

**VADEN**<sup>®</sup>  
ORIGINAL

---

# Impianto frenante pneumatico — Guida tecnica

Un riferimento completo e chiaro sull'impianto frenante pneumatico dei veicoli industriali — ogni circuito e componente spiegato, con diagnostica e manutenzione.

Edizione 1 · Veicoli industriali (camion · autobus · rimorchio) · [vadenoriginal.com](http://vadenoriginal.com)

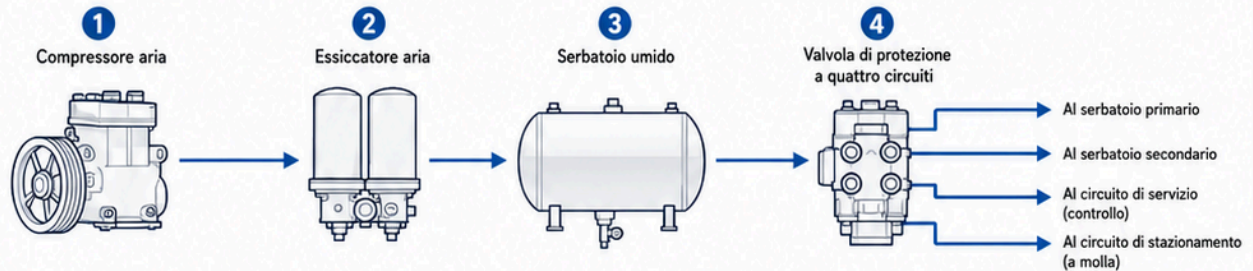
# Indice

---

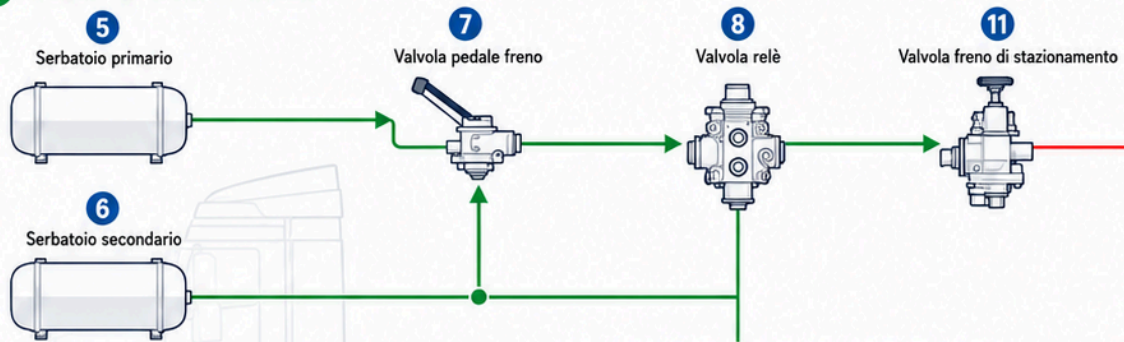
- 1 Introduzione: come funziona un impianto frenante ad aria compressa
  - 2 Il circuito di alimentazione (carica) dell'aria
  - 3 Il circuito di servizio (di applicazione)
  - 4 Freni di stazionamento e di emergenza (a molla)
  - 5 Controllo del Carico e Gestione delle Sospensioni Pneumatiche
  - 6 Frenata elettronica ABS ed EBS
  - 7 Il circuito frenante del rimorchio
  - 8 Diagnostica e manutenzione
  - 9 Guida rapida ai componenti e glossario
-

# Diagramma del sistema frenante pneumatico

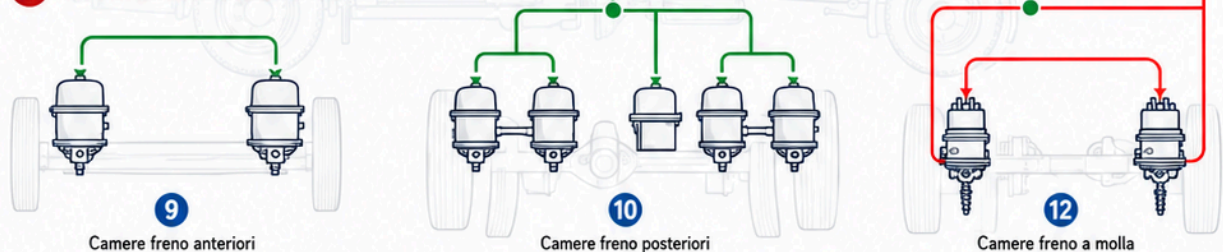
## 1 ALIMENTAZIONE ARIA



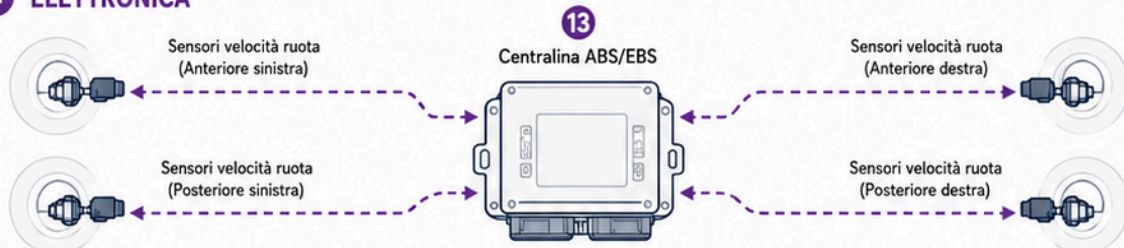
## 2 SERBATOI E CONTROLLO



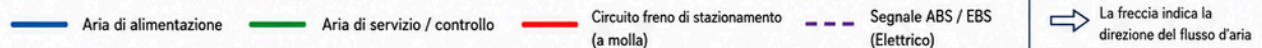
## 3 ATTUAZIONE FRENANTE



## 4 ELETTRONICA



## LEGENDA



## Introduzione: come funziona un impianto frenante ad aria compressa

---

Gli autoveicoli industriali pesanti — autocarri, autobus e rimorchi — non frenano con il liquido idraulico impiegato sulle vetture, bensì con aria compressa. La scelta non è casuale. L'aria è disponibile in quantità illimitata, non congela e non si esaurisce in caso di perdita: un tubo lesionato lascia sfuggire aria, ma il sistema può continuare a produrne, mentre in un circuito idraulico la stessa perdita svuoterebbe il liquido e comprometterebbe la frenata. L'aria compressa permette inoltre di trasmettere forze molto elevate — indispensabili per arrestare masse di decine di tonnellate — e di collegare in modo semplice e sicuro la motrice al rimorchio tramite gli innesti pneumatici.

### Il principio di sicurezza: il freno a molla

Il cuore della sicurezza dell'impianto è il cilindro a molla (freno di stazionamento e di emergenza). In questi cilindri una potente molla tende costantemente ad applicare i freni; è la pressione dell'aria che, vincendo la molla, li mantiene rilasciati durante la marcia. Ne consegue un comportamento "fail-safe": se la pressione cade — per un guasto, una rottura di un tubo o l'arresto del compressore — la molla interviene automaticamente e frena il veicolo. La perdita di pressione, quindi, non toglie i freni ma li applica.

### Circuito di alimentazione e circuito di servizio

L'impianto è organizzato in due funzioni distinte. Il **circuito di alimentazione (carica)** comprende compressore, essiccatore, regolatore e serbatoi: il suo compito è produrre, depurare e immagazzinare aria compressa. Il **circuito di servizio (frenatura)** preleva l'aria dai serbatoi e, alla pressione sul pedale, la invia in modo dosato ai cilindri freno. Separare accumulo ed erogazione garantisce che vi sia sempre una riserva d'aria pronta all'uso, indipendente dal momentaneo funzionamento del compressore.

### Doppio circuito primario e secondario

Per ragioni di ridondanza, la frenatura di servizio è a sua volta sdoppiata in un circuito **primario** e uno **secondario**, generalmente dedicati agli assi posteriori e anteriori. I due rami sono indipendenti: se uno perde pressione, l'altro conserva una capacità frenante residua sufficiente ad arrestare il mezzo in sicurezza. Su questa architettura di base si innestano i sistemi elettronici — ABS, EBS, ALB ed ECAS — gestiti dalle rispettive ECU, che affinano la modulazione della frenata senza modificarne la logica fondamentale.

<b>Circuito</b>	<b>Funzione</b>	<b>Componenti principali</b>
Alimentazione (carica)	Produrre e accumulare aria compressa	Compressore, essiccatore, regolatore, serbatoi
Servizio — primario	Frenatura dosata, tipicamente asse posteriore	Valvola freno, cilindri freno
Servizio — secondario	Frenatura dosata, tipicamente asse anteriore	Valvola freno, cilindri freno
Stazionamento / emergenza	Frenata fail-safe a molla	Cilindri a molla, valvola di stazionamento

*Come usare questa guida:* ogni sezione approfondisce un gruppo dell'impianto e i relativi ricambi VADEN ORIGINAL; consultare l'indice per individuare rapidamente il componente di interesse.

## Il circuito di alimentazione (carica) dell'aria

---

Il circuito di alimentazione, o circuito di carica, è la sezione dell'impianto pneumatico che produce, essicca e immagazzina l'aria compressa necessaria alla frenatura. Il suo compito è mantenere i serbatoi entro la corretta finestra di pressione di esercizio (in genere tra circa 8 e 12,5 bar) fornendo aria pulita e asciutta ai circuiti di servizio a valle. Un difetto in questa parte dell'impianto non si manifesta subito come una frenata scadente, ma come tempi di carica lunghi, umidità nell'aria e usura precoce delle valvole. VADEN ORIGINAL fornisce compressori, essiccatori e cartucce essiccanti per questo circuito.

### Il compressore d'aria

Il compressore è trascinato dal motore (a cinghia o a ingranaggi) e comprime l'aria aspirata nei serbatoi. Non lavora in continuo: il regolatore lo porta in fase di carica quando la pressione scende alla soglia di innesto (cut-in) e lo manda a vuoto quando raggiunge la soglia di stacco (cut-out). Sintomo di guasto: segmenti o valvole lamellari usurati causano tempi di carica eccessivi, la macchina "non fa aria" e trascina olio nell'impianto, sporcando essiccatore e valvole a valle.

### Il regolatore di pressione (governor)

Il regolatore controlla la pressione nei serbatoi e comanda il passaggio del compressore da carica a vuoto in base alle soglie di cut-in e cut-out. È l'organo che definisce la finestra di pressione di esercizio. Sintomo di guasto: se il regolatore resta bloccato, il compressore non va mai a vuoto e la pressione sale fino all'intervento della valvola di sicurezza, oppure — al contrario — l'impianto non completa mai la carica.

### Il dispositivo di scarico a vuoto (unloader)

Comandato dal regolatore, il dispositivo di scarico a vuoto solleva o esclude le valvole di aspirazione del compressore così che, raggiunta la pressione di stacco, esso ruoti senza comprimere, riducendo consumi e riscaldamento. Sintomo di guasto: se non interviene, il compressore continua a pompare in sovrappressione con surriscaldamento; se resta scaricato, i serbatoi non si riempiono.

### Essiccatore d'aria e cartuccia essiccante

L'essiccatore rimuove umidità e residui di olio prima che l'aria entri nei serbatoi. La cartuccia contiene un materiale essiccante (desiccante) che trattiene l'acqua; a ogni stacco del regolatore avviene il ciclo di spurgo (rigenerazione), in cui un breve soffio di aria in controcorrente espelle verso l'esterno l'umidità e le impurità raccolte. Sintomo di guasto: una cartuccia satura o un ciclo di spurgo che non avviene lascia passare condensa nei serbatoi, con acqua nell'impianto e rischio di congelamento delle valvole in inverno; un soffio continuo dallo scarico indica una valvola di spurgo difettosa.

### Le valvole di non ritorno (check valves)

Le valvole unidirezionali, o di non ritorno, consentono il flusso dell'aria in un solo senso e separano tra loro i vari serbatoi e circuiti. In questo modo, se un circuito perde pressione, gli altri restano alimentati e il veicolo conserva una capacità frenante residua. Sintomo di guasto: una valvola che trafila lascia scaricare i serbatoi a motore spento o propaga la perdita di un circuito a quelli adiacenti, riducendo la riserva d'aria.

## I serbatoi: di spurgo, primario e secondario

L'aria essiccata viene raccolta nei serbatoi. Il primo serbatoio è quello di spurgo o di raccolta (wet tank): funge da "decantatore" in cui si depositano la condensa e i residui d'olio non trattiene dall'essiccatore, prima che l'aria prosegua verso il serbatoio primario e quello secondario, che alimentano i due circuiti di servizio indipendenti. Per questo il serbatoio di spurgo va scaricato periodicamente dalla valvola di drenaggio. Sintomo di guasto: uno spurgo trascurato porta ad accumulo di condensa, corrosione interna del serbatoio e trascinamento di acqua alle valvole di frenatura.

Componente	Funzione	Sintomo tipico di guasto
Compressore d'aria	Comprime l'aria (comando dal motore, cut-in/cut-out)	Carica lenta, olio nell'impianto
Regolatore (governor)	Definisce le soglie di carica/vuoto	Sovrappressione o mancata carica
Scarico a vuoto (unloader)	Manda a vuoto il compressore allo stacco	Surriscaldamento o serbatoi vuoti
Essiccatore e cartuccia	Rimuove umidità e olio, ciclo di spurgo	Condensa nei serbatoi, valvole gelate
Valvole di non ritorno	Isolano i circuiti, flusso unidirezionale	Scarico dei serbatoi, perdita propagata
Serbatoi (spurgo/primario/secondario)	Immagazzinano l'aria, raccolgono la condensa	Corrosione, acqua alle valvole

## Il circuito di servizio (di applicazione)

---

Il circuito di servizio è la parte dell'impianto pneumatico che il conducente comanda direttamente con il pedale per rallentare e arrestare il veicolo durante la marcia normale. La sua funzione è tradurre la pressione del piede in una forza di frenatura proporzionata e simultanea su tutte le ruote, prelevando aria compressa dai serbatoi caricati dal circuito di alimentazione. Di seguito viene descritto il percorso del segnale, dalla pressione sul pedale fino alla ganaschia o alla pinza.

### Valvola pedale freno a doppio circuito (treadle valve)

Il cuore del comando è la valvola a pedale a doppio circuito. Premendo il pedale, il conducente non aziona direttamente i freni ma modula l'apertura di due sezioni indipendenti della valvola, una per l'asse anteriore e una per l'asse posteriore. Questa separazione garantisce che, in caso di guasto a un circuito, l'altro continui a frenare. La pressione erogata è proporzionale allo sforzo sul pedale: più a fondo si preme, maggiore è la pressione inviata a valle.

### Valvole relè e valvole di scarico rapido

Poiché le condotte tra pedale e ruote posteriori sono lunghe, il segnale di comando pilota una valvola relè montata vicino all'asse. La valvola relè non fa transitare l'aria di comando fino ai cilindri, ma la usa come segnale per aprire un passaggio diretto e di grande portata dal serbatoio locale, riducendo drasticamente i tempi di risposta e di rilascio. Le valvole di scarico rapido, poste vicino ai cilindri, scaricano rapidamente in atmosfera l'aria contenuta nei cilindri al rilascio del pedale, così che i freni si liberino senza ritardi.

### Cilindri di frenatura a membrana

Nei cilindri di servizio l'aria in pressione agisce su una membrana in gomma che, deformandosi, spinge l'asta di spinta (pushrod) verso l'esterno. È il punto in cui l'energia pneumatica diventa forza meccanica lineare. La corsa e la forza dell'asta dipendono dalla pressione applicata e dalla superficie utile della membrana.

### Registri automatici del gioco (slack adjuster)

L'asta di spinta agisce sulla leva del registro automatico, che funge da braccio di leva sull'albero della camma. Il registro moltiplica la forza lineare del cilindro trasformandola in coppia di rotazione e, allo stesso tempo, mantiene costante la corsa a vuoto (free-stroke): man mano che le guarnizioni si consumano, il meccanismo interno recupera automaticamente il gioco, conservando risposta pronta e pressioni di esercizio corrette.

### Camma a S, tamburo e ganasce

Nei freni a tamburo, la rotazione dell'albero fa girare la camma a S posta tra le estremità delle due ganasce. Ruotando, la camma allarga le ganasce spingendo le guarnizioni contro la superficie interna del tamburo: l'attrito che ne deriva rallenta la ruota. Al rilascio, le molle di richiamo riportano le ganasce in posizione di riposo.

## L'alternativa a disco (pinza ad azionamento pneumatico)

Sui veicoli moderni si diffonde il freno a disco pneumatico. Qui l'asta del cilindro agisce su un meccanismo interno alla pinza che, tramite una leva e un mandrino, avvicina le pastiglie al disco stringendolo su entrambi i lati. Rispetto al tamburo offre dissipazione del calore superiore, minore sensibilità al fading e manutenzione più semplice.

## Il percorso completo di una frenata

In sintesi, la pressione sul pedale apre la valvola a pedale, che invia un segnale proporzionale alle valvole relè; queste alimentano i cilindri a membrana, la cui asta aziona il registro automatico, che ruota la camma a S (o la pinza) fino a portare le guarnizioni sul tamburo o sul disco. Al rilascio, le valvole di scarico rapido liberano l'aria e i freni si aprono.

VADEN ORIGINAL fornisce i componenti chiave di questo circuito — cilindri di frenatura, valvole di comando e registri automatici — con caratteristiche conformi agli standard dei veicoli commerciali pesanti.

<b>Componente del circuito</b>	<b>Funzione</b>	<b>VADEN ORIGINAL category</b>
Valvola pedale freno a doppio circuito	Modula la pressione di comando in base allo sforzo sul pedale	Foot Brake Valve
Valvola relè	Accelera l'applicazione e il rilascio sugli assi posteriori	Relay Valve
Valvola di scarico rapido	Scarica rapidamente l'aria dei cilindri al rilascio	Quick Release Valve
Cilindro di frenatura a membrana	Converte l'aria compressa in forza sull'asta di spinta	Brake Chamber
Registro automatico del gioco	Moltiplica la forza e mantiene costante la corsa a vuoto	Slack Adjuster

## Freni di stazionamento e di emergenza (a molla)

---

I freni di stazionamento e di emergenza degli autoveicoli industriali si basano su **cilindri freno a molla** (spring brake), montati sui gruppi frenanti dell'asse posteriore e sui rimorchi/semirimorchi. All'interno di questi attuatori una potente molla precaricata tende costantemente ad applicare il freno; è l'aria compressa immessa nella camera di stazionamento a comprimere la molla e a mantenere il freno *disattivato* durante la marcia. Il freno resta quindi rilasciato solo finché nell'impianto è presente una pressione d'aria sufficiente.

### Comportamento fail-safe

Questo principio rende il sistema intrinsecamente sicuro (fail-safe): qualsiasi **caduta di pressione** — un guasto, una rottura di tubazione o lo spegnimento del veicolo — libera la molla, che applica automaticamente il freno. La stessa logica garantisce la **frenata di emergenza e antisganciamento (breakaway)**: se un rimorchio si stacca dalla motrice e la linea di alimentazione si depressurizza, i freni a molla del rimorchio intervengono da soli, arrestandolo.

### Valvola di inversione e funzione anti-compounding

Il freno di servizio e il freno a molla agiscono sulla stessa camera di attuazione. Se entrambi venissero applicati contemporaneamente, le forze si sommerebbero (compounding), sovraccaricando i componenti meccanici. Per evitarlo, la **valvola relè di inversione (park-release valve)** con funzione **anti-compounding** devia la pressione del freno di servizio verso il lato molla, così da rilasciare parzialmente la molla nella misura in cui interviene il freno di servizio. In questo modo lo sforzo totale sul gruppo frenante non supera mai il valore di progetto.

### Come bloccare (cage) in sicurezza una molla per la manutenzione

Per smontare o sostituire un cilindro a molla scarico è necessario **comprimere meccanicamente la molla** (operazione detta "caging" o messa in sicurezza). La procedura corretta prevede di:

- Immobilizzare il veicolo con cunei alle ruote e assicurarsi che non possa muoversi.
- Individuare il bullone di rilascio (release bolt) e la relativa chiave in dotazione al cilindro.
- Inserire il bullone nel foro centrale, agganciarlo alla piastra della molla e avvitarlo per comprimere e bloccare la molla, disattivando così la forza frenante.
- Verificare che lo stelo sia rientrato prima di intervenire sul gruppo.

### Nota di sicurezza

La molla interna immagazzina un'energia elevatissima: un rilascio incontrollato può causare lesioni gravi o mortali. Non smontare mai un cilindro a molla senza averlo prima messo in sicurezza (caged), scaricare sempre l'aria dall'impianto e utilizzare esclusivamente l'attrezzo di rilascio previsto dal costruttore. Sostituire i cilindri a molla difettosi solo con ricambi **VADEN ORIGINAL** integri e mai manomessi.

## Controllo del Carico e Gestione delle Sospensioni Pneumatiche

Su un veicolo industriale pesante il peso che grava su ciascun asse varia enormemente tra la condizione a vuoto e quella a pieno carico. Se la pressione di frenata rimanesse costante, un assale scarico riceverebbe una coppia frenante eccessiva e le ruote tenderebbero al bloccaggio, mentre a pieno carico la frenata risulterebbe insufficiente. Per questo motivo l'impianto pneumatico integra dispositivi che adeguano la pressione ai freni in funzione del carico effettivo, garantendo una decelerazione proporzionata e sicura in ogni condizione di esercizio.

### La valvola sensibile al carico (ALB)

Il correttore di frenata sensibile al carico, indicato con la sigla ALB (frenata automatica in funzione del carico), è il cuore di questa regolazione. Il dispositivo misura il carico gravante sull'assale, sia attraverso un collegamento meccanico alla sospensione a balestra, sia rilevando la pressione nei soffietti nel caso di sospensioni pneumatiche, e dosa di conseguenza la pressione inviata alle camere di frenatura. Ne risulta una pressione ai freni bassa quando il veicolo è scarico e progressivamente crescente man mano che aumenta il carico, fino al valore pieno a veicolo carico.

### Valvola di livellamento ed ECAS

Nelle sospensioni pneumatiche la valvola di livellamento mantiene costante l'altezza di marcia del telaio, immettendo o scaricando aria dai soffietti al variare del carico e delle condizioni della strada. I sistemi più evoluti sostituiscono la regolazione meccanica con la gestione elettronica ECAS, in cui i sensori di altezza e una ECU dedicata controllano elettronicamente le elettrovalvole, assicurando un'altezza precisa e la possibilità di sollevare o abbassare il telaio per le operazioni di carico.

### Perché la frenata proporzionale al carico è importante

- Riduce il rischio di bloccaggio delle ruote sugli assali scarichi, migliorando la stabilità del veicolo e completando l'azione di ABS ed EBS.
- Garantisce spazi di arresto adeguati a pieno carico, sfruttando appieno la capacità frenante disponibile.
- Distribuisce in modo uniforme lo sforzo tra gli assali, limitando l'usura irregolare di guarnizioni e dischi o tamburi.
- Preserva l'assetto corretto del veicolo, condizione essenziale per il corretto funzionamento di ALB, sterzo asse e sistemi elettronici.

VADEN ORIGINAL fornisce sia le valvole sensibili al carico (ALB) sia le valvole di livellamento, componenti costruiti secondo specifiche di primo equipaggiamento per assicurare una regolazione precisa e affidabile nel tempo.

VADEN ORIGINAL category	Funzione
Load Sensing Valve (ALB)	Dosa la pressione di frenata in funzione del carico gravante sull'assale
Levelling Valve	Mantiene costante l'altezza di marcia regolando l'aria nei soffietti della sospensione

## Frenata elettronica ABS ed EBS

---

La frenata elettronica rappresenta l'evoluzione dell'impianto pneumatico tradizionale: la pressione dell'aria continua a generare la forza frenante, ma la sua distribuzione viene gestita da centraline elettroniche in grado di intervenire più rapidamente di qualsiasi conducente. Sui veicoli industriali moderni questa gestione si articola su due livelli complementari: l'antibloccaggio ABS e il sistema di frenata elettronico EBS.

### Il sistema antibloccaggio ABS

L'ABS ha il compito di impedire il bloccaggio delle ruote in frenata, mantenendo la direzionalità del veicolo e riducendo gli spazi di arresto sui fondi a bassa aderenza. Il sistema si basa su tre componenti fondamentali:

- **Sensori di velocità ruota:** installati su ciascun mozzo, leggono il passaggio dei denti della *ruota fonica* (anello dentato) solidale al mozzo. Il segnale, proporzionale al numero di giri, informa costantemente la centralina sulla velocità di rotazione di ogni ruota.
- **Valvola modulatrice ABS:** inserita nella tubazione tra la valvola relè e la camera del freno, regola con estrema rapidità la pressione inviata alla camera secondo i comandi elettrici della centralina.
- **Centralina ECU:** confronta i segnali dei singoli sensori. Quando riconosce l'imminente bloccaggio di una ruota, applica un ciclo di regolazione a tre fasi: *scarico* della pressione (rilascio), *mantenimento* della pressione a un valore costante e *riapplicazione* graduale. Questo ciclo si ripete molte volte al secondo finché permane la condizione di pericolo.

Un eventuale guasto viene segnalato al conducente tramite la **spia ABS** sul cruscotto: la sua accensione durante la marcia indica che la funzione antibloccaggio è disattivata e che l'impianto sta operando in modalità di frenata convenzionale.

### Il sistema di frenata elettronico EBS

L'EBS costituisce un passo avanti rispetto al semplice ABS. Il comando frenante avviene in modalità *brake-by-wire*: la richiesta del conducente sul pedale viene trasformata in un segnale elettrico che la centralina elabora e trasmette ai modulatori. La tubazione pneumatica resta come circuito di riserva, ma in condizioni normali è il segnale elettrico, molto più veloce, a governare l'impianto.

I principali vantaggi dell'EBS sono:

- tempi di risposta e di riempimento delle camere notevolmente ridotti, con spazi di arresto più brevi;
- ripartizione elettronica della forza frenante tra assi e tra motrice e rimorchio, con usura più uniforme delle guarnizioni;
- integrazione con l'antipattinamento ASR (controllo di trazione) e con il controllo di stabilità, che intervengono in modo coordinato su freni e motore.

La differenza sostanziale rispetto al solo ABS è quindi la logica di comando: l'ABS interviene solo in situazioni critiche modulando una pressione comandata pneumaticamente, mentre l'EBS gestisce elettronicamente *ogni* frenata, integrando in un'unica architettura le funzioni di sicurezza attiva.

VADEN ORIGINAL fornisce i componenti chiave di entrambi gli impianti, dai modulatori ai sensori, con qualità conforme agli standard del primo equipaggiamento.

<b>Componente</b>	<b>Funzione</b>	<b>VADEN ORIGINAL category</b>
Valvola modulatrice antibloccaggio	Regola la pressione alla camera nei cicli di scarico, mantenimento e riapplicazione	ABS Modulator Valve
Modulatore elettronico di frenata	Gestisce brake-by-wire la pressione sull'asse in funzione del segnale ECU	EBS Modulator Valve
Sensore di velocità ruota	Legge la ruota fonica e trasmette il numero di giri alla centralina	ABS/EBS Wheel Speed Sensor
Ruota fonica (anello dentato)	Genera l'impulso letto dal sensore di velocità	ABS Exciter Ring

## Il circuito frenante del rimorchio

---

Su un autotreno o autoarticolato la frenatura non si ferma alla motrice: deve attraversare l'accoppiamento e agire anche sul rimorchio o semirimorchio in modo coordinato e sicuro. Il collegamento pneumatico avviene tramite due linee separate, gestite da valvole dedicate che garantiscono sia la modulazione della frenata sia l'arresto automatico in caso di distacco.

### La valvola di protezione della motrice e le teste di accoppiamento

Il cuore del collegamento è la valvola di protezione della motrice (tractor protection valve), montata sul veicolo trattore. Il suo compito è isolare l'impianto della motrice da quello del rimorchio quando la pressione scende sotto una soglia di sicurezza, preservando così l'aria necessaria alla frenatura del veicolo trainante. Da questa valvola partono due condotte che terminano nelle teste di accoppiamento (giunti a palmola, o gladhand): la testa rossa porta la linea di alimentazione ed emergenza, mentre la testa gialla porta la linea di servizio e comando. La codifica cromatica e la geometria diverse impediscono un collegamento errato.

### La valvola di comando rimorchio e la valvola relè

La modulazione della frenata del rimorchio è affidata alla valvola di comando rimorchio (trailer control valve), pilotata dal pedale del freno e, dove presente, da una valvola a mano sul cruscotto. Il segnale pneumatico viaggia lungo la linea gialla fino al rimorchio, dove agisce sulla valvola relè (relay valve). Quest'ultima non si limita a trasmettere il comando: sfruttando l'aria immagazzinata nei serbatoi del rimorchio, alimentati dalla linea rossa, essa applica rapidamente e proporzionalmente la pressione ai cilindri freno (brake chambers) di ogni asse. In questo modo la risposta è pronta anche su rimorchi lunghi, con tempi di reazione ridotti su tutte le ruote.

### Comportamento in caso di distacco ed emergenza

La sicurezza in caso di sganciamento è integrata nella logica del circuito. Se il rimorchio si stacca o una condotta si rompe, la linea rossa di alimentazione perde pressione. Questo calo fa commutare automaticamente la valvola relè, che scarica l'aria dei cilindri e, sui rimorchi con molle di parcheggio ad accumulo, lascia intervenire le molle stesse: il rimorchio frena e si arresta da solo, senza alcun comando del conducente. La valvola di protezione della motrice, contemporaneamente, sigilla l'impianto del trattore per mantenerne l'efficienza frenante.

<b>Componente</b>	<b>Funzione nel circuito rimorchio</b>	<b>VADEN ORIGINAL category</b>
Valvola di protezione della motrice	Isola l'impianto del trattore e protegge la riserva d'aria	Tractor Protection Valve
Teste di accoppiamento (rossa e gialla)	Collegano le linee di alimentazione/emergenza e di servizio	Coupling Head (Palm Coupling)
Valvola di comando rimorchio / valvola a mano	Modula il segnale di frenata verso il rimorchio	Trailer Control Valve
Valvola relè	Applica rapidamente la pressione ai cilindri usando l'aria dei serbatoi	Relay Valve
Serbatoio aria del rimorchio	Immagazzina l'aria necessaria alla frenatura	Air Reservoir
Cilindro freno	Trasforma la pressione in forza frenante alla ruota	Brake Chamber

## Diagnostica e manutenzione

---

Un impianto frenante ad aria compressa correttamente mantenuto è la garanzia di frenate prevedibili e sicure. La maggior parte dei guasti sull'impianto pneumatico si manifesta con sintomi ben riconoscibili: interpretarli correttamente permette di intervenire prima che si trasformino in un fermo veicolo o in una perdita di efficienza frenante. La tabella seguente riepiloga i sintomi più frequenti, le cause probabili e i relativi controlli e rimedi.

Sintomo	Causa probabile	Controllo / rimedio
Lento riempimento dell'aria (pressione che sale con difficoltà)	Compressore usurato o inefficiente, filtro d'aspirazione intasato, perdite nel circuito di alimentazione, valvola di scarico dell'essiccatore che sfiata di continuo.	Verificare il tempo di riempimento rispetto ai valori del costruttore. Controllare il filtro d'aspirazione del compressore e le condutture. Ispezionare l'essiccatore e la valvola di rigenerazione; sostituire i componenti difettosi.
Eccesso di condensa/acqua nei serbatoi	Essiccatore d'aria inefficiente o cartuccia satura, cartuccia dell'essiccatore oltre l'intervallo di sostituzione, valvole di scarico non funzionanti.	Spurgare i serbatoi e verificare la quantità d'acqua. Sostituire la cartuccia dell'essiccatore. Controllare il funzionamento della valvola di scarico e del riscaldatore (ove presente).
I freni restano frenati o non si rilasciano	Valvola relè o valvola freno che non scarica, regolatore di gioco (leva freno) bloccato, molla di richiamo della camera rotta, tubazioni piegate o ostruite.	Verificare lo scarico dell'aria al rilascio del pedale. Controllare la corsa e lo scorrimento del regolatore di gioco. Ispezionare camere del freno, molle di richiamo e tubazioni; liberare o sostituire i componenti bloccati.
Perdita d'aria udibile	Raccordi allentati, tubazioni fessurate o invecchiate, guarnizioni/O-ring difettosi in valvole o camere del freno.	Individuare la perdita con acqua saponata a impianto in pressione. Serrare i raccordi, sostituire tubazioni e guarnizioni deteriorate. Verificare la tenuta di valvole e camere.
La spia ABS resta accesa	Sensore di velocità ruota sporco o mal posizionato, cablaggio o connettore danneggiato, guasto della ECU o della valvola modulatrice, ruota fonica difettosa.	Leggere i codici guasto con lo strumento diagnostico. Controllare traferro e pulizia dei sensori, integrità del cablaggio e dei connettori. Sostituire il componente indicato dalla diagnosi.
Allarme/cicalino di bassa pressione	Pressione d'esercizio insufficiente per perdite o compressore inefficiente, sensore/manometro difettoso, valvola di protezione a quattro vie non equilibrata.	Verificare la pressione effettiva nei circuiti con manometro. Individuare ed eliminare le perdite. Controllare il sensore di pressione e la valvola di protezione; ripristinare i valori nominali.
Frenata irregolare o tiro da un lato	Squilibrio di pressione tra gli assi, regolatori di gioco non uniformi, ganasce/pastiglie o tamburi/dischi consumati in modo diseguale, valvola ALB/ripartitrice mal regolata.	Confrontare le pressioni tra i due lati e tra gli assi. Verificare e uniformare la corsa dei regolatori di gioco. Ispezionare guarnizioni d'attrito e tamburi/dischi; controllare la taratura della valvola ALB.

## Intervalli di manutenzione

- Spurgare i serbatoi dell'aria (scarico della condensa) agli intervalli previsti, o quotidianamente in assenza di essiccatore efficiente.
- Sostituire la cartuccia dell'essiccatore d'aria secondo il piano di manutenzione del costruttore.
- Ispezionare la corsa libera del regolatore di gioco (leva freno) e ripristinarla se fuori tolleranza.
- Controllare la corsa dell'astina di spinta della camera del freno e mantenerla entro i limiti prescritti.

- Ispezionare guarnizioni d'attrito (ganasce/pastiglie) e tamburi/dischi, verificandone spessore, usura e integrità.

## Guida rapida ai componenti e glossario

La tabella seguente riassume i quattordici componenti principali di un impianto frenante pneumatico per veicoli industriali. Per ciascuno sono indicati la funzione essenziale in una riga e la corrispondente categoria di prodotto VADEN ORIGINAL, così da facilitare l'identificazione del ricambio corretto in fase di manutenzione o ordine.

<b>Componente</b>	<b>Funzione</b>	<b>VADEN ORIGINAL category</b>
Compressore d'aria	Comprime l'aria che alimenta l'intero impianto pneumatico.	Air Compressor
Regolatore di pressione (governor)	Controlla la pressione di esercizio comandando il carico e lo scarico del compressore.	Governor
Essiccatore d'aria / cartuccia	Rimuove umidità e impurità dall'aria compressa prima dei serbatoi.	Air Dryer & Cartridge
Valvola scaricatrice (unloader)	Scarica il compressore a vuoto una volta raggiunta la pressione massima.	Unloader Valve
Valvola relè	Accelera l'attuazione dei freni ripetendo il segnale con aria prelevata dal serbatoio.	Relay Valve
Valvola di scarico rapido	Svuota rapidamente le camere al rilascio del pedale, riducendo i tempi di sblocco.	Quick Release Valve
Camera di frenatura	Converte la pressione dell'aria in forza meccanica di frenatura.	Brake Chamber
Cilindro a molla (stazionamento)	Attua il freno di stazionamento ed emergenza tramite l'energia di una molla.	Spring Brake Chamber
Leva registro freni (slack adjuster)	Trasmette la forza al camma e regola il gioco delle ganasce.	Slack Adjuster
Valvola sensibile al carico (ALB)	Modula la pressione di frenatura in funzione del carico sull'assale.	Load Sensing Valve
Valvola di livellamento	Mantiene costante l'altezza della sospensione pneumatica al variare del carico.	Levelling Valve
Modulatore ABS/EBS	Regola elettronicamente la pressione per prevenire il bloccaggio delle ruote.	ABS/EBS Modulator
Freno motore (di scarico)	Rallenta il veicolo strozzando i gas di scarico del motore.	Exhaust Brake
Servocomando frizione	Assiste l'azionamento della frizione riducendo lo sforzo sul pedale.	Clutch Servo

## Glossario

- **Cut-in/cut-out:** le due soglie di pressione tra cui lavora il regolatore; al cut-out il compressore va a vuoto (pressione massima), al cut-in torna a caricare (pressione minima).
- **Wet tank:** il primo serbatoio a valle del compressore, dove si raccoglie la condensa prima della distribuzione ai serbatoi di servizio.
- **S-cam:** la camma a forma di "S" che, ruotando, apre le ganasce contro il tamburo nei freni a tamburo pneumatici.
- **Gladhand:** l'accoppiamento a innesto rapido che collega le linee pneumatiche tra motrice e rimorchio.
- **Anti-compounding:** la funzione che impedisce la somma della forza del freno di servizio e di quella della molla di stazionamento sulla stessa camera, evitando sovraccarichi meccanici.
- **Free-stroke:** la corsa a vuoto dell'asta della camera prima che le ganasce tocchino il tamburo; ne indica il gioco di registrazione.
- **ALB:** dispositivo di regolazione automatica della forza frenante in base al carico, per bilanciare la frenata a veicolo carico e scarico.
- **Fail-safe:** principio di sicurezza per cui, in caso di caduta di pressione, la molla applica il freno garantendo l'arresto del veicolo.