

ANNO SCOLASTICO 2017-2018
ESAME DI STATO DI ISTRUZIONE SECONDARIA SUPERIORE
Indirizzo: ITET – ELETTROTECNICA ED ELETTRONICA
ARTICOLAZIONE AUTOMAZIONE

Tema di: SISTEMI AUTOMATICI

Il candidato svolga la prima parte della prova e due tra i quesiti proposti nella seconda parte.

PRIMA PARTE

All'interno di un sito archeologico sono presenti anche due locali affrescati aperti al pubblico.

Al fine di preservare gli affreschi è necessario regolamentare in maniera precisa l'ingresso dei visitatori e mantenere costante il microclima all'interno dei locali.

L'accesso al sito è consentito ad un massimo di 30 visitatori per volta e allo scopo sono installati tornelli all'ingresso e all'uscita per verificare il numero di visitatori presenti, mentre l'accesso ai due locali affrescati è consentito a non più di cinque visitatori alla volta. Ai locali si accede mediante una porta che non può essere aperta dall'esterno quando all'interno sono presenti cinque persone.

All'interno dei locali devono essere garantite opportune condizioni di temperatura e umidità.

In particolare:

- a) la temperatura deve essere mantenuta tra i 6°C e i 12°C nel periodo invernale e tra i 20°C e i 24°C nel periodo estivo; quando la temperatura scende al di sotto dei valori minimi si attivano delle piccole piastre riscaldanti, poste a 1 metro dal pavimento, fino al raggiungimento della temperatura media, mentre se la temperatura è troppo elevata si attiva il sistema di aerazione che al raggiungimento della temperatura media si disattiva;
- b) l'umidità relativa deve essere mantenuta nel range 45%±5% per evitare la proliferazione di muffe; tale livello viene garantito azionando per 10 minuti, se si è fuori dal range, gli aeratori o il sistema di nebulizzazione a pompa posto a muro.

L'illuminamento interno deve essere di 150 lux ed è garantito da un adeguato numero di lampade.

Il candidato, fatte le eventuali ipotesi aggiuntive, dopo aver definito il numero di sensori che ritiene opportuno installare, nel sito e nei locali, per la gestione dei visitatori nonché per assicurare le condizioni ambientali richieste:

1. proponga un possibile sistema di controllo degli accessi al sito archeologico e, in particolare, ai locali affrescati;
2. rappresenti tramite uno schema a blocchi il sistema di acquisizione dei dati, descriva le funzioni dei singoli blocchi e indichi i componenti utilizzati;
3. specifichi le caratteristiche dei sensori, ne progetti i relativi circuiti di condizionamento del segnale di uscita e discuta il sistema di alimentazione dell'impianto elettrico e dei dispositivi previsti, con particolare riferimento al sistema di distribuzione e ai sistemi di protezione;

4. rappresenti, mediante un diagramma di flusso o un altro linguaggio di propria conoscenza, l'algoritmo di gestione dell'impianto;
5. elabori un opportuno programma che, con l'ausilio di un sistema programmabile di propria conoscenza, gestisca l'automatismo proposto.

SECONDA PARTE

QUESITO 1

Con riferimento alla prima parte, vista la particolarità di integrazione architettonica tra sistemi di controllo previsti e il sito archeologico, il candidato illustri quali procedure vanno seguite per la valutazione di impatto ambientale nel rispetto della normativa vigente.

QUESITO 2

Si consideri un sensore di pressione a diaframma in cui si utilizza un estensimetro come elemento sensibile.

L'estensimetro ha resistenza a riposo pari a 100Ω (corrispondente ad allungamento $\lambda = 0$) e gauge factor pari a 2.

Si vogliono misurare pressioni che determinano deformazioni della membrana di $\pm 100 \mu\lambda$.

Il candidato progetti un circuito di acquisizione del segnale utilizzando un convertitore AD con range $0 \div 10 V$.

QUESITO 3

È necessario gestire il ciclo di funzionamento di un motore asincrono trifase a 4 poli e funzionante alla frequenza di rete.

L'avviamento avviene mediante un pulsante di start, la velocità del motore aumenta in modo graduale fino a raggiungere il suo valore massimo dopo 15 secondi e tale velocità va mantenuta per 30 secondi, dopodiché il motore comincia a decelerare fino ad arrestarsi completamente dopo 15 secondi.

Il candidato discuta le problematiche relative alla fase di avviamento del motore e proponga le modalità di gestione del suddetto ciclo di funzionamento.

QUESITO 4

Il candidato illustri il principio di funzionamento dei dispositivi IGBT e ne discuta vantaggi e svantaggi in rapporto alle caratteristiche dei MOSFET e BJT; inoltre fornisca un esempio di possibile applicazione nell'ambito del controllo di velocità dei motori.

soluzione PRIMA PARTE

Le funzioni che vengono richieste all'impianto sono:

- il controllo della temperatura e dell'umidità nelle due stanze affrescate;
- il controllo del numero di visitatori presenti nel sito;
- il controllo del numero di visitatori presenti nelle due stanze affrescate.

Sono funzioni semplici che possono essere realizzate utilizzando dei relè programmabili come i modelli della serie Zelio prodotti da Schneider o i modelli della serie Logo prodotti da Siemens.

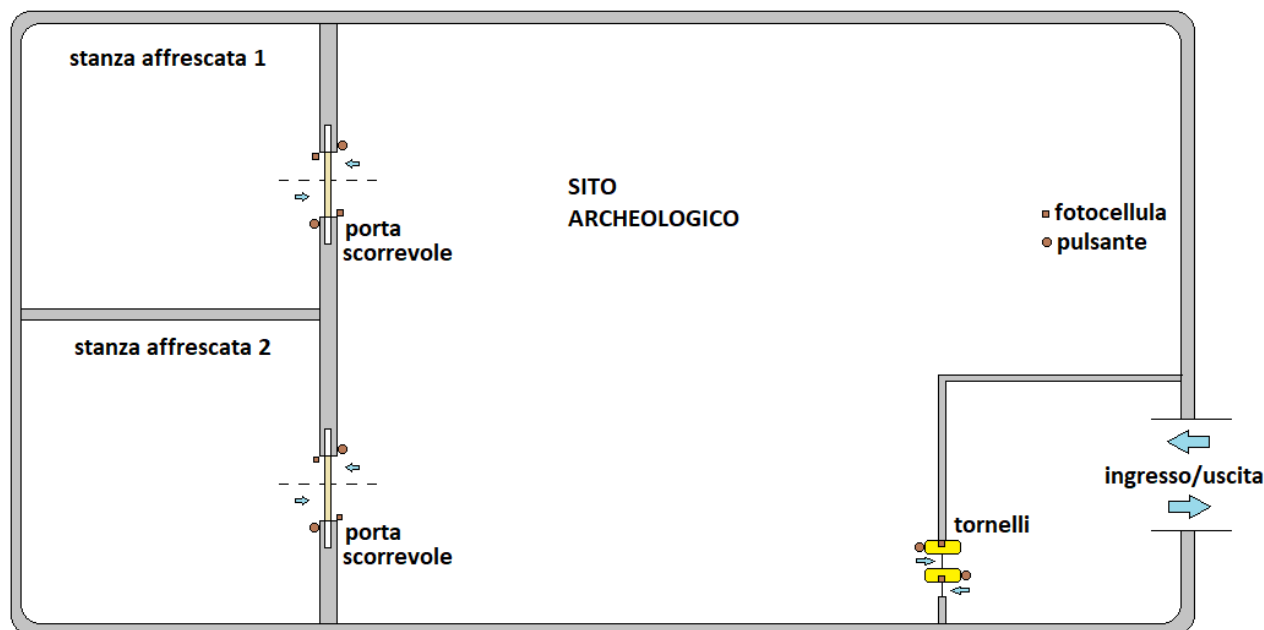
Per ciascuna delle due stanze affrescate si può prevedere l'impiego di due trasduttori rispettivamente di temperatura e di umidità.

Per quanto riguarda la gestione delle piastre riscaldanti e del sistema di aerazione ha poco senso fare la distinzione tra inverno ed estate.

Più semplicemente le piastre riscaldanti dovrebbero essere azionate quando la temperatura scende sotto ai 6°C indipendentemente dalla stagione; con lo stesso criterio il sistema di aerazione dovrebbe essere azionato quando la temperatura supera i 24°C. Si dovrebbe prevedere anche un intervallo di isteresi (ad esempio di 3°C) attorno alle temperature limite in modo tale da evitare un continuo attacca stacca dei dispositivi.

Punto 1_

Si consideri la vista del sito riportata in figura nella quale sono visibili le dotazioni necessarie per la realizzazione del sistema di controllo del numero di visitatori.



Si prevede l'impiego di due cellule fotoelettriche presso i tornelli di ingresso e di uscita (vedere figura) e di altre due all'interno dei locali affrescati (vicino alla porta scorrevole).



Il visitatore, dopo aver acquistato il biglietto nell'atrio, si avvicina al tornello d'ingresso; premendo il pulsante il tornello si apre; al passaggio attraverso una fotocellula viene incrementato il conteggio di un contatore; quando esce preme il pulsante del tornello d'uscita che si apre; al passaggio attraverso una fotocellula viene decrementato il conteggio del contatore.

Quando vengono contati 30 visitatori il tornello d'ingresso si blocca e una lampada di colore rosso si accende per segnalare che non è possibile entrare; normalmente è accesa una lampada di colore verde.

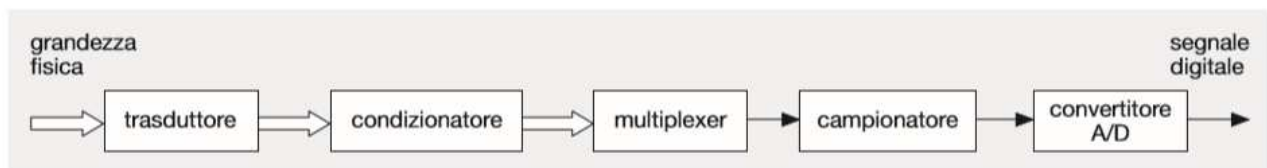
Il medesimo criterio viene utilizzato per regolare l'accesso alle stanze affrescate; il visitatore preme un pulsante per entrare (si apre quella parte di porta scorrevole che consente l'accesso) e uno per uscire (si apre quella parte di porta scorrevole che consente l'uscita); al passaggio dalle fotocellule un contatore si incrementa o si decrementa; quando raggiunge il valore 5 si blocca quella parte di porta scorrevole che consente l'accesso. Una lampada di colore rosso si accende per segnalare che è stato raggiunto il numero massimo di visitatori e che pertanto non è più possibile entrare; normalmente è accesa una lampada di colore verde.

Punto 2

Lo schema a blocchi di un generico sistema di acquisizione dati viene riportato in figura.

Non tutti i componenti indicati in questo schema vengono utilizzati.

Il multiplexer non è necessario in quanto il numero di trasduttori previsti è limitato; i segnali provenienti dai trasduttori vengono inviati al sistema programmabile su pin separati.

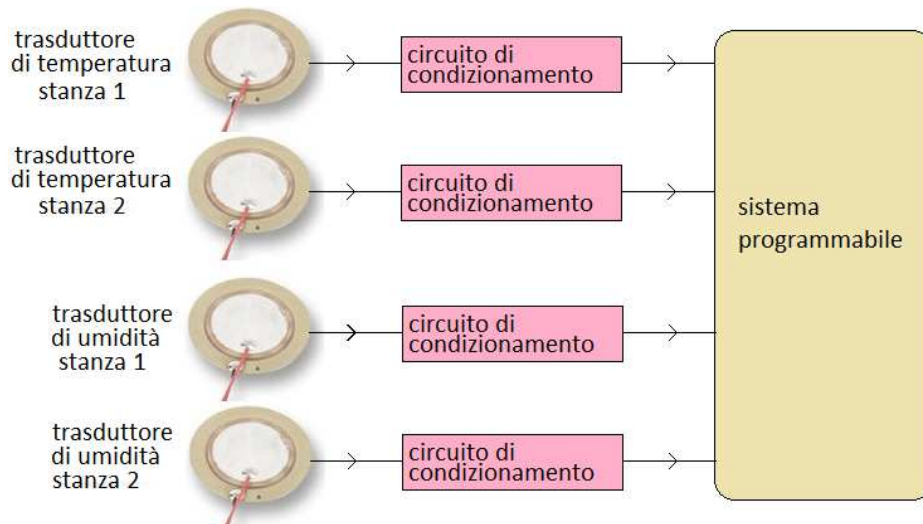


Non è necessario il campionario e quindi il modulo S/H in quanto, vista la specifica applicazione, non si riscontrano particolari problemi relativi ai tempi di acquisizione.

Il convertitore A/D si suppone integrato nel sistema programmabile.

Lo schema a blocchi si riduce a quello riportato in figura.

Vista la semplicità del sistema si può ritenere adatto l'impiego di relè programmabili come i modelli Zelio prodotti da Schneider o i modelli Logo prodotti da Siemens.



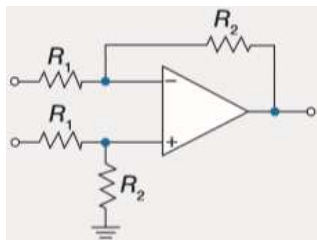
Punto 3

Condizionamento del segnale (trasduttore di temperatura)

Vista la gamma delle temperature da acquisire si può utilizzare il trasduttore LM35 con sensibilità 10mV/°C; temperature minime e massime misurabili sono 0°C e 100°C.

Alla temperatura di 0°C il trasduttore fornisce una tensione di 0 V, ad una temperatura di 40 °C una tensione di 0,4 V.

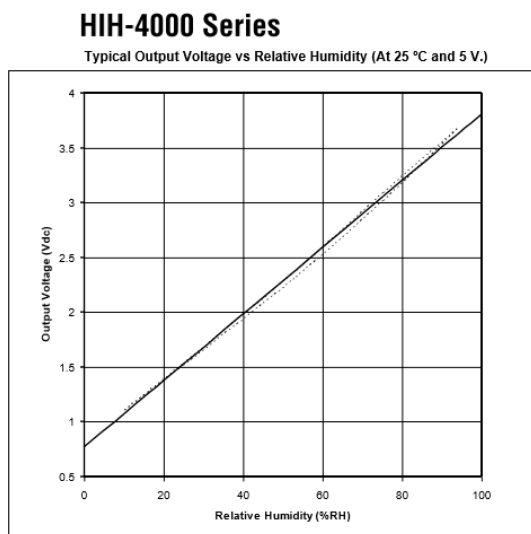
Per ottenere una maggiore precisione nella misura si può estendere il range di tensione a valori compresi tra 0 V e 10 V, accettati dagli ingressi analogici dei relè programmabili. Con una amplificazione pari a 25 si riesce ad ottenere quanto desiderato; non si ha offset in quanto la tensione vale 0 V a 0°C. Come circuito di condizionamento si può utilizzare il differenziale riportato in figura.



Ponendo $R_2=25\text{ k}\Omega$ e $R_1=1\text{ k}\Omega$ si ottiene quanto desiderato. Il segnale proveniente dal trasduttore viene collegato al morsetto non invertente; il morsetto invertente viene portato a massa.

Condizionamento del segnale (trasduttore di umidità)

In figura viene riportato un esempio di caratteristica di un trasduttore di umidità che si suppone di avere a disposizione.



La tensione vale 0,75 V allo 0% di umidità, 3,75 V al 100%. Facendo riferimento allo schema del differenziale l'ingresso invertente deve essere portato a 0,75 V in modo tale da fargli corrispondere il limite inferiore del range. Sottraendo 0,75 V il limite superiore diventa 3 V; per portarlo a 10 V (limite superiore del range) bisogna amplificare la tensione di un fattore $10/3=3,33$. Ponendo $R_2=3,3\text{ k}\Omega$ e $R_1=1\text{ k}\Omega$ si ottiene quanto desiderato.

Schema dell'impianto

Le funzioni richieste, vista la loro semplicità, vengono svolte da relè programmabili. Devono essere previsti:

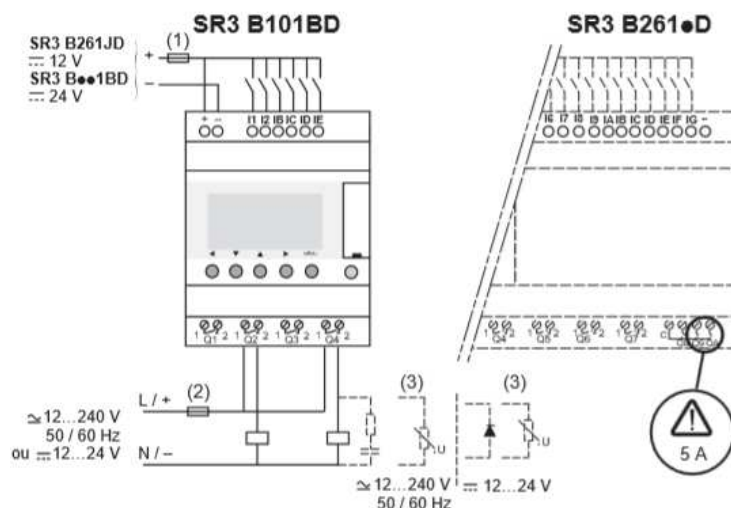
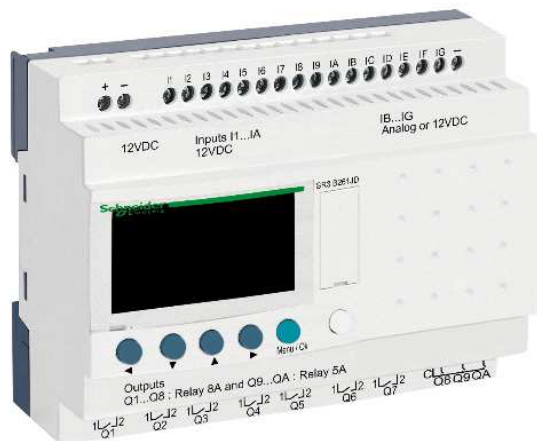
- quattro ingressi analogici per i trasduttori di temperatura e umidità;
- quattro ingressi digitali per i pulsanti;
- sei ingressi digitali per le fotocellule;

- quattro uscite digitali per l'azionamento dei dispositivi che controllano la temperatura e l'umidità;
- sei uscite digitali per le lampade di segnalazione.

Consultando i prodotti della serie Zelio si rivela adatto allo scopo il modello indicato in figura).

La configurazione consente infatti l'impiego di 16 ingressi (di cui 6 analogici) e 10 uscite; rimangono non utilizzati due ingressi analogici.

Selezione corrente		Estensioni non contigue	
Riferimento	Base SR3B261JD	1	Non selezionato
Alimentazione	12VDC		
Ingressi	10 DIGITALE + 6 (0-10V)		
Uscite	10 RELÈ		Estensioni
Orologio	Si	1	Non selezionato
Lingua	Ladder	2	Non selezionato
Numero totale di ingressi/uscite		16 I / 10 O	



Il modulo viene alimentato in continua; è pertanto necessario un alimentatore che preleva la tensione di rete (230 V/50 Hz, F+N).

L'impianto elettrico deve alimentare, oltre al modulo, gli apparecchi illuminanti e le prese. Gli apparecchi illuminanti devono garantire un illuminamento di 150 lux.

Il numero di apparecchi illuminanti può essere calcolato utilizzando il metodo del flusso totale dividendo il flusso totale (dipende dall'illuminamento, dalle dimensioni del locale, dai fattori di utilizzazione e di manutenzione) per il flusso relativo all'apparecchi scelto.

Per un sito archeologico si utilizza il sistema TT impiegato per la distribuzione dell'energia elettrica in BT alle piccole utenze civili e industriali che impegnano una potenza minore di 100 KW e non hanno una propria cabina di trasformazione.

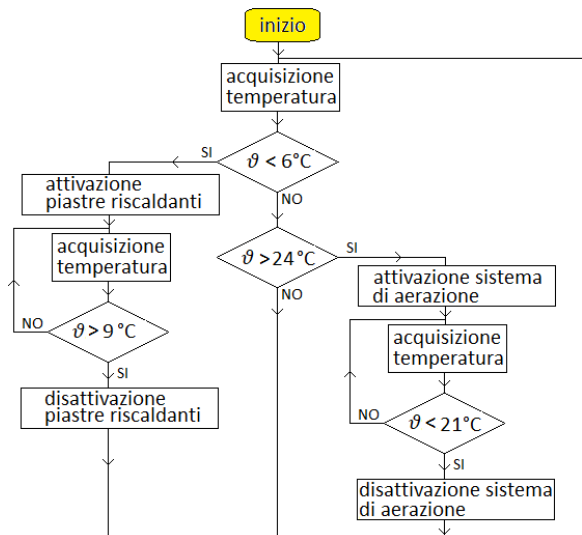
Questi utenti devono realizzare un proprio impianto di terra.

Il quadro elettrico principale deve comprendere dispositivi di protezione come interruttori differenziali e magnetotermici.

Punto 4_

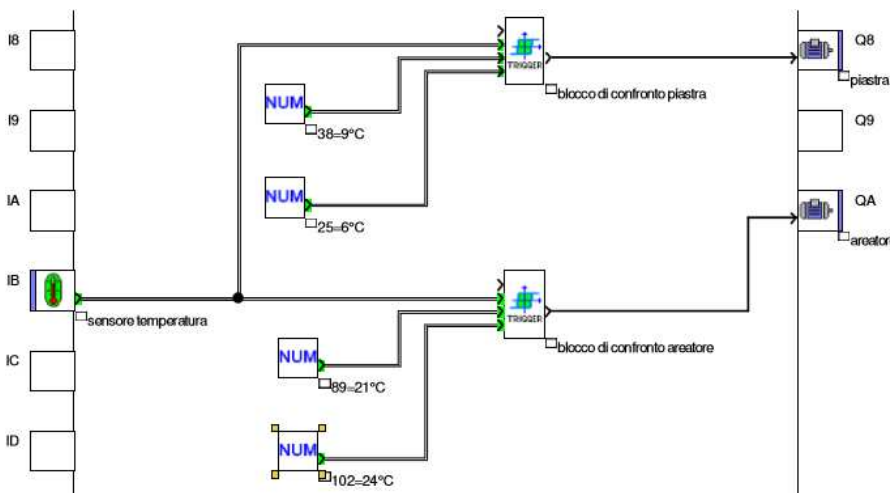
Il diagramma di flusso riportato in figura riguarda la parte relativa all'acquisizione dei dati di temperatura.

Dalla lettura del diagramma è evidente che le funzioni possono essere implementate con una funzione tipo trigger di Schmitt.



Punto 5_

Facendo riferimento al diagramma di flusso relativo al punto precedente viene di seguito riportata quella parte di programma relativa all'acquisizione dei dati di temperatura realizzata utilizzando il linguaggio FBD proprio dei moduli Zelio.



Uscite fisiche

Uscita	No	Simbolo	Funzione	Commento
Q8	B05		Motore	piastra
QA	B02		Motore	areatore

Funzioni parametrizzabili

No	Simbolo	Funzione	Blocco	Latching	Parametri	Commento
B03	NUM	Costante numerica	No	---	Valore della costante : 140	89=21°C
B04	NUM	Costante numerica	No	---	Valore della costante : 150	102=24°C
B08		Trigger di Schmitt	---	---	Nessun parametro	blocco di confronto piastra
B09		Trigger di Schmitt	---	---	Nessun parametro	blocco di confronto areatore
B10	NUM	Costante numerica	No	---	Valore della costante : 41	38=9°C
B11	NUM	Costante numerica	No	---	Valore della costante : 40	25=6°C

***soluzione* SECONDA PARTE**

QUESITO 1

La *Valutazione di Impatto Ambientale* è una procedura che ha lo scopo di individuare, descrivere e valutare, in via preventiva alla realizzazione delle opere, gli effetti sull'ambiente, sulla salute e benessere umano di determinati progetti pubblici o privati, nonché di identificare le misure atte a prevenire, eliminare o rendere minimi gli impatti negativi sull'ambiente, prima che questi si verifichino effettivamente.

I concetti fondamentali alla base della procedura di VIA (già definiti nella Direttiva 85/337/CEE del Consiglio delle Comunità europee del 27 giugno 1985) sono:

- la *prevenzione* ovvero l'analisi di tutti i possibili impatti derivati dalla realizzazione dell'opera/progetto, al fine non solo di salvaguardare ma anche di migliorare la qualità dell'ambiente e della vita;
- l'*integrazione* ovvero l'analisi di tutte le componenti ambientali e delle interazioni fra i diversi effetti possibili (effetti cumulativi);
- il *confronto* ovvero il dialogo e il riscontro tra chi progetta e chi autorizza nelle fasi di raccolta, analisi ed impiego di dati scientifici e tecnici;
- la *partecipazione* ovvero l'apertura del processo di valutazione all'attivo contributo dei cittadini in un'ottica di maggiore trasparenza (pubblicazione della domanda di autorizzazione e possibilità di consultazione).

In particolare la valutazione di impatto ambientale dei progetti è concepita per assicurare che l'attività antropica sia compatibile con le condizioni per uno sviluppo sostenibile; pertanto comporta la individuazione, la descrizione e la stima degli impatti diretti ed indiretti che un progetto può avere relativamente a:

- uomo, fauna e flora;
- suolo, acqua, aria e clima;
- beni materiali e patrimonio culturale.

La valutazione di impatto ambientale riguarda i progetti definiti come *la realizzazione di lavori di costruzione o di altri impianti od opere e di altri interventi sull'ambiente naturale o sul paesaggio, compresi quelli destinati allo sfruttamento delle risorse del suolo.*

Qualora i progetti risultino destinati esclusivamente alla difesa nazionale è possibile la loro esclusione dalla VIA.

La priorità della difesa non rappresenta l'unica possibilità di esclusione; si citano in proposito gli interventi disposti in via d'urgenza per i quali non risulti possibile svolgere la VIA stessa in quanto finalizzati a *salvaguardare l'incolumità delle persone e di mettere in sicurezza gli immobili da un pericolo imminente o a seguito di calamità.*

Relativamente ai progetti soggetti alla valutazione di impatto ambientale, dal punto di vista operativo è opportuno tenere distinte la verifica di assoggettabilità alla VIA dalla VIA vera e propria.

La *verifica di assoggettabilità* è definita come la procedura che deve essere attivata per *valutare, ove previsto, se progetti possono avere un impatto significativo e negativo sull'ambiente* e devono essere sottoposti alla fase di VIA; quindi rappresenta una fase propedeutica alla VIA vera e propria.

La verifica di assoggettabilità alla VIA (denominata anche *screening*) è prevista in particolare per:

- progetti che servono esclusivamente o essenzialmente per lo sviluppo ed il collaudo di nuovi metodi o prodotti e non sono utilizzati per più di due anni;
- le modifiche o le estensioni dei progetti la cui realizzazione potenzialmente può produrre effetti negativi e significativi sull'ambiente;
- progetti ricadenti all'interno di aree naturali protette.

La *valutazione di impatto ambientale vera e propria* prevede, rispetto allo screening, un maggior livello di dettaglio delle informazioni che devono essere prodotte all'autorità competente.

Viene prevista anche una fase, facoltativa, di consultazione tra il proponente, l'autorità competente ed i soggetti competenti in materia ambientale, finalizzata alla definizione del grado di approfondimento delle informazioni, della metodologia da seguirsi necessaria alla redazione dello studio di impatto ambientale.

Tale fase (denominata anche *scoping*) viene condotta sulla base del progetto preliminare e dello studio preliminare ambientale, nonché dell'elenco delle autorizzazioni, intese, concessioni, licenze, pareri nulla osta ed assensi necessari per la costruzione e l'esercizio del progetto, da prodursi prioritariamente in formato elettronico.

E' evidente che per progetti non già sottoposti a verifica di assoggettabilità alla VIA, i documenti previsti devono essere elaborati allo scopo, quindi a prima vista potrebbe risultare un onere aggiuntivo, ma lo scoping presenta vantaggi non trascurabili in quanto il confronto preliminare può prevenire una successiva richiesta di integrazioni od ulteriori approfondimenti ed impegna l'autorità competente a verificare l'esistenza di eventuali elementi di incompatibilità; la fase di consultazione deve concludersi entro 60 giorni.

Prima di attivarsi per la presentazione dell'istanza, il proponente deve elaborare lo studio di impatto ambientale (SIA) che rappresenta il documento principale riguardante gli aspetti ambientali e gli impatti del progetto.

L'elaborazione del SIA prevede un contenuto minimo ovvero:

- la descrizione del progetto e delle sue caratteristiche, analizzando la zona in cui sarà localizzato;
- la descrizione delle misure previste per evitare, ridurre e possibilmente compensare gli impatti negativi rilevanti;

- l'indicazione dei dati necessari all'individuazione e valutazione dei principali impatti sull'ambiente e sul patrimonio culturale che il progetto può produrre, sia in fase di realizzazione sia in fase di esercizio dell'opera
- la descrizione sommaria delle principali alternative prese in esame illustrando le motivazioni della scelta progettuale per quanto attiene l'impatto ambientale
- il piano di monitoraggio degli impatti che saranno prodotti.

Tutte le informazioni devono essere riassunte in una sintesi non tecnica per l'informazione del pubblico meno esperto.

L'istanza deve essere presentata direttamente all'autorità competente.

La domanda deve essere corredata da:

- progetto definitivo;
- studio di impatto ambientale;
- sintesi non tecnica;
- elenco delle autorizzazioni, intese, concessioni, licenze, pareri, nulla osta e assensi comunque denominati, già acquisiti o da acquisire per la costruzione e l'esercizio dell'opera;
- copia informatizzata degli elaborati, conforme agli originali presentati;
- copia di un avviso a mezzo stampa.

Come nel caso della verifica di assoggettabilità alla VIA, anche nella VIA è garantita la riservatezza industriale o commerciale.

La documentazione deve essere depositata non solo presso l'autorità competente ma anche presso gli uffici di regioni, province e comuni eventualmente interessati anche parzialmente dagli impatti; la VIA, a differenza dello screening, garantisce un maggior coinvolgimento dei territori interessati, non solo dal progetto, ma anche dagli impatti conseguenti la sua realizzazione.

E' pertanto indispensabile che il proponente stimi con scrupolosità i propri impatti, anche al fine di evitare un nuovo deposito della domanda presso uffici di enti inizialmente trascurati ed eventualmente anche una nuova ripubblicazione con una nuova decorrenza dei termini. A garanzia che la documentazione presentata sia completa il legislatore ha previsto una fase finalizzata alla verifica di completezza sia di quanto presentato, sia dell'avvenuto pagamento degli oneri istruttori.

Questa fase deve compiersi entro 30 giorni dalla presentazione della domanda, trascorsi i quali, se non sono state chieste integrazioni documentali (comportanti l'interruzione dei termini), l'istanza si intende correttamente presentata.

Questa prima fase comporta esclusivamente la verifica che alla domanda siano allegati i documenti previsti senza, però, impegnare l'autorità competente ad effettuare una valutazione in merito ai contenuti, cosa che avviene in fase istruttoria.

Eventuali integrazioni devono essere presentate entro il termine stabilito dall'autorità competente che non può essere superiore a 30 giorni, prorogabile qualora la documentazione da produrre sia particolarmente complessa; la mancata produzione di quanto richiesto entro il termine stabilito va inteso come ritiro dell'istanza.

La partecipazione pubblica è garantita dalla possibilità di visionare il progetto e presentare osservazioni entro 60 giorni dalla presentazione della domanda.

Il proponente potrebbe essere convocato ad un contraddittorio con i soggetti che hanno presentato pareri od osservazioni, contraddittorio che potrebbe essere richiesto anche dal proponente.

Il provvedimento di VIA, se favorevole, deve contenere prescrizioni riguardanti l'impatto ambientale non solo durante l'esercizio di un'opera, ma anche durante la costruzione e la

dismissione della stessa, riportando le misure di monitoraggio degli impatti ed è auspicabile che ricordi l'obbligo, prorogabile, di realizzare i progetti entro 5 anni dalla pubblicazione della decisione finale.

Il monitoraggio degli impatti è basilare per testare la veridicità delle valutazioni effettuate sia in sede di richiesta che in sede istruttoria e, soprattutto, per dare all'autorità competente il potere di apportare modifiche al provvedimento qualora risultino impatti negativi ulteriori e diversi ed addirittura di sospendere l'attività in attesa di individuare le azioni correttive applicabili nel caso in cui possano derivare gravi ripercussioni negative non preventivamente valutate sulla salute pubblica e sull'ambiente

QUESITO 2

L'estensimetro (o strain gauge) è costituito da una resistenza a film sottile inglobata in una striscia di materiale plastico isolante da incollare sulla superficie del campione di cui si vuol misurare la deformazione (vedere figura).



La deformazione del campione, e di conseguenza dell'estensimetro, provoca una proporzionale variazione della resistenza elettrica pari a $K\varepsilon$.

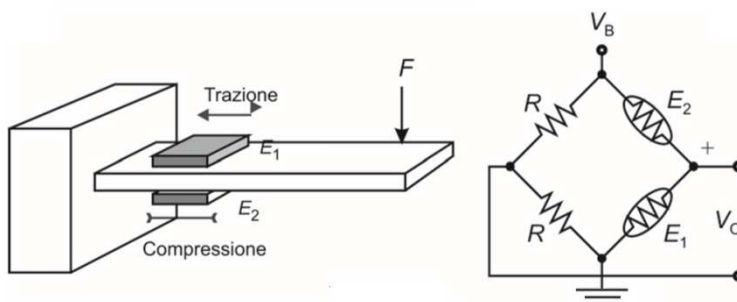
La costante K , adimensionale, viene definita fattore caratteristico dell'estensimetro (gauge factor) e per gli estensimetri a film metallico ha un valore tipico di circa 2.

Con ε viene indicato l'allungamento lineare unitario, grandezza adimensionale espressa di solito in ppm (parti per milione) o in percentuale.

Pur utilizzando un estensimetro con un corretto coefficiente di dilatazione termica, esso rimane tuttavia sensibile alla temperatura a causa della variazione della resistività del materiale conduttivo.

La strategia adottata comunemente per risolvere questo problema è quella di utilizzare una coppia di estensimetri.

I due estensimetri sono collegati elettricamente a ponte di Wheatstone (vedere figura) e meccanicamente in modo che su di essi agiscano forze di intensità uguale ma di senso opposto.

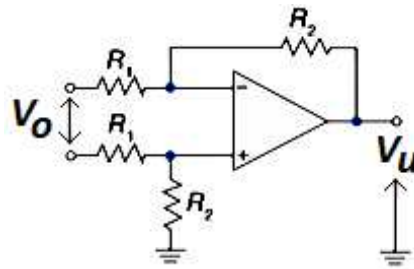


Supposto che gli estensimetri E_1 e E_2 abbiano entrambi una resistenza interna di valore R , per la tensione di uscita V_o risulta:

$$V_o = V_B \frac{K\varepsilon}{2}$$

Con $V_B = 10 \text{ V}$ ed $\varepsilon = 10^{-3}$ (valore tipico) si ottiene $V_o = 10 \text{ mV}$.

Il circuito di condizionamento tipico di un sensore di pressione con uscita differenziale non riferita a massa viene riportato in figura.



Volendo condizionare il segnale per una tensione compresa tra 0 V e 10 V deve risultare

$$A_d = \frac{V_u}{V_o} = \frac{10}{0,10} = 100$$

essendo A_d l'amplificazione differenziale.

Deve quindi risultare $R_2/R_1=100$; di conseguenza si possono scegliere i valori $R_2=100 \text{ k}\Omega$ e $R_1=1 \text{ k}\Omega$.

QUESITO 3

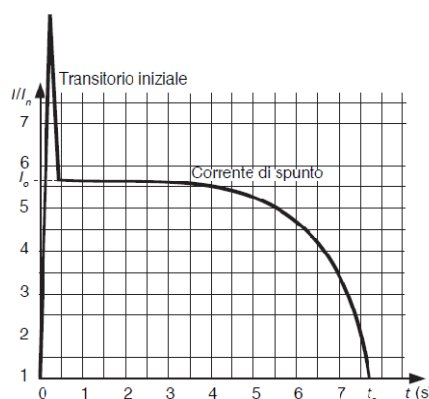
Fase di avviamento

Nella fase che segue l'avviamento gli avvolgimenti di un motore sono sottoposti a tensione ma la velocità è ancora nulla.

In questa fase, detta di cortocircuito, il motore assorbe un'elevata corrente di spunto; l'energia assorbita, non potendo ancora convertirsi in energia meccanica, è quasi totalmente convertita in calore per effetto Joule.

Con l'avviamento del rotore la corrente si riduce fino ad assumere il valore nominale in corrispondenza di una velocità vicina a quella massima.

La situazione è illustrata nel grafico seguente che mostra l'andamento della corrente, espressa come multiplo della corrente nominale (rapporto I/I_n), in funzione del tempo t .



La corrente del motore ha un transitorio iniziale di pochi ms dovuto alla bassa impedenza apparente nell'istante di avviamento.

In questo breve intervallo la corrente istantanea può giungere ad un valore venti volte superiore a quello nominale.

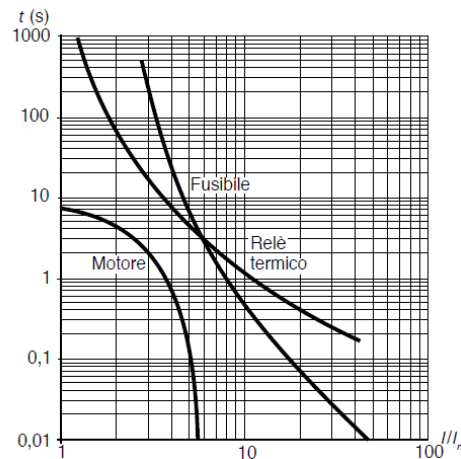
I ritardi di funzionamento delle protezioni devono essere tali da non provocare il loro intervento e da fare in modo che il transitorio si esaurisca senza danni.

Superata tale fase la corrente di spunto può assumere valori che vanno generalmente dalle sei alle otto volte il valore della corrente nominale.

Per la protezione si possono utilizzare due dispositivi distinti, il fusibile e il relè termico, che proteggono rispettivamente contro cortocircuiti e sovraccarico termico.

Per un corretto coordinamento delle protezioni occorre confrontare le curve di intervento dei dispositivi con le correnti di spunto in modo da scongiurare un intervento indesiderato durante la fase di avviamento.

La figura mostra la caratteristica di avviamento del motore insieme alle curve di intervento del fusibile e del relè termico.



La curva di intervento del relè termico si rivela adatta per la protezione del motore alle basse correnti.

Oltre un certo limite il relè termico rischia la distruzione e subentra quindi il fusibile, il cui campo di protezione può spingersi a correnti superiori per giungere fino a quella di cortocircuito senza preoccuparsi dei rischi di distruzione, che in questo caso rappresenta invece proprio la modalità con cui viene attuata l'interruzione richiesta.

Per evitare l'interruzione del circuito in fase di avviamento occorre che le caratteristiche delle due curve siano esterne a quella di avviamento del motore.

Ciclo di funzionamento

I tipi di servizio delle macchine contraddistinti dalla sigle da S1 a S9 vengono stabiliti dalla Norma CEI 2-3.

Il ciclo descritto e riportato in figura appartiene alla tipologia S5.

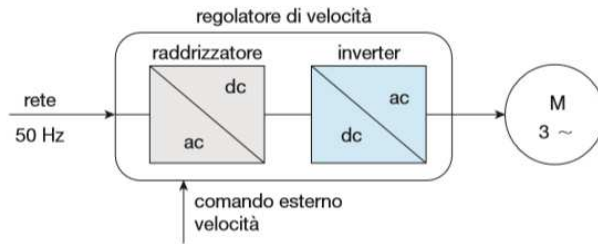
Viene denominato dalla normativa stessa *servizio intermittente periodico con frenatura elettrica* e definito come una sequenza di cicli di funzionamento identici, ciascuno comprendente una fase di avviamento, un periodo di funzionamento a carico costante, una fase di frenatura elettrica rapida e un periodo di riposo.



La variazione di velocità in un motore asincrono trifase si può ottenere modificando lo scorrimento o il numero delle coppie polari o la frequenza.

Attualmente il metodo più utilizzato è quello della variazione di frequenza che si attua utilizzando un dispositivo denominato inverter o convertitore statico di frequenza; in realtà l'inverter è soltanto il dispositivo elettronico atto a trasformare una corrente continua in corrente alternata di forma sinusoidale o pseudo sinusoidale; nel regolatore è compreso

anche un blocco raddrizzatore che trasforma l'alternata di rete in una continua a tensione variabile (vedere figura).



Il valore della frequenza in uscita può essere scelto dall'operatore in relazione alla velocità di funzionamento che si vuole far raggiungere al motore.

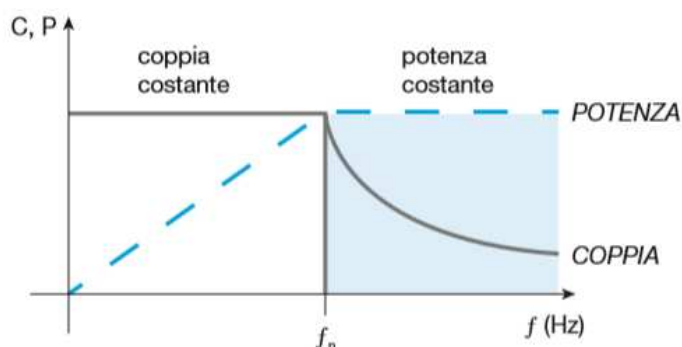
Se si varia la frequenza con cui si alimenta il motore al fine di modificare la velocità si ha come conseguenza un aumento del flusso magnetico (per valori inferiori a 50 Hz) o una diminuzione (per valori superiori).

Per mantenere inalterate le caratteristiche meccaniche nominali del motore come la coppia è però necessario garantire un flusso magnetico il più possibile costante e vicino al valore stabilito dal costruttore; questa condizione si ottiene mantenendo il più costante possibile il rapporto V/f tra la tensione che alimenta il motore (che influisce sulla coppia) e la frequenza stessa; per esempio per ottenere da un motore standard da 5,5 kW a 2 poli velocità di campo rotante differenti dal valore nominale senza interferire sul comportamento della coppia lo si dovrà alimentare con i valori di frequenza e tensione riportati nella tabella seguente.

Frequenza (Hz)	Tensione (V)	Giri/minuto	Coppia (Nm)
50	400	3000	17
40	320	2400	17
30	240	1800	17
25	200	1500	17
20	160	1200	17
10	80	600	17
5	40	300	17

L'inverter regola in modo proporzionale frequenza e tensione sulla base del comando esterno impartito dall'utilizzatore del sistema che in pratica è il comando della velocità richiesta.

I grafici riportati in figura mostrano l'andamento della coppia e della potenza in funzione della frequenza di alimentazione di un motore asincrono trifase accoppiato con un carico meccanico che, a 50 Hz, assorbe la potenza nominale.



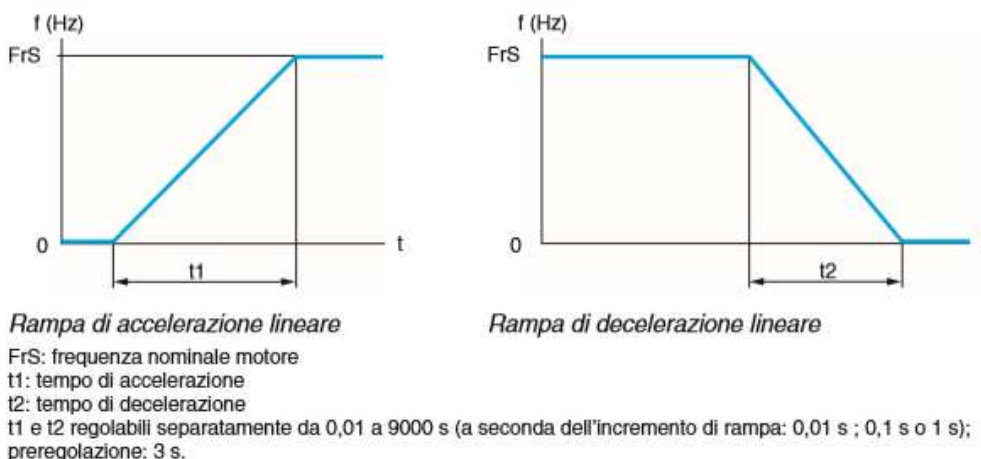
La zona oltre la frequenza nominale viene denominata zona a potenza costante per distinguerla dalla zona a coppia costante prima della frequenza nominale.

Con l'inverter è possibile ottenere velocità maggiori rispetto a quella di targa generando frequenze maggiori di 50 Hz ma da tale punto in poi, non essendo più possibile aumentare la tensione, si ha come conseguenza un progressiva diminuzione della coppia motrice.

I variatori, come evidenziato in figura, vengono disposti a valle dell'interruttore automatico magnetico e del contattore; la protezione dal sovraccarico viene assolta dal variatore.



Il variatore deve essere programmato in modo tale che i tempi di accelerazione e decelerazione siano pari a 15 s (vedere figura).



QUESITO 4

La sigla IGBT significa Insulate Gate Bipolar Transistor.

E' un componente che nasce dall'idea di raccogliere in se le migliori proprietà di due componenti separati, il BJT (che ha una buona caratteristica di conduzione) e il MOSFET (che ha delle buone caratteristiche in termini di velocità di commutazione e di pilotaggio).

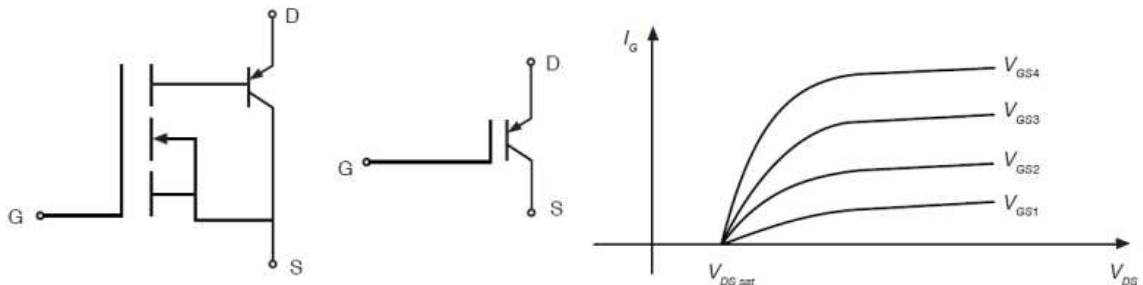
Lo scopo viene raggiunto mediante la realizzazione di una struttura a transistor BJT di tipo PNP in configurazione Darlington in cui il transistor pilota viene sostituito da un MOSFET a

canale N; lo stadio d'ingresso è in definitiva costituito da un MOSFET, lo stadio d'uscita da un BJT.

La sua caratteristica è un ibrido tra quelle dei componenti da cui deriva.

Le caratteristiche d'uscita sono uguali a quelle di un transistor bipolare, però è controllato in tensione come il MOSFET.

Schema equivalente, simbolo grafico e caratteristica vengono riportate in figura.

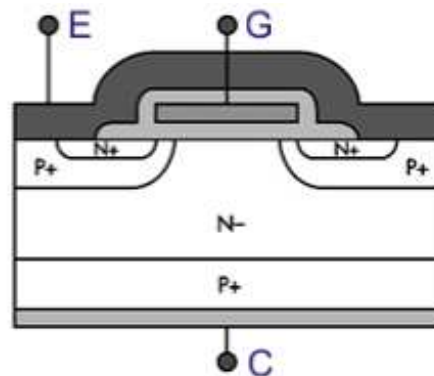


Quando la tensione è applicata tra gate ed emettitore, la capacità equivalente d'ingresso si carica attraverso il resistore di gate fino a una tensione di soglia che fa accendere l'IGBT; viceversa, quando la capacità tra gate ed emettitore si scarica, l'IGBT torna nello stato di off.

Essendo l'IGBT un dispositivo a tensione controllata richiede solo una piccola tensione sul gate per mantenere la conduzione attraverso il dispositivo a differenza dei BJT che richiedono che la corrente di base sia continuamente alimentata in quantità sufficiente a mantenere la saturazione.

L'IGBT è un dispositivo unidirezionale a differenza dei MOSFET che hanno capacità di commutazione di corrente in maniera bidirezionale; la corrente circola in una sola direzione, dal collettore verso l'emettitore.

La struttura tecnologica di un IGBT viene riportata in figura.



Rispetto al MOSFET la differenza sostanziale è l'aggiunta di un substrato P al di sotto di quello N.

Alcune proprietà caratteristiche dell'IGBT dipendono dal condensatore d'ingresso e dal resistore di gate.

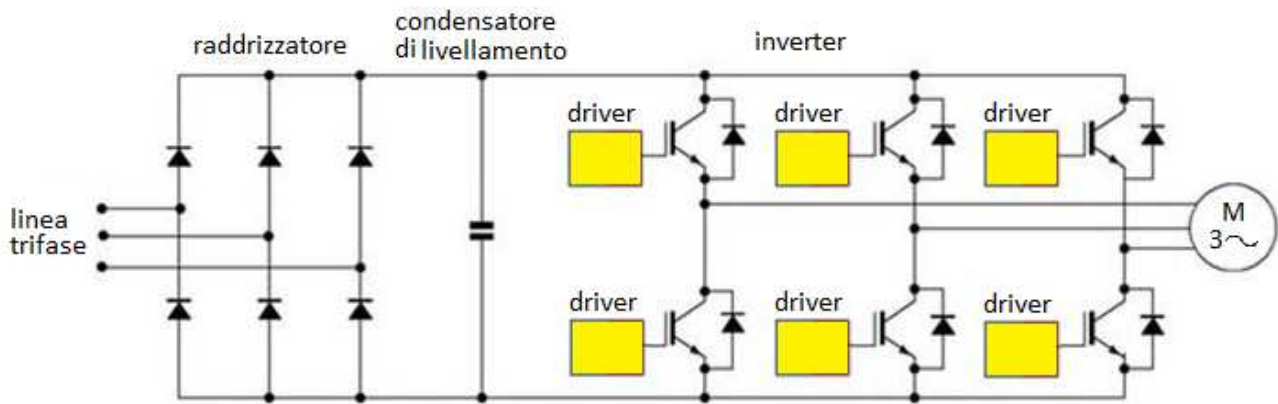
Il tempo di carica e scarica del condensatore d'ingresso è il fattore che limita la velocità di switch del dispositivo; più il resistore di gate è piccolo, più veloce è il tempo di carica e scarica del condensatore e quindi minore è il tempo di switching dell'IGBT.

L'impiego degli IGBT è legato in particolare al controllo dei motori a velocità variabile, al controllo di trazione, agli schemi per inverter e alimentatori.

Esempio applicativo

Un esempio applicativo tipico degli IGBT è nei convertitori di frequenza utilizzati per regolare la velocità dei motori asincroni trifase.

Lo schema tipico viene riportato in figura.



Nel **raddrizzatore** la corrente alternata è convertita in corrente continua pulsante tramite un ponte trifase non controllato; la corrente viene livellata dal condensatore posto tra raddrizzatore e inverter; l'inverter regola la tensione e la frequenza d'uscita.

I componenti principali dell'inverter sono sei IGBT suddivisi in coppie disposte su tre rami; gli IGBT controllano la tensione regolata in uscita dal circuito intermedio tramite PWM.

Gli IGBT sono alimentati e controllati dai driver integrati nel circuito di potenza.