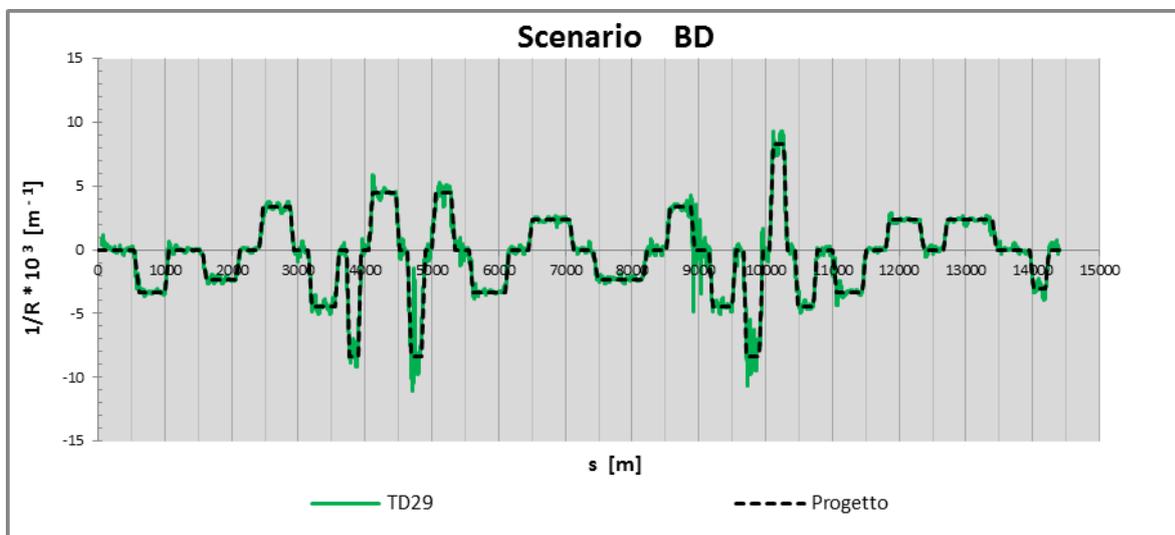
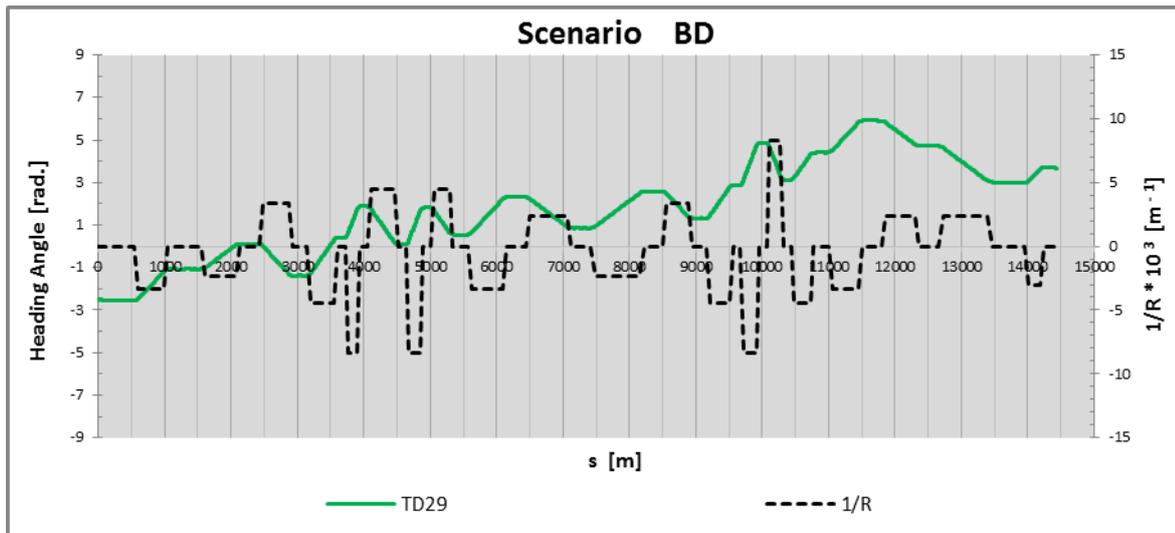


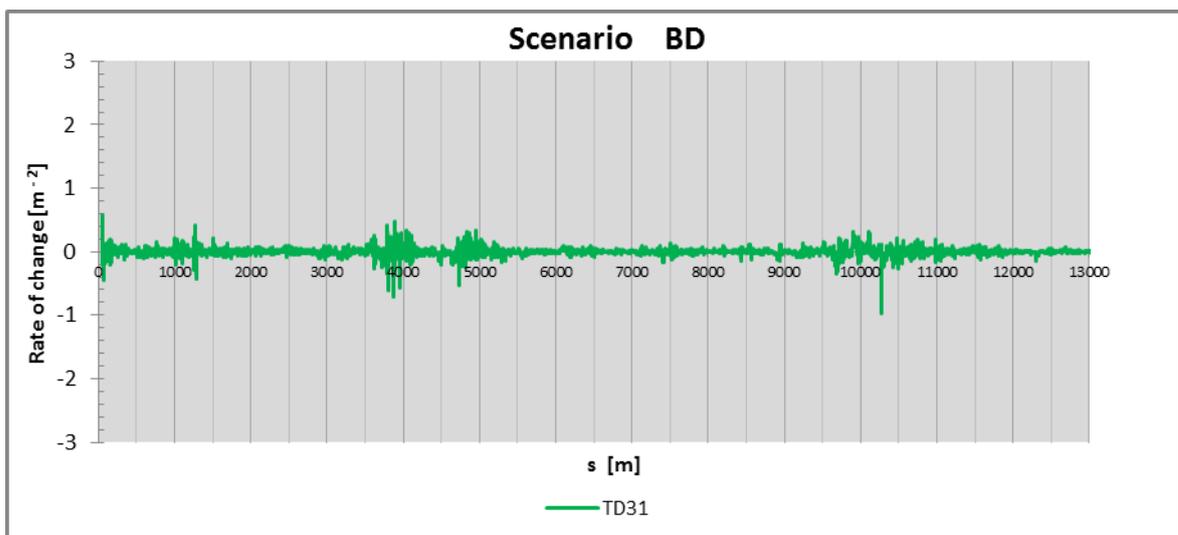
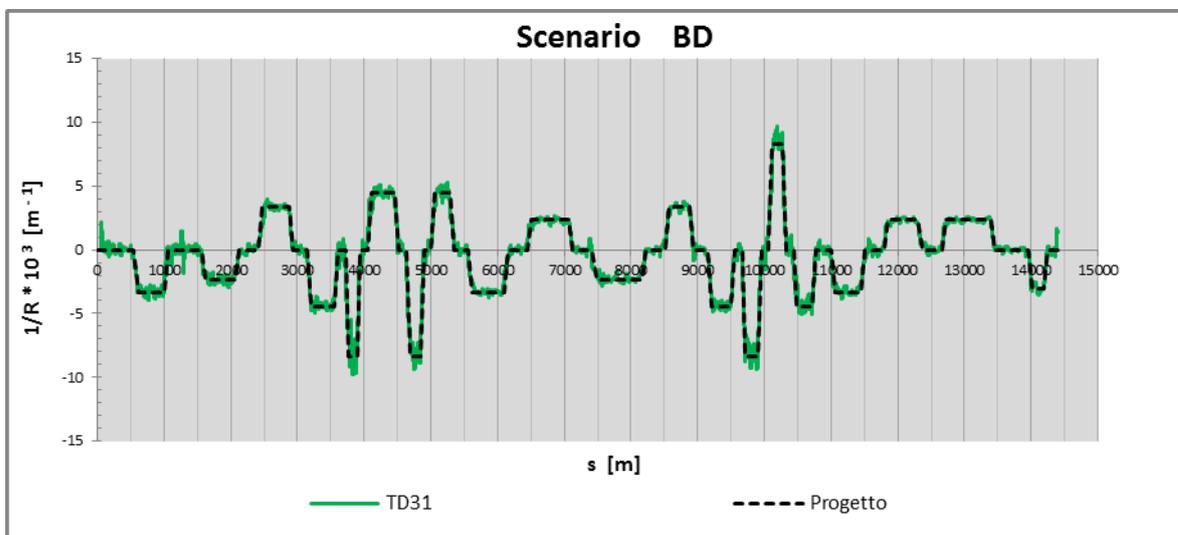
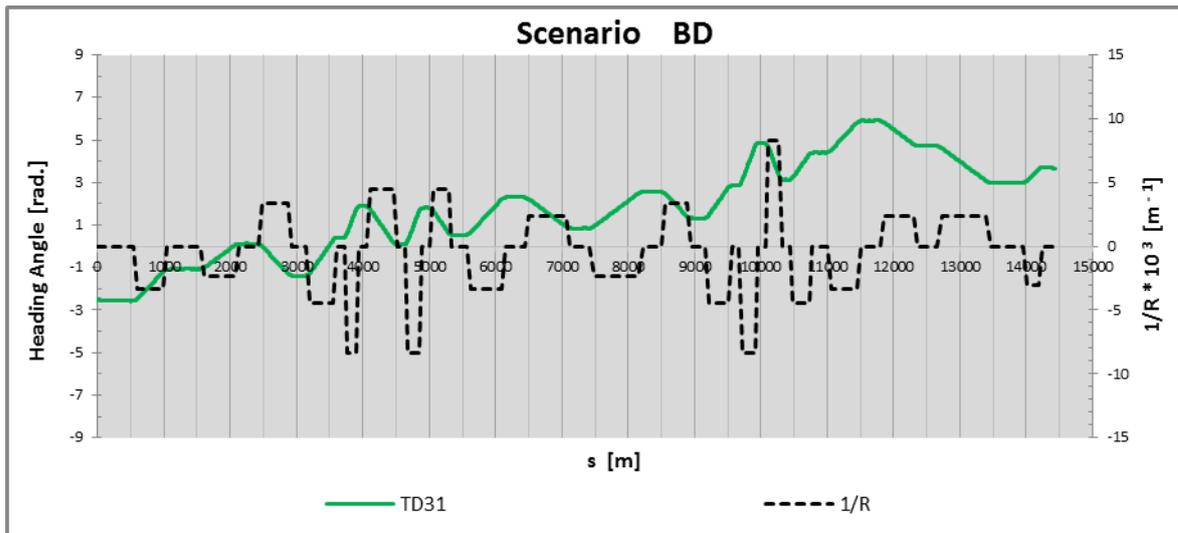


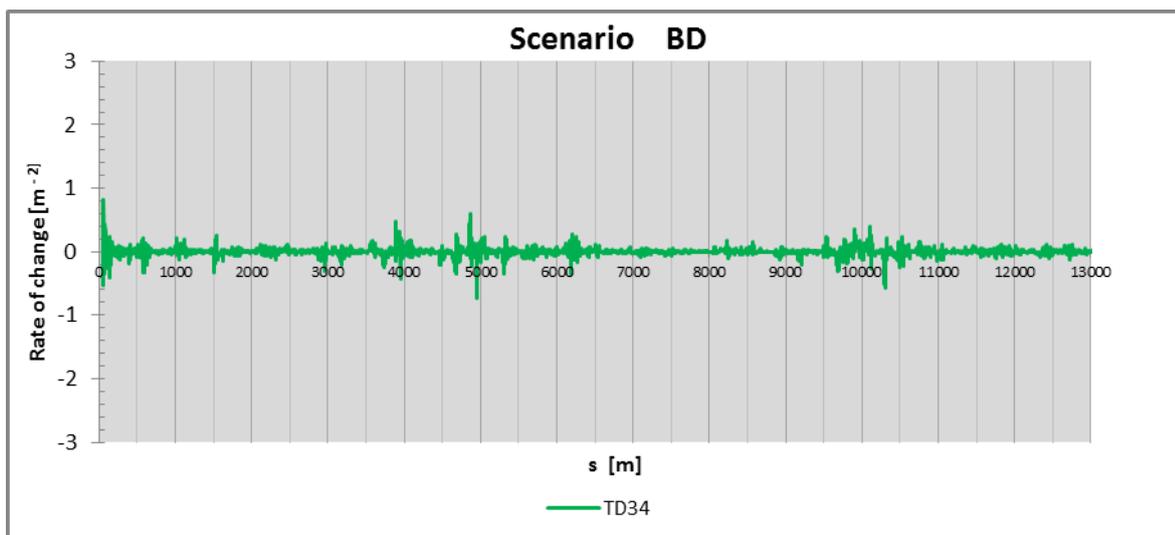
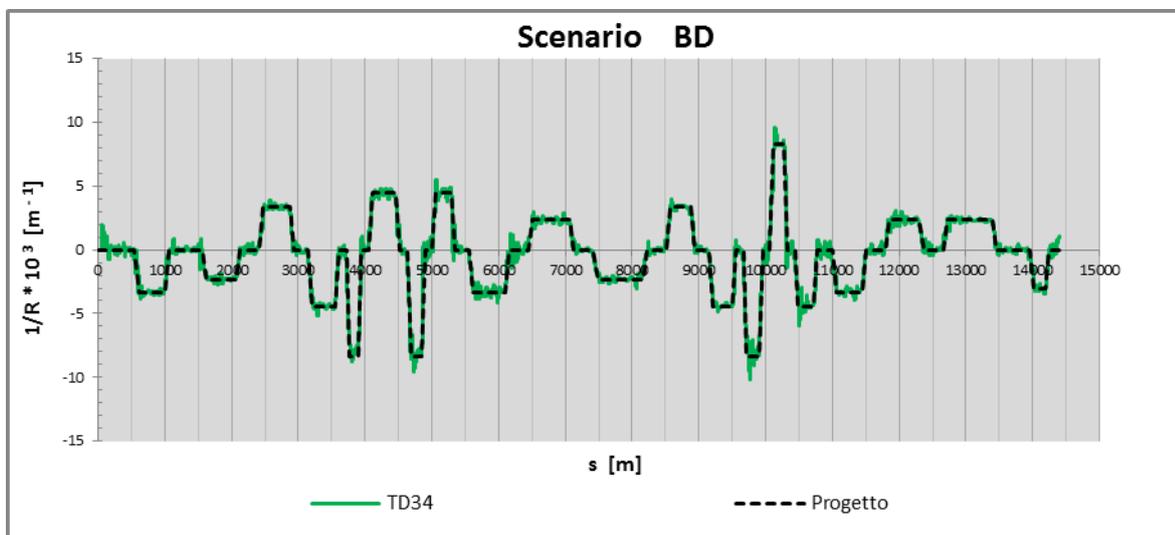
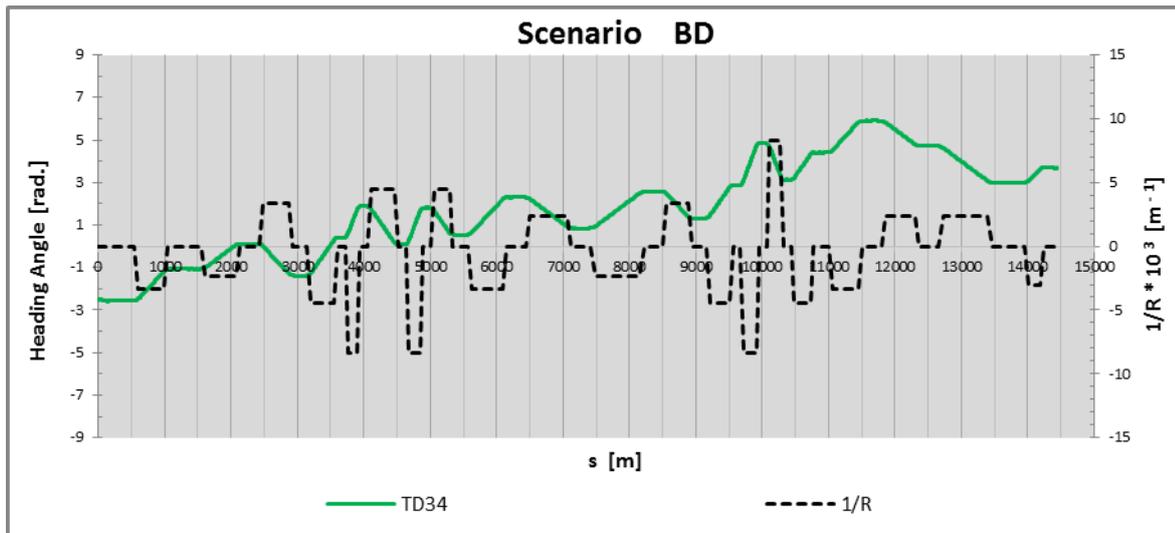


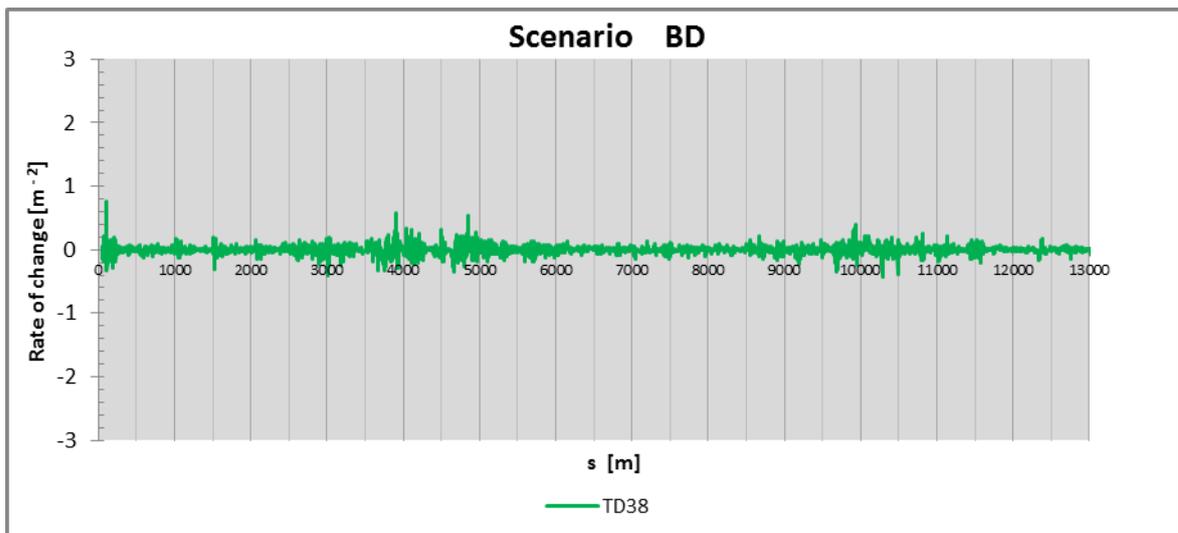
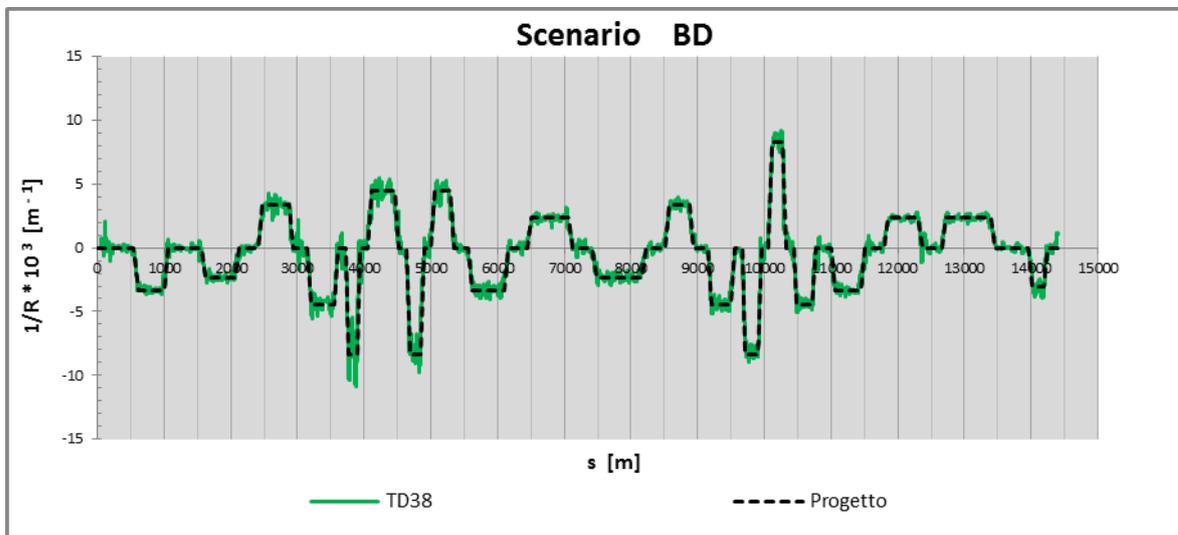
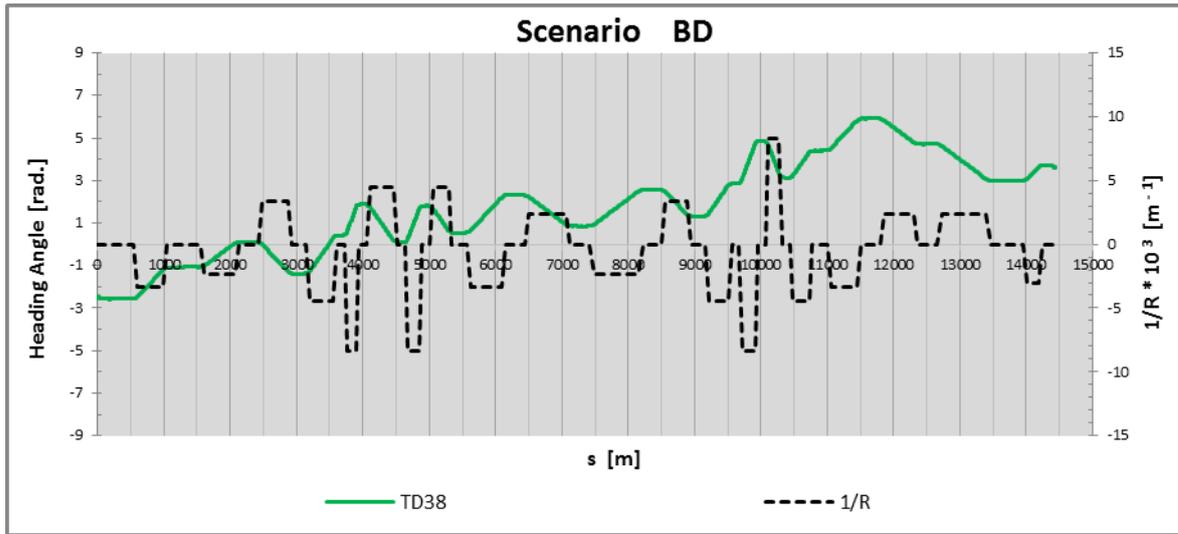


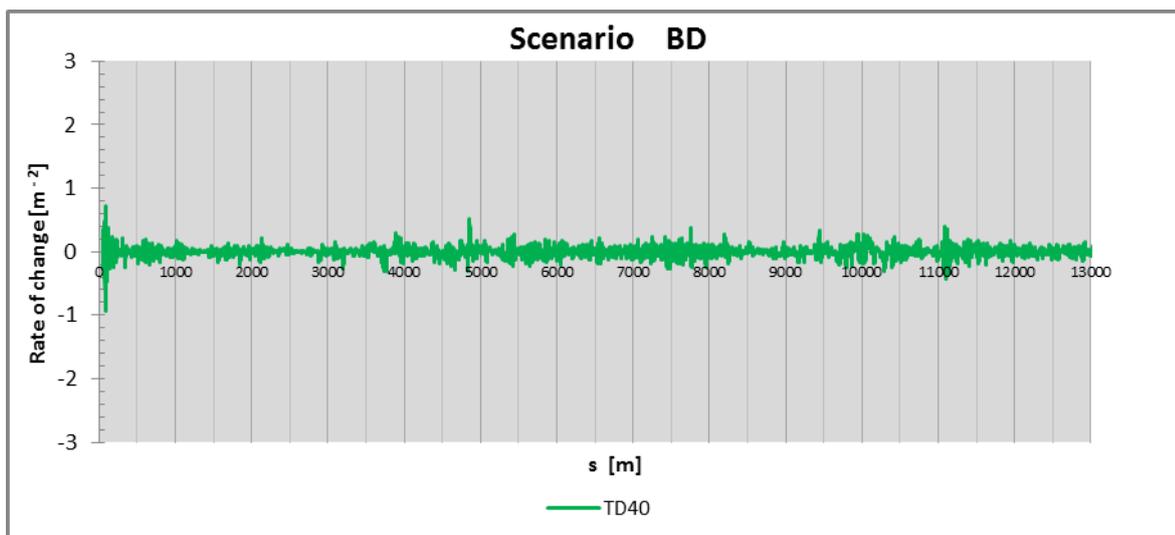
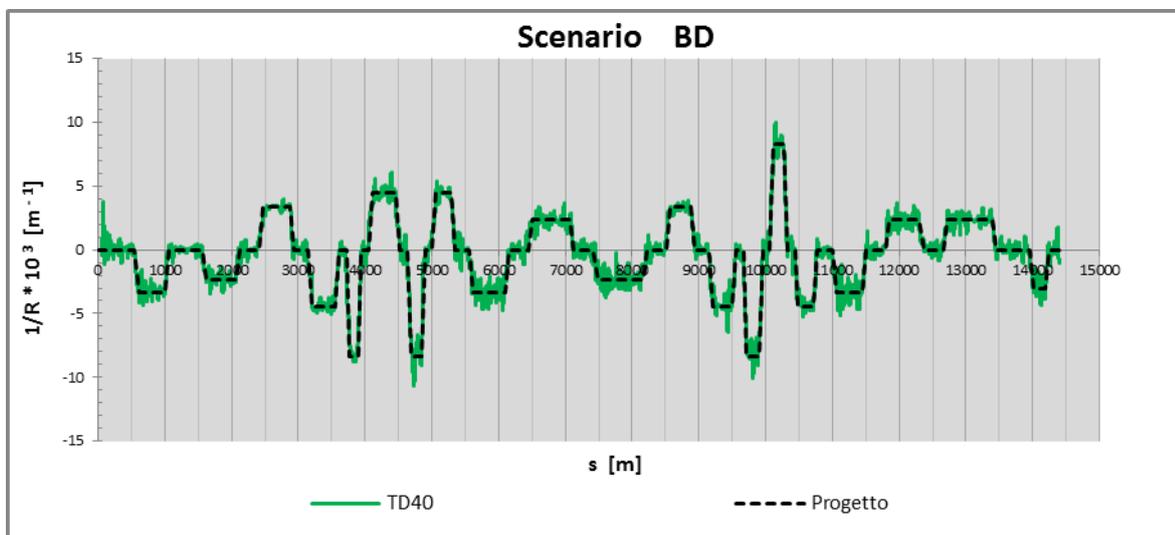
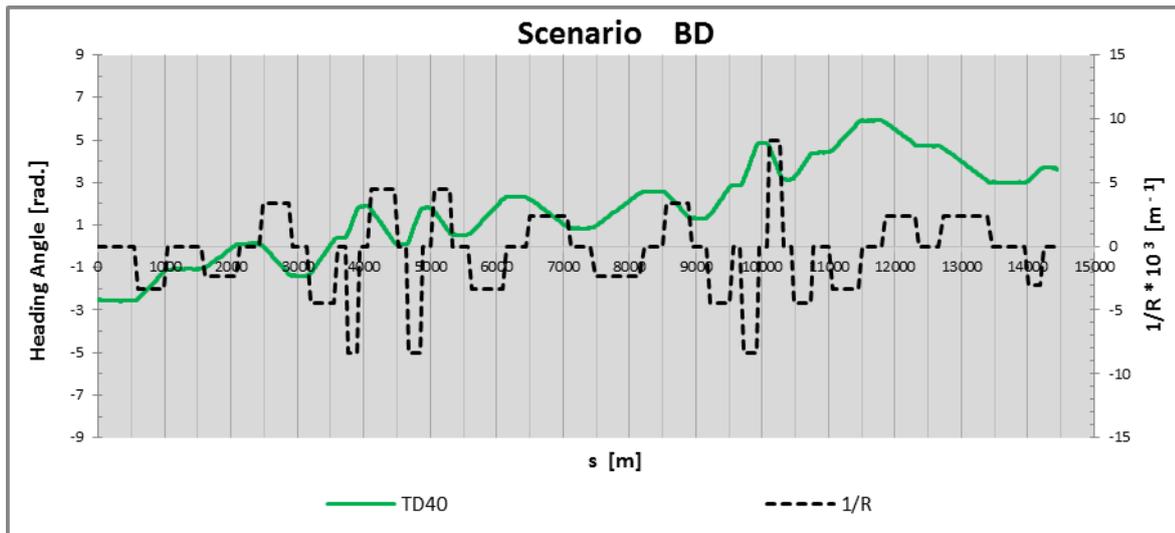


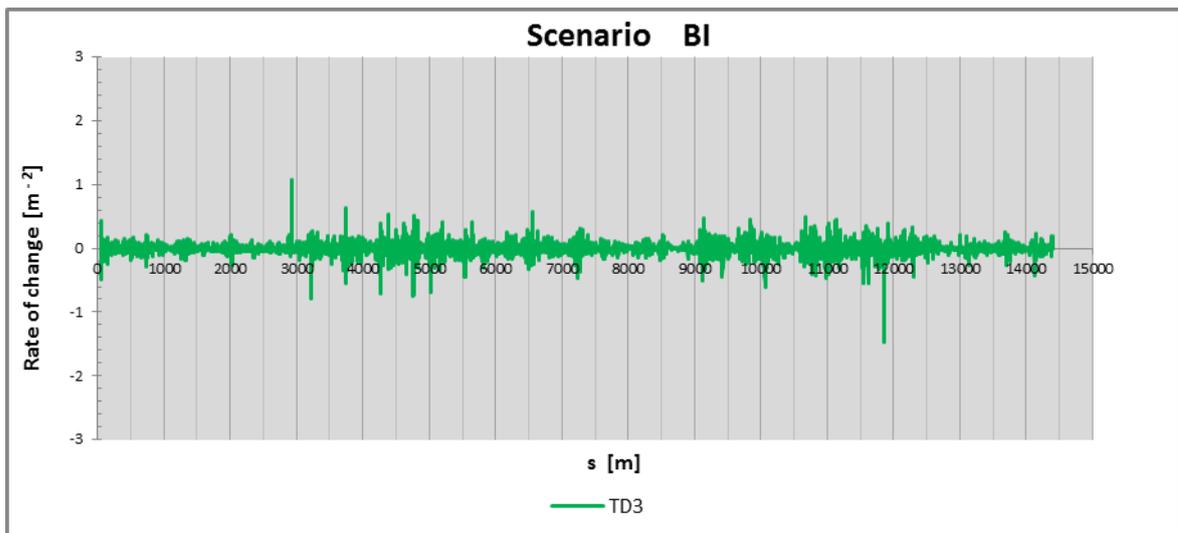
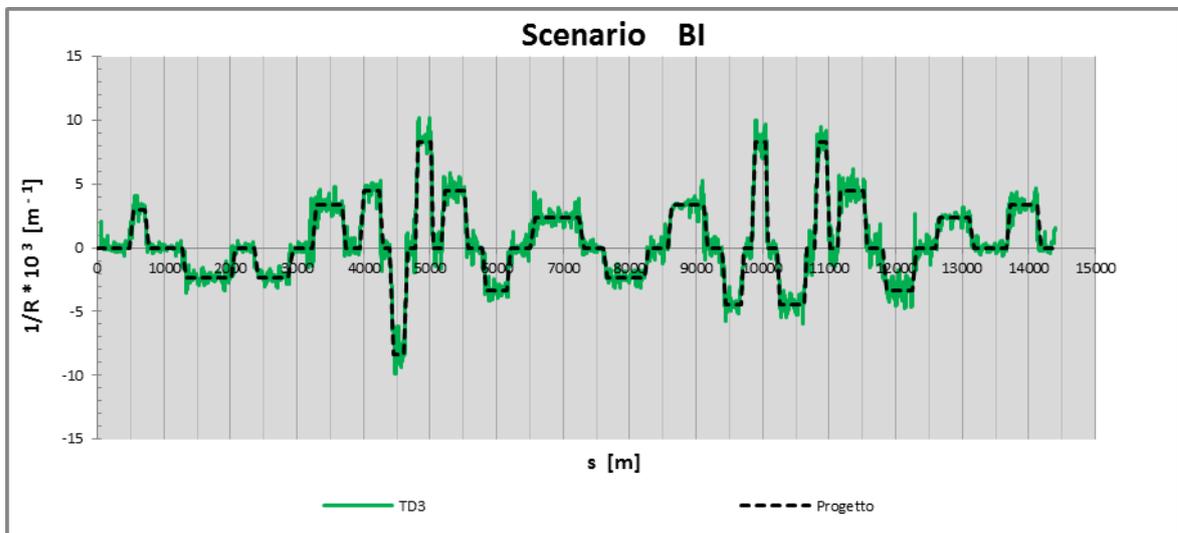
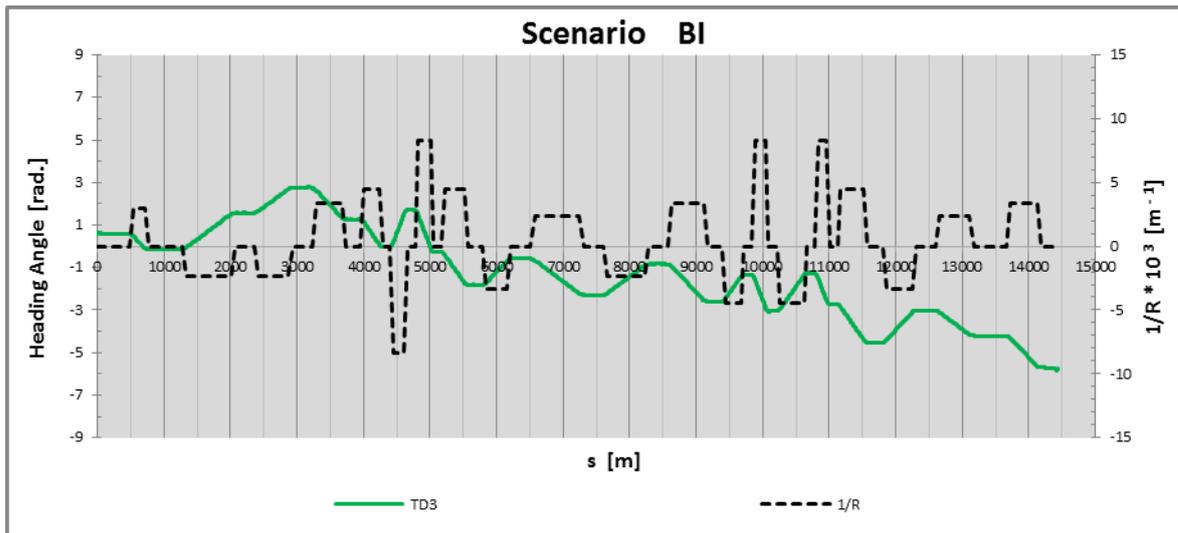


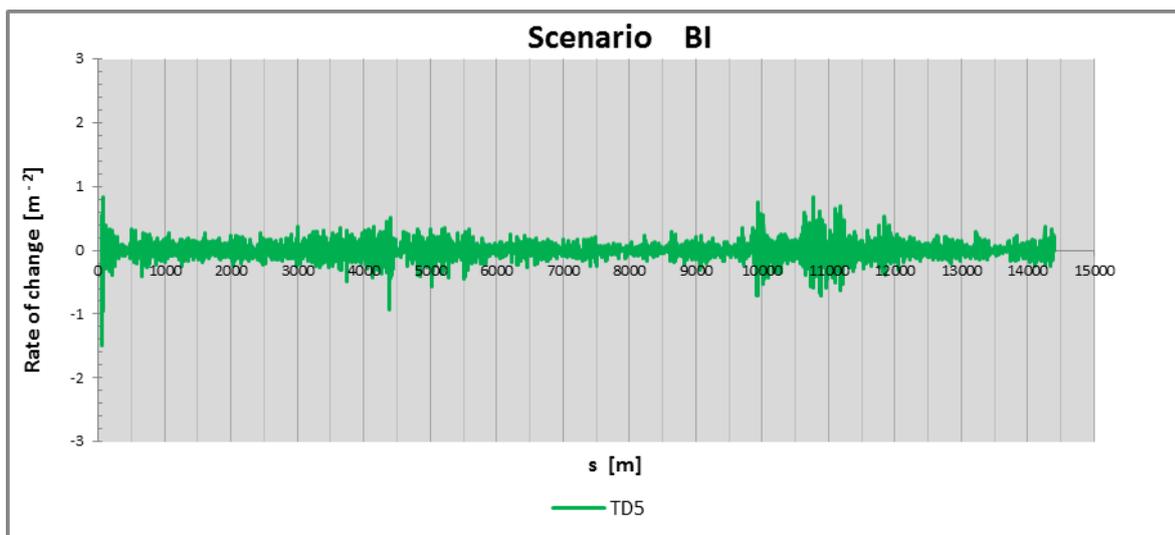
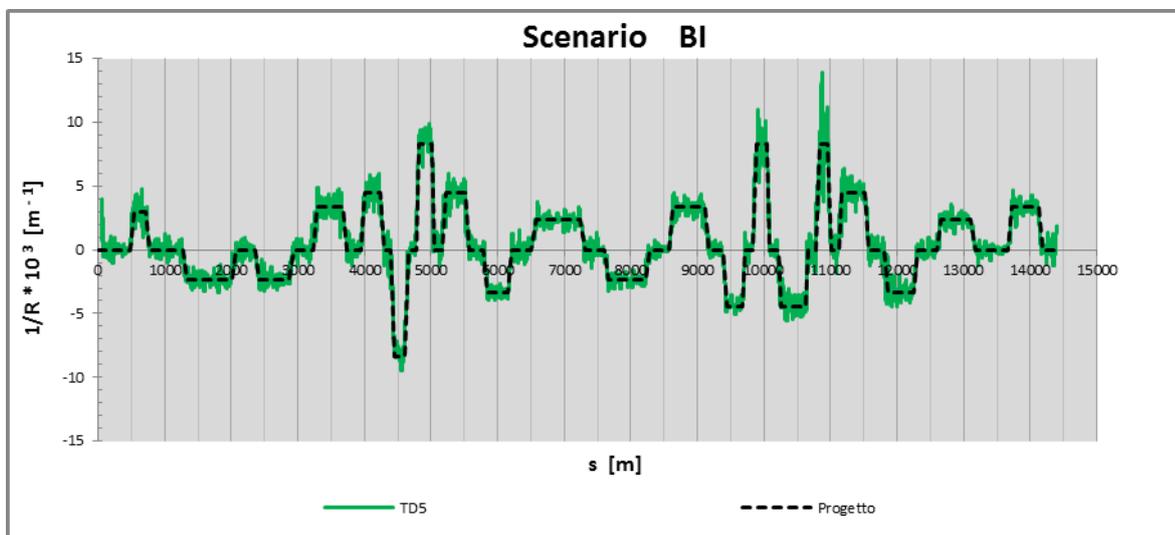
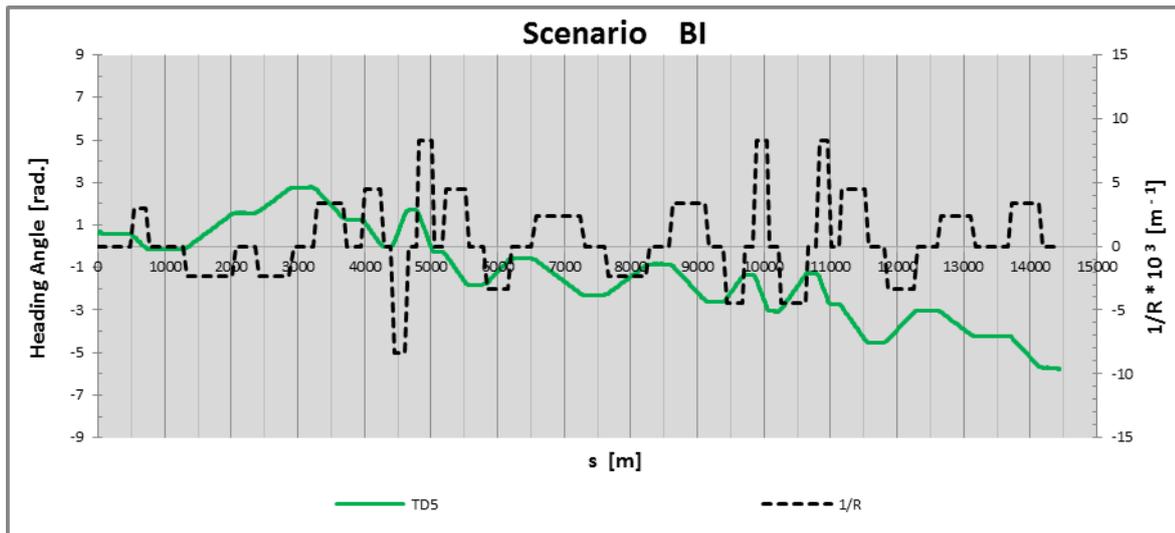


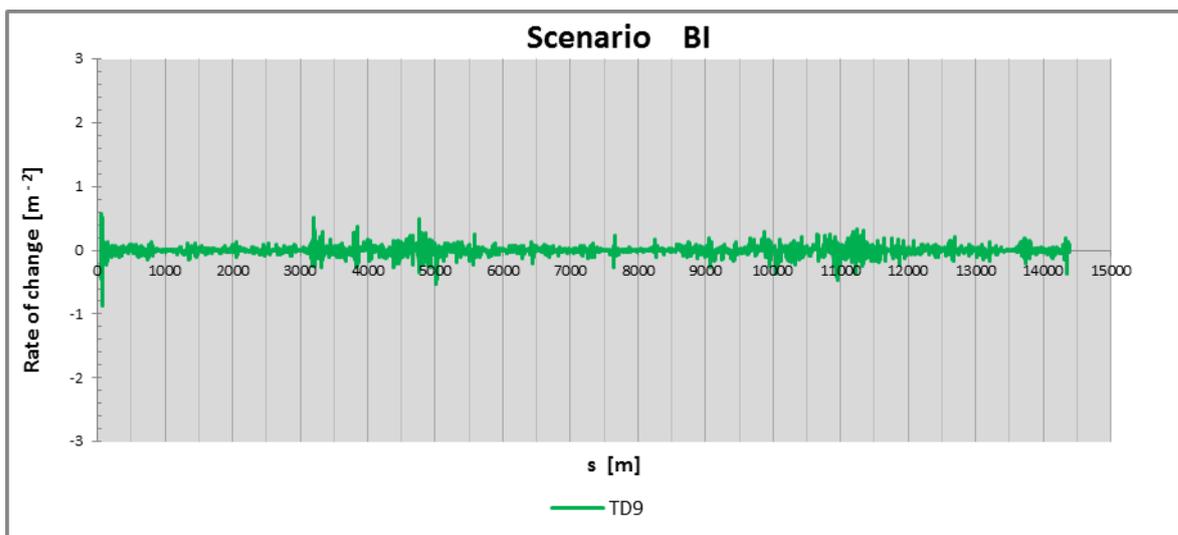
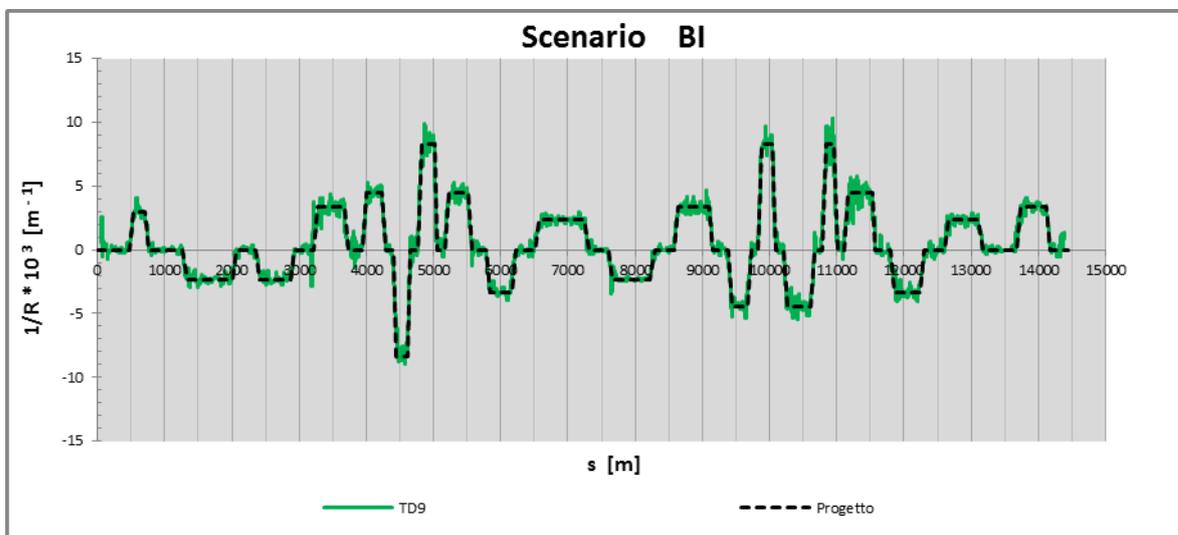
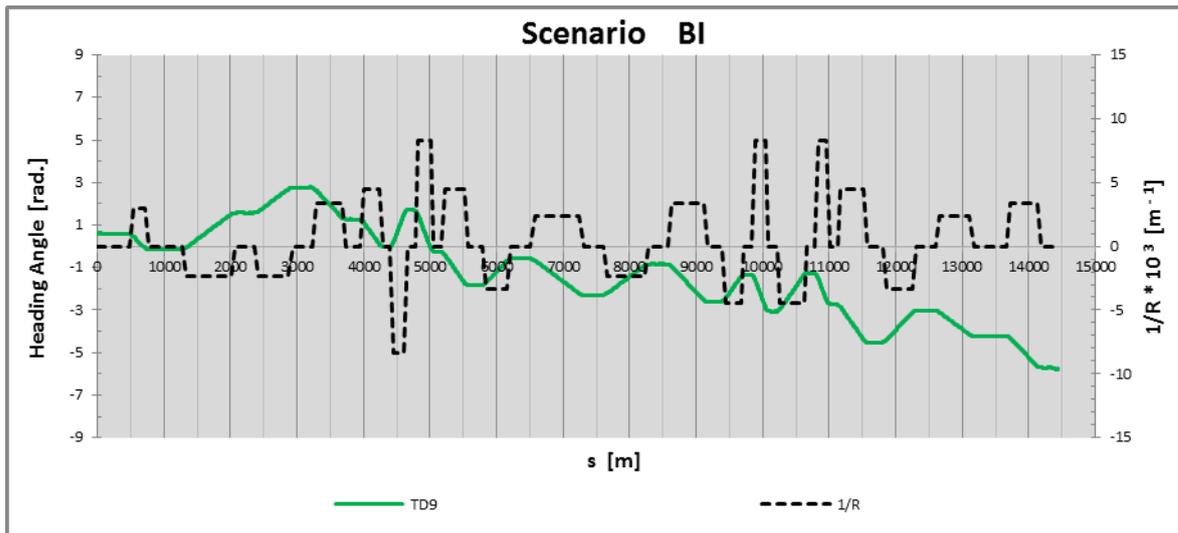


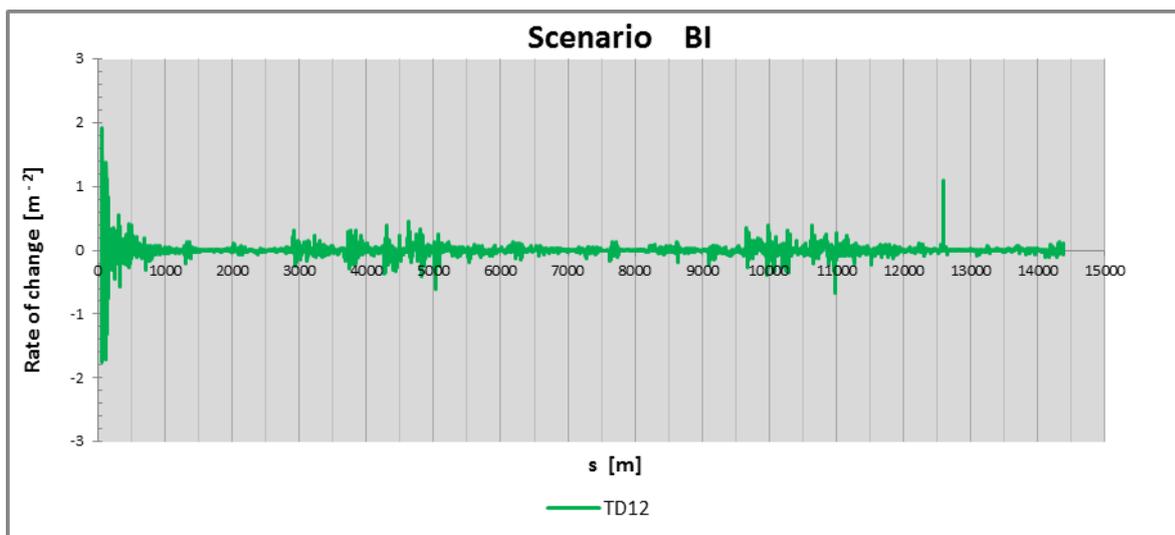
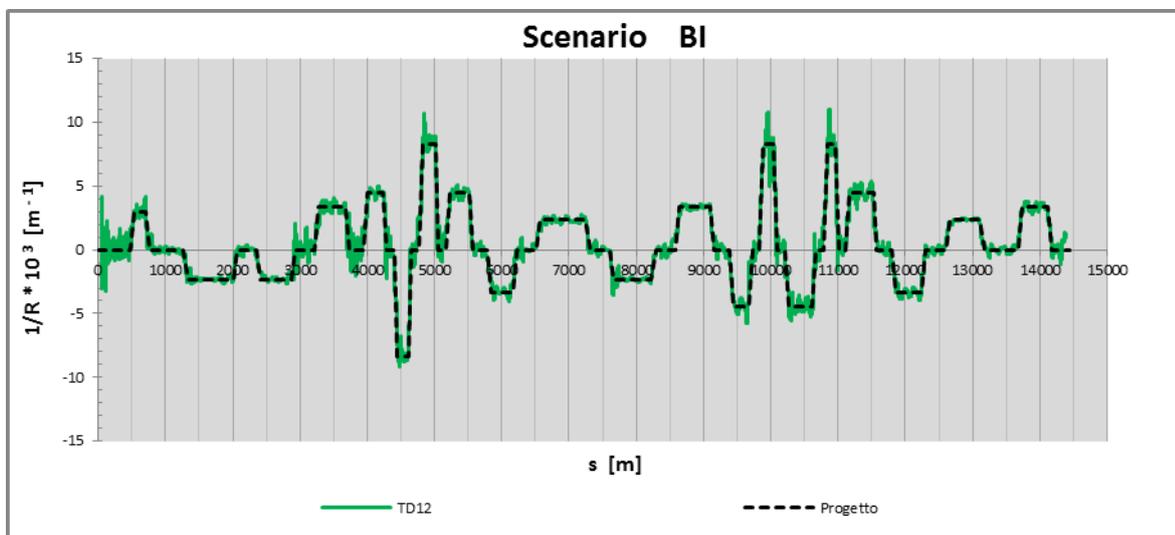
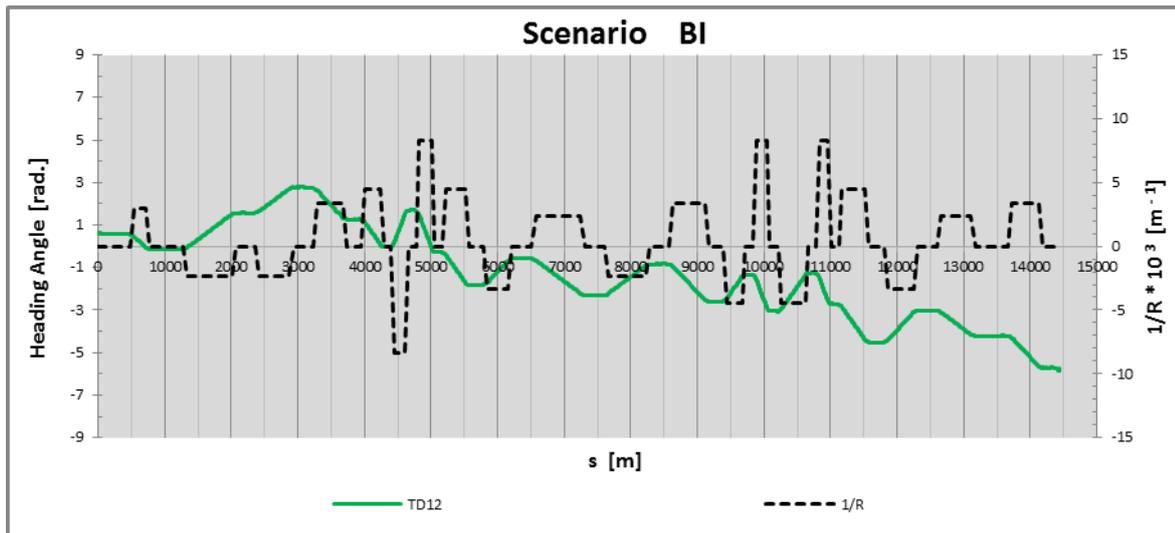


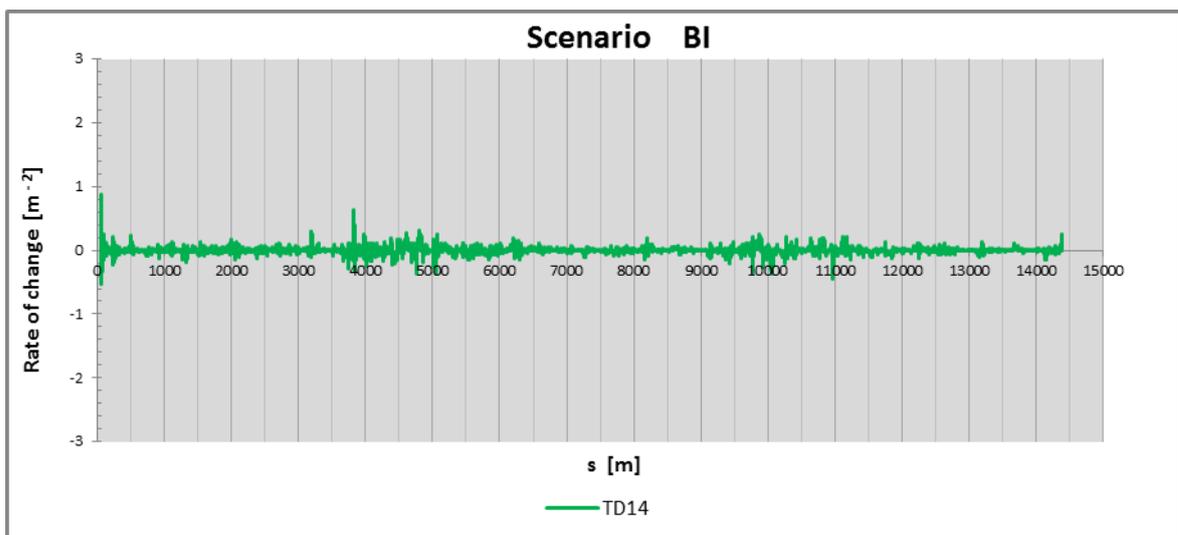
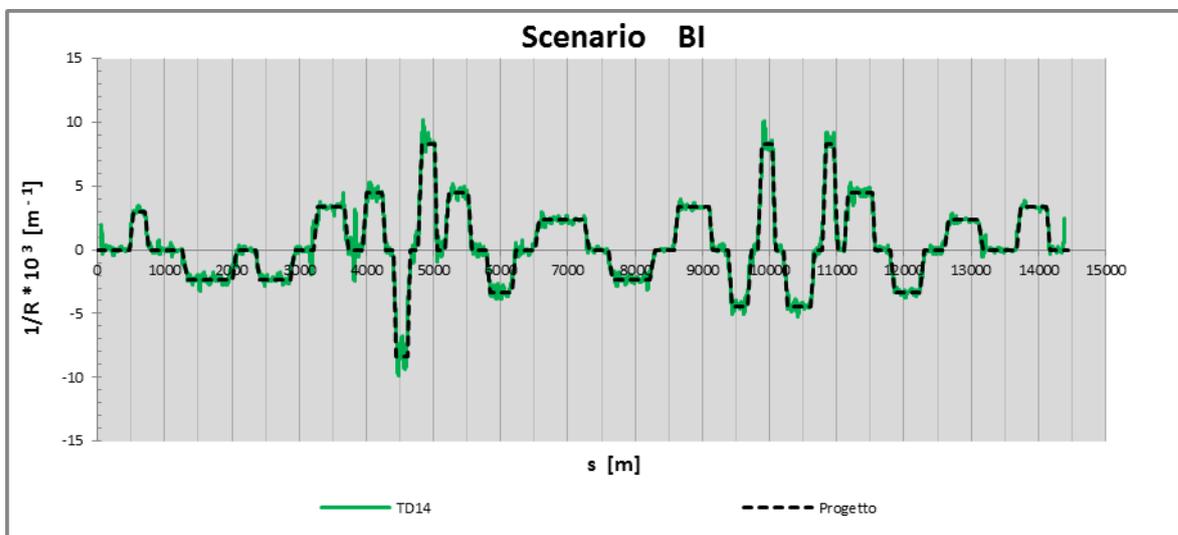
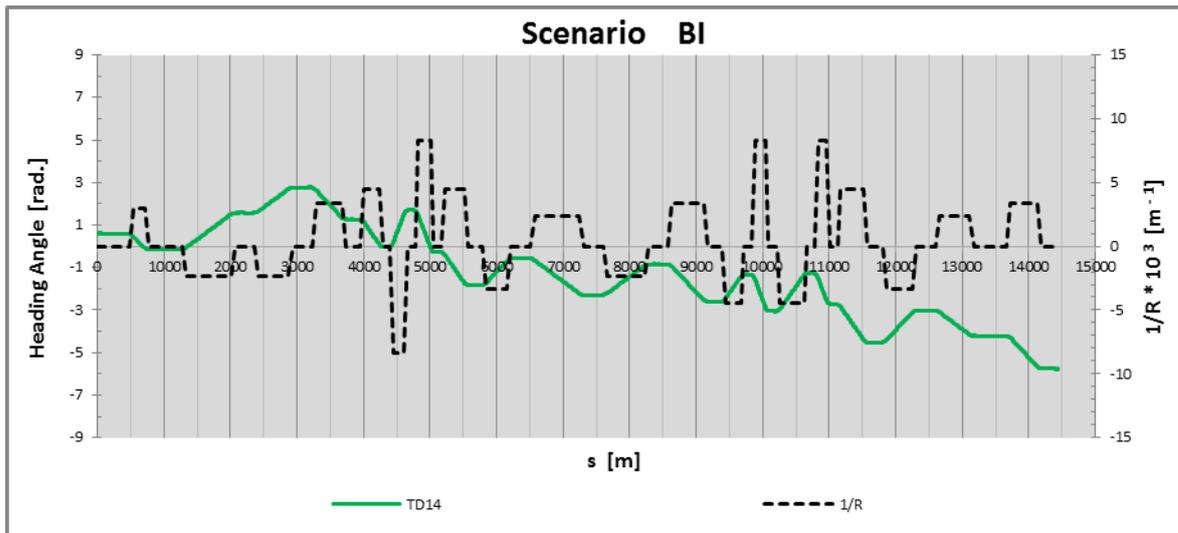


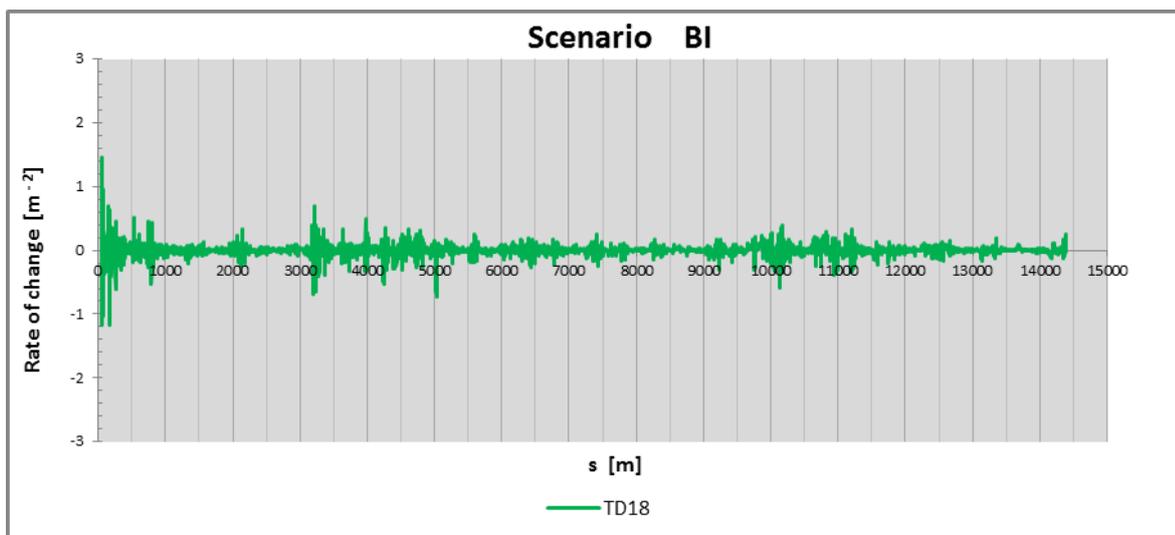
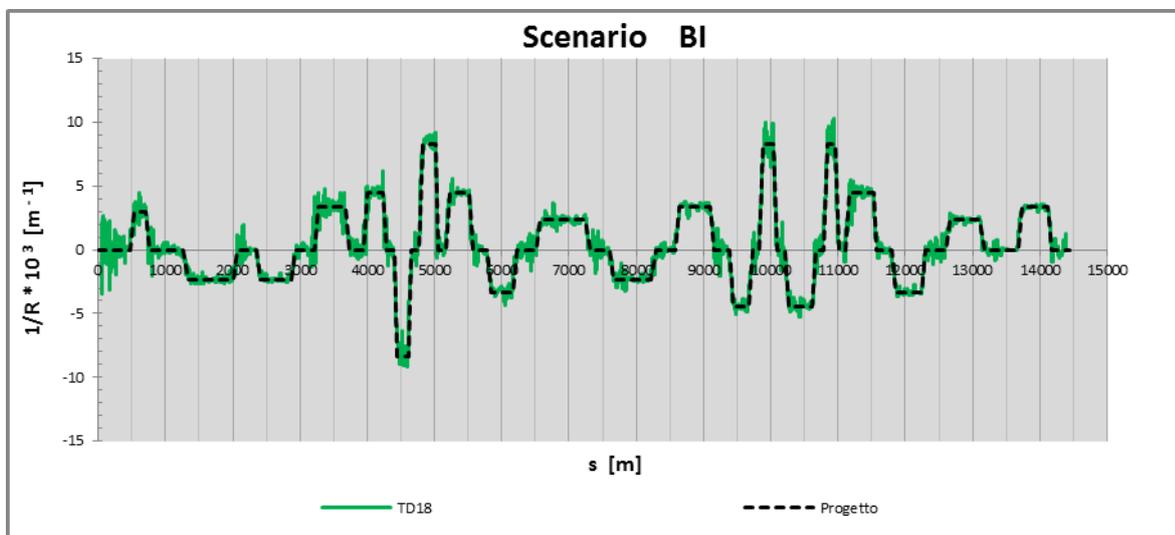
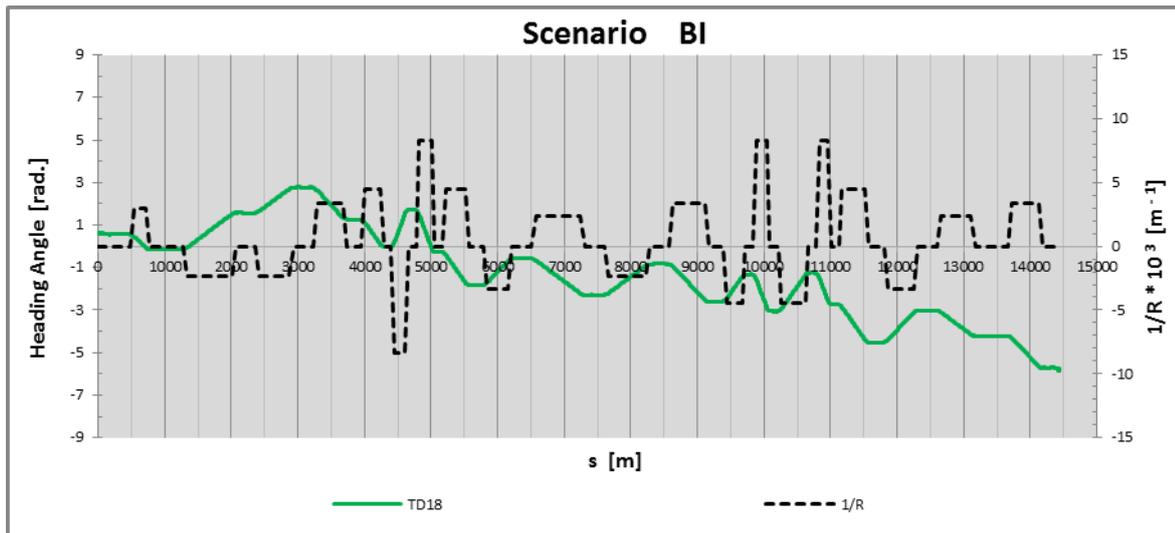


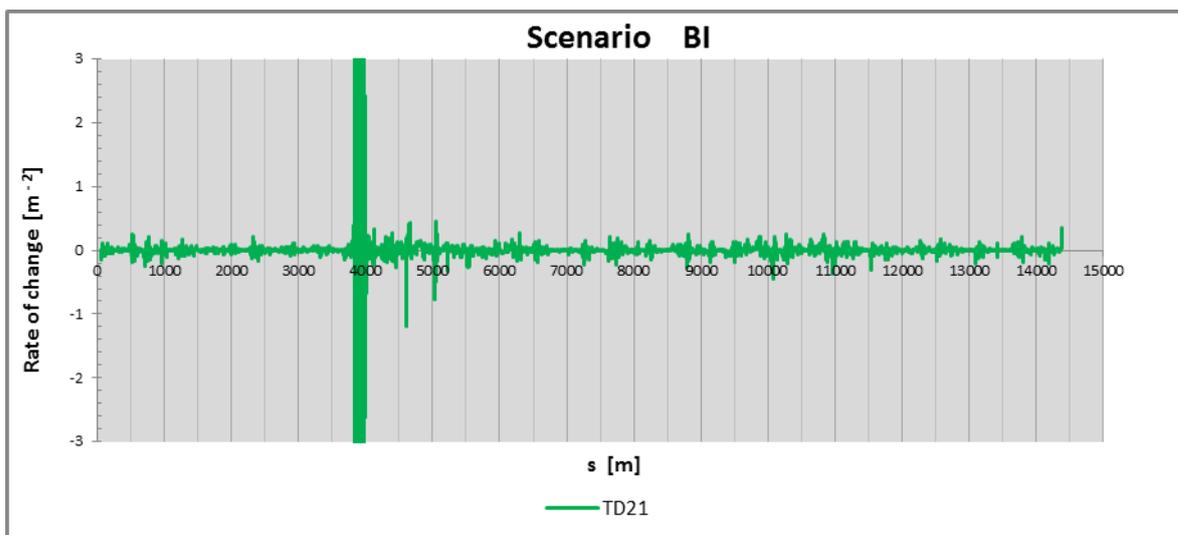
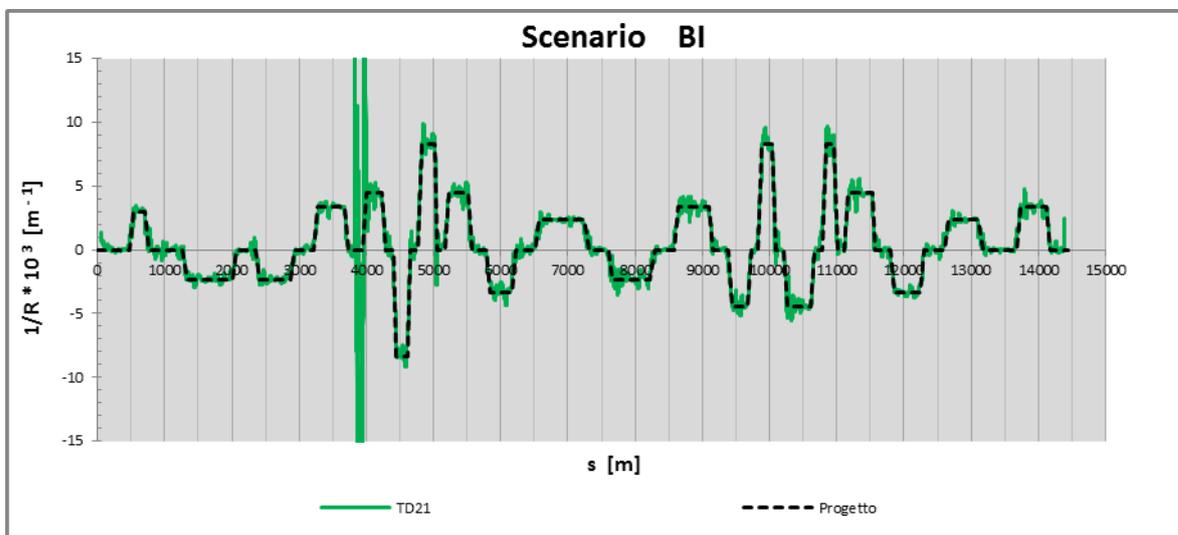
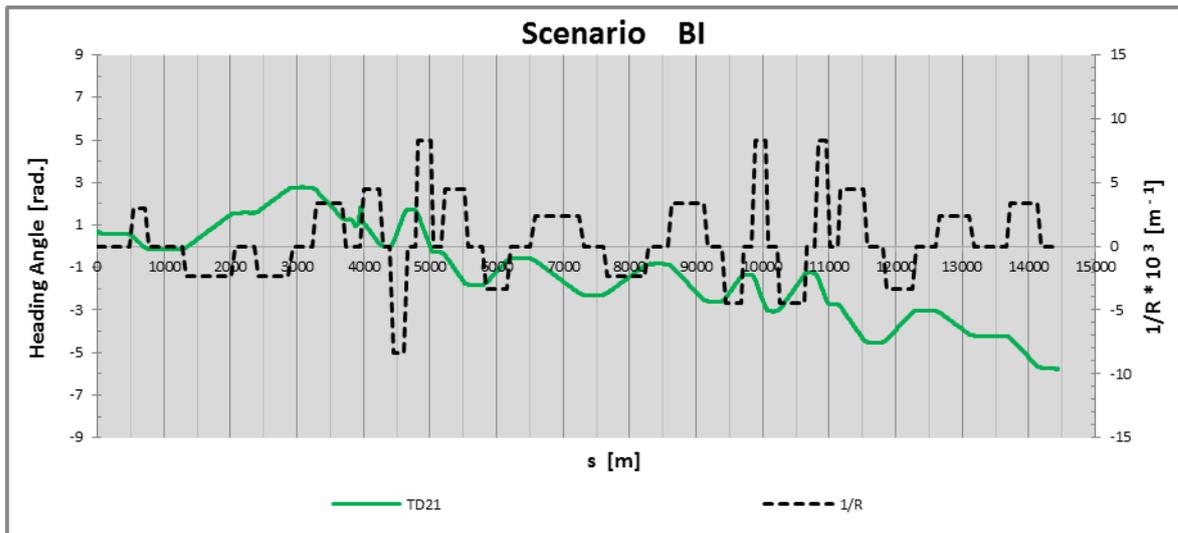


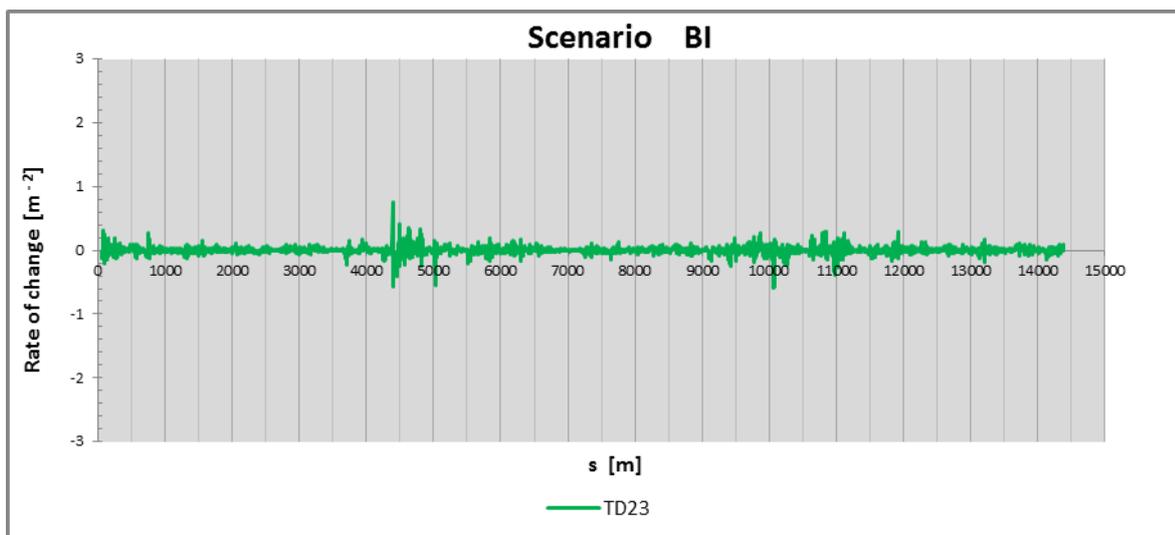
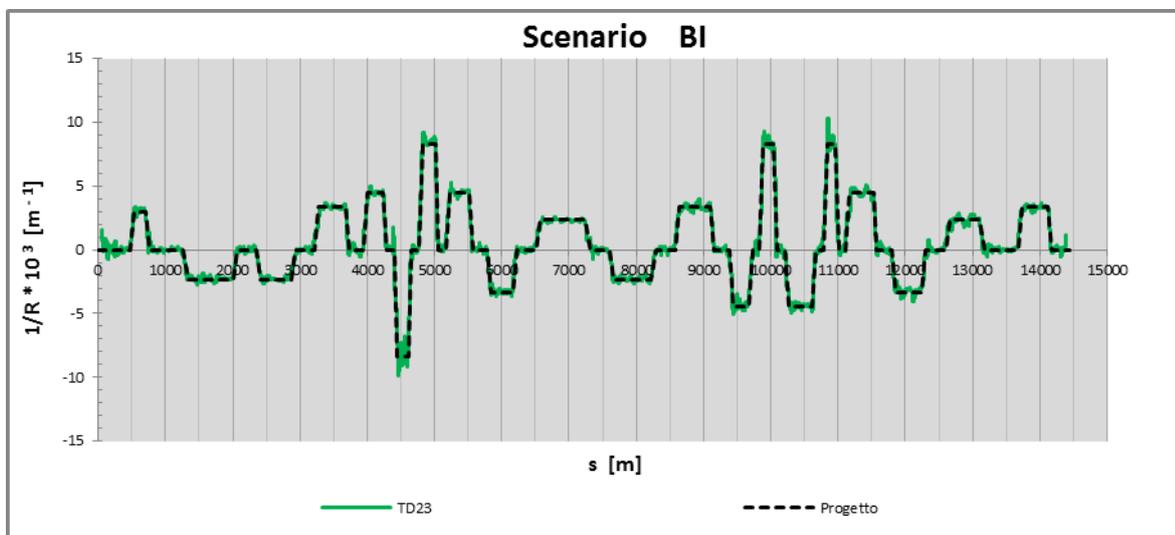
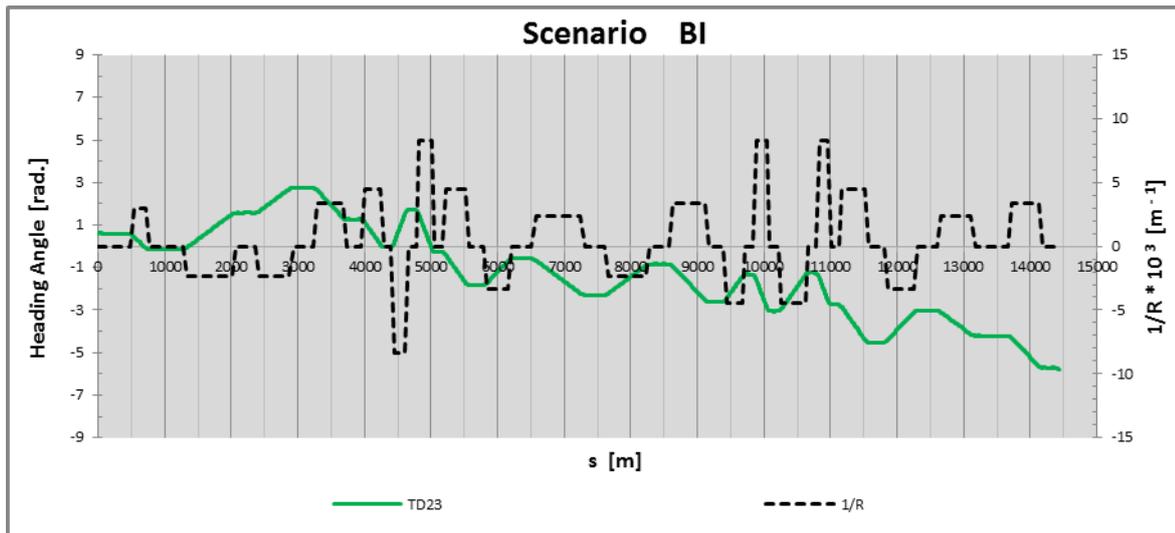


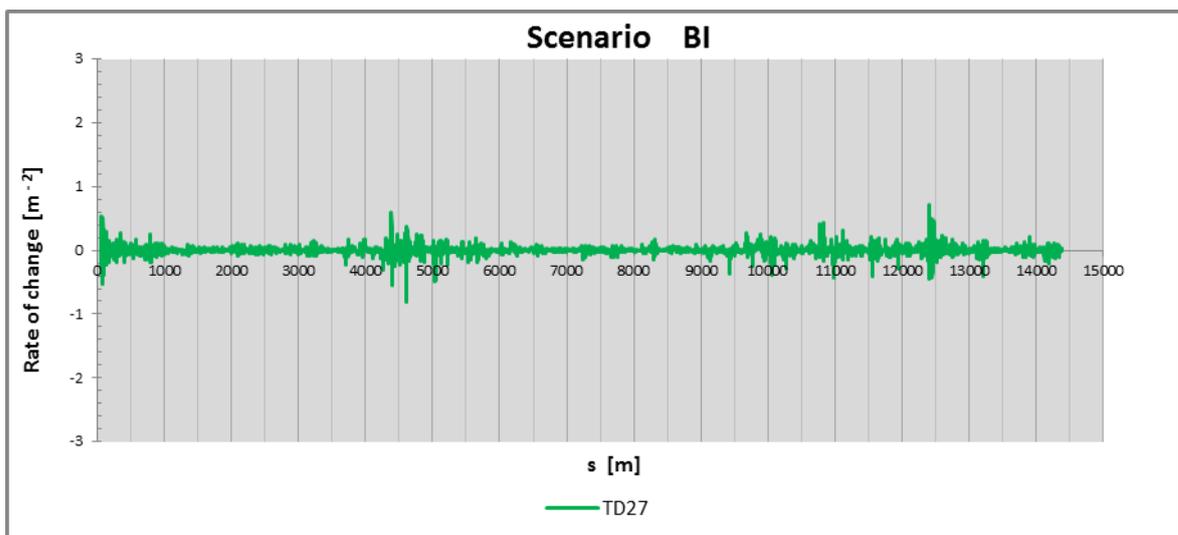
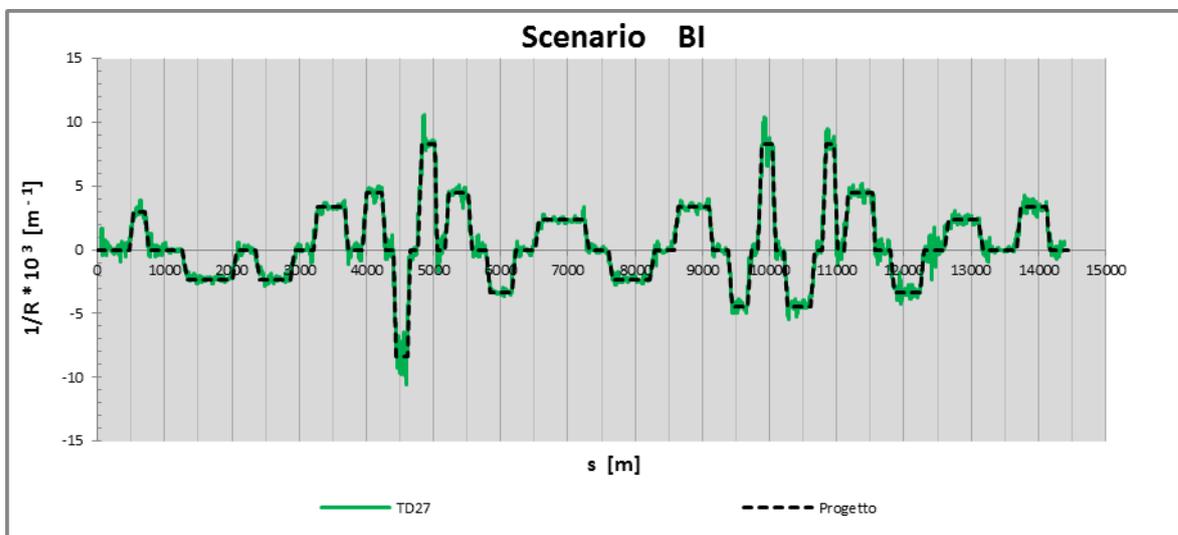
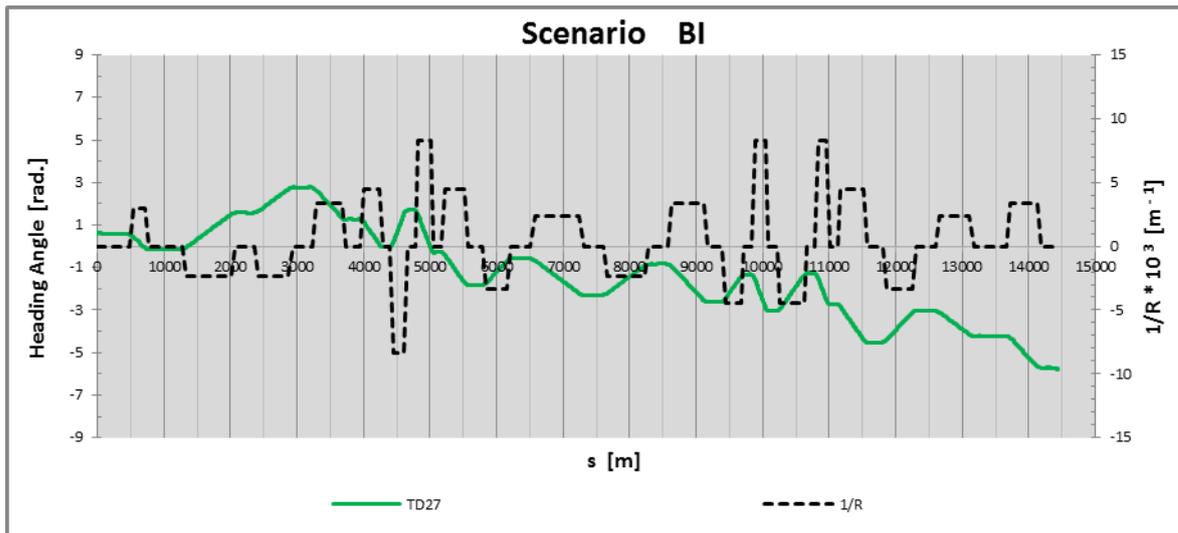


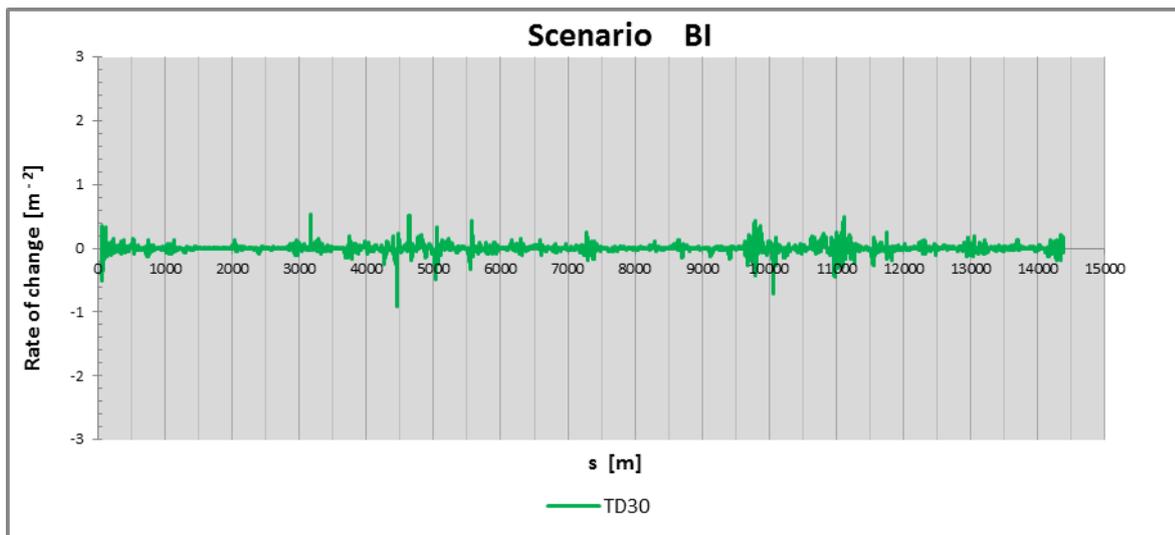
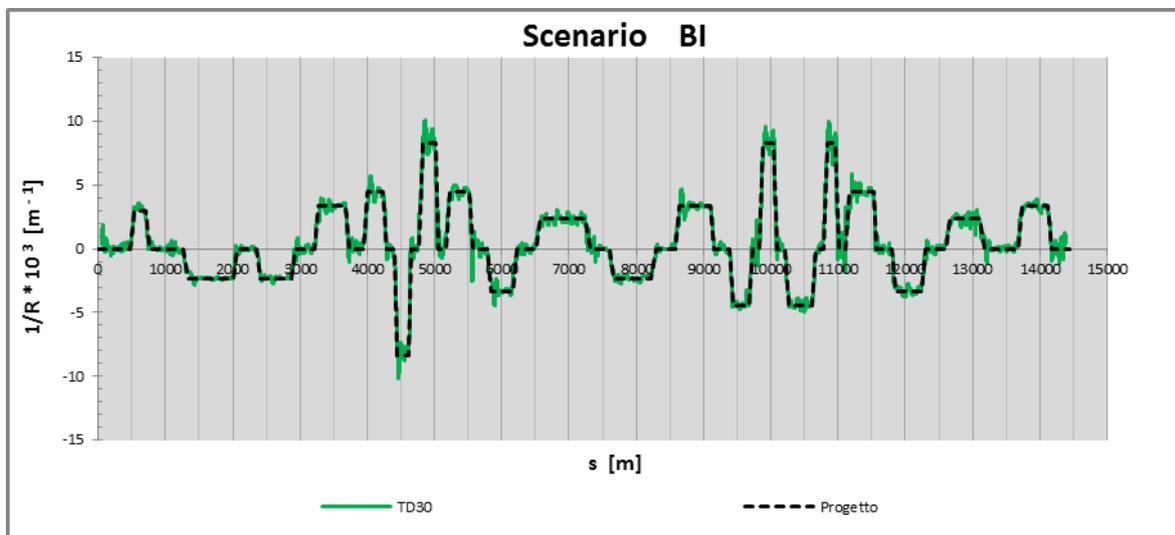
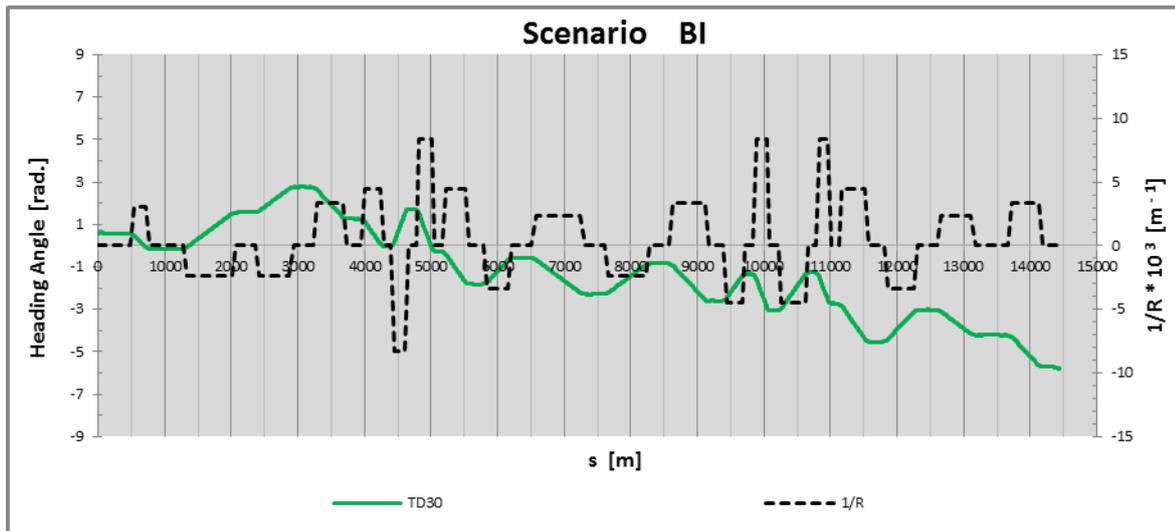


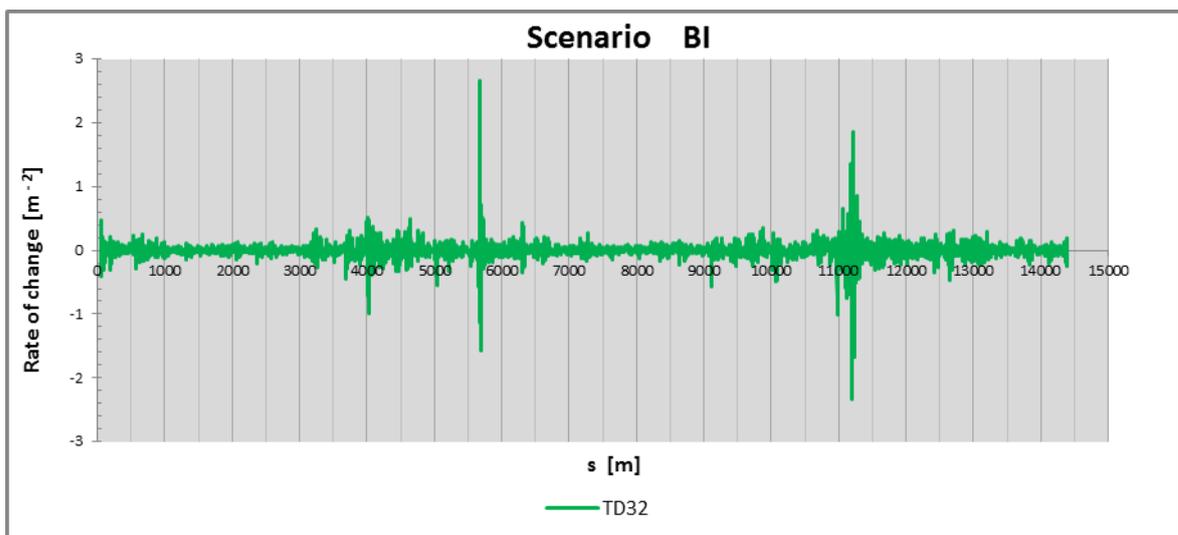
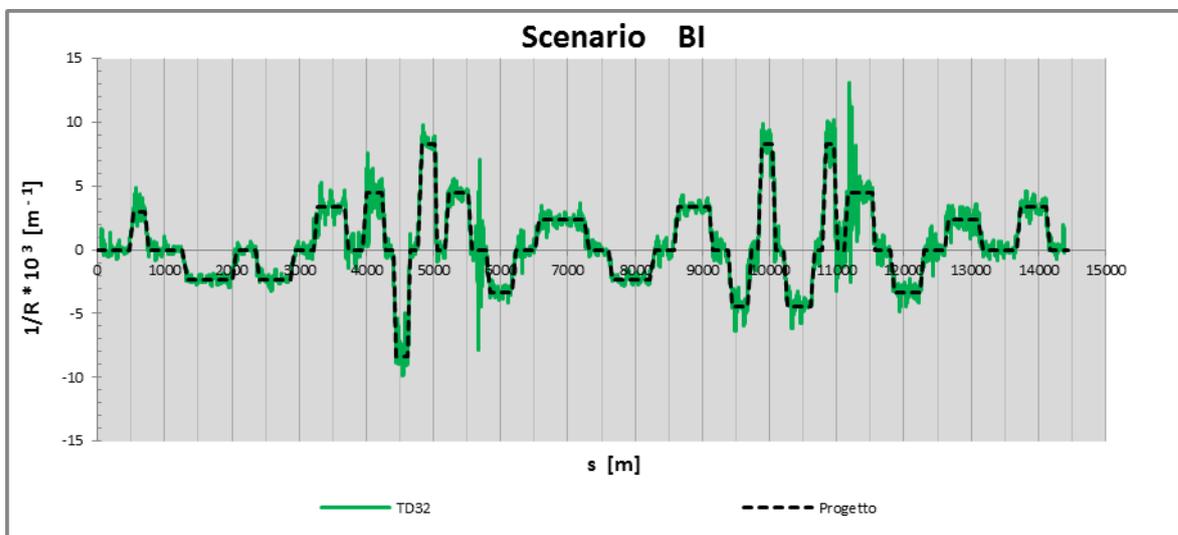
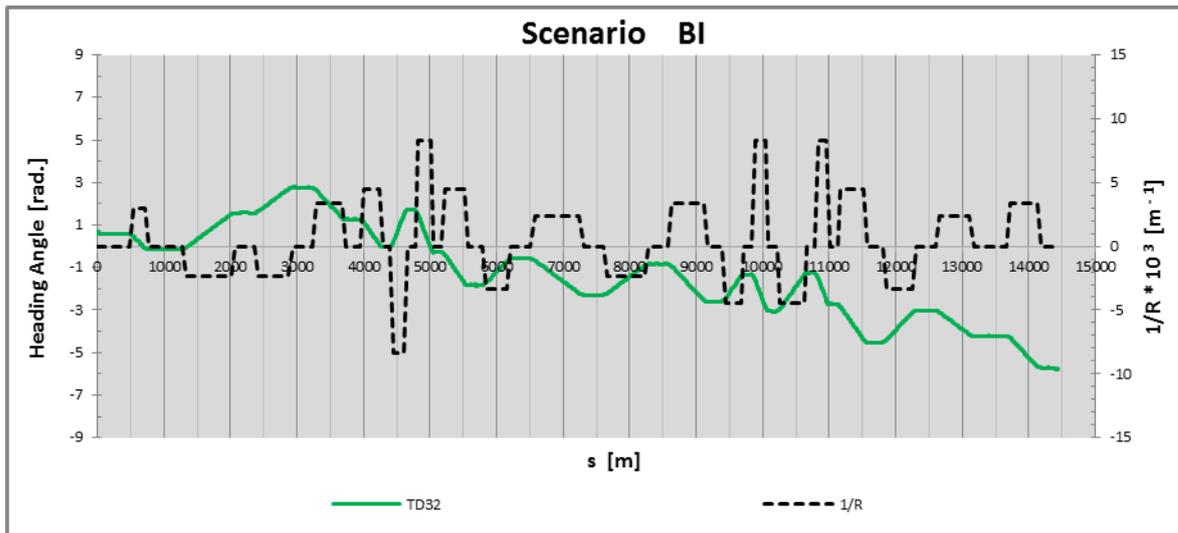


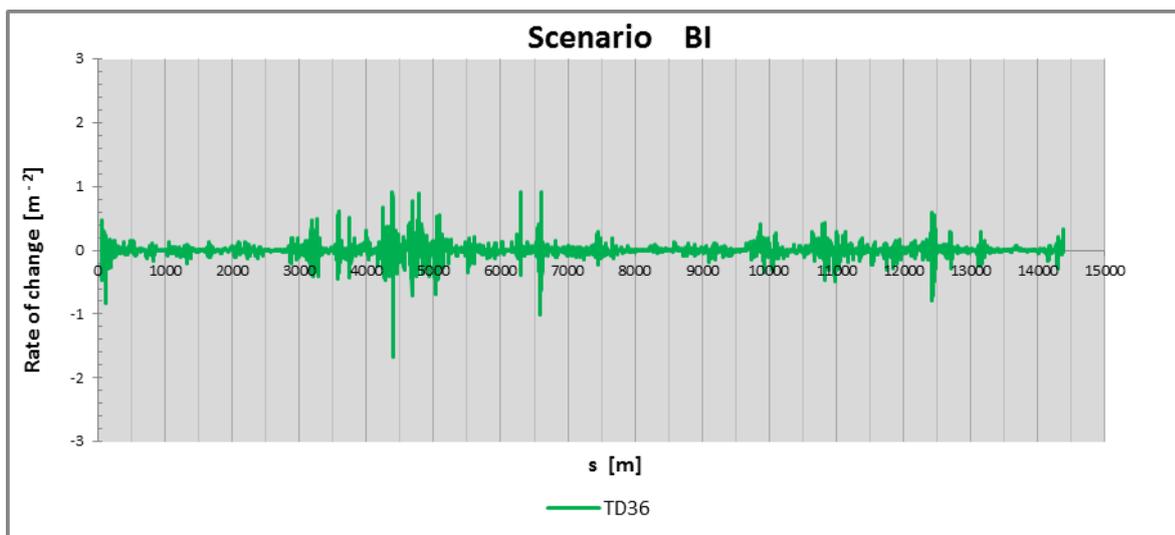
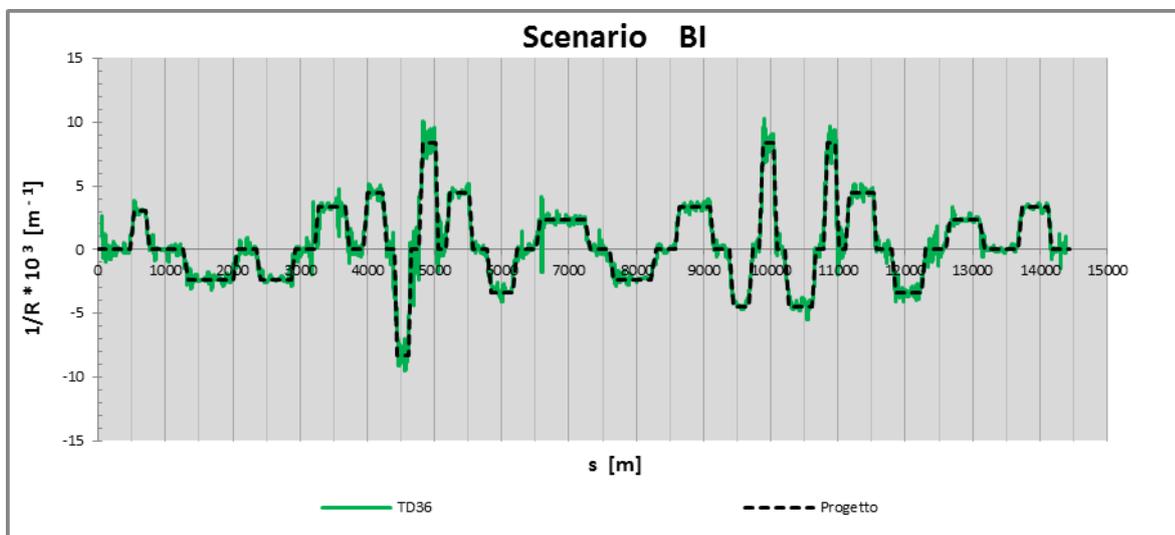
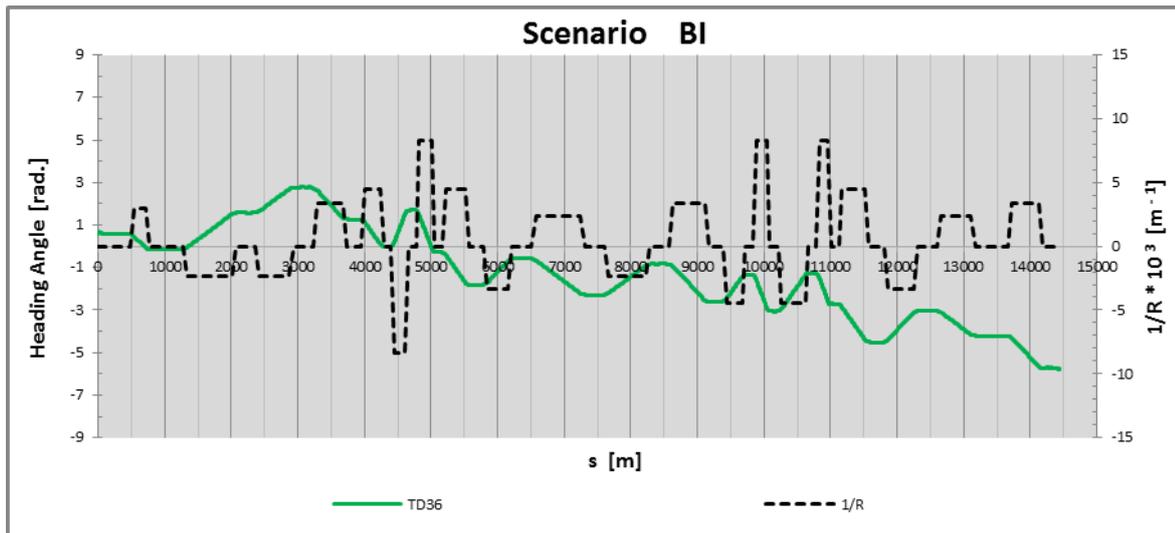


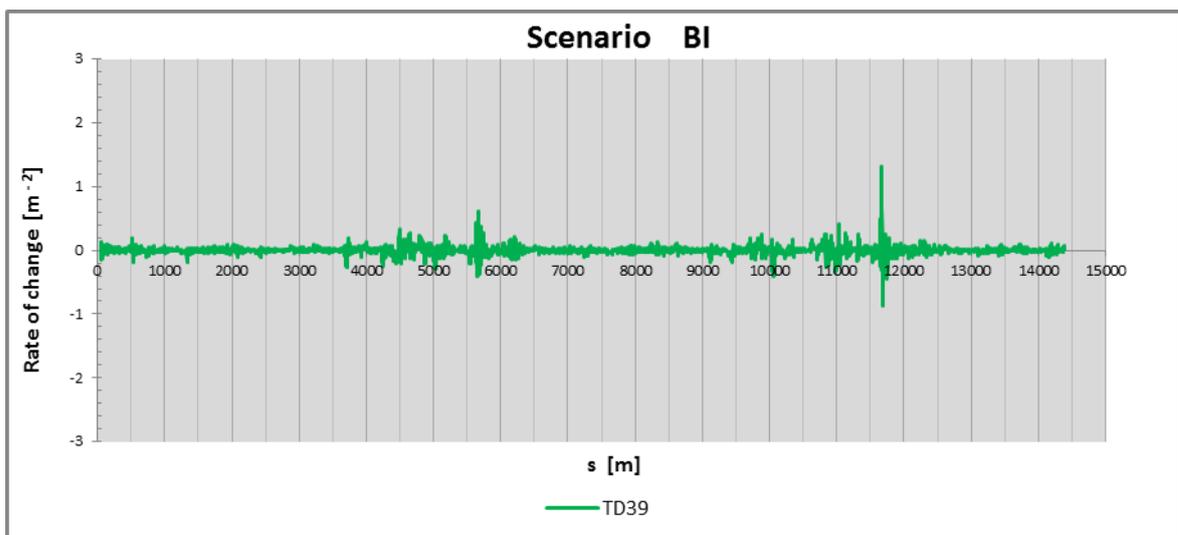
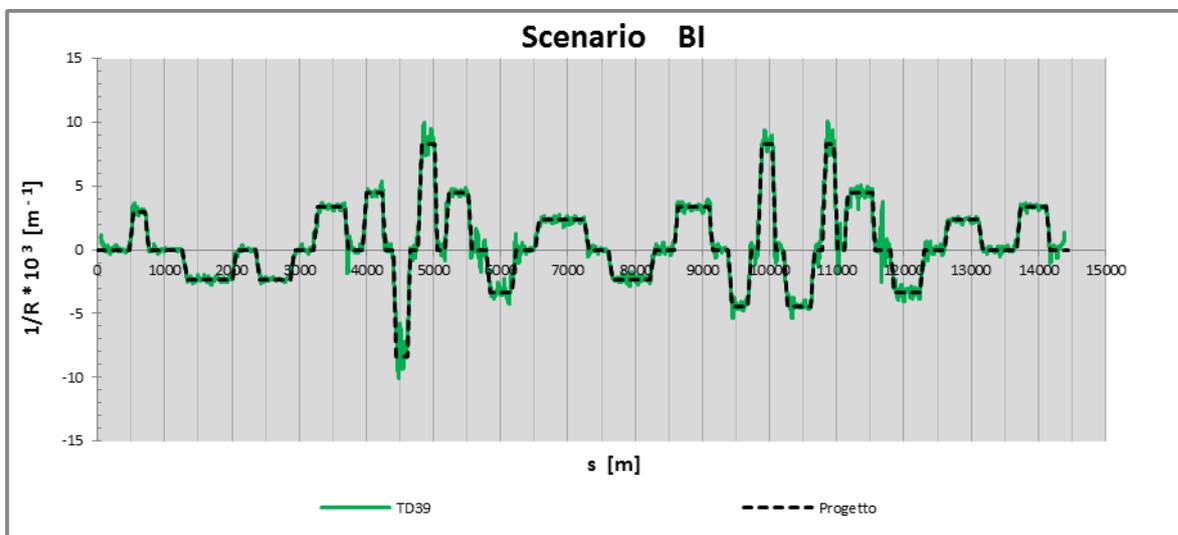
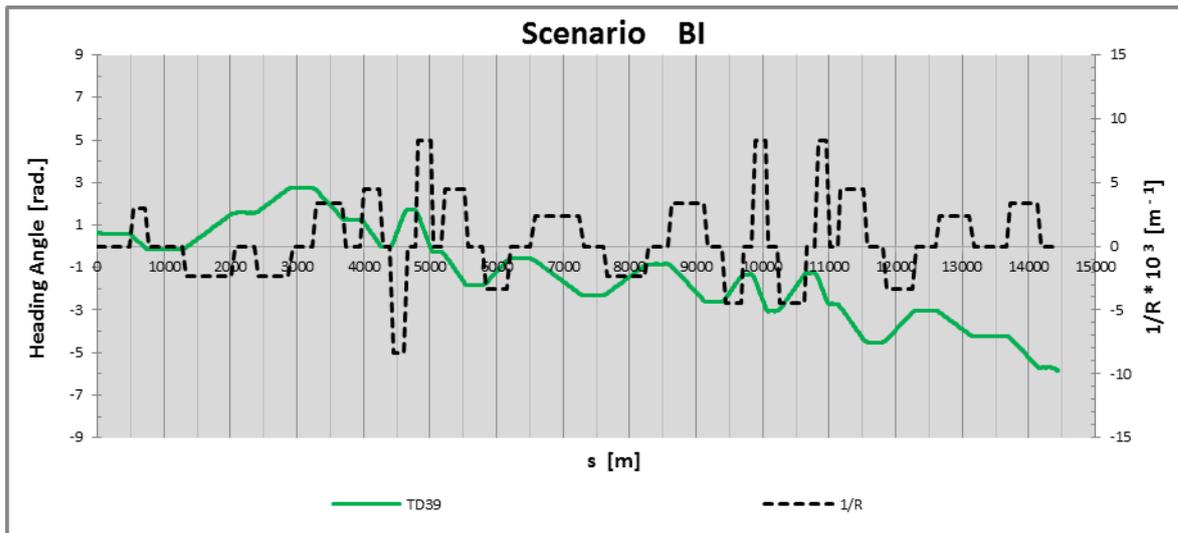


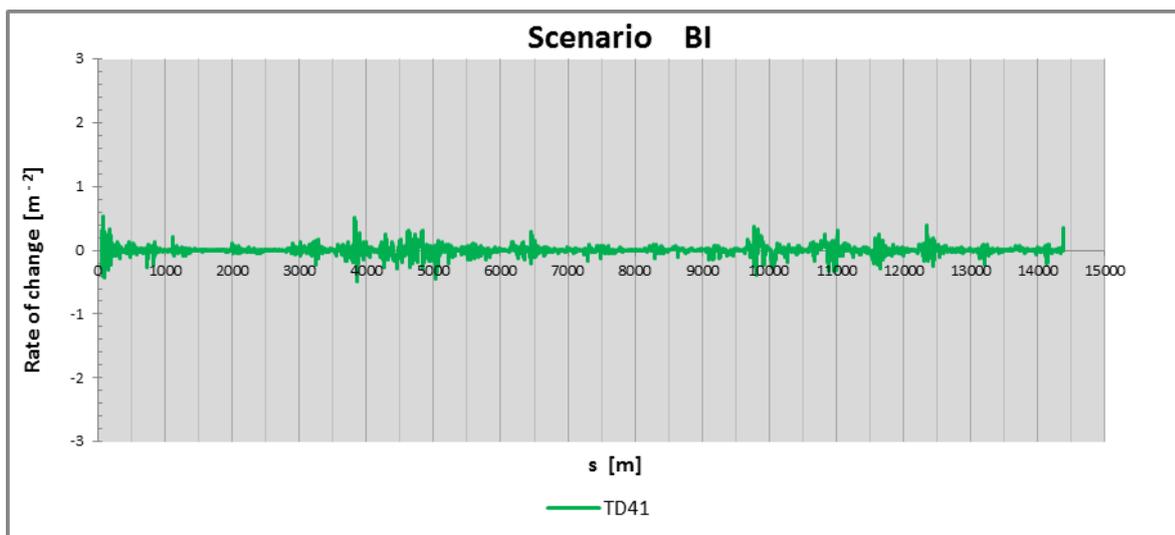
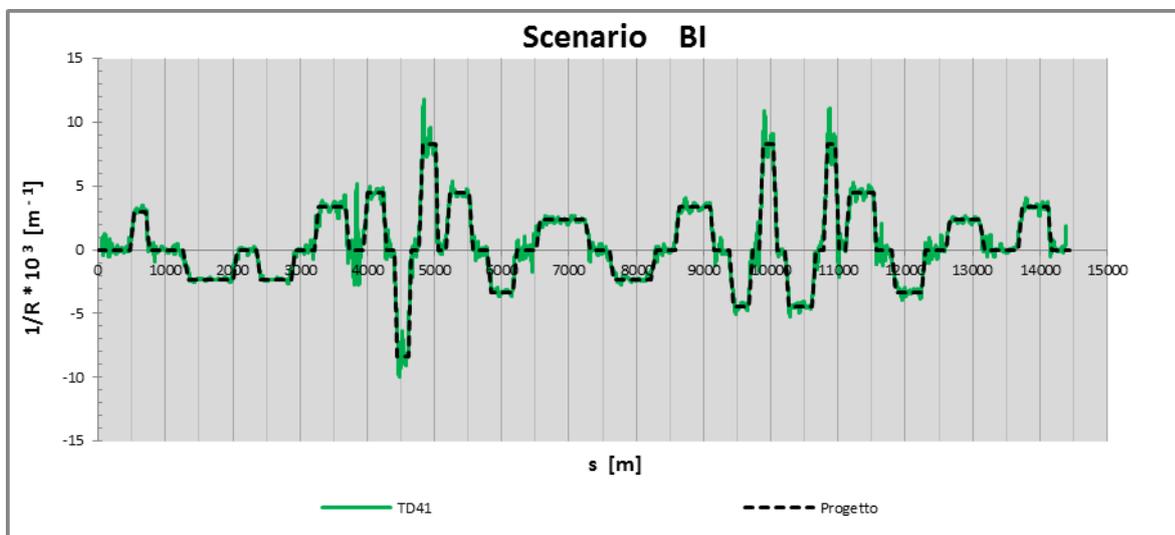
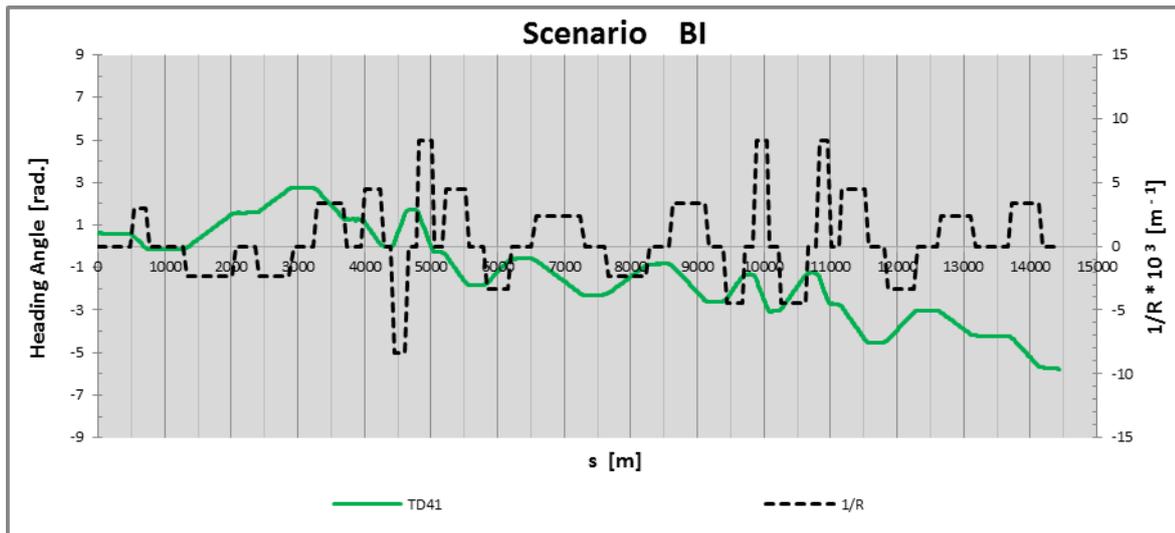


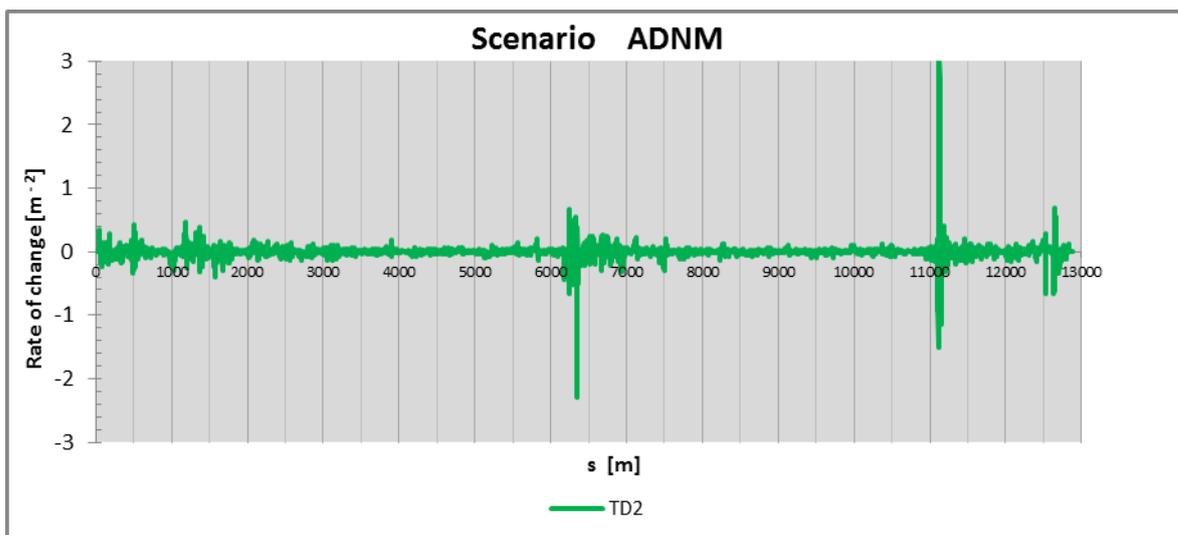
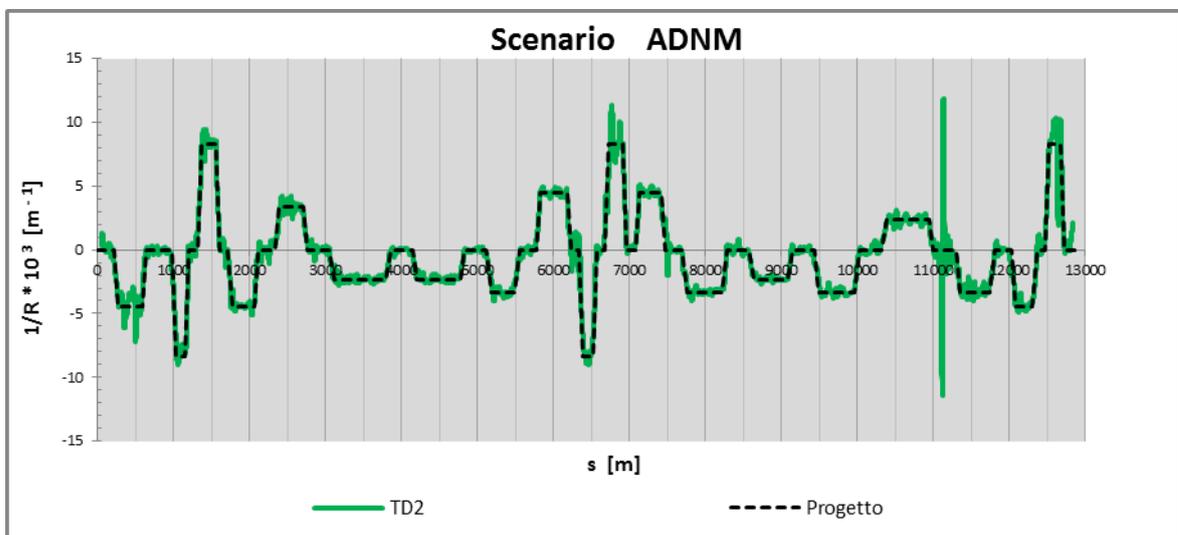
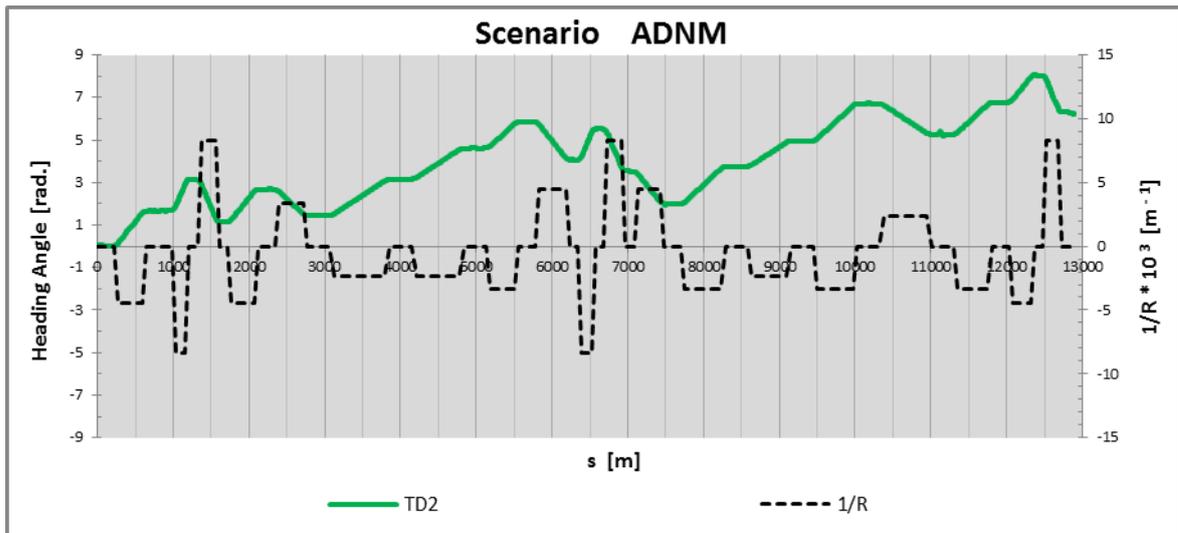


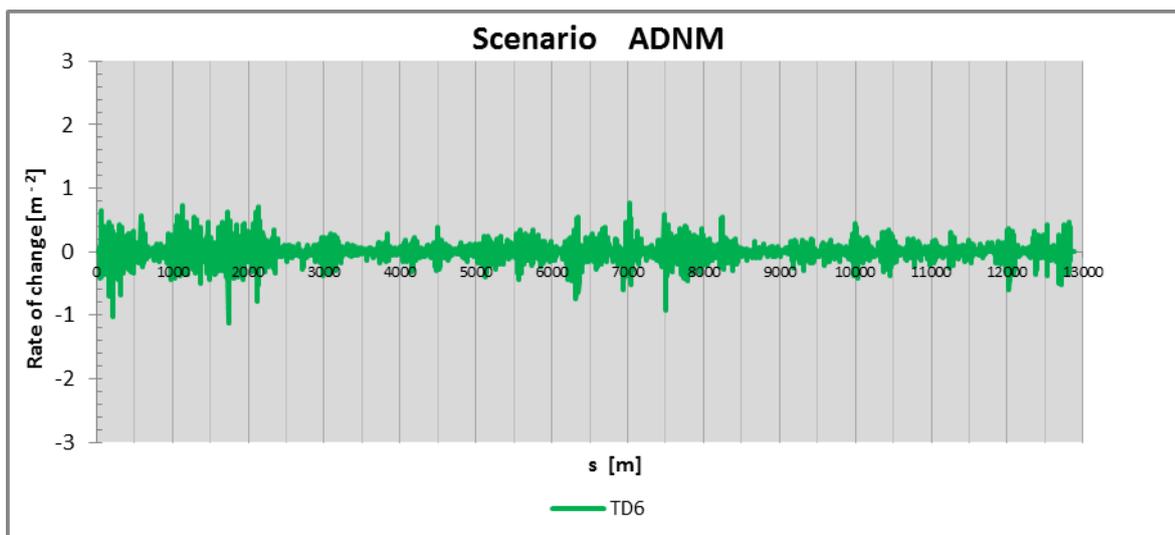
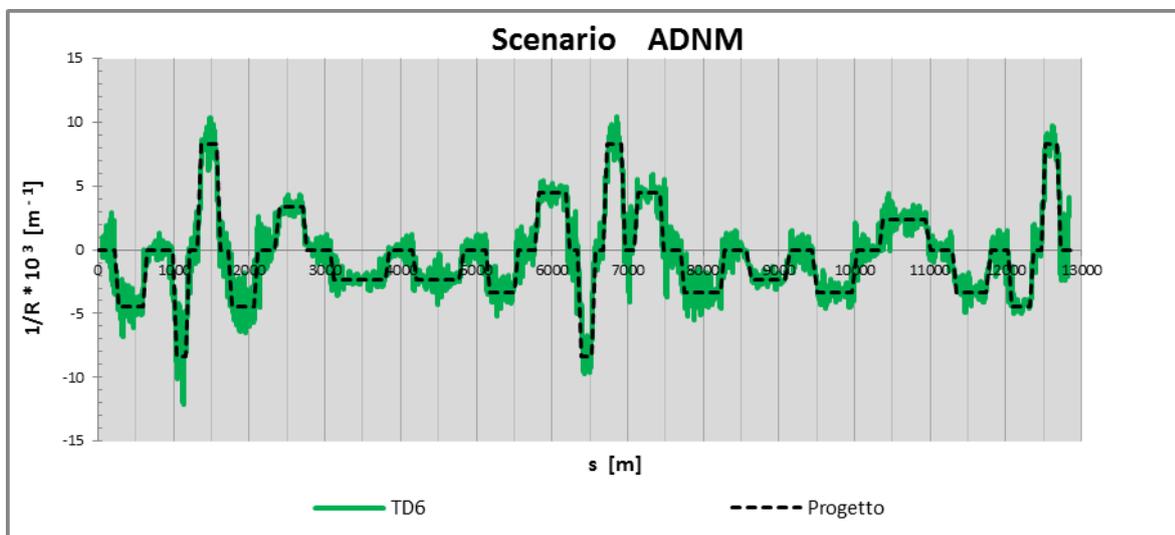
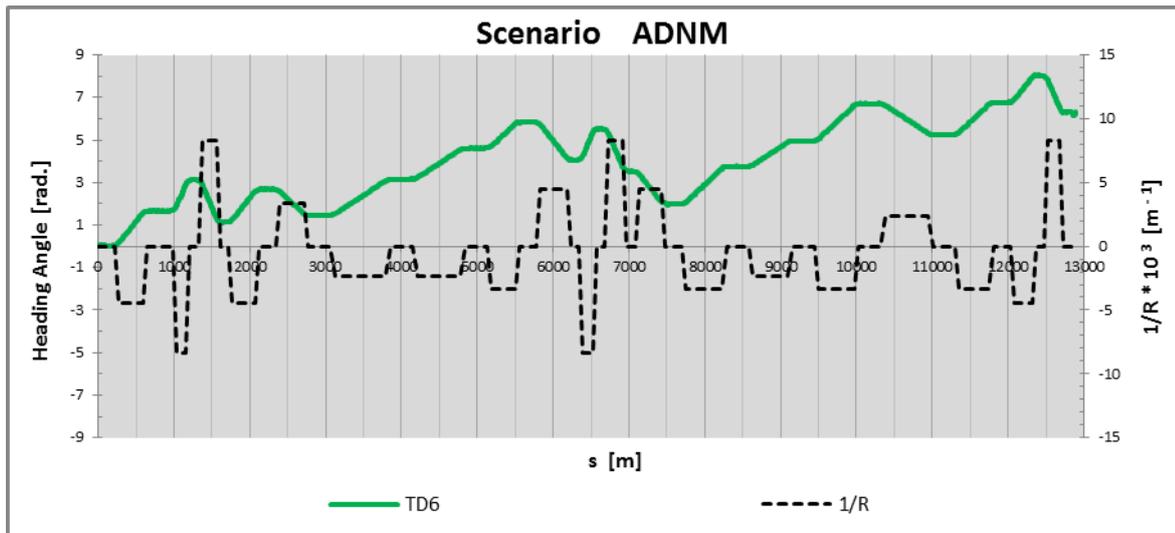


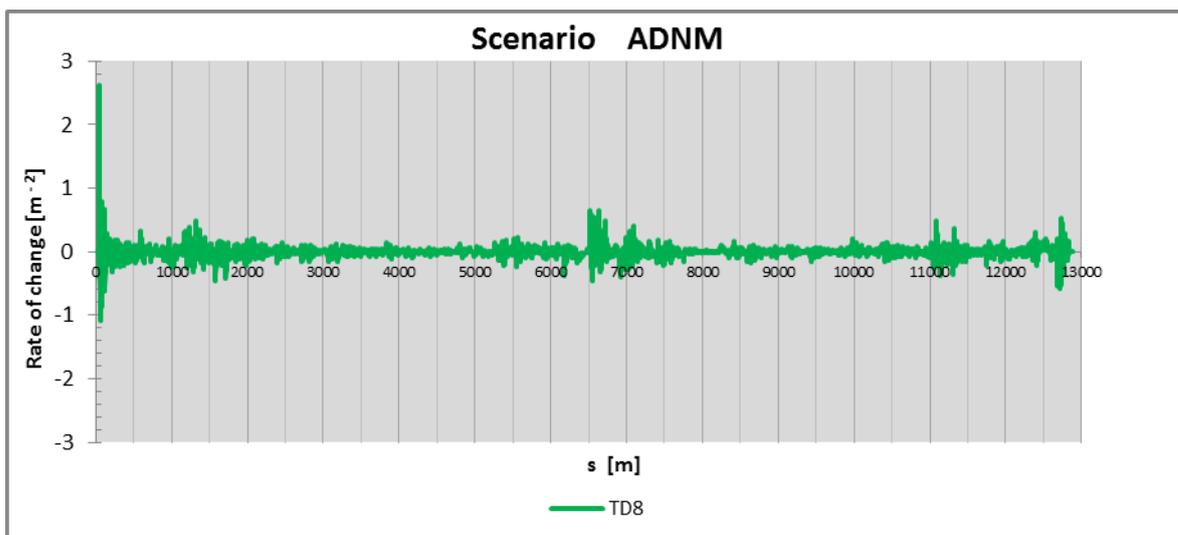
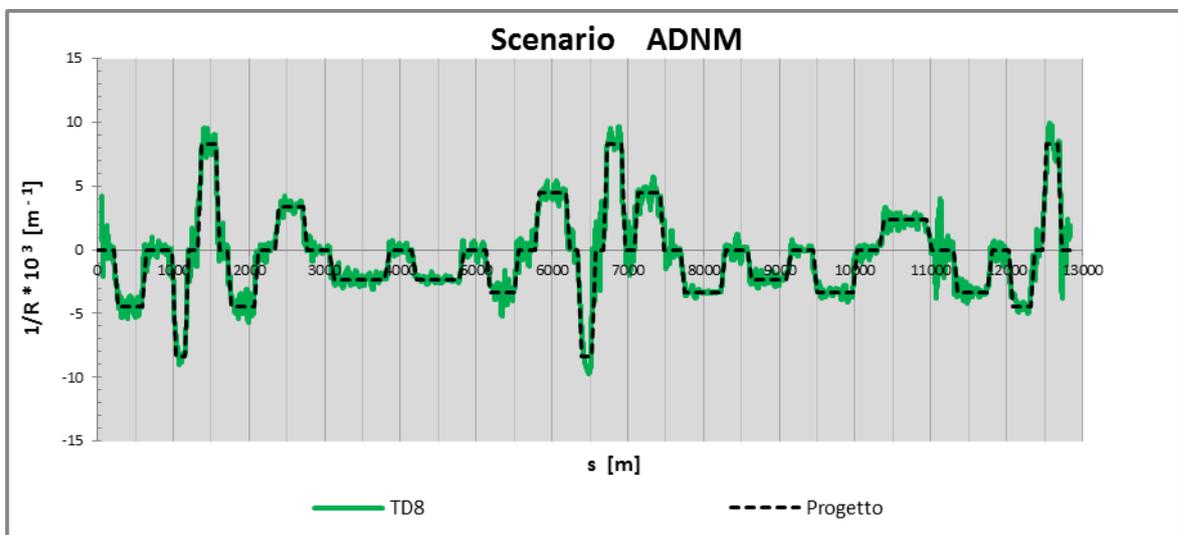
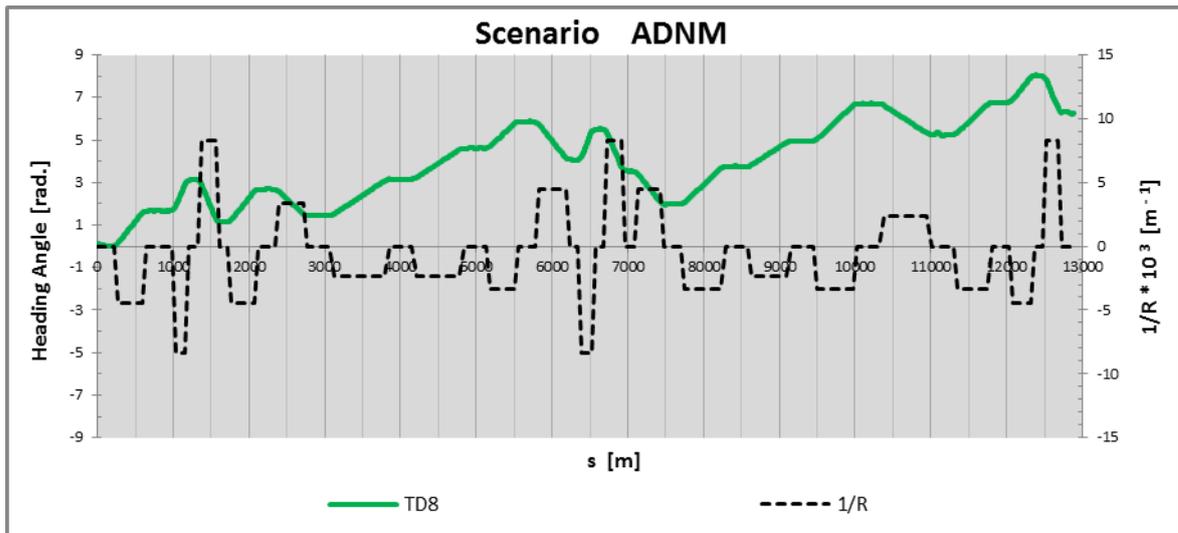


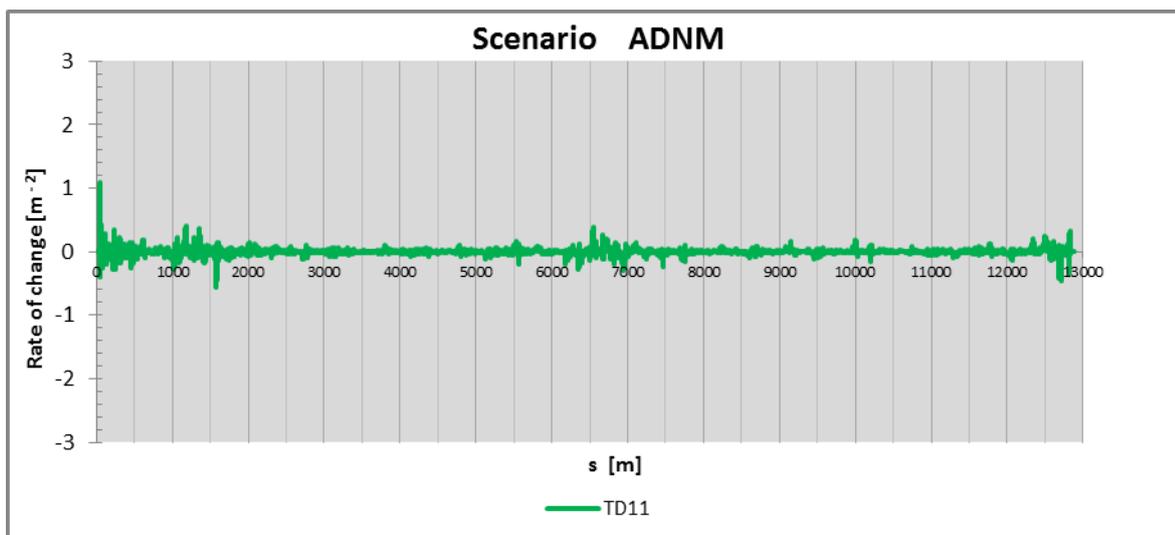
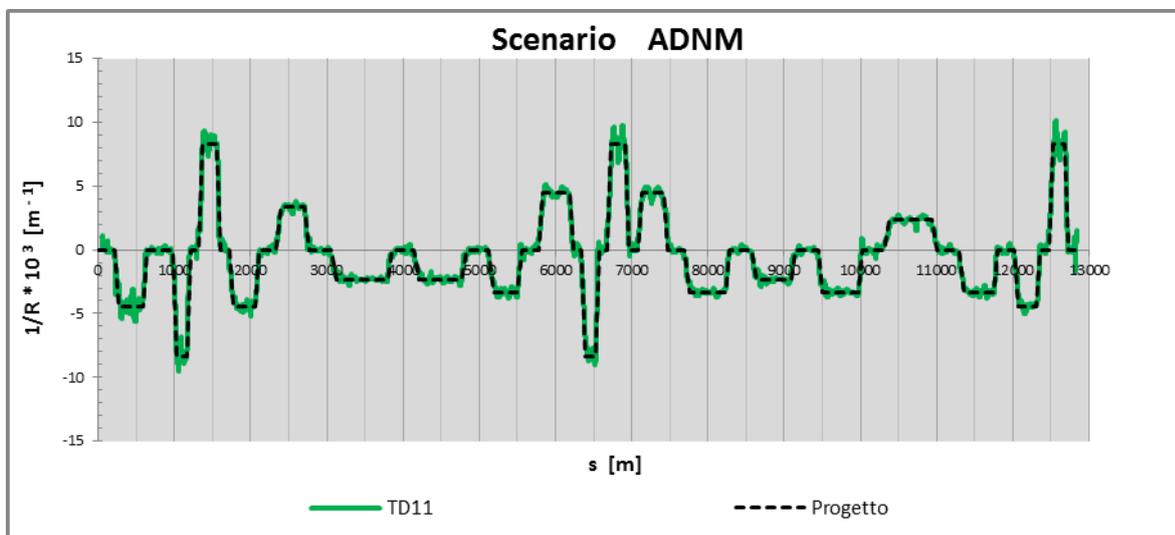
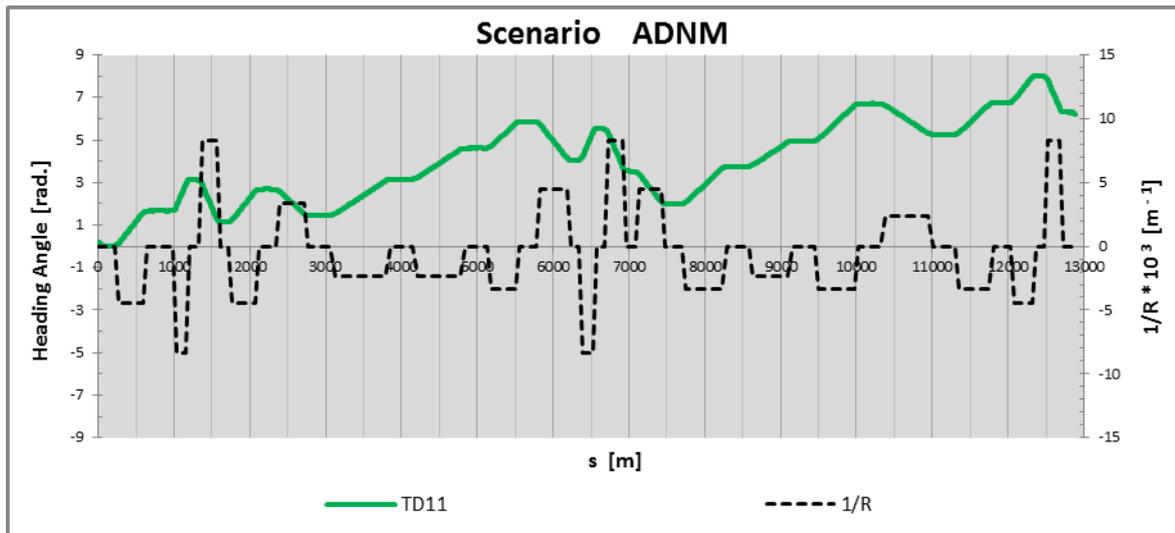


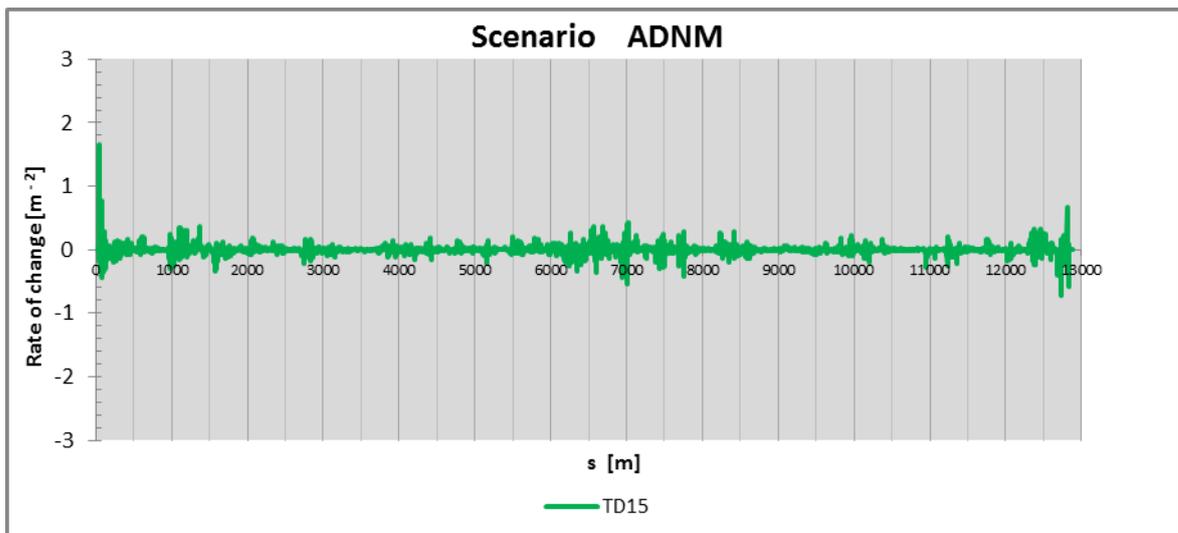
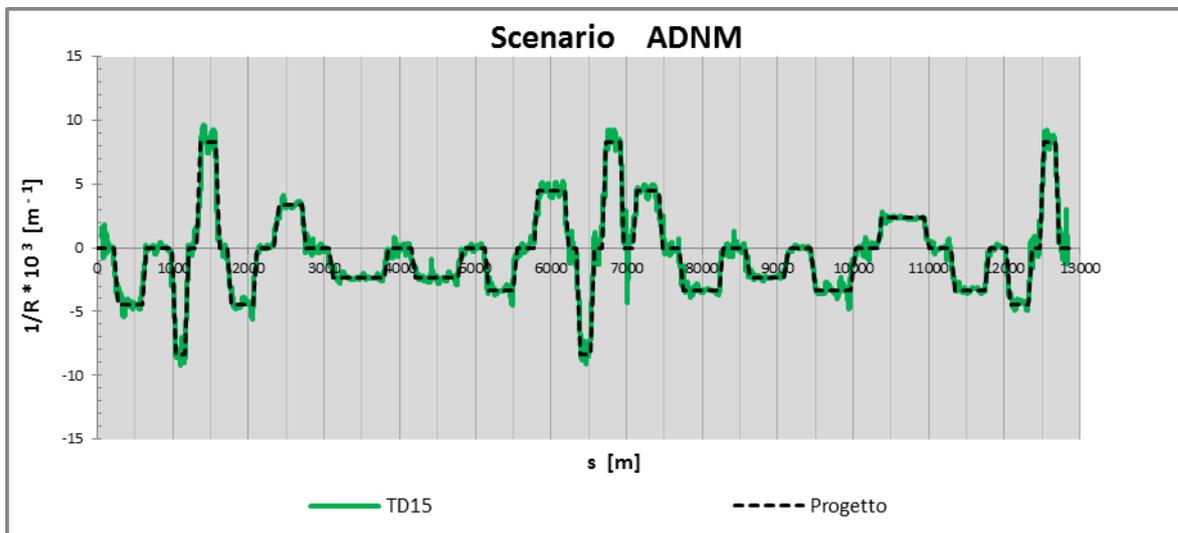
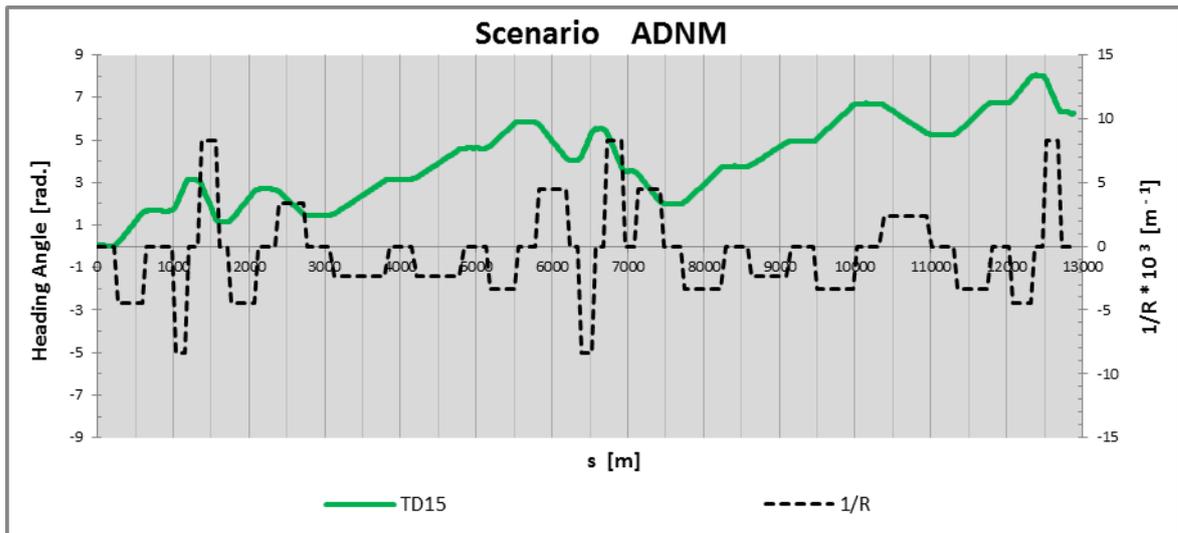


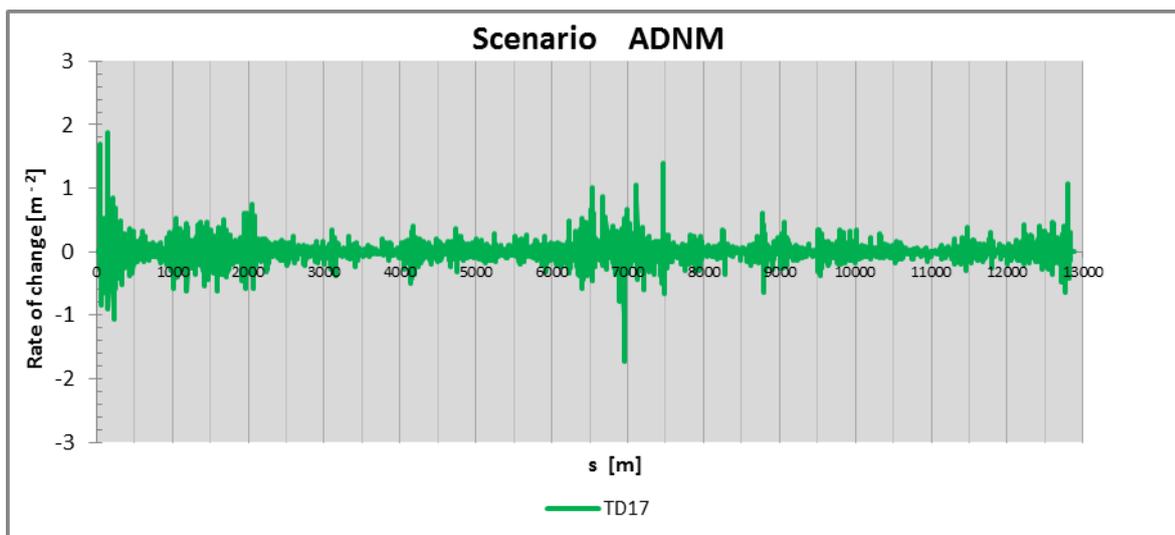
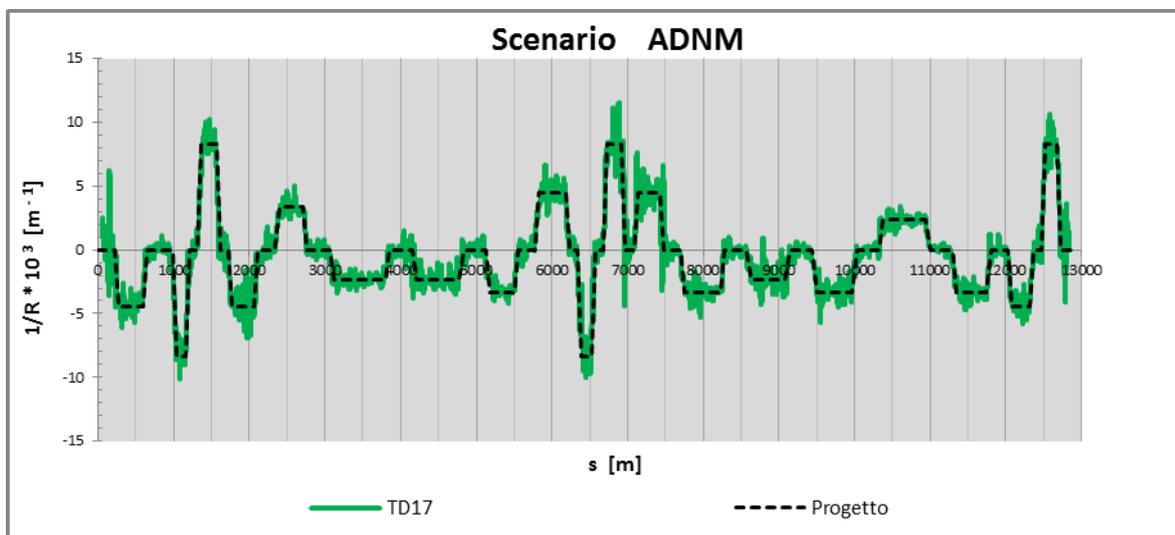
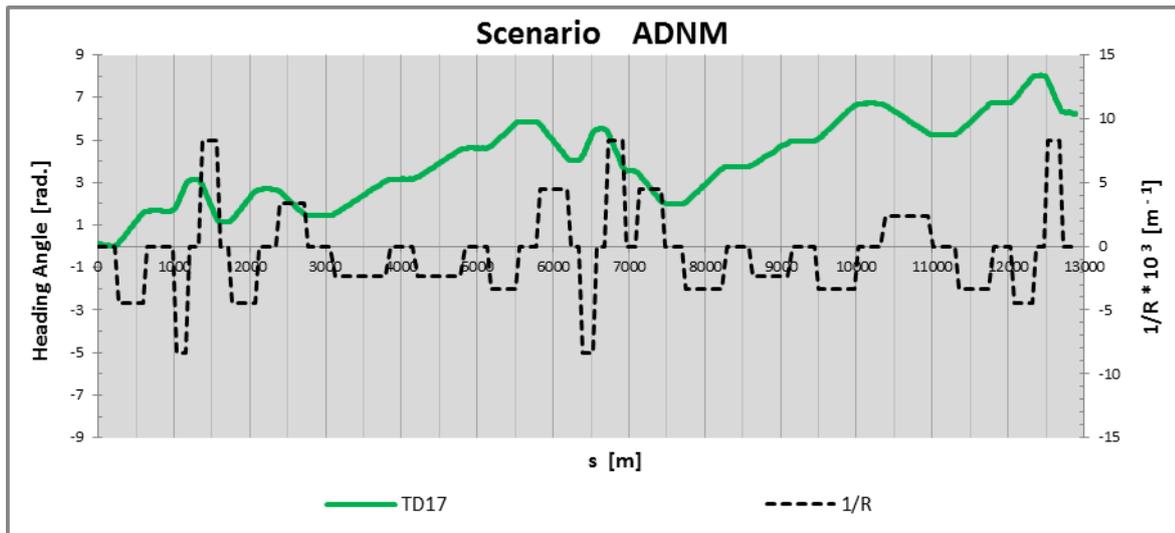


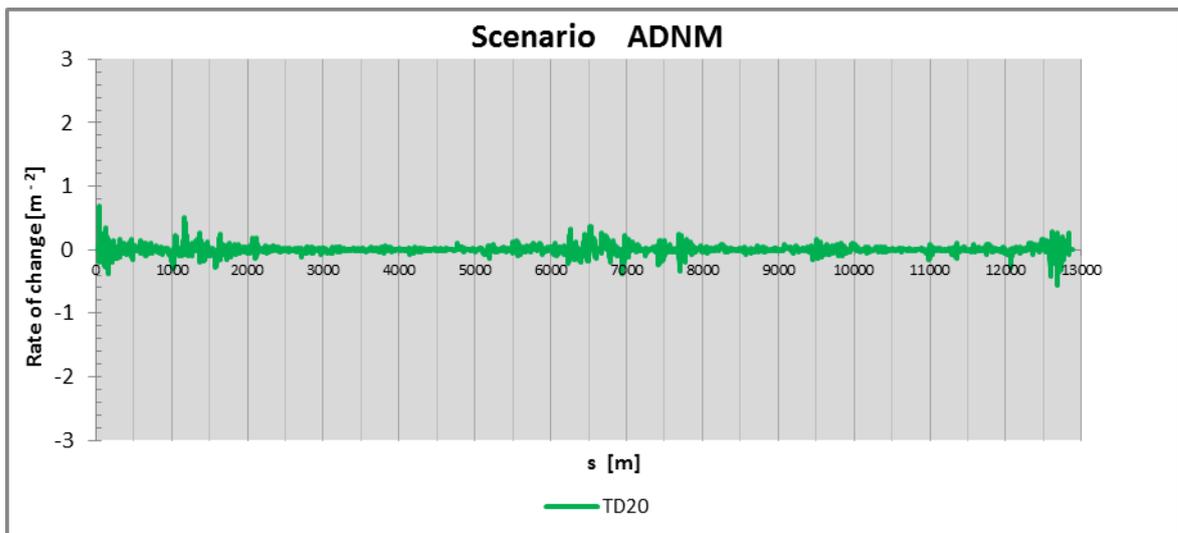
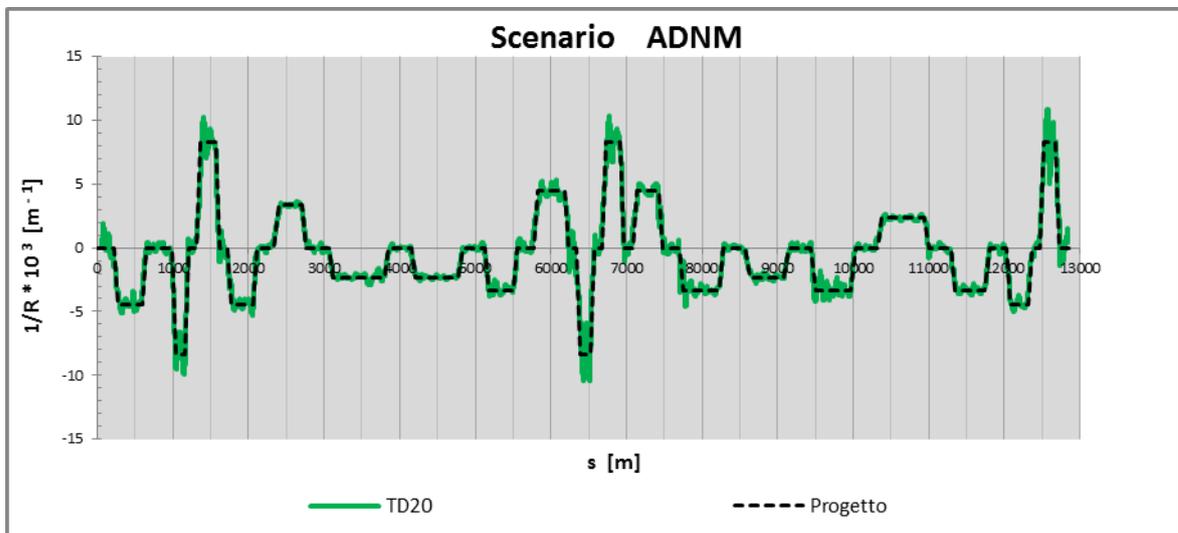
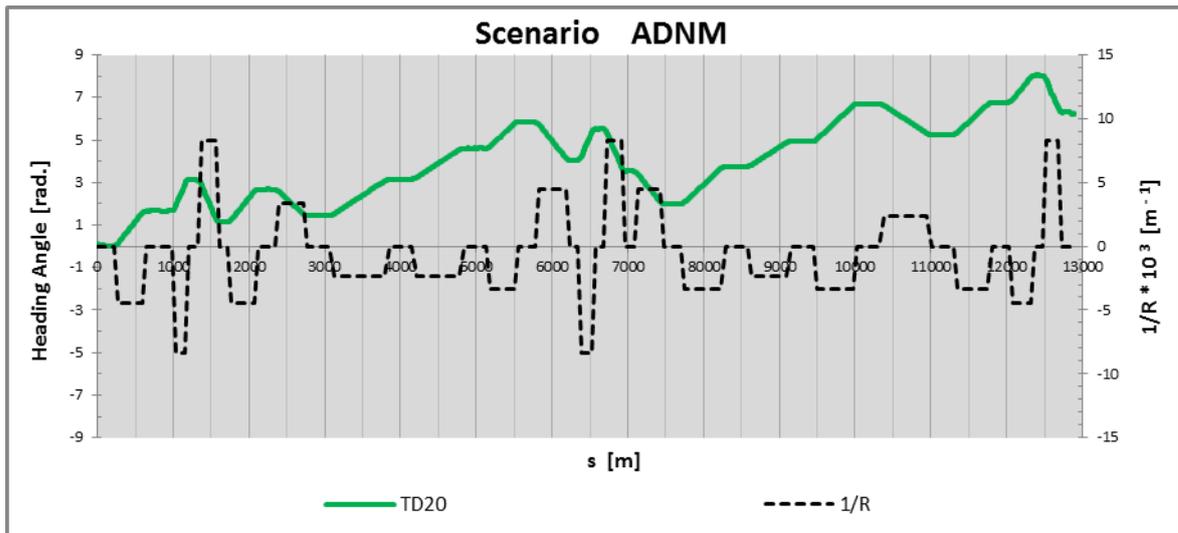


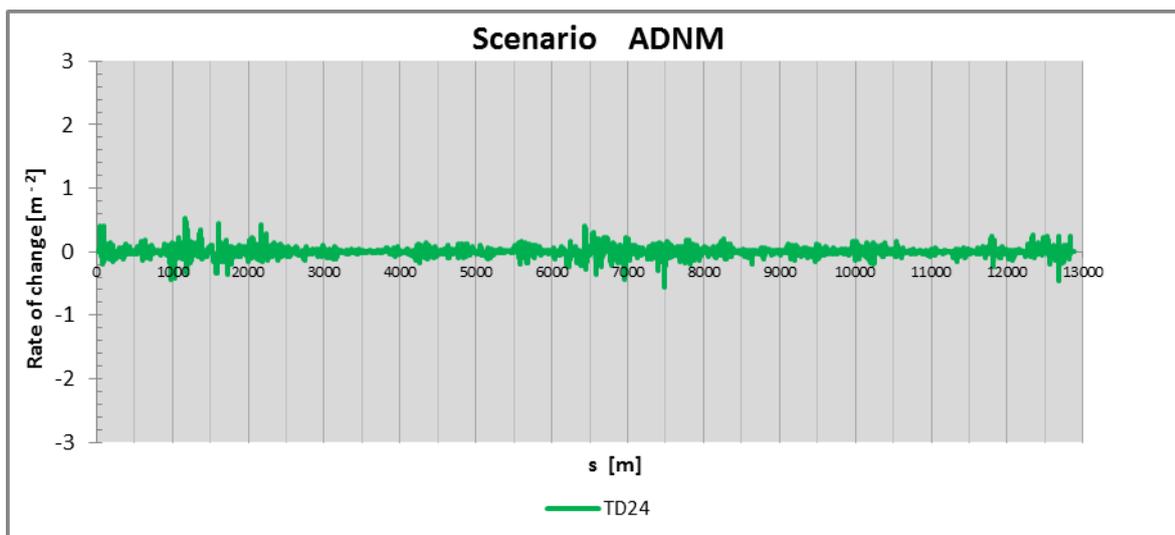
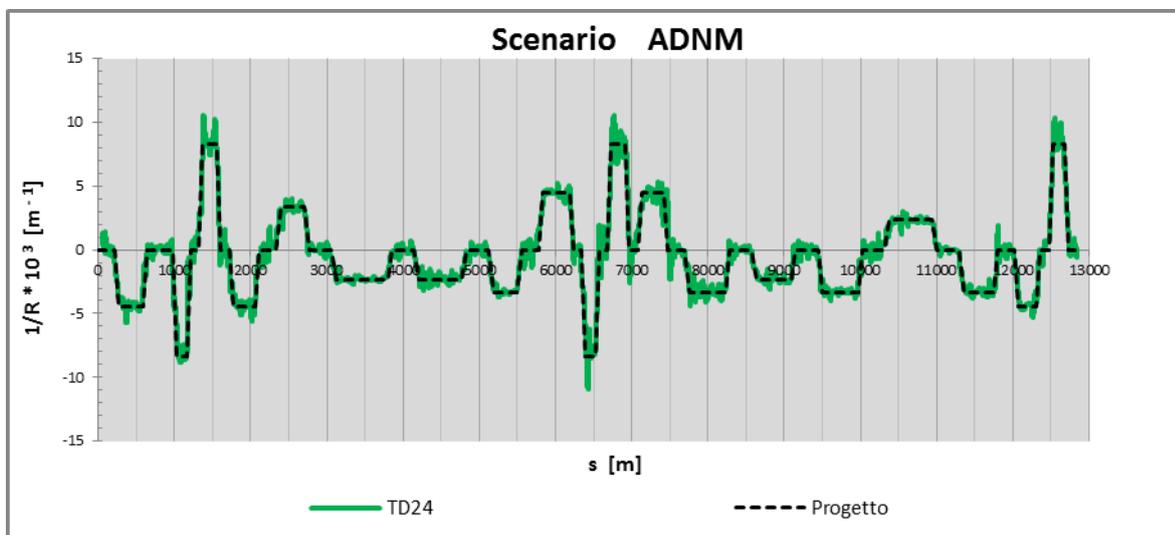
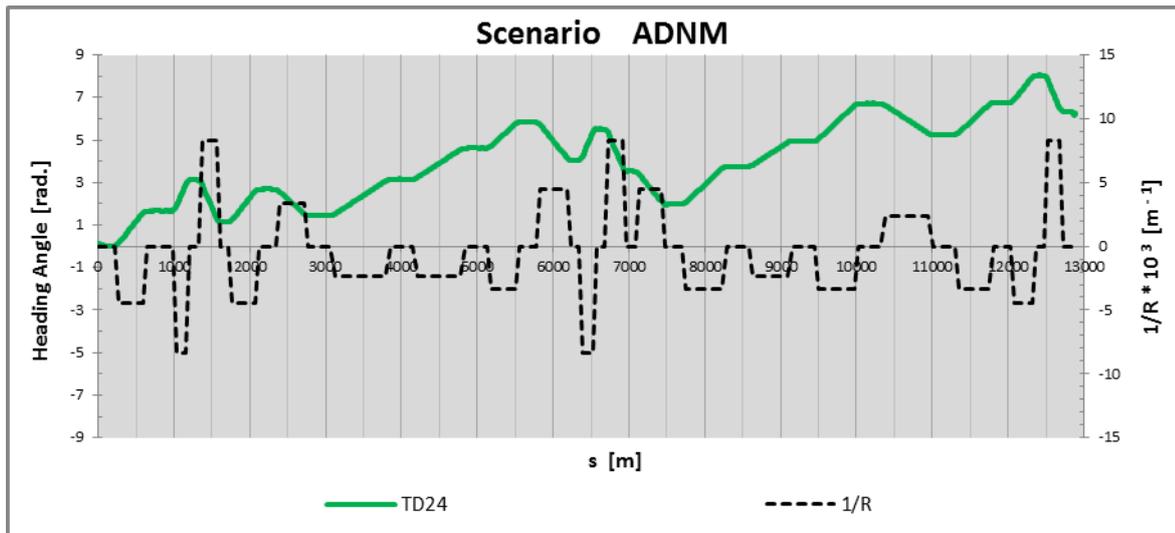


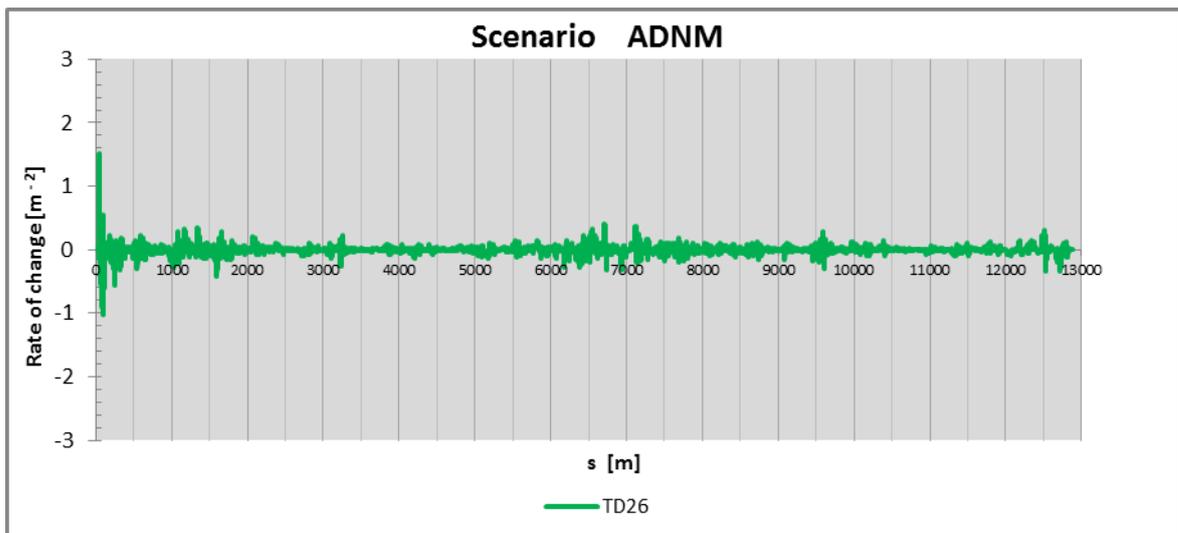
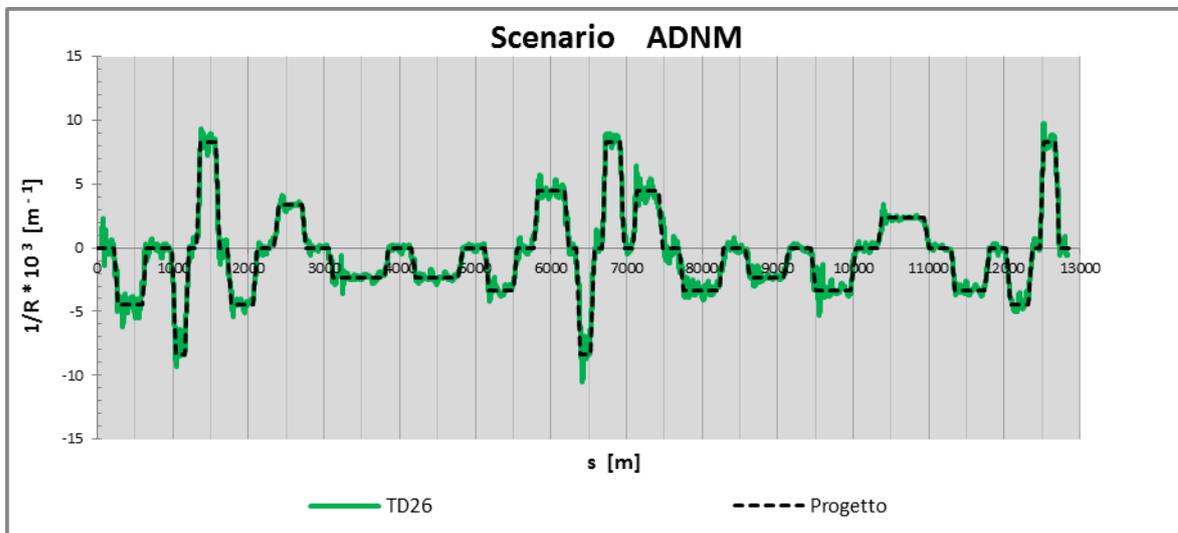
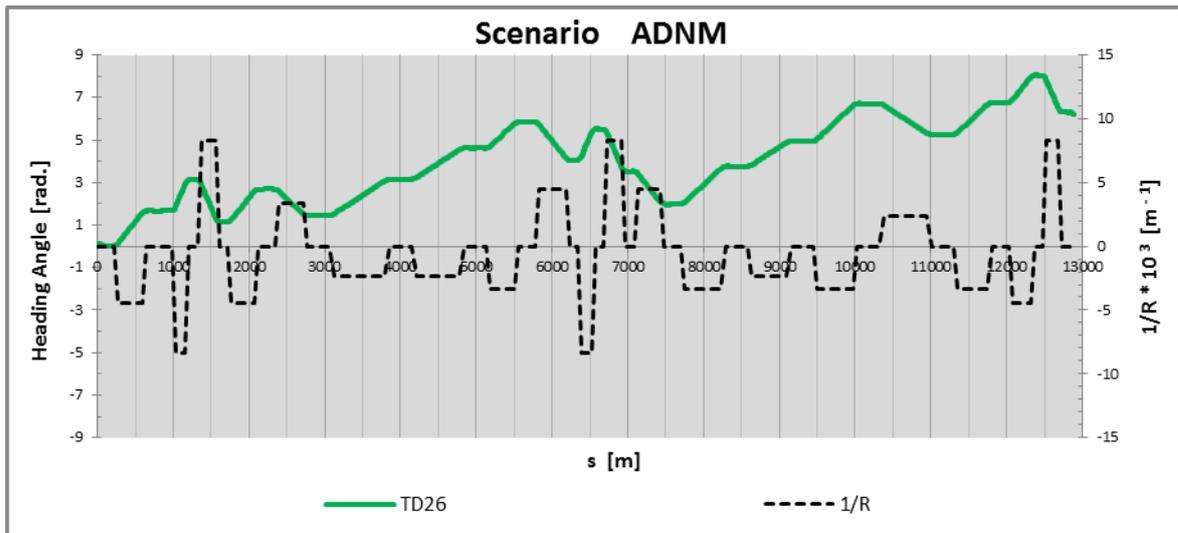


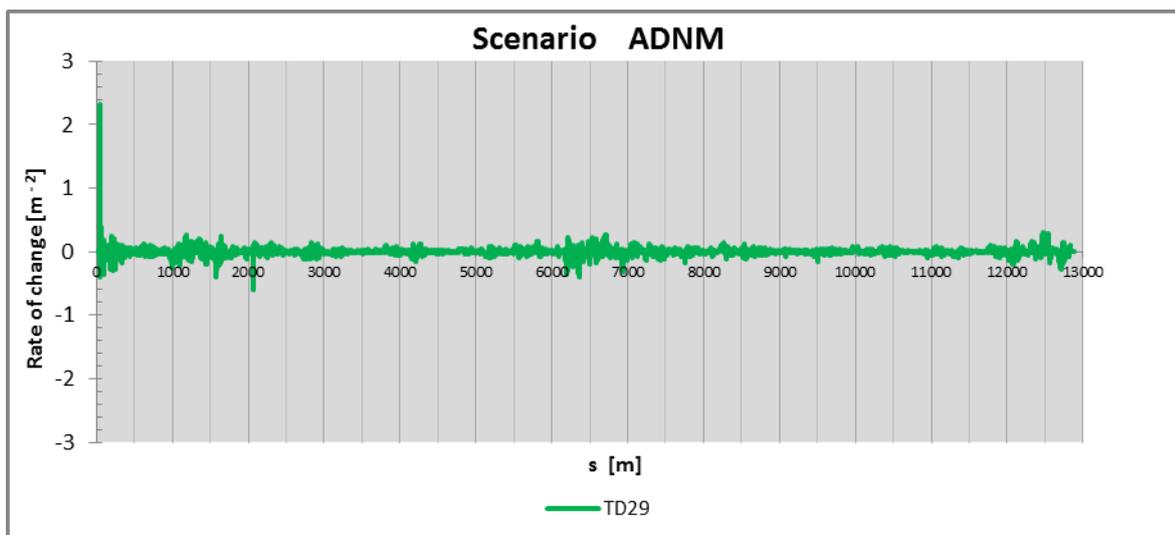
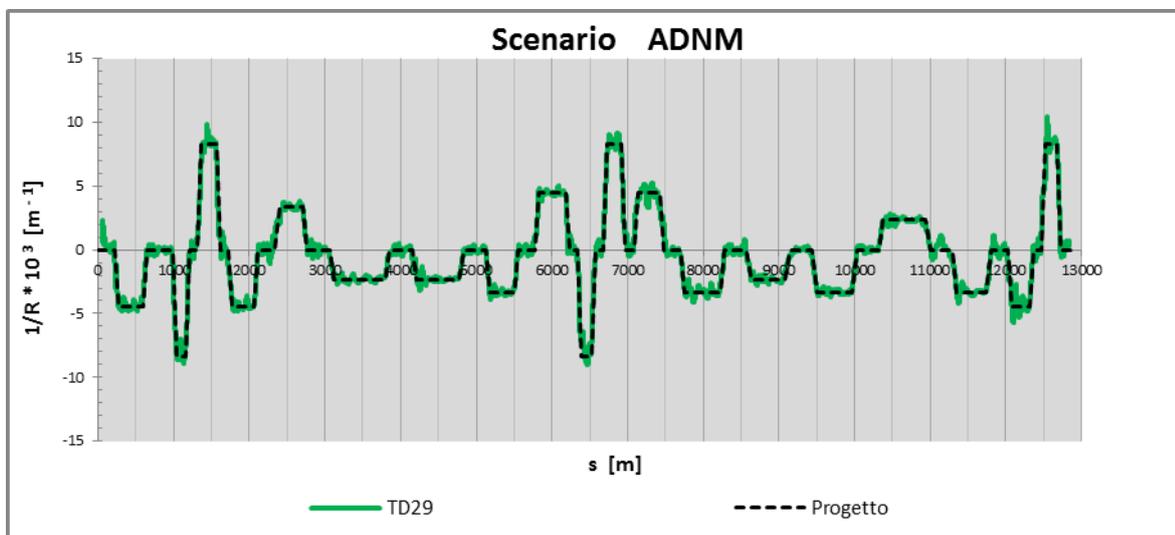
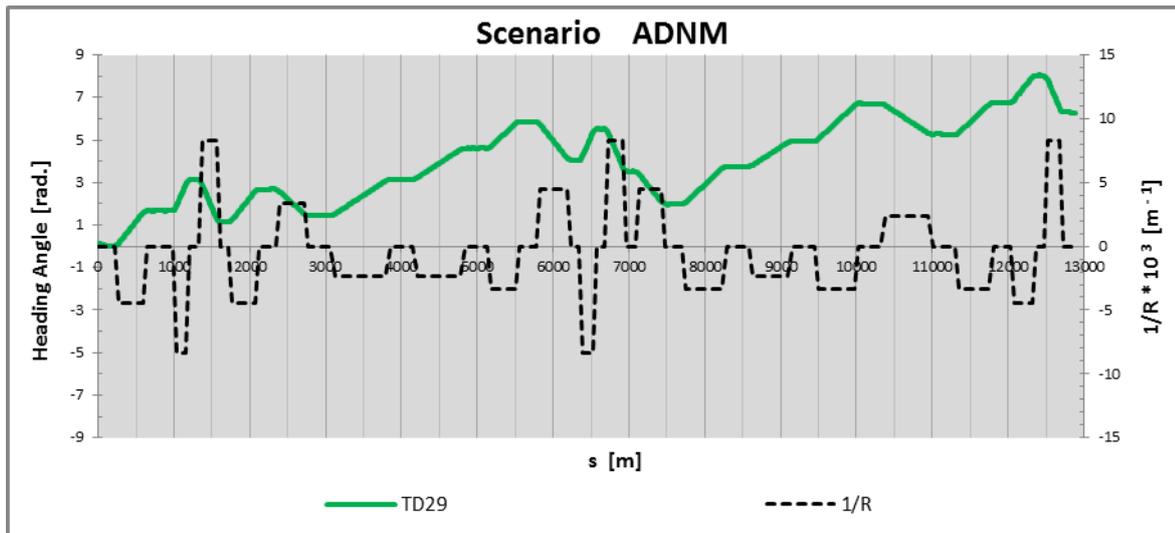


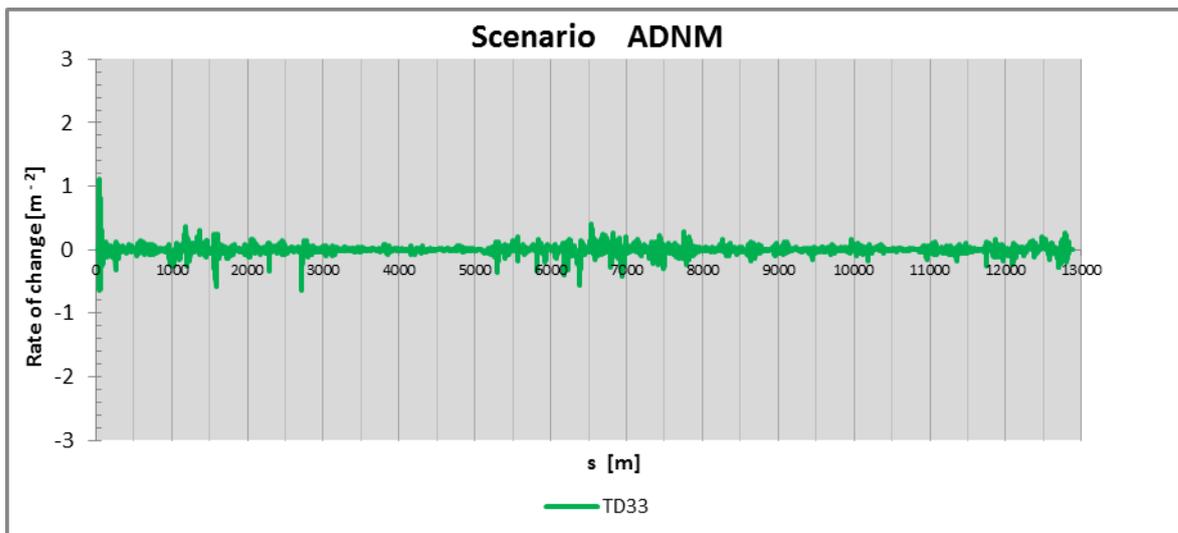
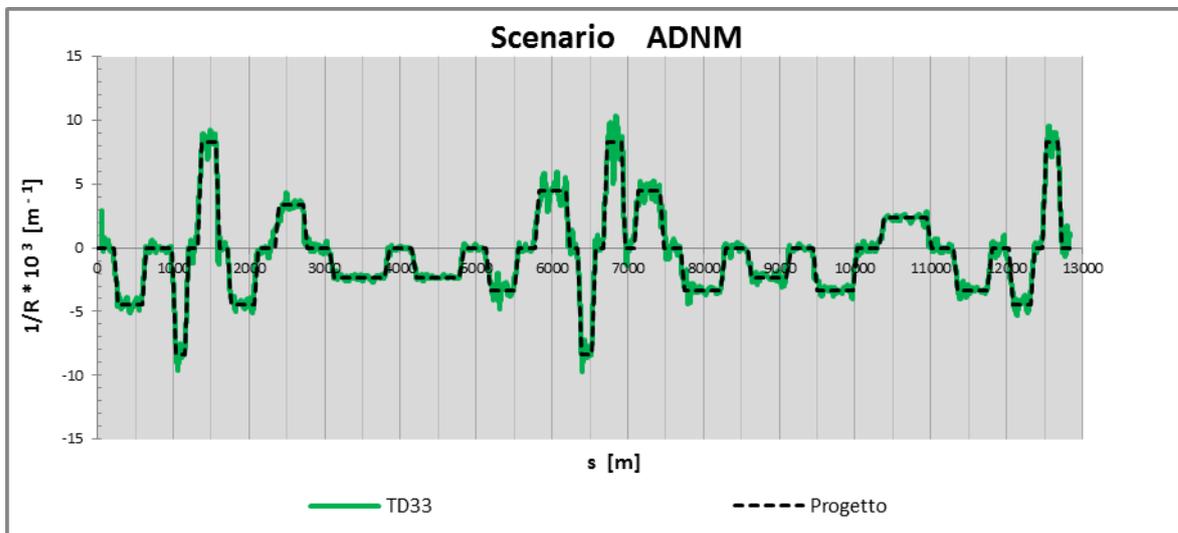
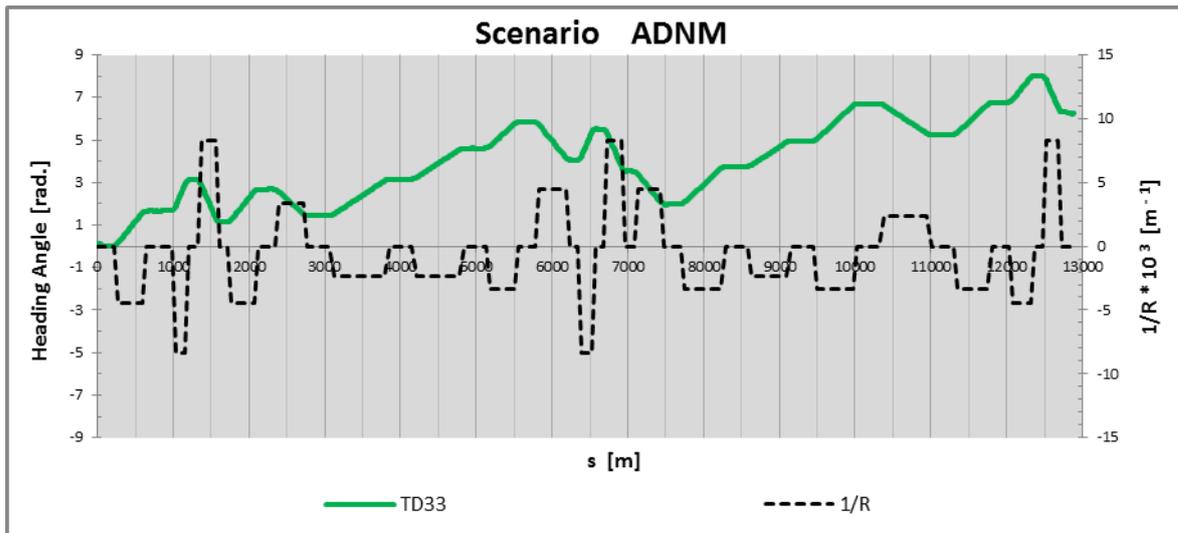


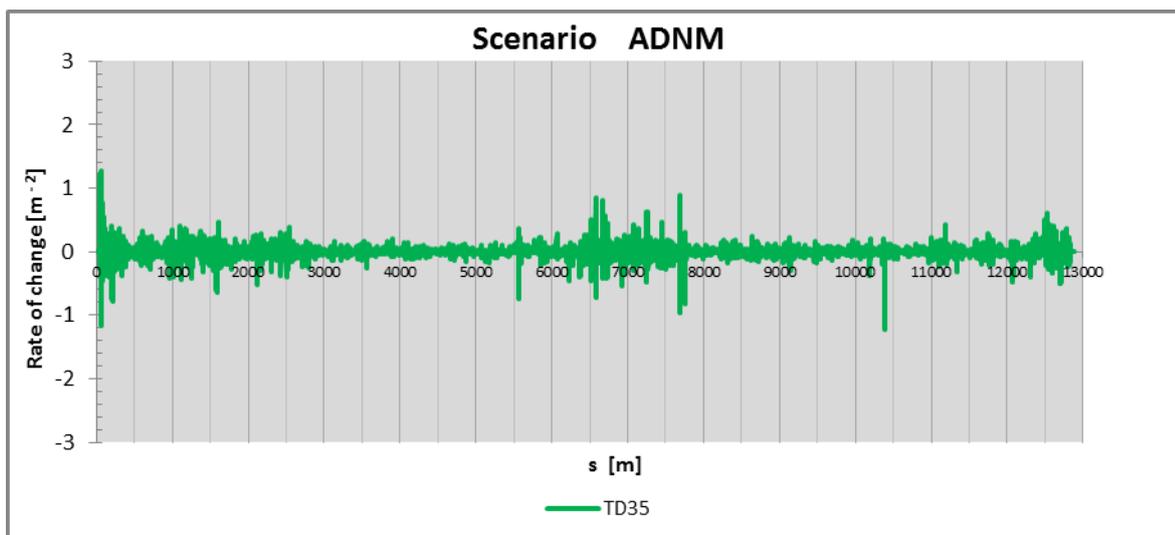
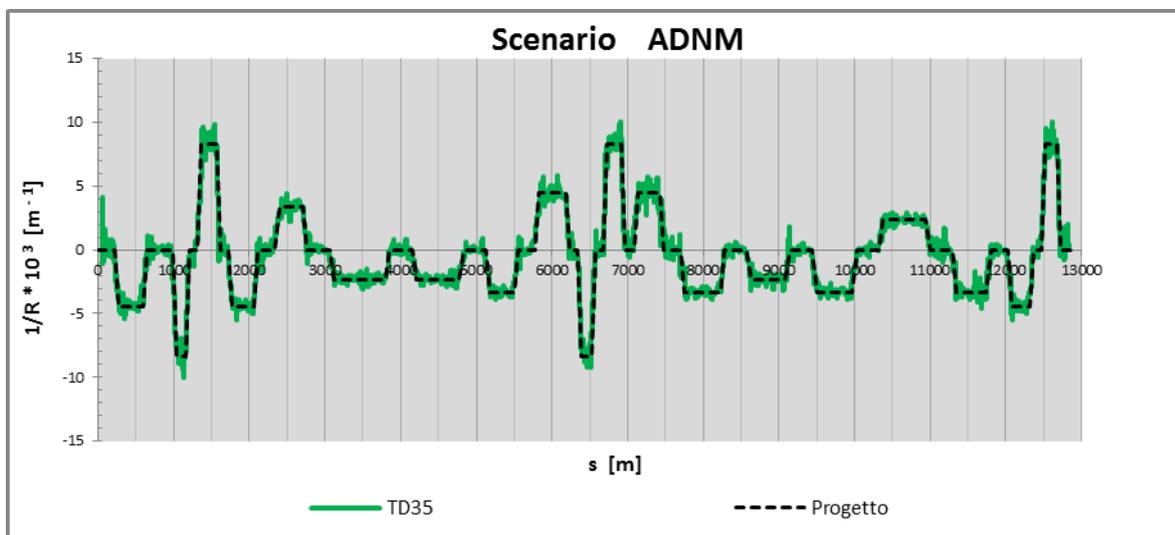
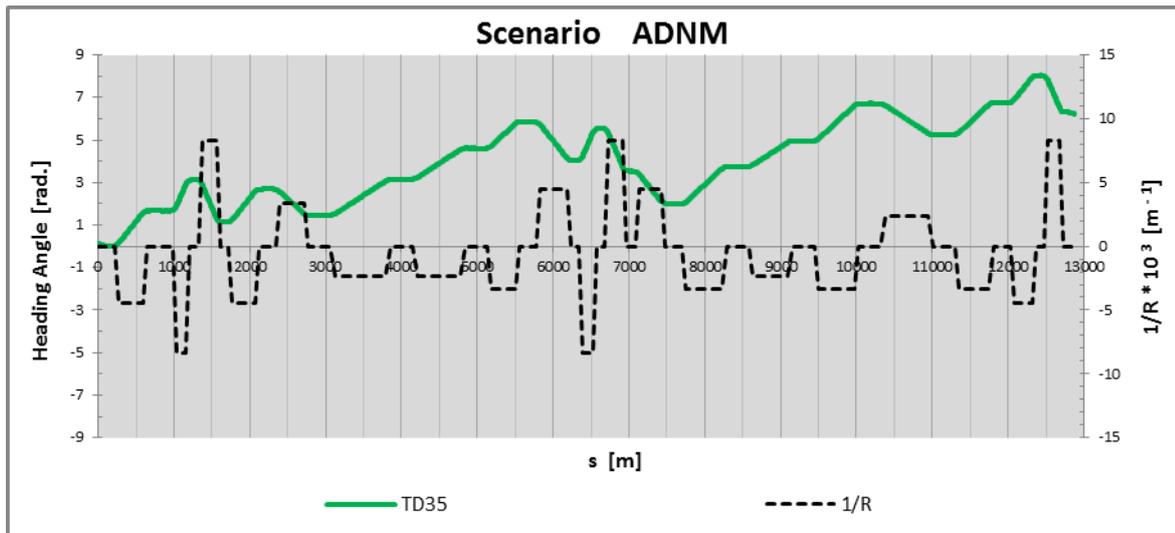


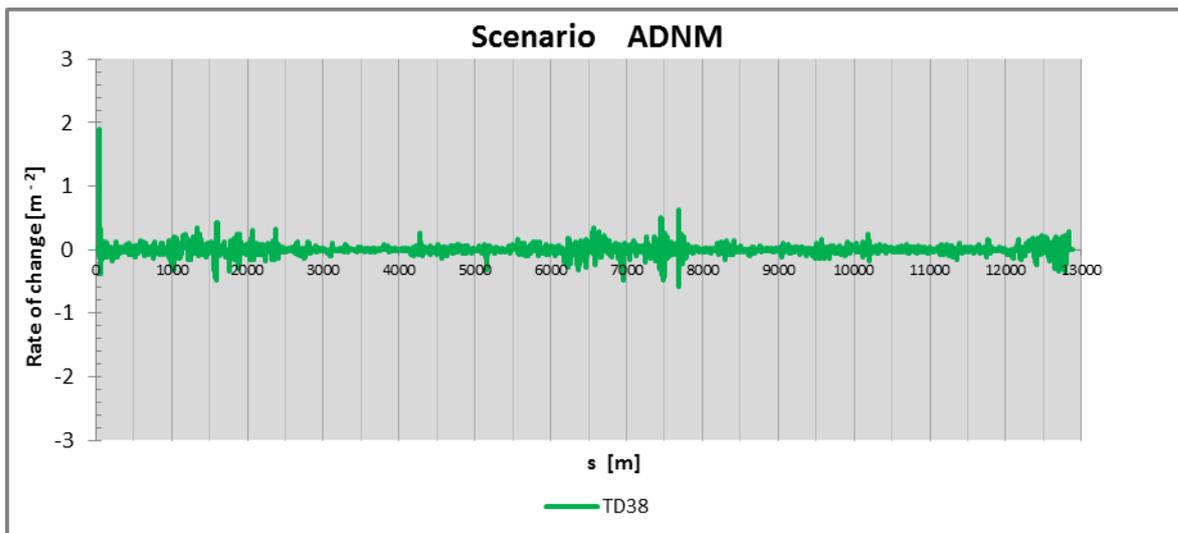
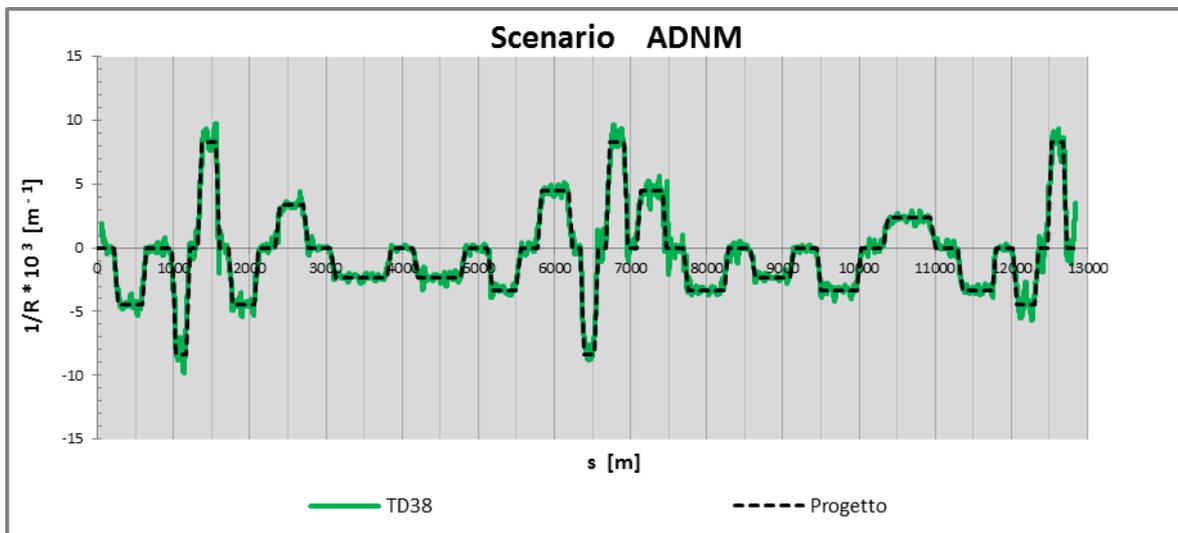
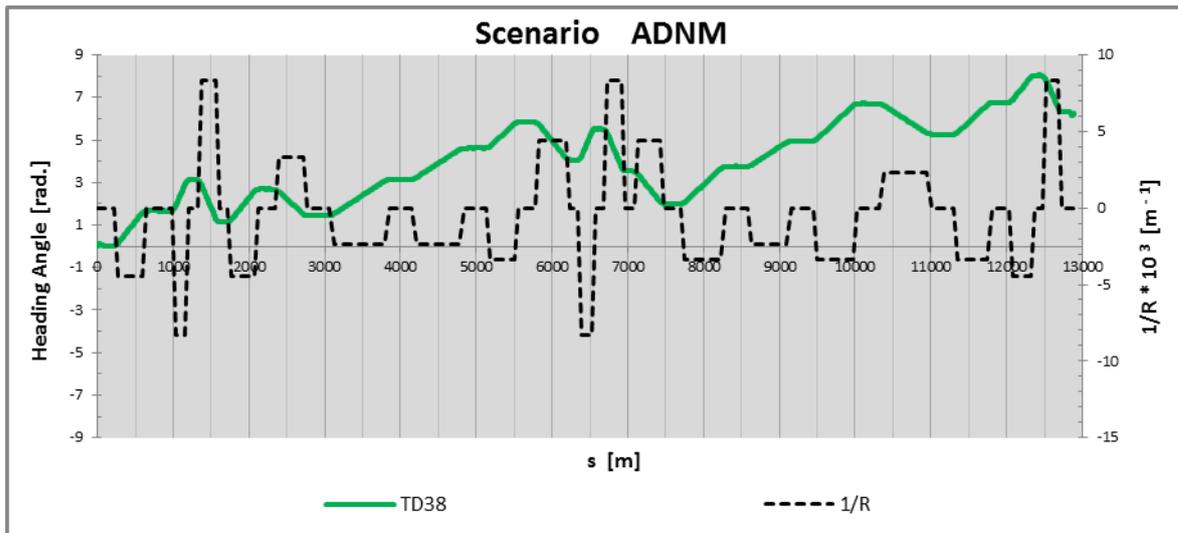


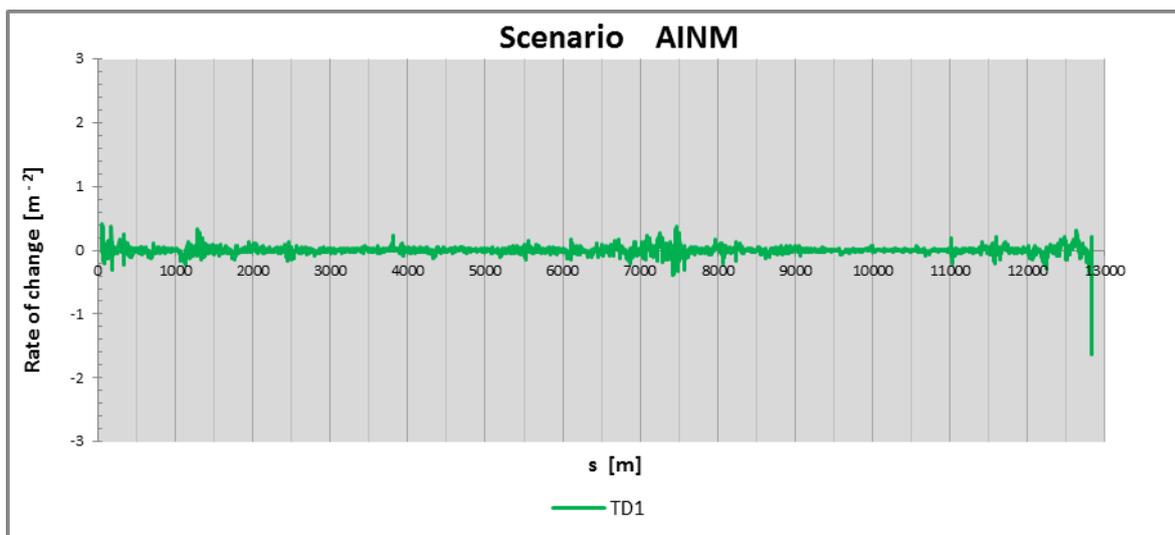
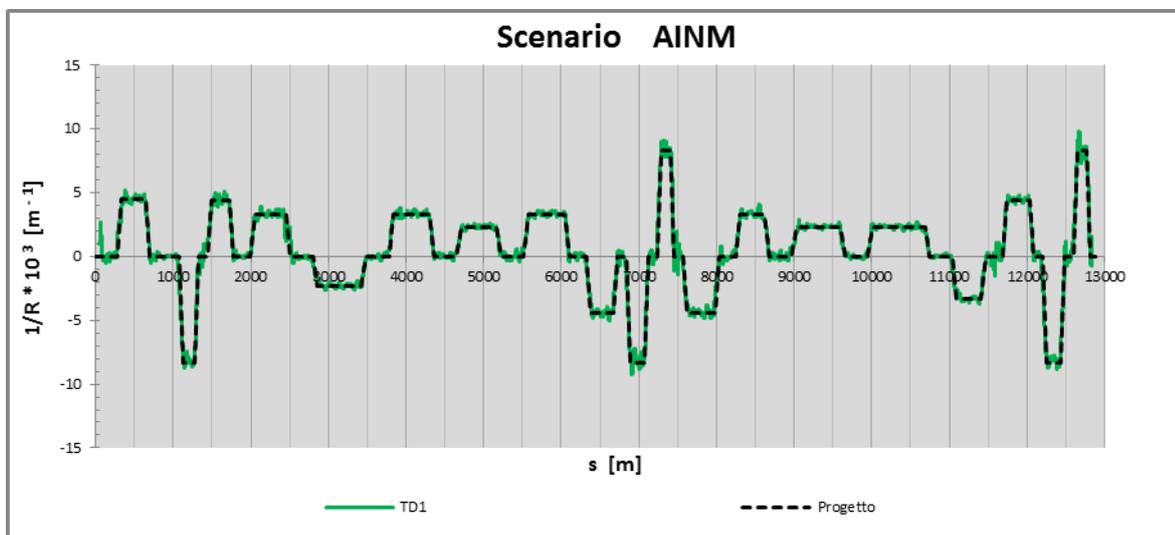
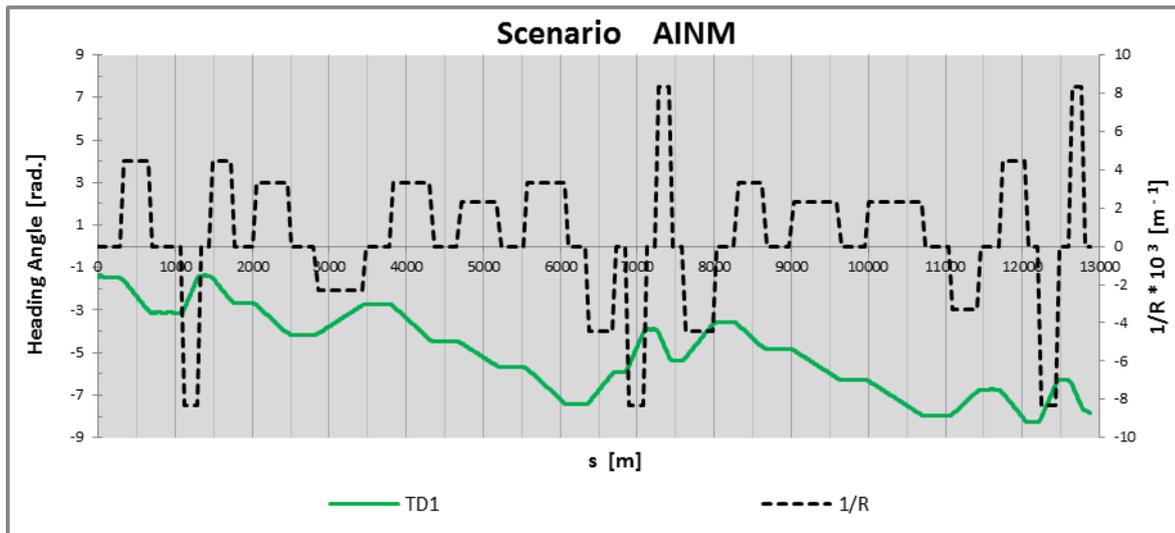


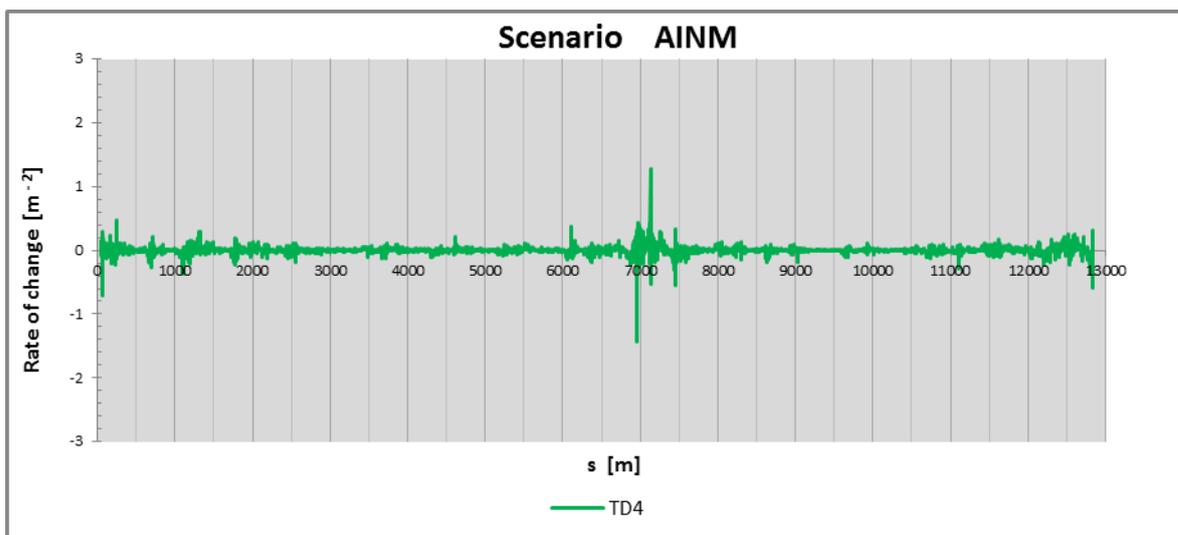
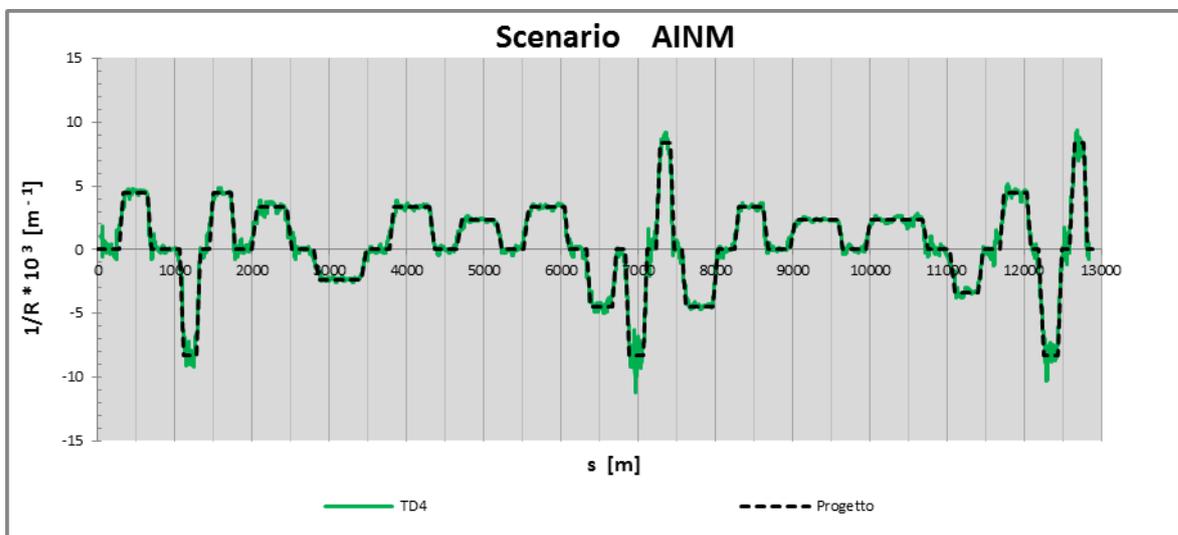
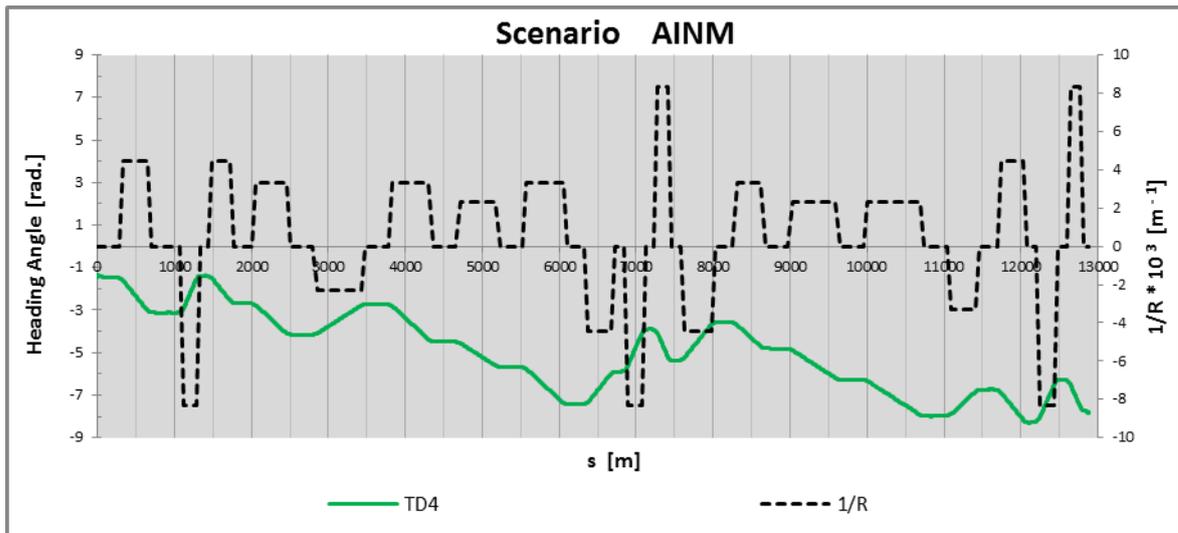


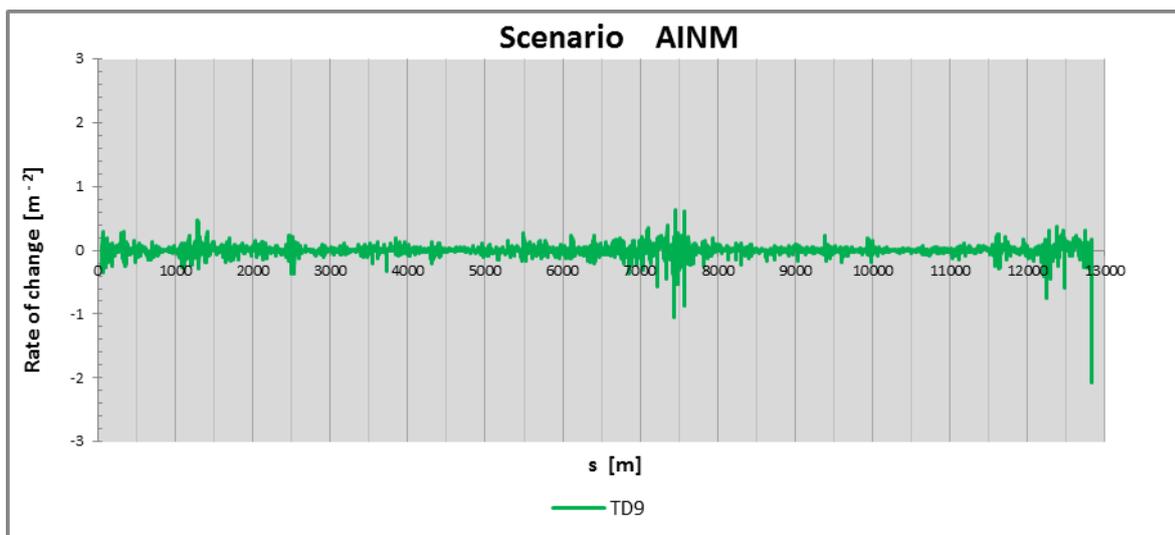
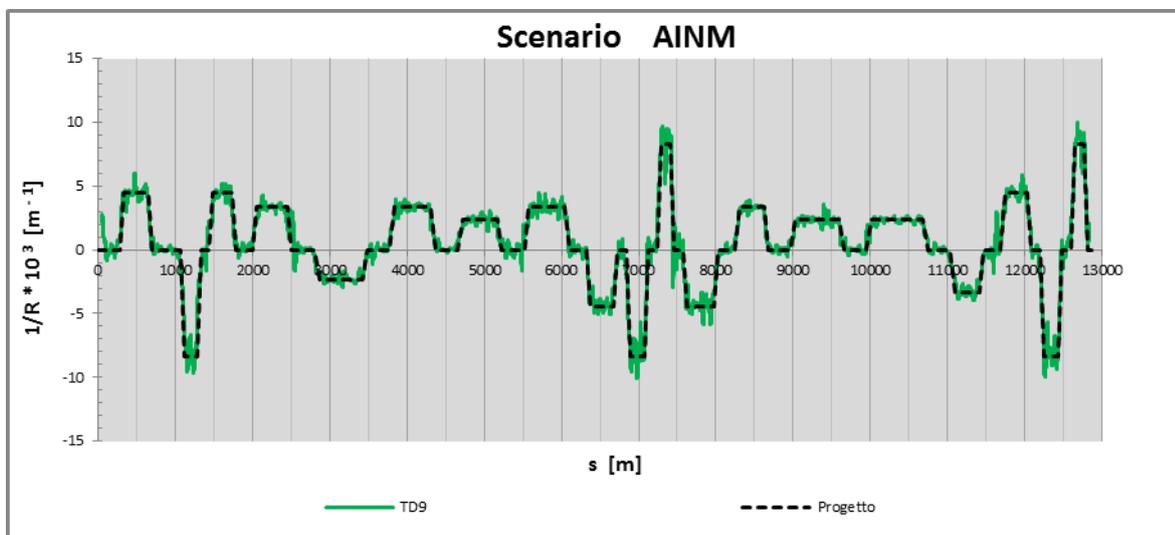
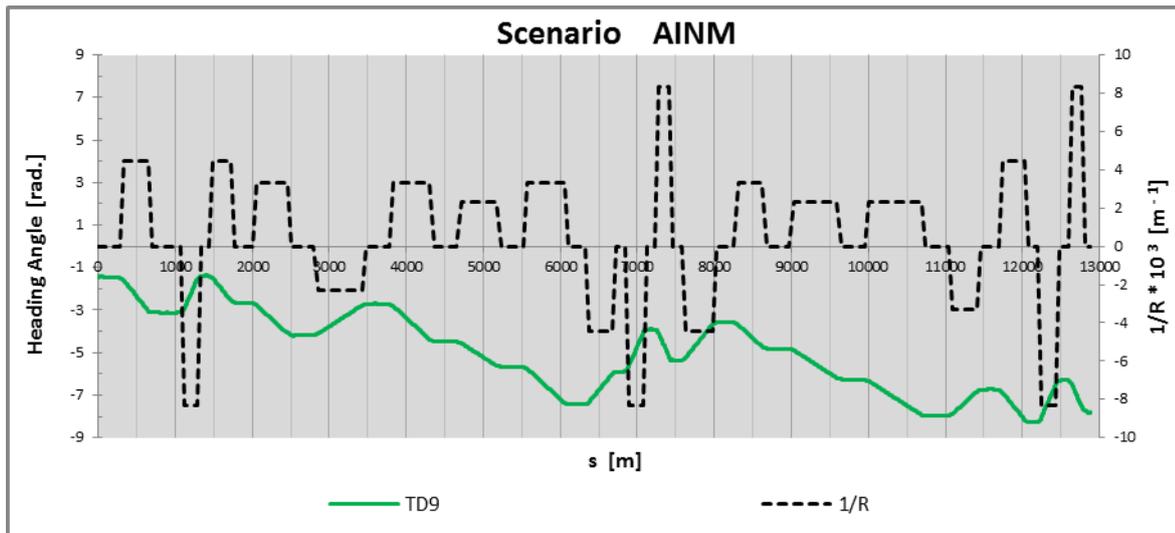


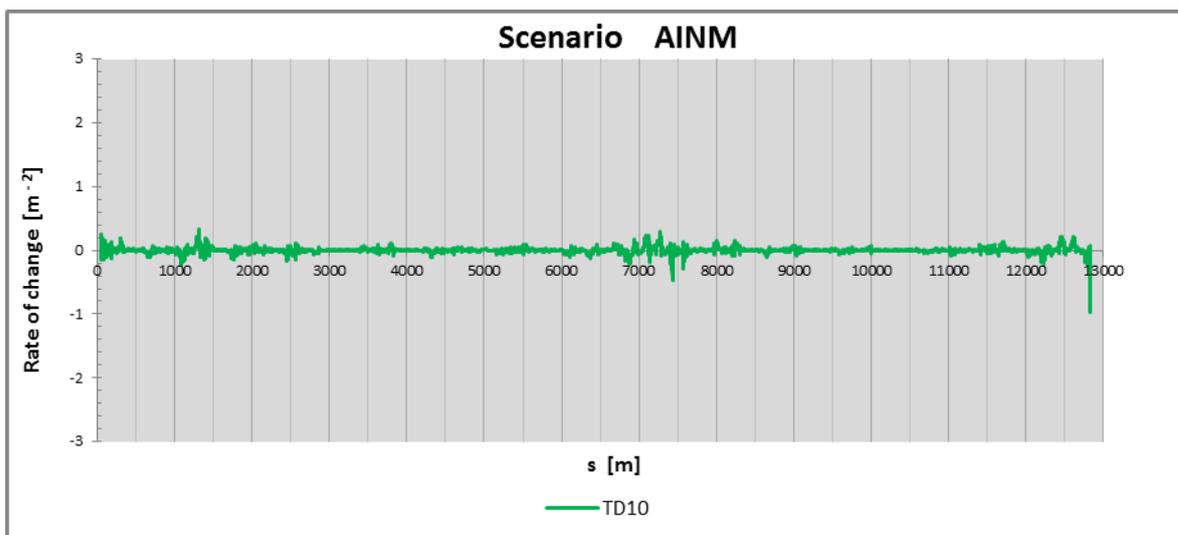
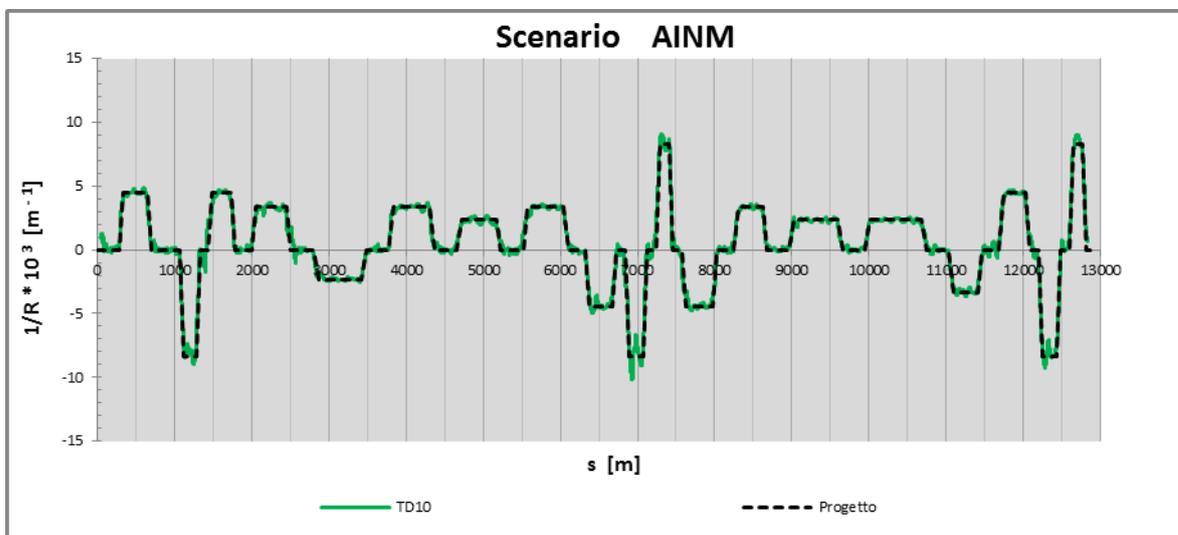
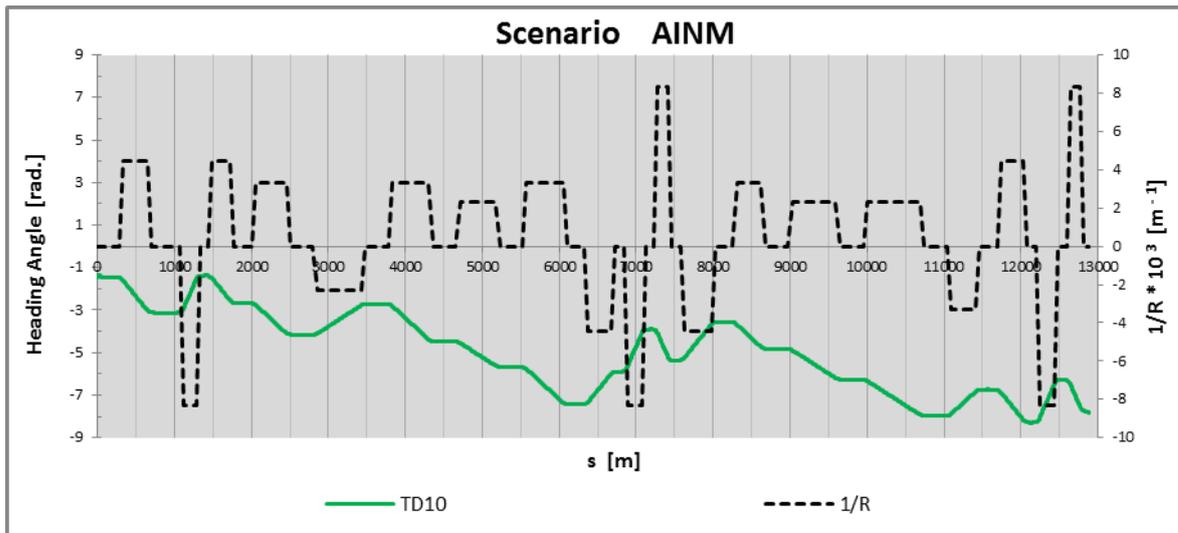


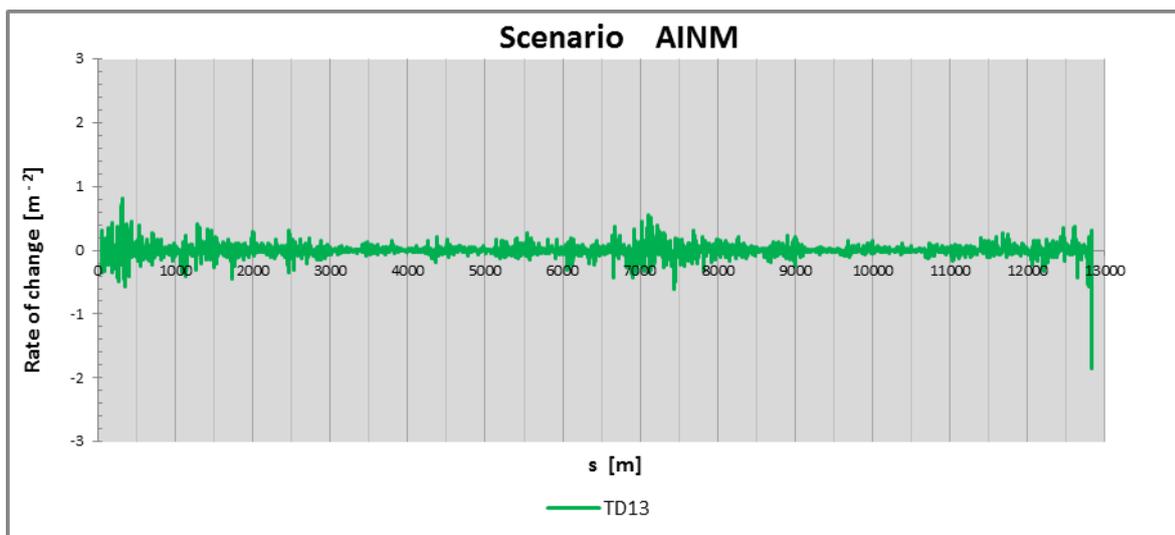
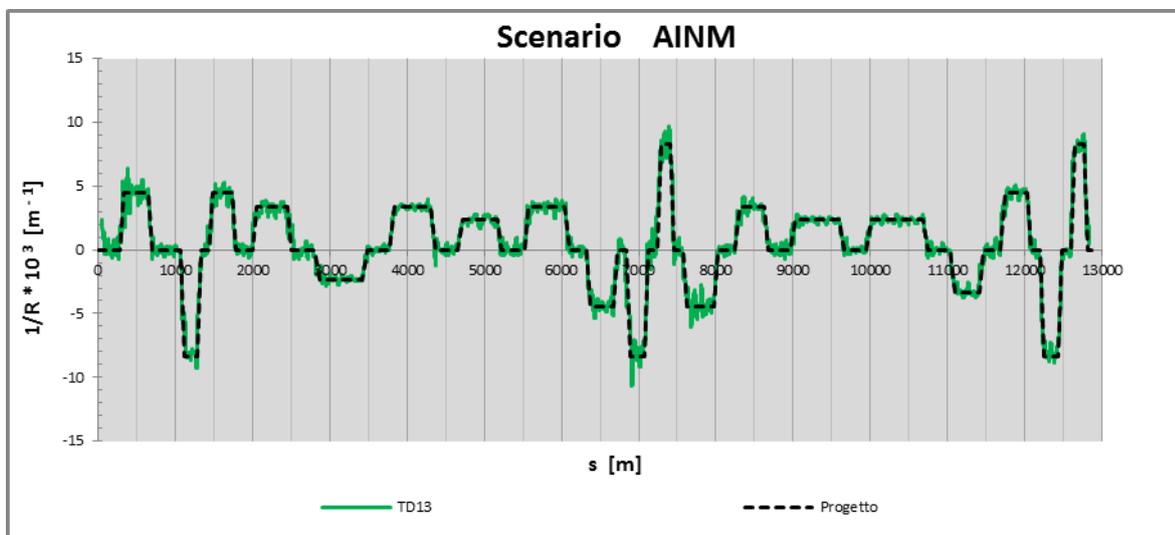
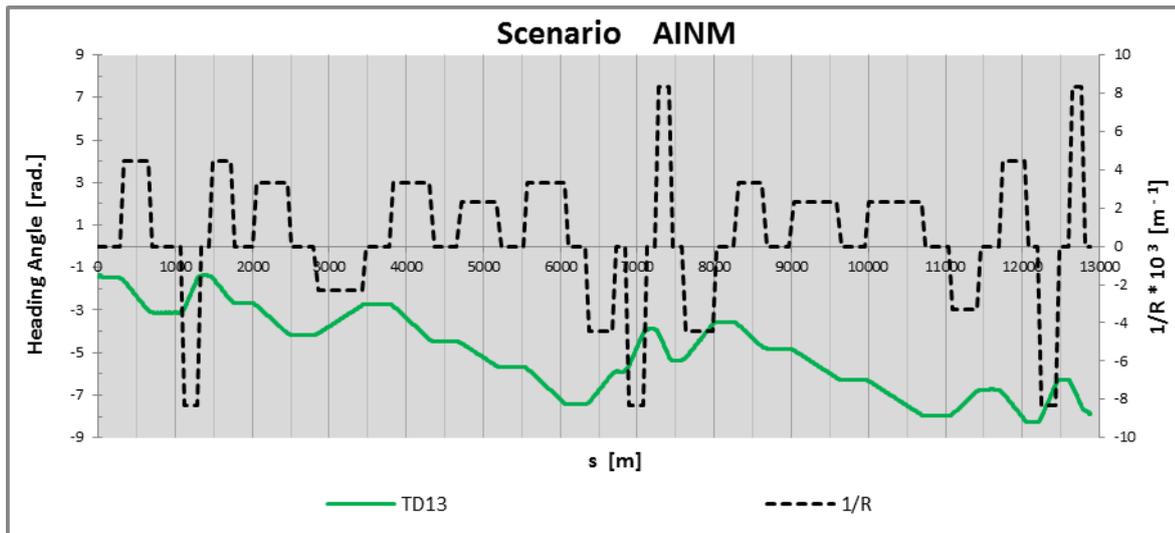


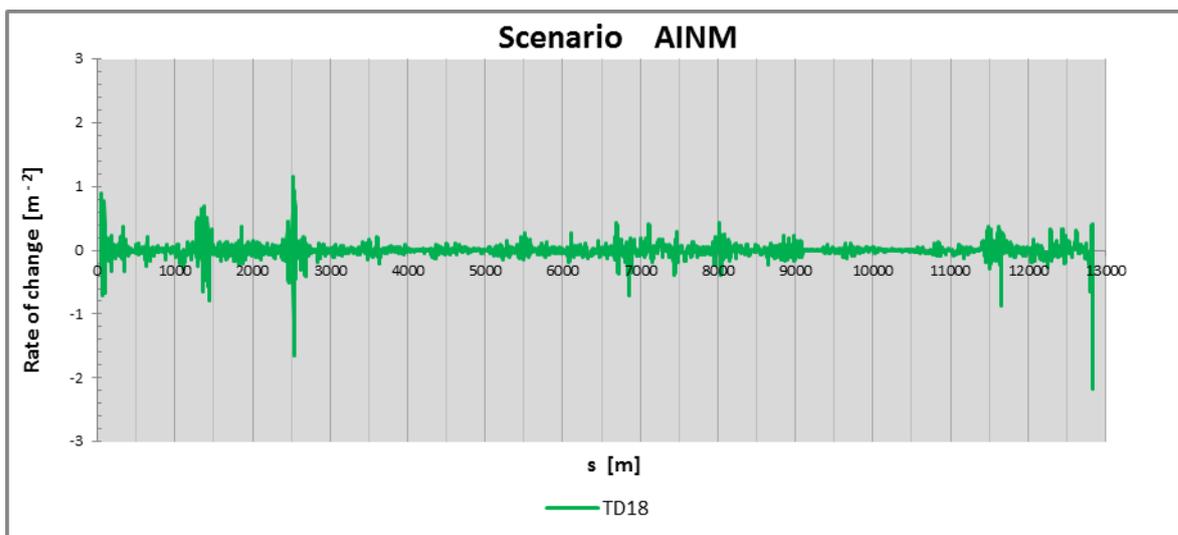
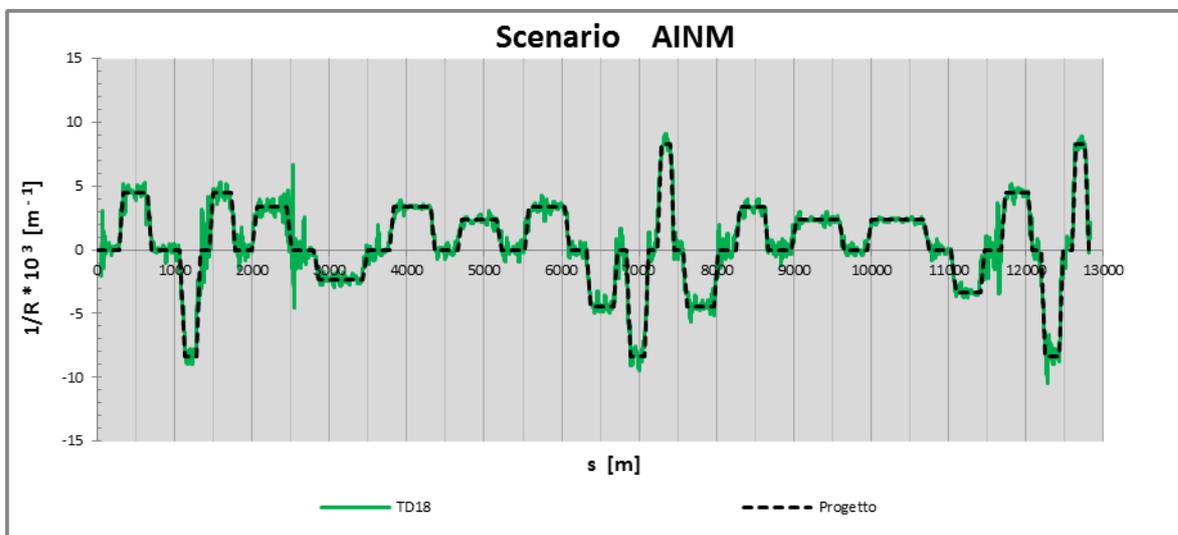
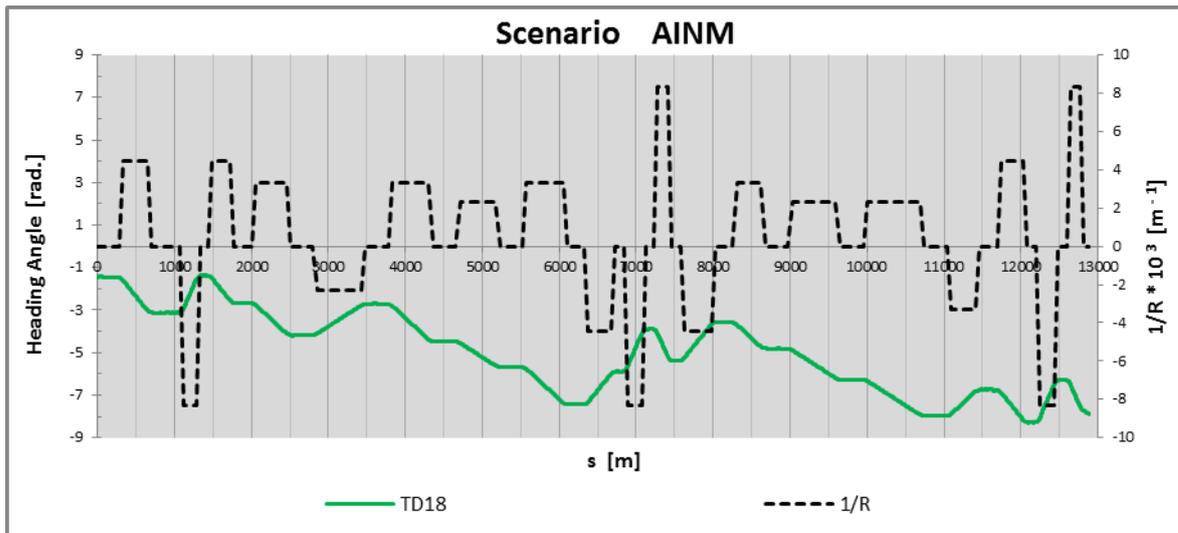


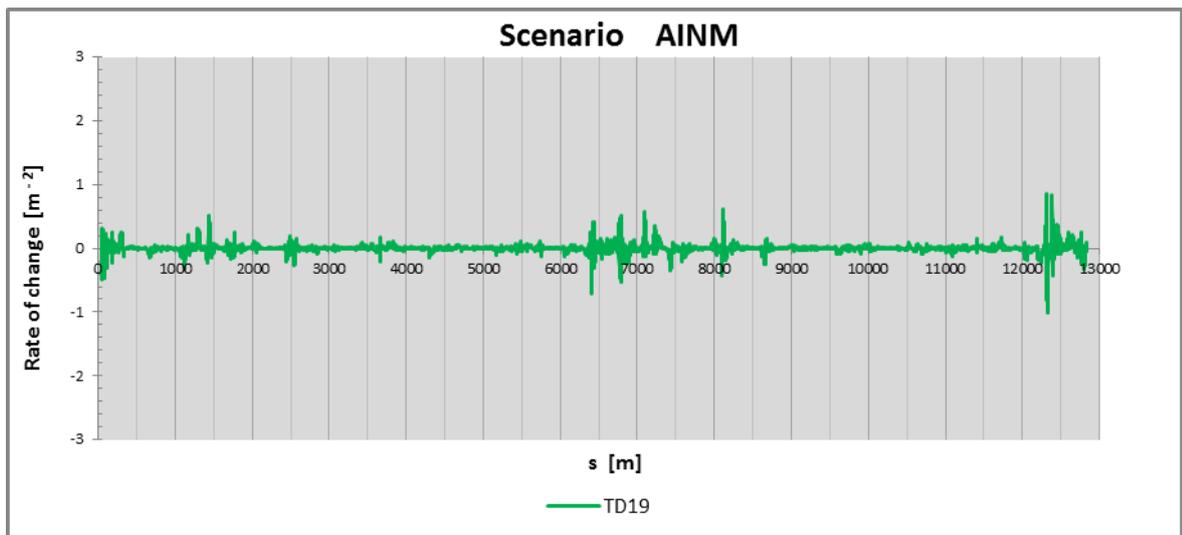
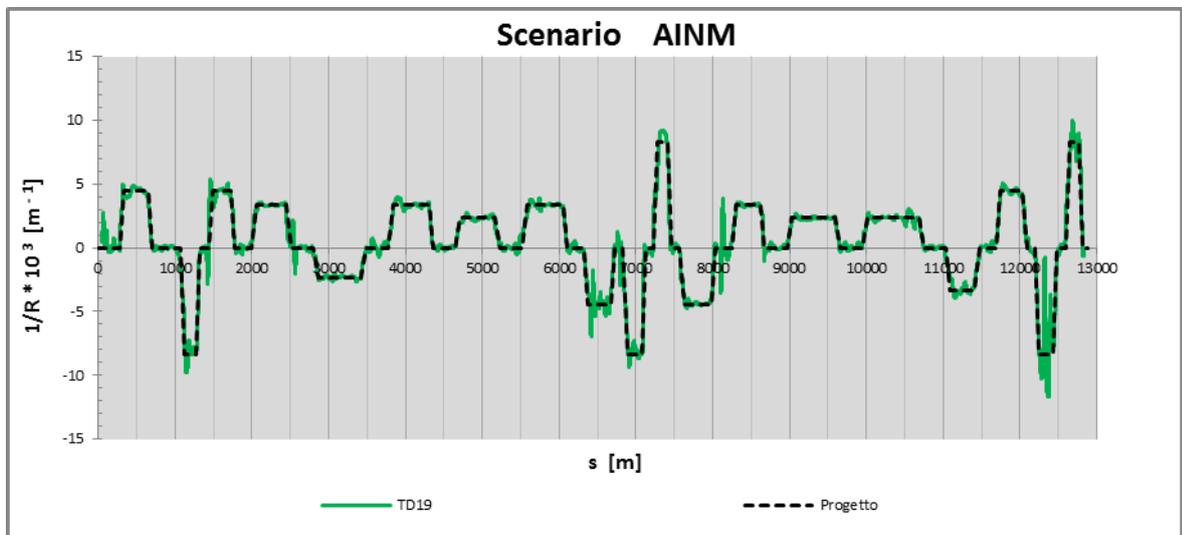
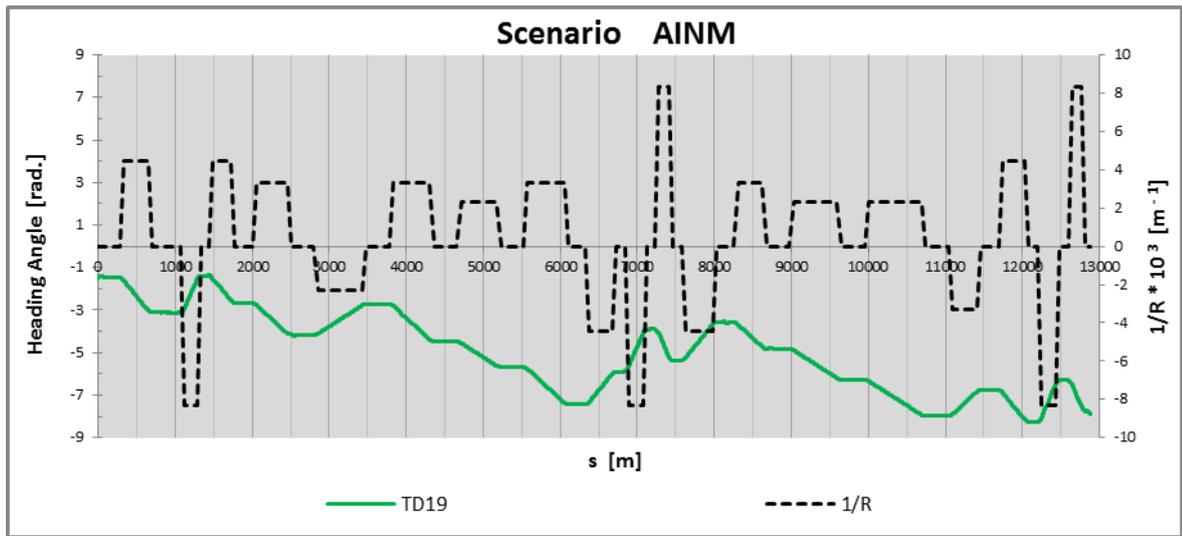


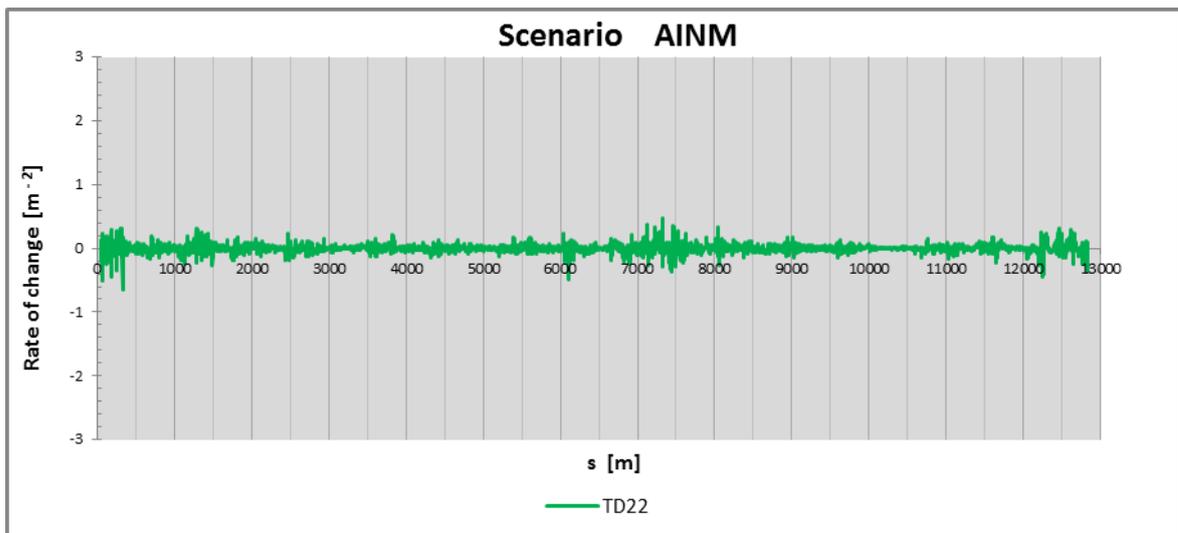
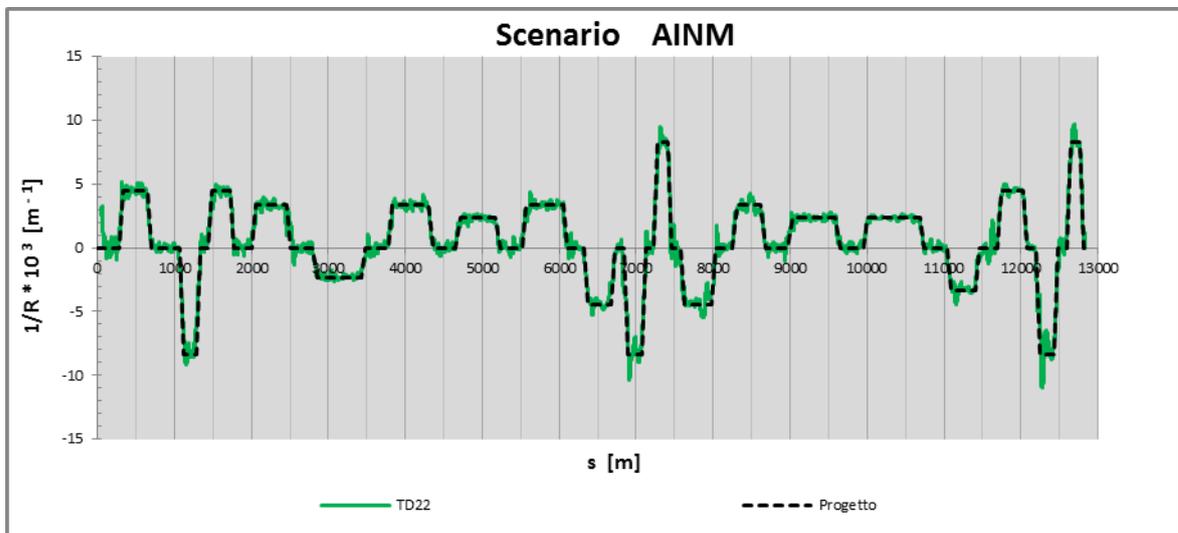
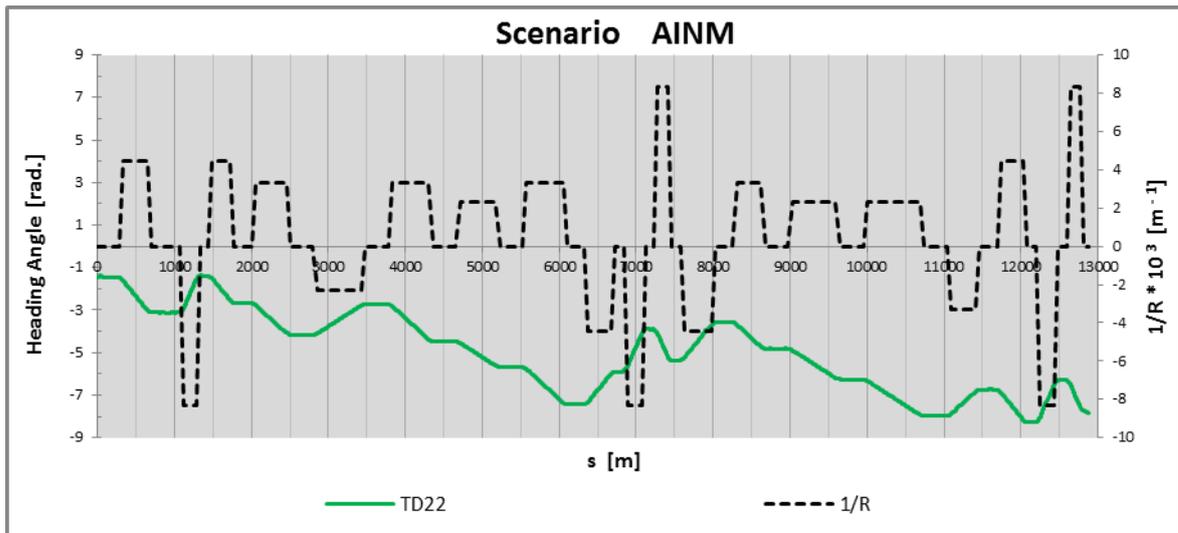


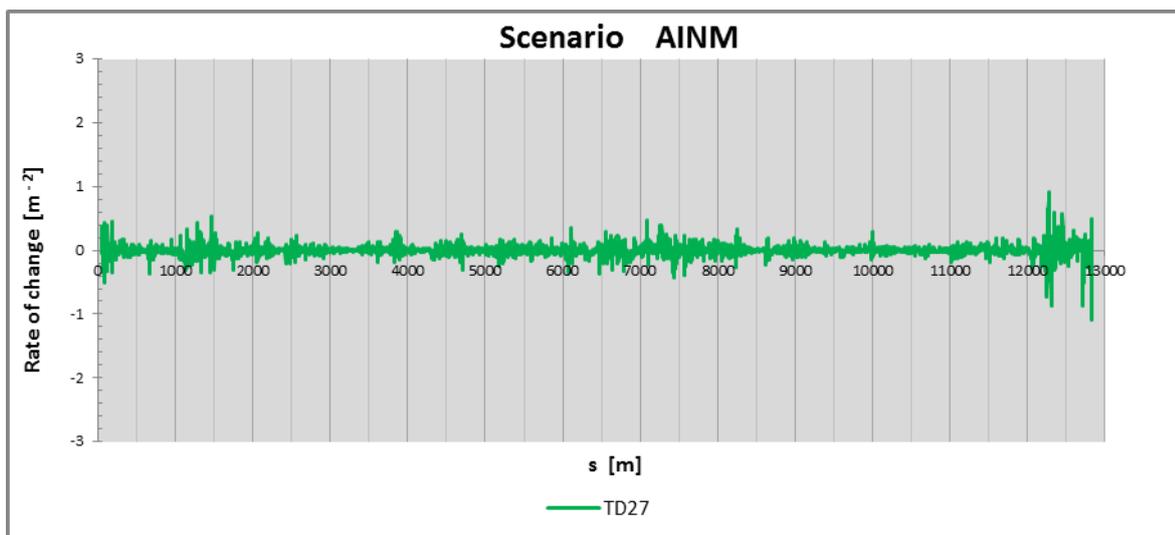
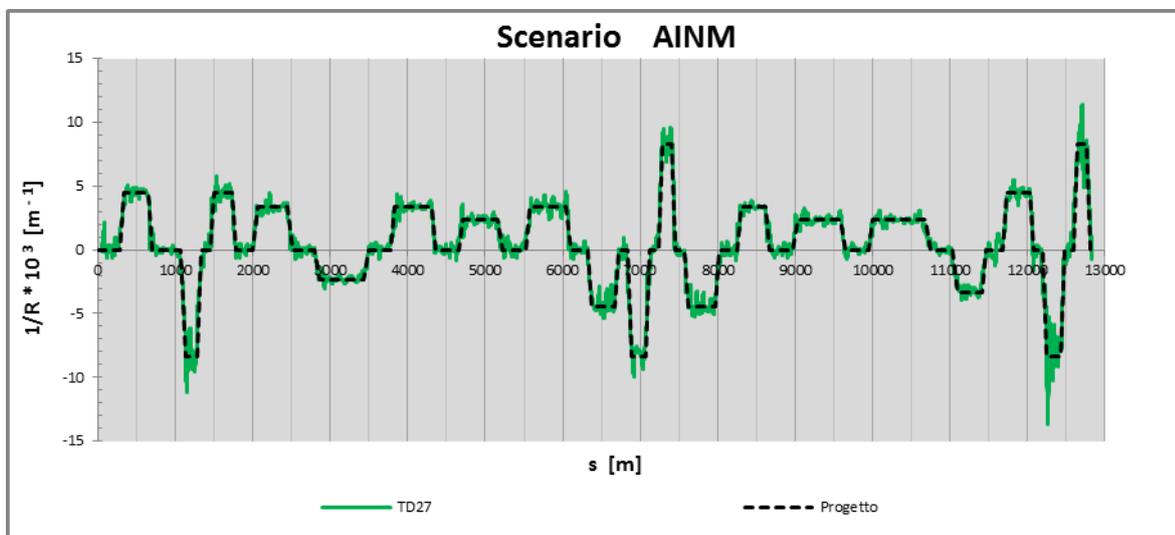
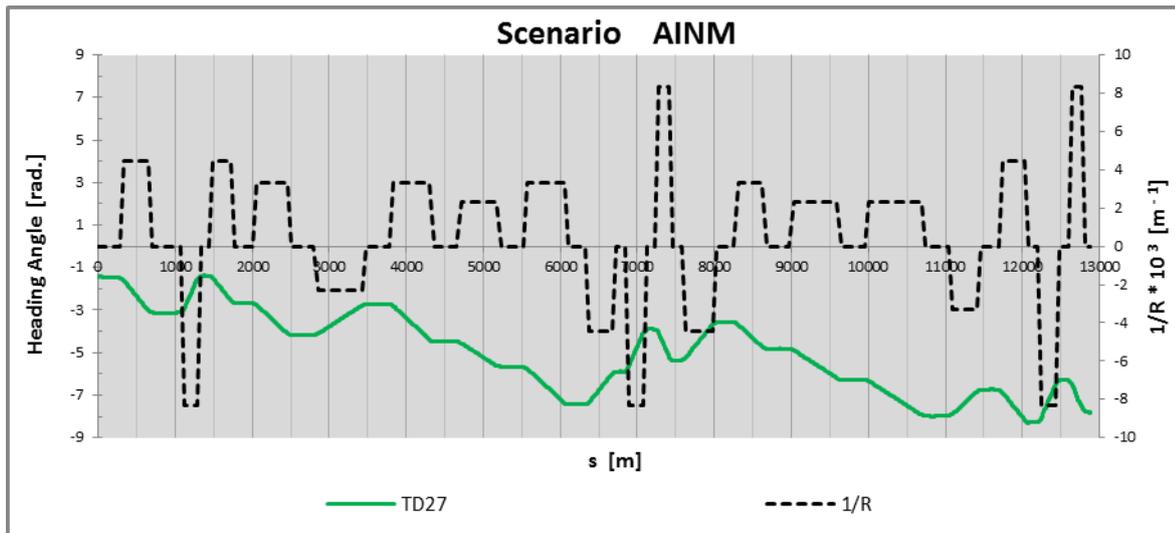


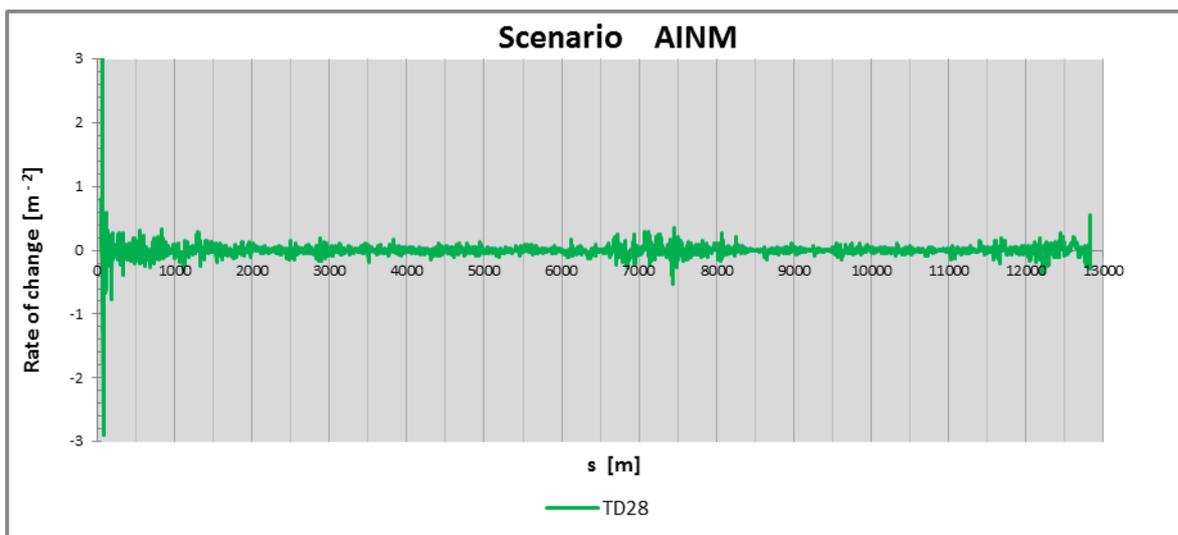
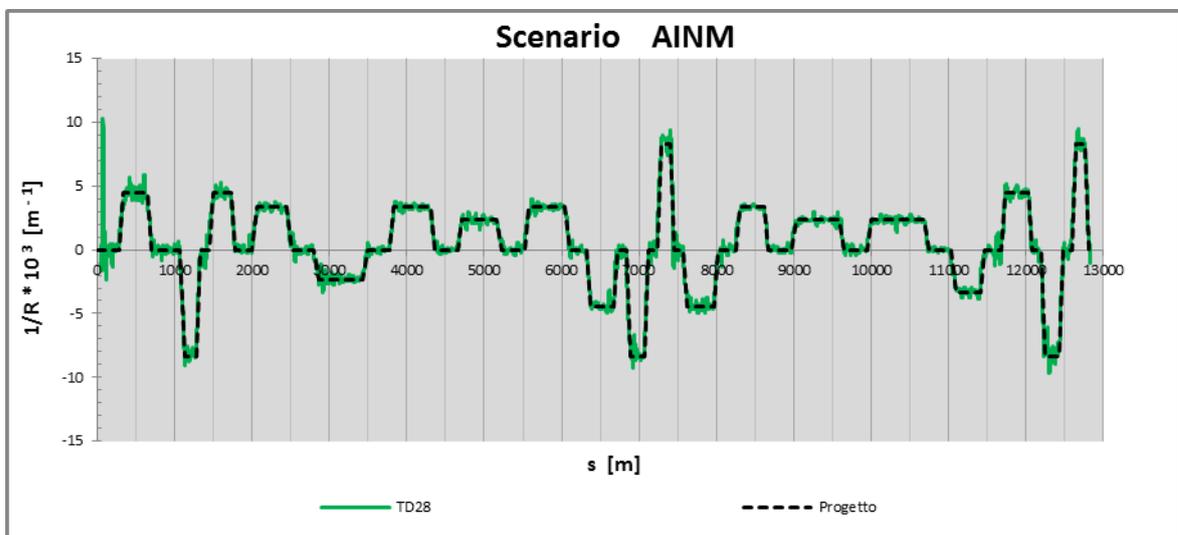
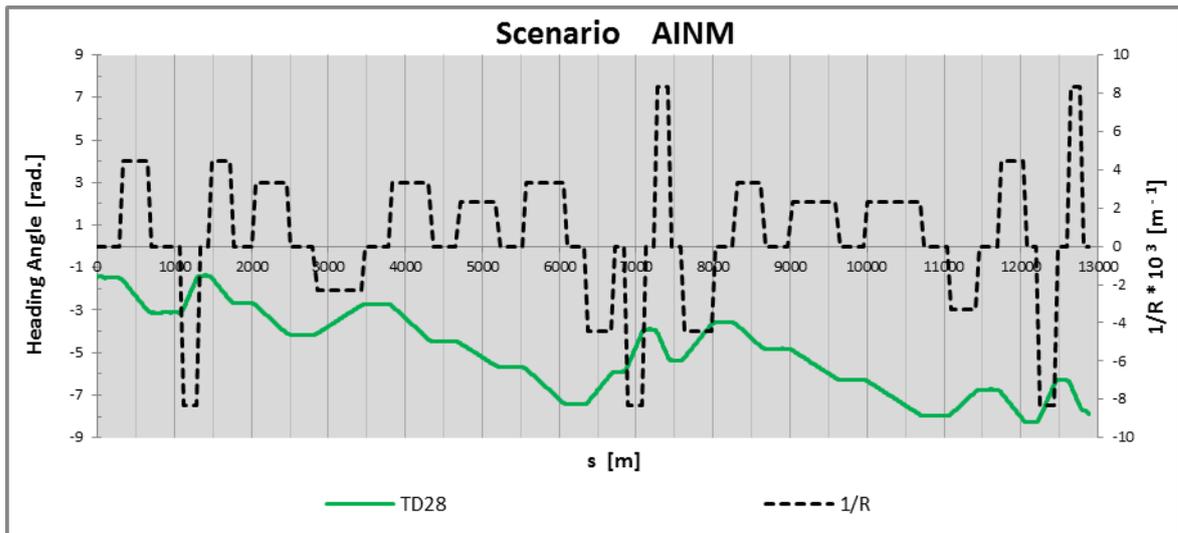


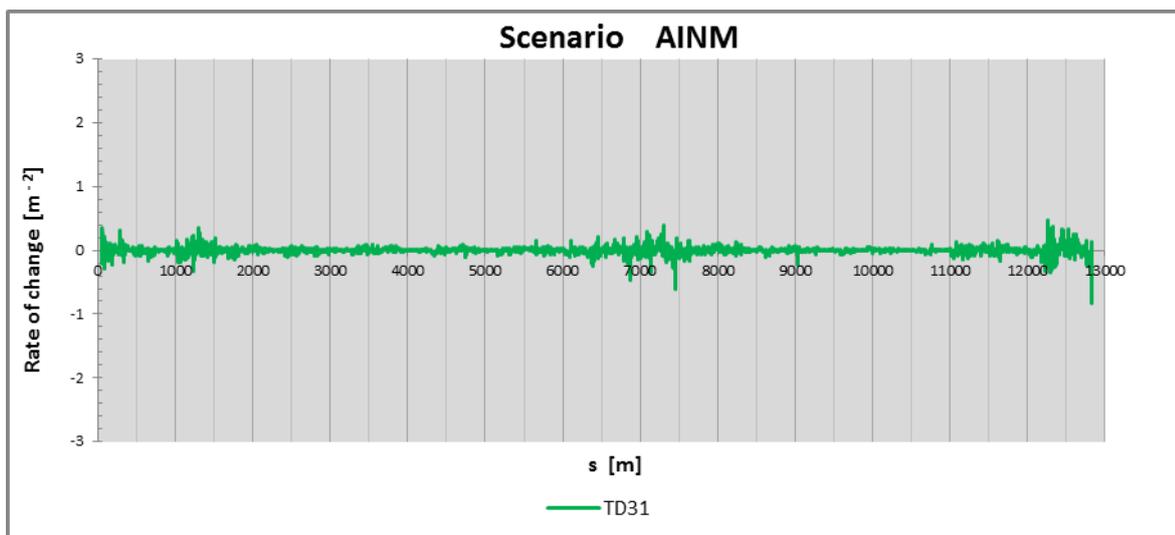
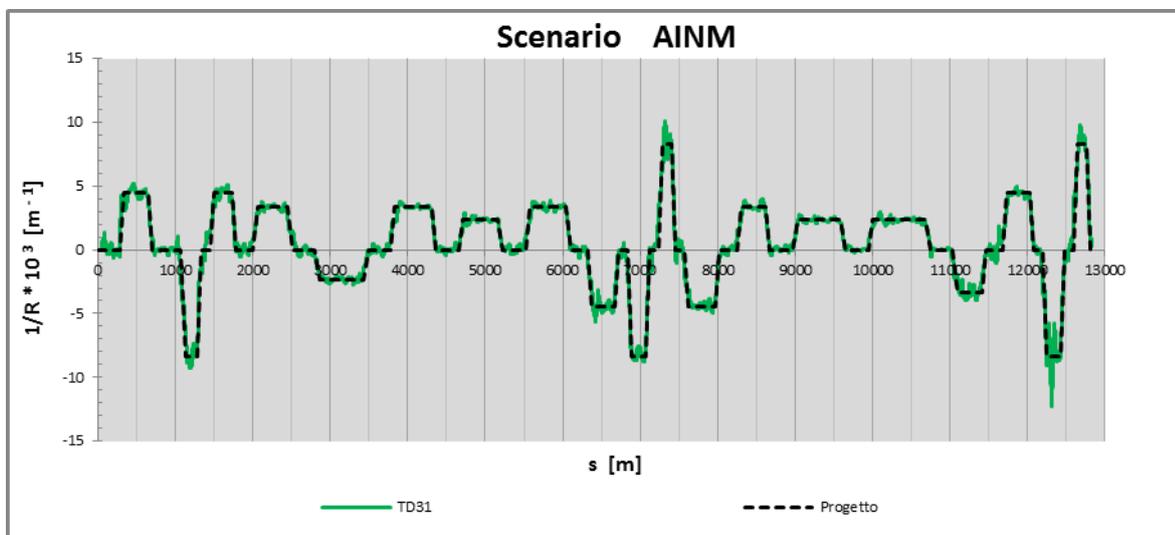
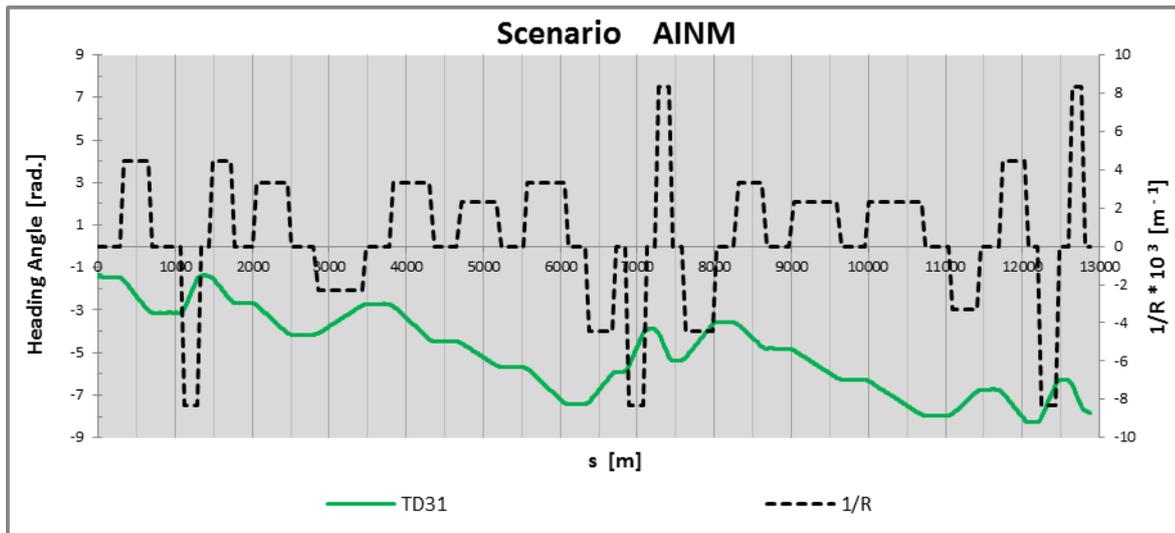


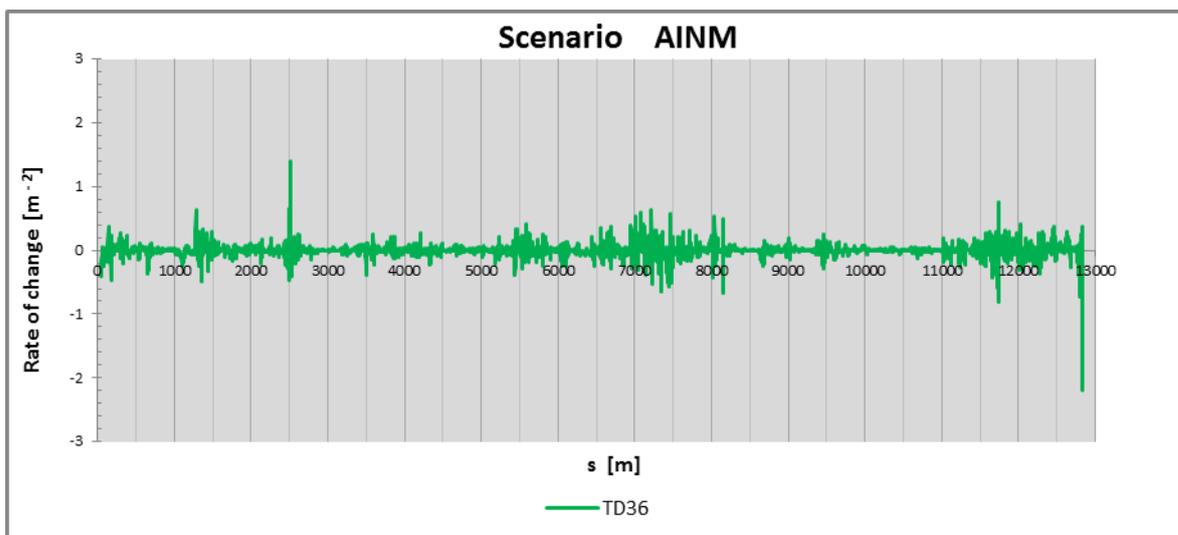
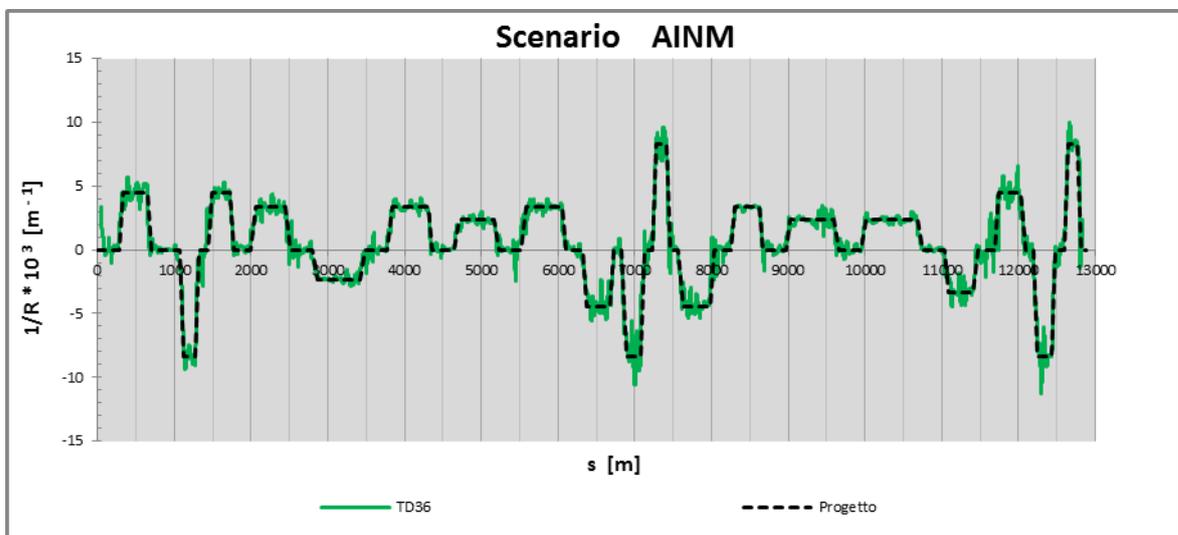
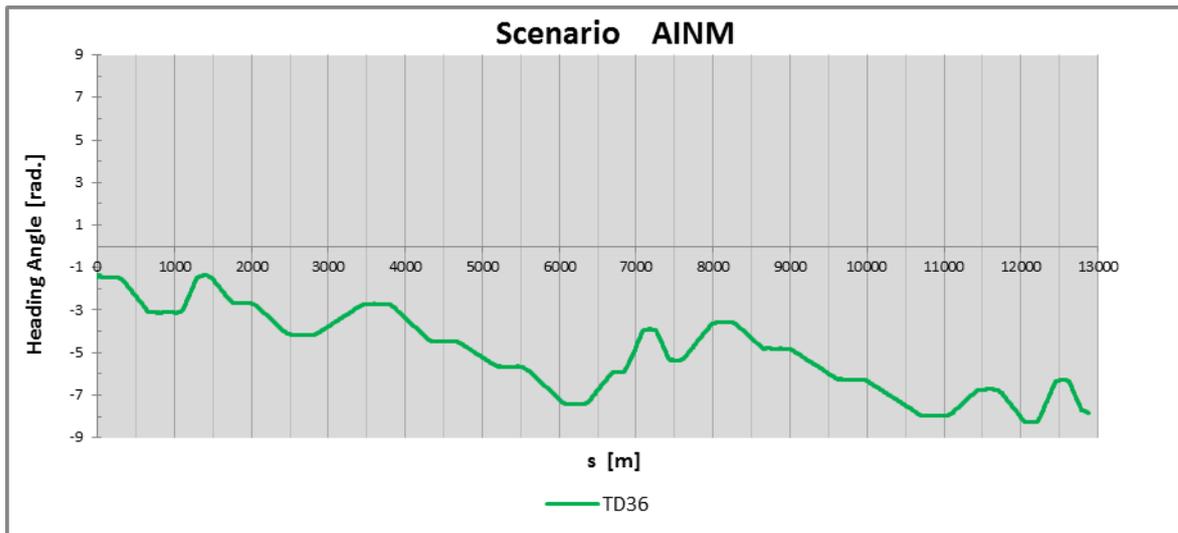


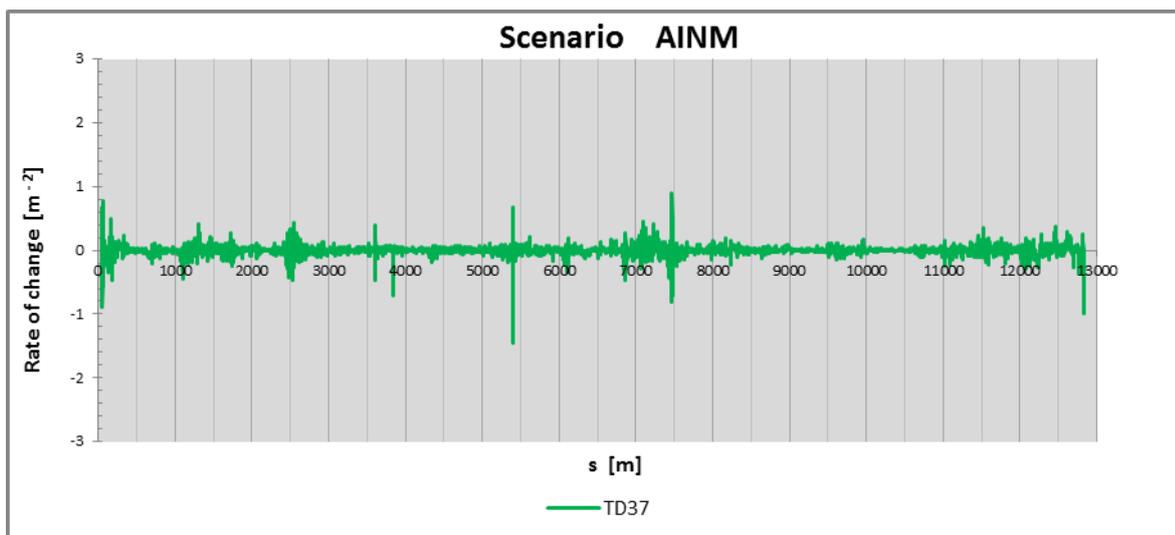
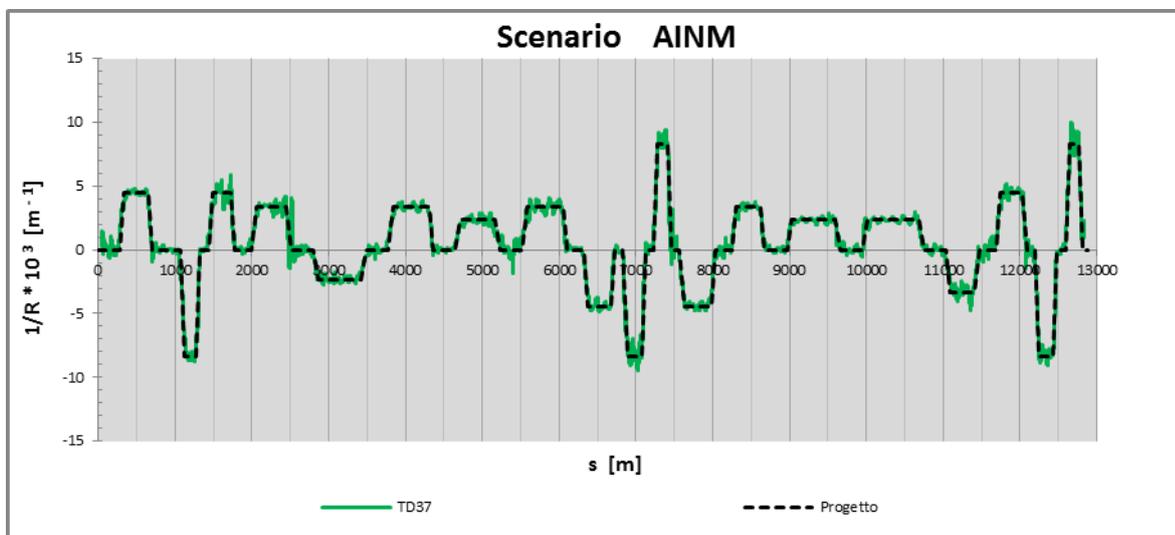
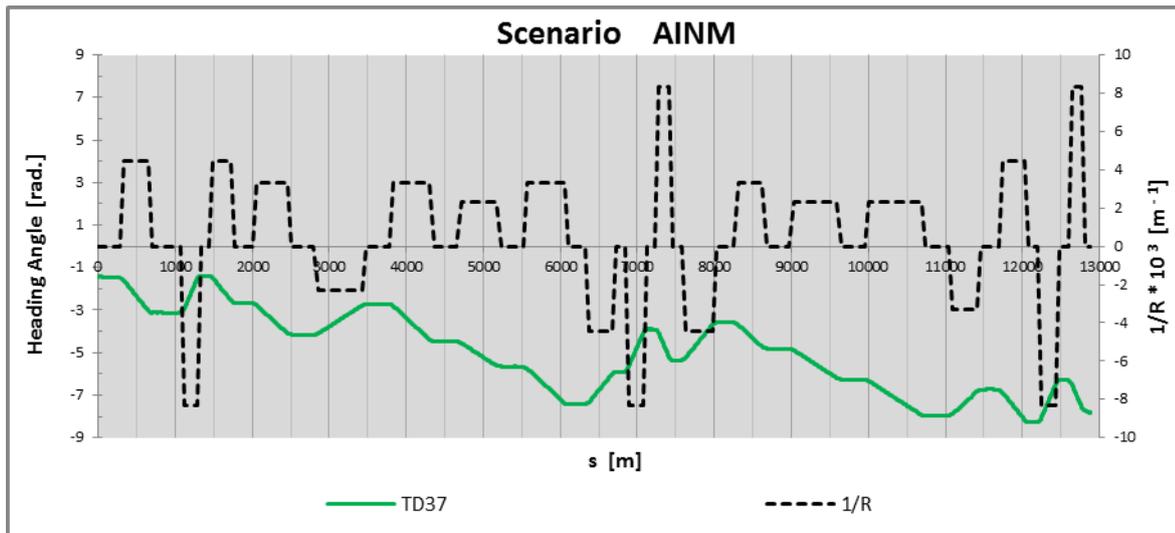


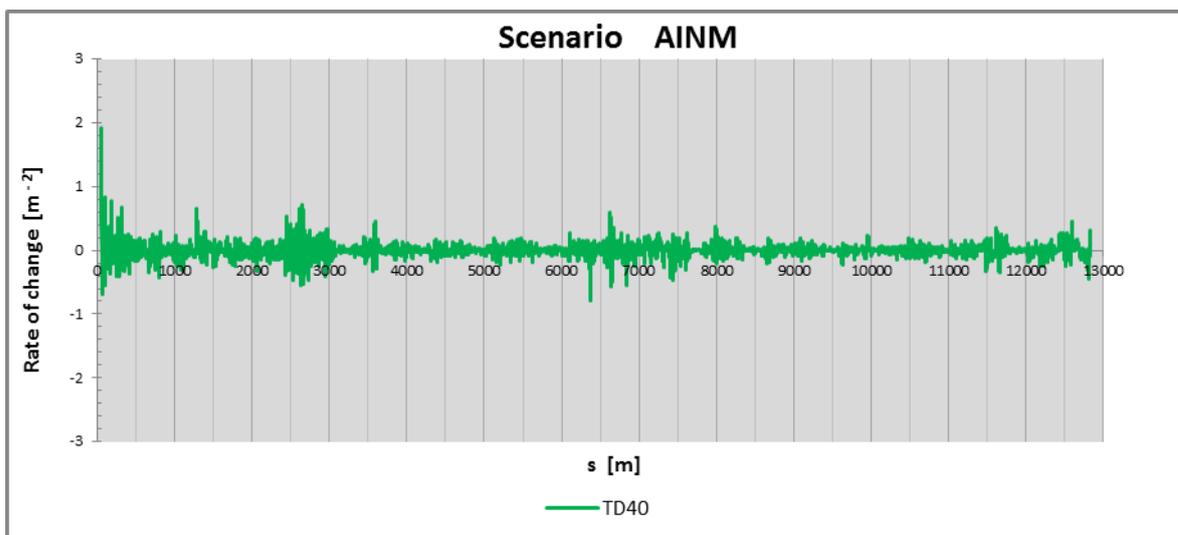
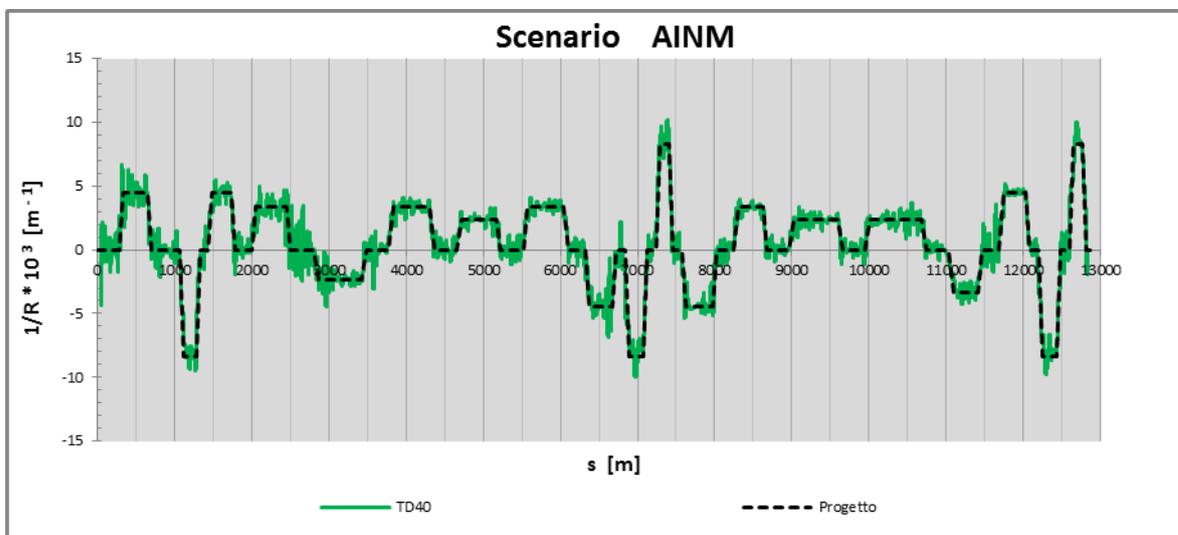
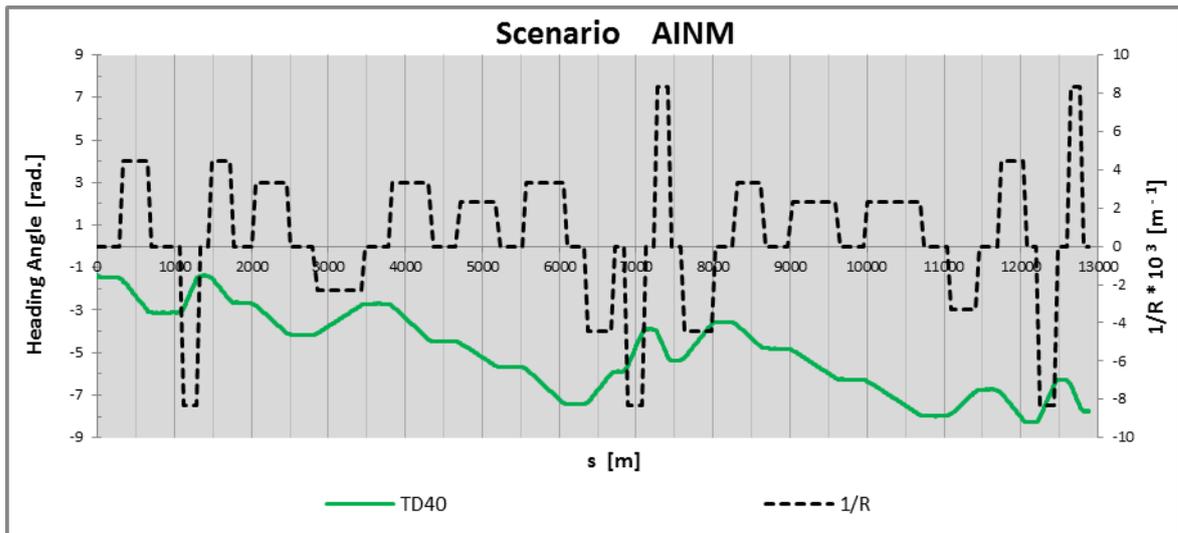






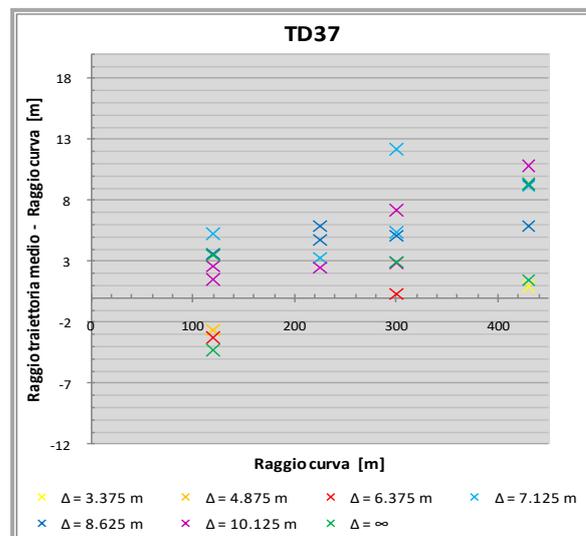
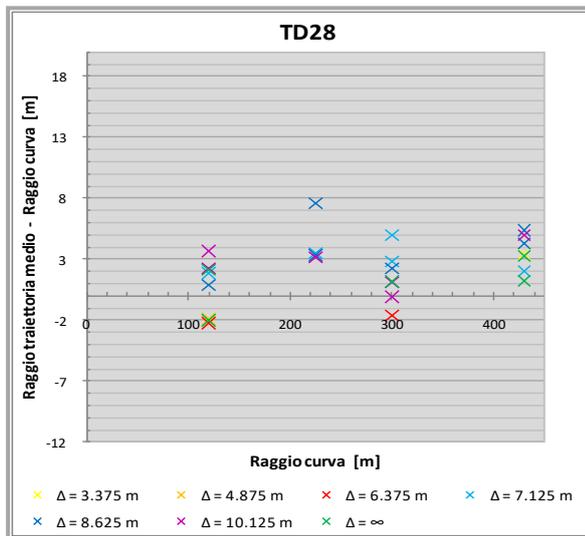
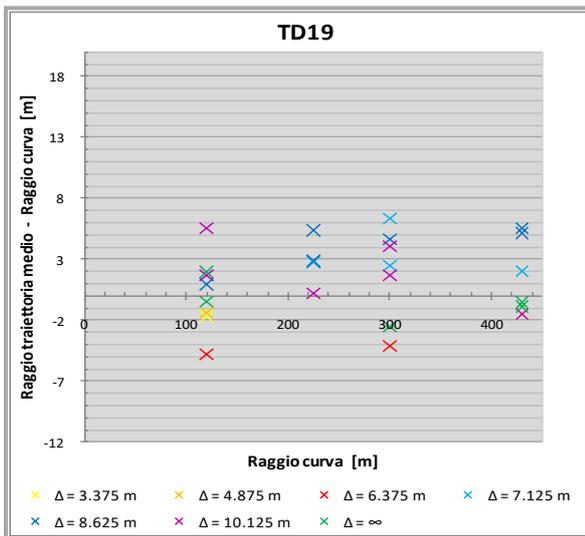
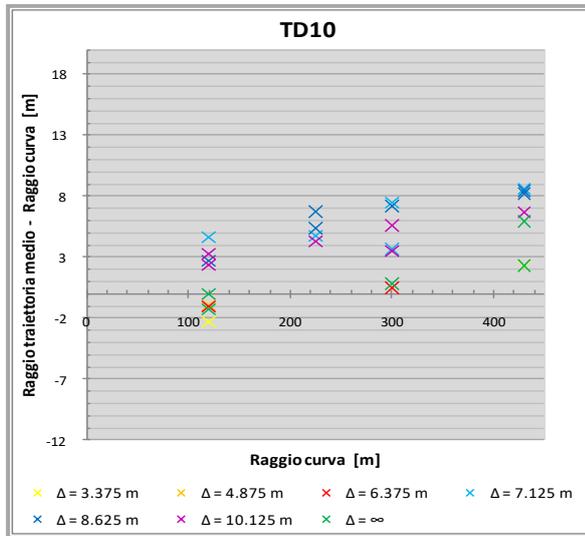
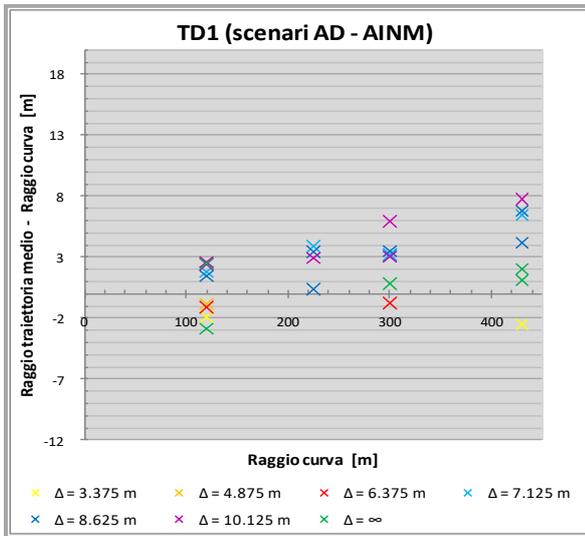




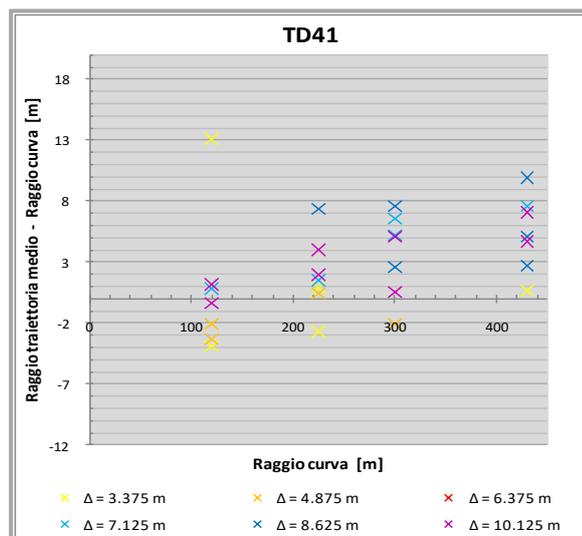
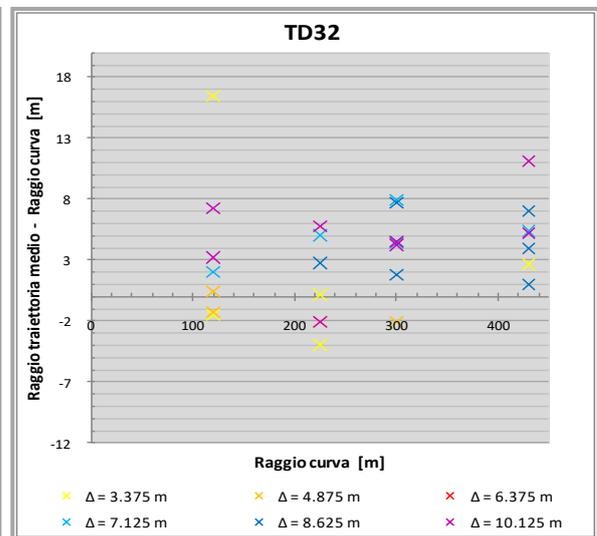
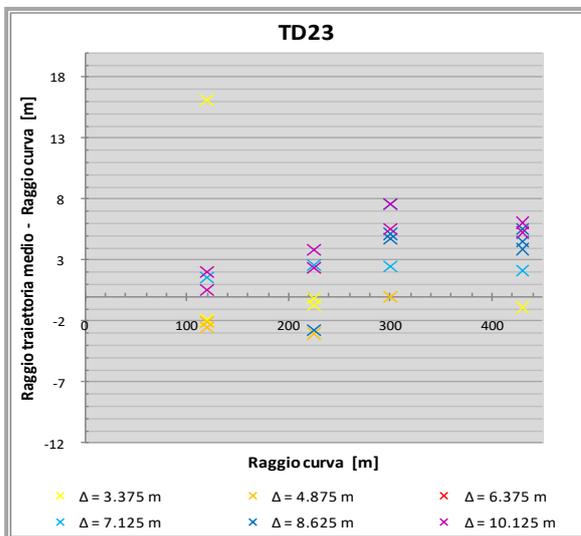
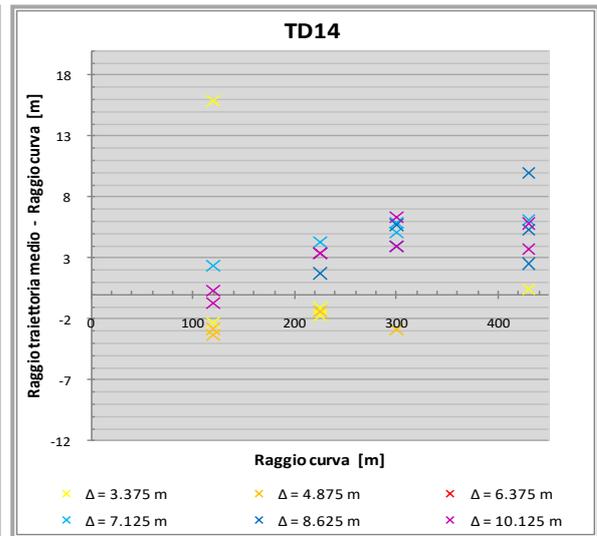
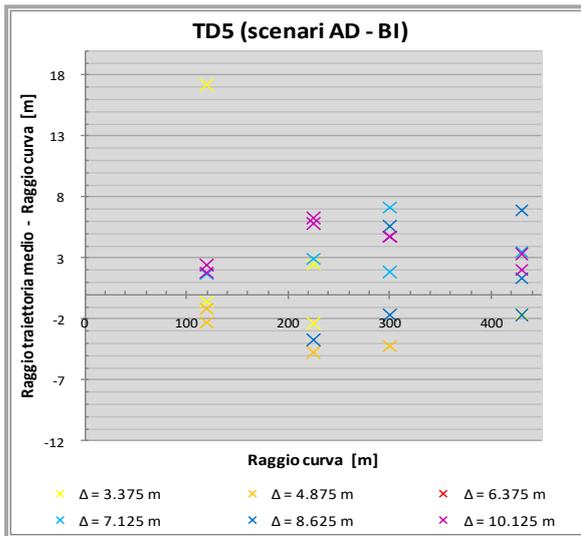


Appendice I) Confronto tra i raggi delle traiettorie e i raggi delle curve

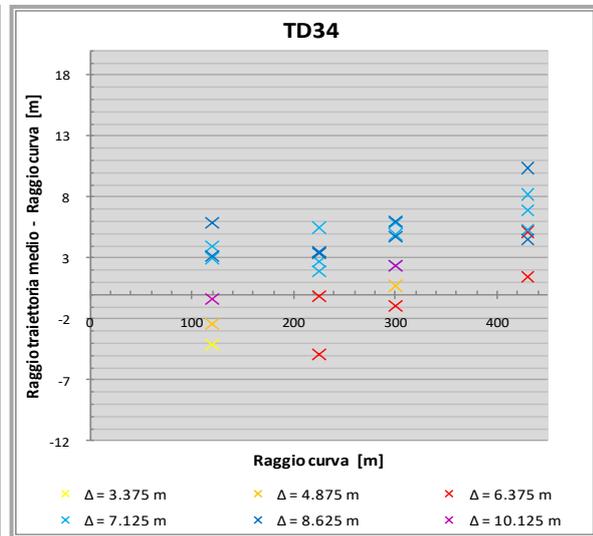
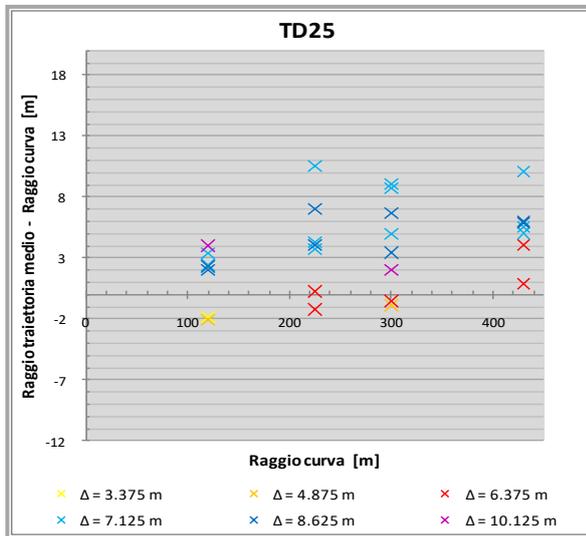
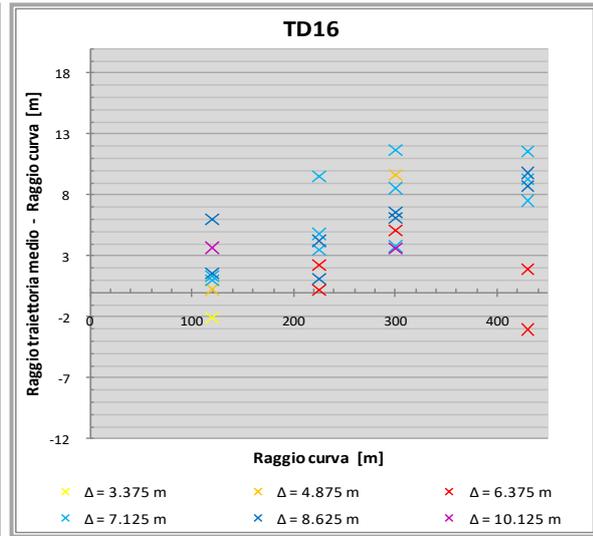
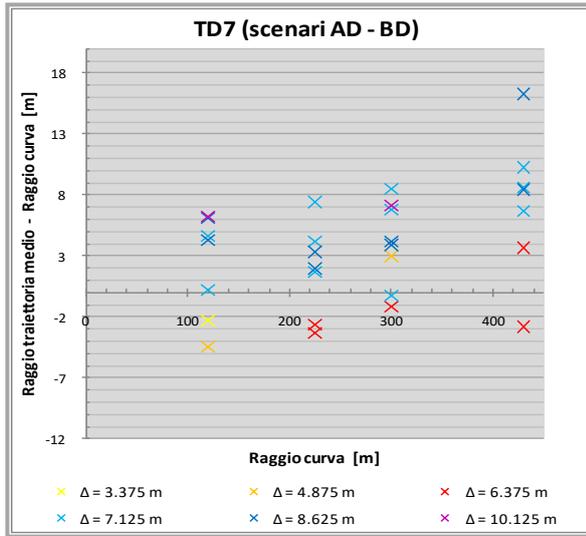
Scenari guidati: AD - AINM



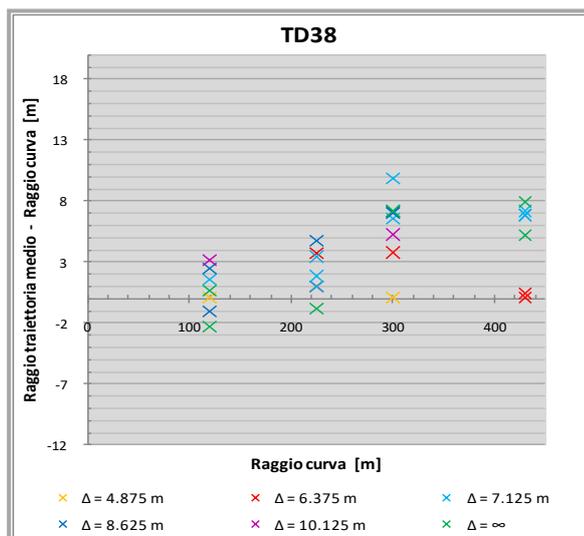
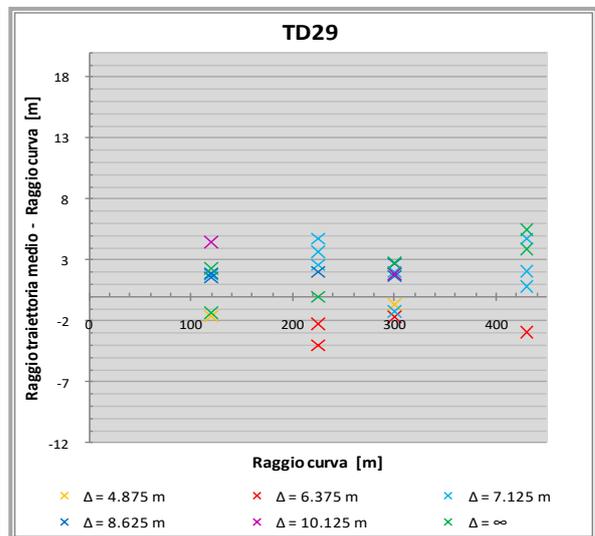
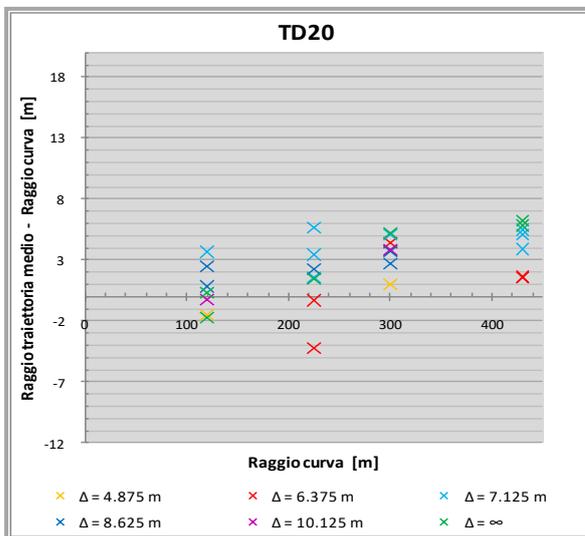
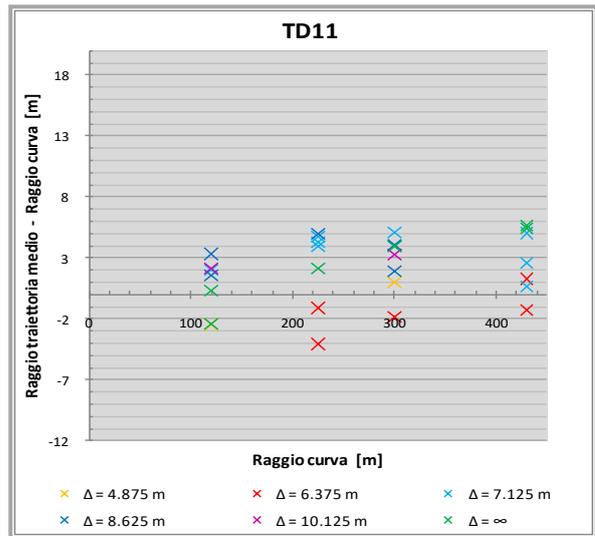
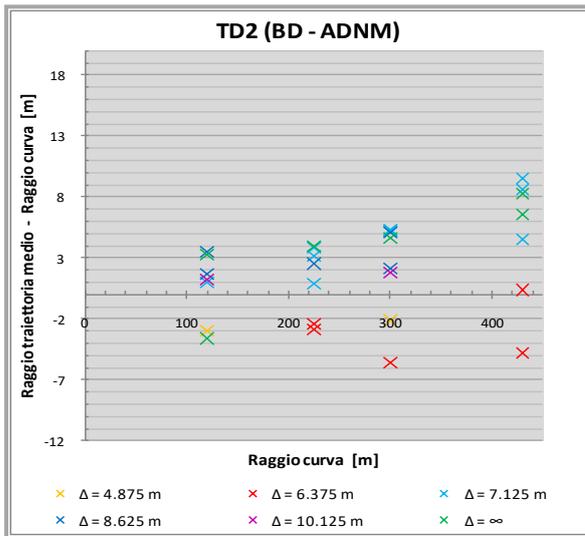
Scenari guidati: AD - BI



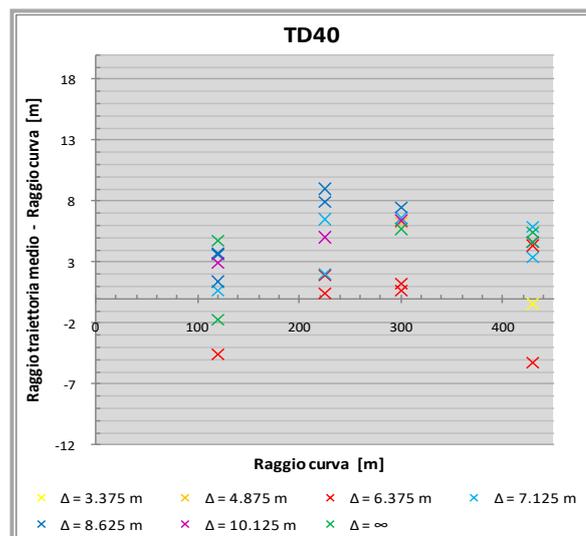
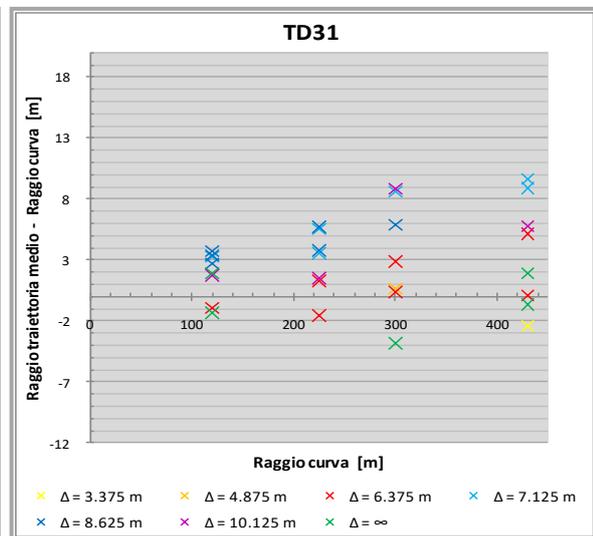
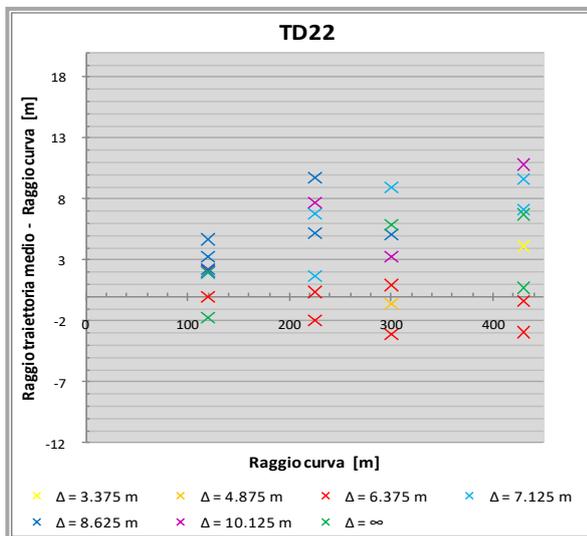
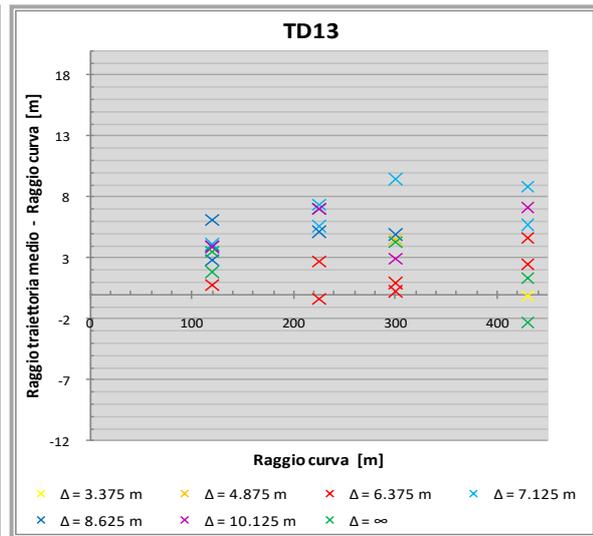
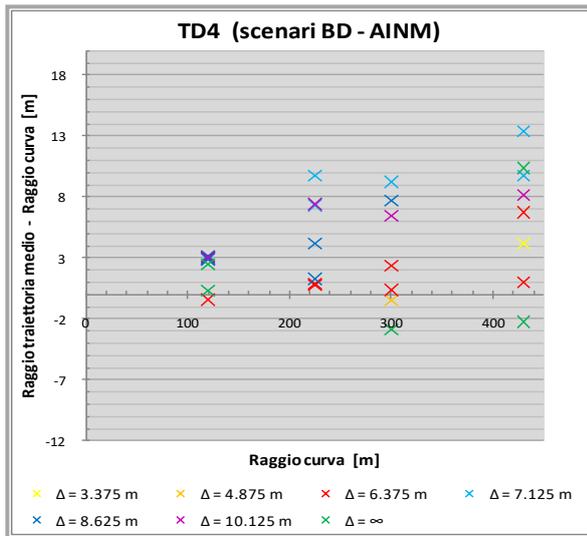
Scenari guidati: AD - BD



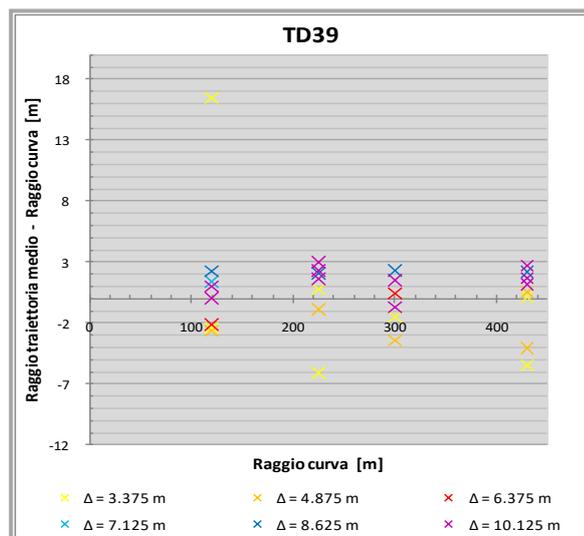
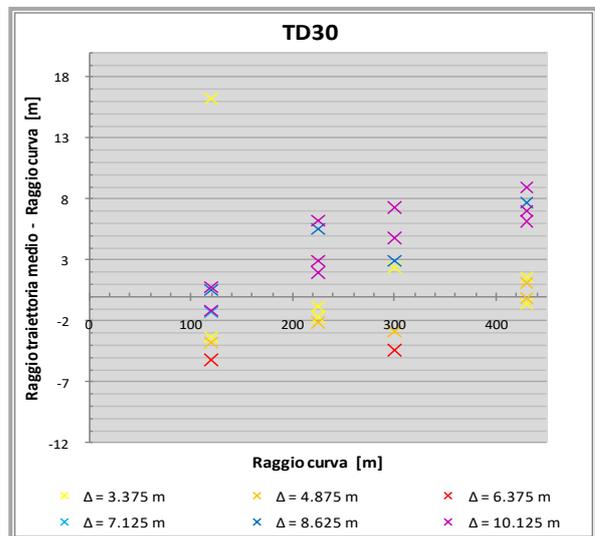
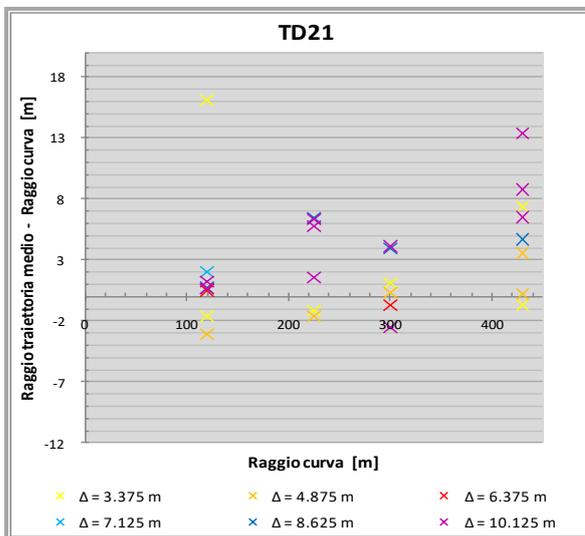
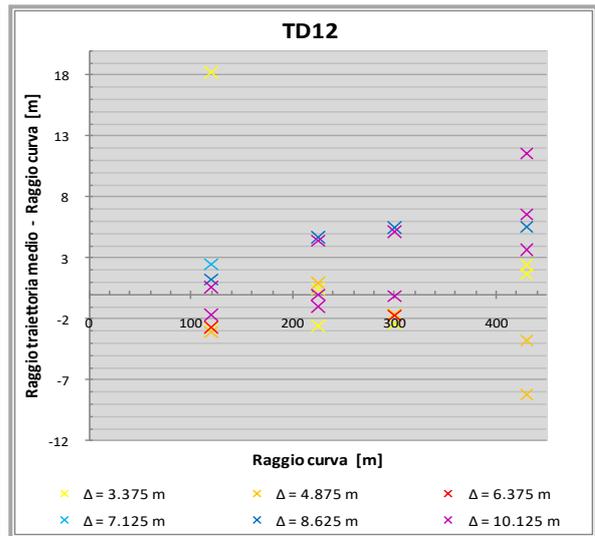
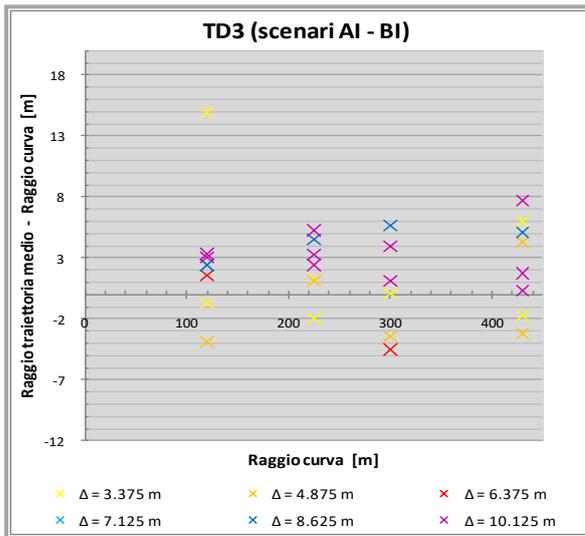
Scenari guidati: BD - ADN



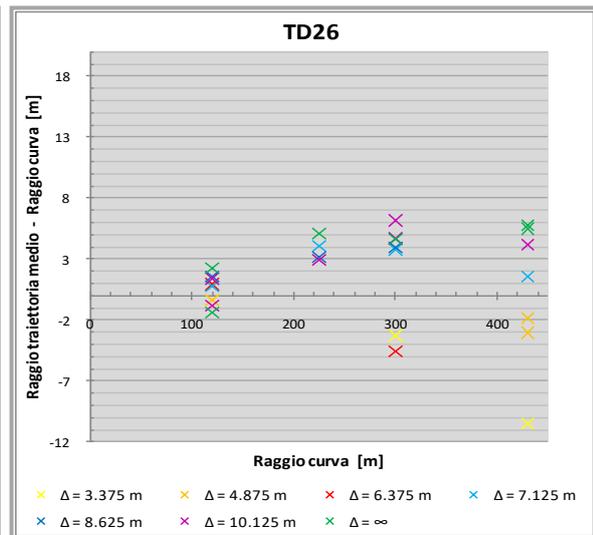
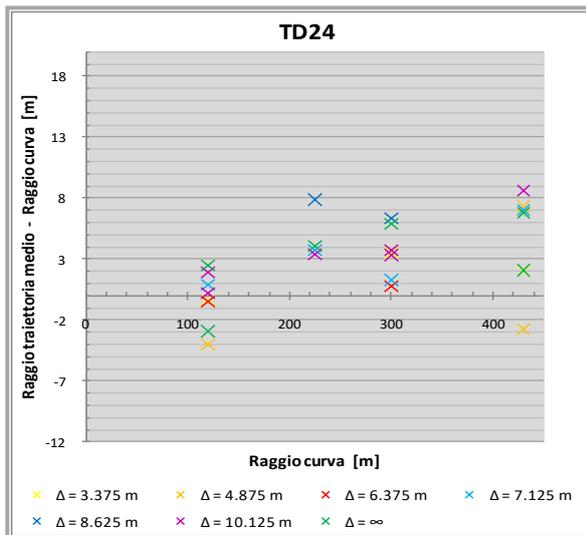
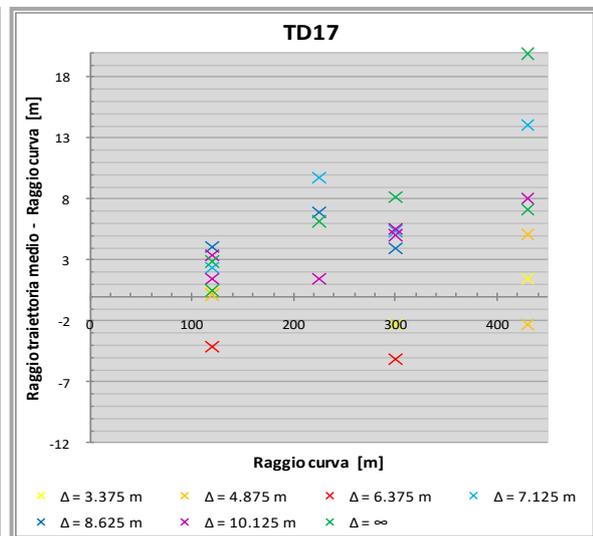
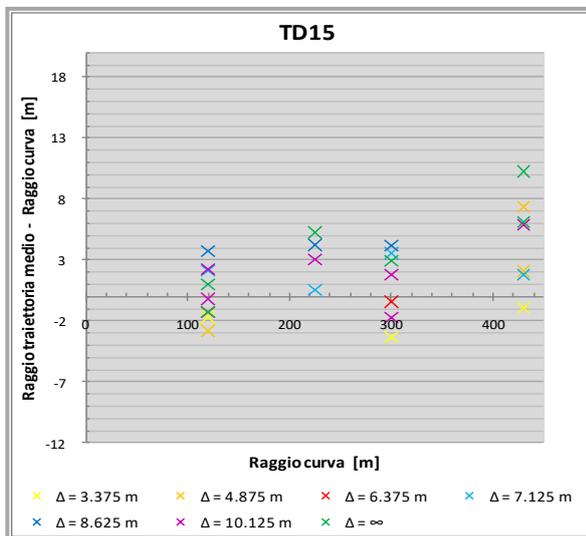
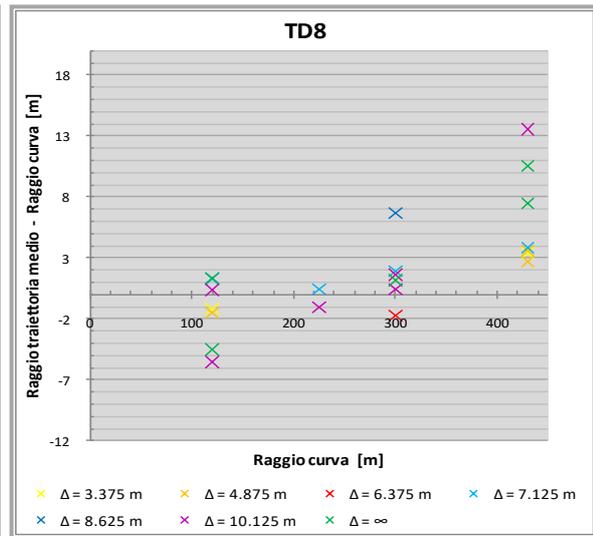
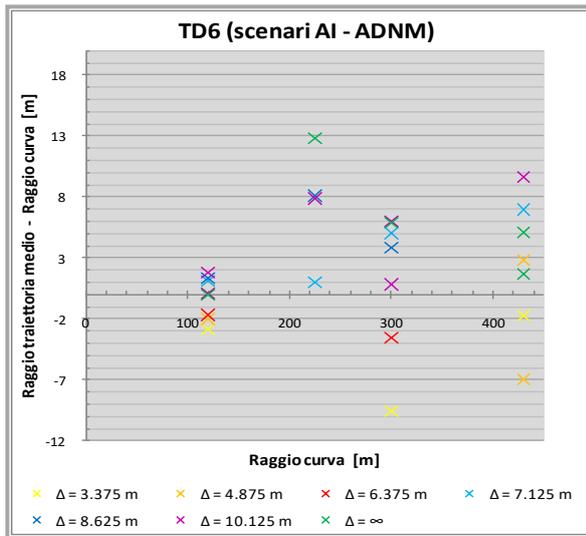
Scenari guidati: BD - AINM

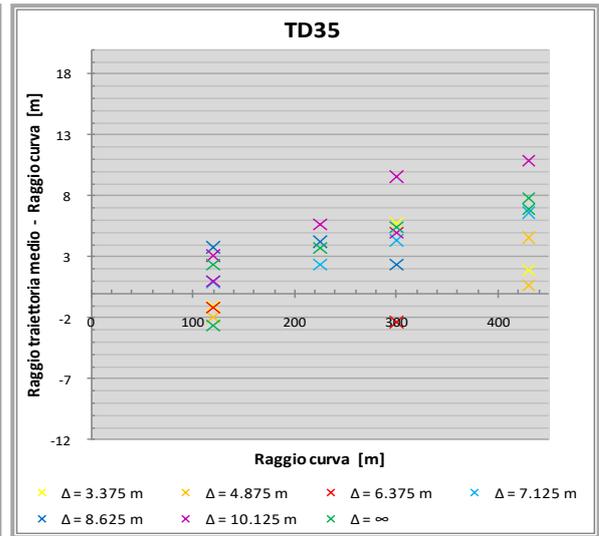
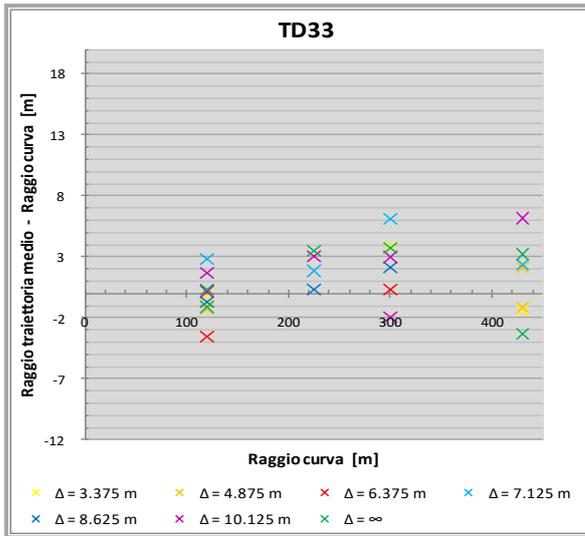


Scenari guidati: AI - BI



Scenari guidati: AI - ADNM





Scenari guidati: BI - AINM

