

Regione  
Basilicata



Provincia  
Potenza



Comune  
Armento



Comune  
Montemurro



PROGETTO PER LA REALIZZAZIONE DI UN PARCO EOLICO PER LA  
PRODUZIONE DI ENERGIA ELETTRICA, DELLE OPERE CONNESSE E  
DELLE INFRASTRUTTURE INDISPENSABILI DENOMINATO  
"ARMENTO"

Comuni di Armento e Montemurro (PZ)

**PROGETTO DEFINITIVO**

**RELAZIONE  
PRELIMINARE SULLE  
STRUTTURE**

Proponente



**GEMINI WIND S.r.l.**  
Via Giuseppe Ripamonti, 44  
20141 - MILANO  
P. IVA: 12401220962

Progettazione



**GEMINI WIND S.r.l.**  
Via del Gallitello n. 215  
85100 - POTENZA (PZ)  
P. IVA: 02009140761

Ing. Domenico Maria Bisaccia

Ing. Luciana Pietragalla



N° Elaborato

**A.11**

Scala

Formato

A4

Revisione	Descrizione	Data	Preparato	Controllato	Approvato
00	Prima Emissione	maggio 2023	Ing. L. Pietragalla	Ing. D. M. Bisaccia	Ing. D. M. Bisaccia

---

## Sommario

A.11.	Relazione preliminare sulle strutture .....	2
A.11.1.	Descrizione dell'opera e collocazione nel territorio.....	2
A.11.2.	Criteri di concezione e di schematizzazione strutturale, modellazione del terreno, proprietà dei materiali, efficacia del modello.....	2
A.11.3.	Modello Strutturale .....	4
A.11.4.	I Nodi.....	5
A.11.5.	I Carichi.....	5
A.11.6.	Gli Elementi finiti.....	5
A.11.6.1.	Elemento Trussu (Astra reticolare) .....	6
A.11.6.2.	Elemento Frame (Trave e pilastro, Trave di fondazione) .....	6
A.11.6.3.	Elemento Shell (Guscio).....	8
A.11.6.4.	Elemento Plane (Stato piano di tensione, Stato piano di deformazione, Assialsimmetrico). .....	9
A.11.6.5.	Elemento Boundary (Vincolo).....	10
A.11.6.6.	Elemento Plinto.....	10
A.11.7.	Considerazioni conclusive.....	14

## A.11. Relazione preliminare sulle strutture

### A.11.1. Descrizione dell'opera e collocazione nel territorio

Il presente progetto definitivo è ubicato nella Provincia di Potenza, nei comuni di Armento e Montemurro.

Di seguito si riportano le coordinate di ognuno degli aerogeneratori.

ID	Coordinata Est (m) sist. Rif. UTM WGS84	Coordinata Nord (m) sist. Rif. UTM WGS84
A 01	587 374,80	4 466 391,19
A 02	587 420,39	4 465 736,06
A 03	588 621,80	4 465 674,80
A 04	587 053,53	4 465 235,52
A 05	587 845,71	4 465 156,78
A 06	588 935,21	4 464 975,11
A 07	587 152,98	4 463 663,25
A 08	588 589,42	4 463 764,77
A 09	589 365,07	4 463 645,12
A 10	586 451,21	4 463 049,34
A 11	588 713,15	4 462 488,16
A 12	588 380,76	4 461 963,14

Tabella 1 - Coordinate aerogeneratori

### A.11.2. Criteri di concezione e di schematizzazione strutturale, modellazione del terreno, proprietà dei materiali, efficacia del modello.

La struttura e il suo comportamento sotto le azioni statiche e dinamiche sarà adeguatamente valutata, interpretata e trasferita nel modello che si caratterizza per la sua impostazione completamente tridimensionale. A tal fine ai nodi strutturali possono convergere diverse tipologie di elementi, che corrispondono nel codice numerico di calcolo in altrettante tipologie di elementi finiti.

Travi e pilastri, ovvero componenti in cui una dimensione prevale sulle altre due, vengono modellati con elementi "beam", il cui comportamento può essere opportunamente perfezionato attraverso alcune opzioni quali quelle in grado di definire le modalità di connessione all'estremità. Eventuali elementi soggetti a solo sforzo normale possono essere trattati come elementi "truss" oppure con elementi "beam" opportunamente svincolati. Le pareti, le piastre, le platee ovvero in generale i componenti strutturali bidimensionali, con due dimensioni prevalenti sulla terza (lo spessore), sono stati modellati con elementi "shell" a comportamento flessionale e membranale.

I vincoli con il mondo esterno vengono rappresentati, nei casi più semplici (apparecchi d'appoggio, cerniere, carrelli), con elementi in grado di definire le modalità di vincolo e le rigidità nello spazio. Questi elementi, coniugati con i precedenti, consentono di modellare i casi più complessi ma più frequenti di interazione con il terreno, realizzabile tipicamente mediante fondazioni, pali, platee nonché attraverso una combinazione di tali situazioni.

Il comportamento del terreno è sostanzialmente rappresentato tramite una schematizzazione lineare alla Winkler, principalmente caratterizzabile attraverso una opportuna costante di sottofondo, che può essere anche variata nella superficie di contatto fra struttura e terreno e, quindi, essere in grado di descrivere anche situazioni più complesse. Nel caso dei pali, il comportamento del terreno implica anche l'introduzione di vincoli per la traslazione orizzontale.

I parametri dei materiali utilizzati per la modellazione riguardano il modulo di Young, il coefficiente di Poisson, ma sono disponibili anche opzioni per ridurre la rigidità flessionale e tagliante dei materiali per considerare l'effetto di fenomeni fessurativi nei materiali. Il calcolo viene condotto mediante analisi lineare, ma vengono considerati gli effetti del secondo ordine e si può simulare il comportamento di elementi resistenti a sola trazione o compressione. La presenza di diaframmi orizzontali, se rigidi, nel piano viene gestita attraverso l'impostazione di un'apposita relazione fra i nodi strutturali coinvolti, che ne condiziona il movimento relativo. Relazioni analoghe possono essere impostate anche fra elementi contigui.

Si ritiene che il modello utilizzato sia rappresentativo del comportamento reale della struttura.

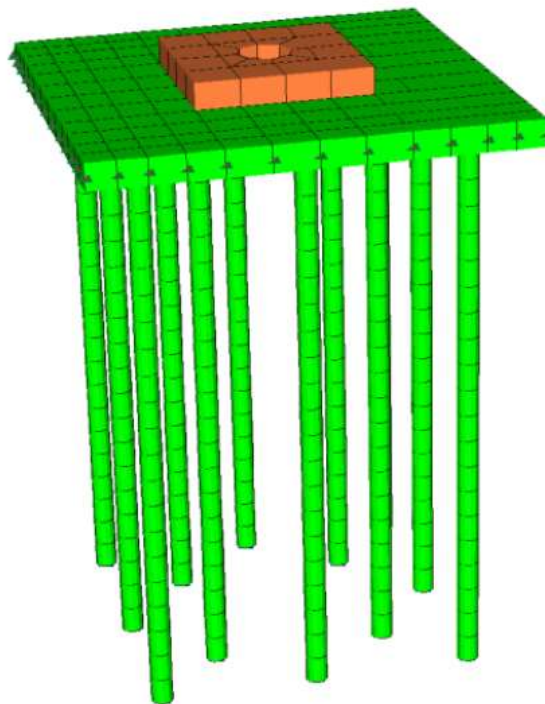
Sono stati inoltre valutati tutti i possibili effetti o le azioni anche transitorie che possano essere significative e avere implicazione per la struttura.

### A.11.3. Modello Strutturale



*Figura 1 - Schema strutturale aerogeneratore*

Nella seguente immagine si riporta lo schema assometrico della sola platea e dei pali di fondazione.



*Figura 2 - Schema strutturale fondazione*

#### **A.11.4. I Nodi**

La struttura è individuata da nodi riportati in coordinate.

Ogni nodo possiede sei gradi di libertà, associati alle sei possibili deformazioni. I gradi di libertà possono essere liberi (spostamenti generalizzati incogniti), bloccati (spostamenti generalizzati corrispondente uguale a zero), di tipo slave o linked (il parametro cinematico dipende dalla relazione con altri gradi di libertà).

Si può intervenire sui gradi di libertà bloccando uno o più gradi. I blocchi vengono applicati nella direzione della terna locale del nodo.

Le relazioni complesse creano un legame tra uno o più gradi di libertà di un nodo detto slave con quelli di un altro nodo detto master. Esistono tre tipi di relazioni complesse.

Le relazioni di tipo link prescrivono l'uguaglianza tra gradi di libertà analoghi di nodi diversi. Specificare una relazione di tipo link significa specificare il nodo slave assieme ai gradi di libertà che partecipano al vincolo ed il nodo master. I gradi di libertà slave saranno eguagliati ai rispettivi gradi di libertà del nodo master.

La relazione di piano rigido prescrive che il nodo slave appartiene ad un piano rigido e quindi che i due spostamenti in piano e la rotazione normale al piano sono legati ai tre parametri di rototraslazione rigida di un piano.

Il Corpo rigido prescrive che il nodo slave fa parte di un corpo rigido e tutti e sei i suoi gradi di libertà sono legati ai sei gradi di libertà posseduti dal corpo rigido (i gradi di libertà del suo nodo master).

#### **A.11.5. I Carichi**

I carichi agenti sulla struttura possono essere suddivisi in carichi nodali e carichi elementari. I carichi nodali sono forze e coppie concentrate applicate ai nodi della discretizzazione. I carichi elementari sono forze, coppie e sollecitazioni termiche.

I carichi in luce sono individuati da un codice numerico, da un tipo e da una descrizione. Sono previsti carichi distribuiti trapezoidali riferiti agli assi globali ( $fX, fY, fZ, fV$ ) e locali ( $fx, fy, fz$ ), forze concentrate riferite agli assi globali ( $FX, FY, FZ, FV$ ) o locali ( $Fx, Fy, Fz$ ), momenti concentrati riferiti agli assi locali ( $Mx, My, Mz$ ), momento torcente distribuito riferito all'asse locale  $x$  ( $mx$ ), carichi termici ( $tx, ty, tz$ ), descritti con i relativi parametri identificativi, aliquote inerziali comprese, rispetto al riferimento locale. I carichi in luce possono essere attribuiti solo a elementi finiti del tipo trave o trave di fondazione.

#### **A.11.6. Gli Elementi finiti**

La struttura può essere suddivisa in sottostrutture, chiamate gruppi.

#### A.11.6.1. *Elemento Trussu (Astra reticolare)*

L'elemento truss (asta reticolare) rappresenta il modello meccanico della biella elastica. Possiede 2 nodi I e J e di conseguenza 12 gradi di libertà. Gli elementi truss sono caratterizzati da 4 parametri fisici e geometrici ovvero:

- A Area della sezione.
- E Modulo elastico.
- P Densità di peso (peso per unità di volume).
- A Coefficiente termico di dilatazione cubica.

I dati di input e i risultati del calcolo relativi all'elemento stesso sono riferiti alla terna locale di riferimento indicata nella figura seguente.

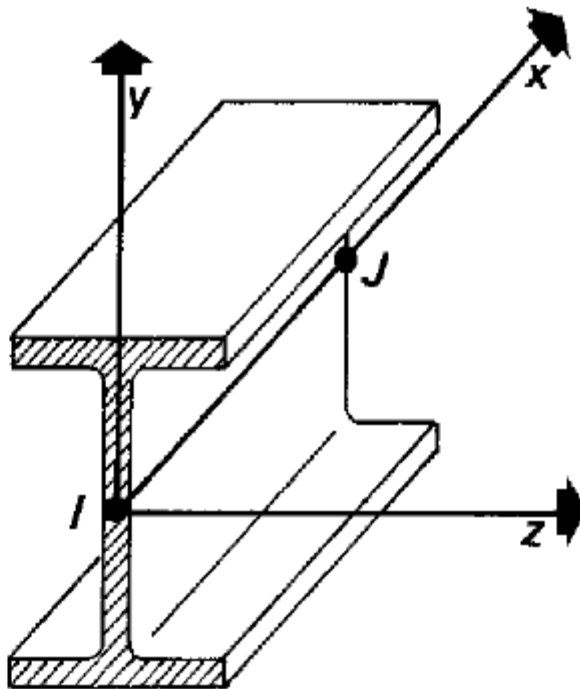


Figura 3 - Riferimento Locale

#### A.11.6.2. *Elemento Frame (Trave e pilastro, Trave di fondazione)*

L'elemento frame implementa il modello della trave nello spazio tridimensionale. È caratterizzato da 2 nodi principali I e J posti alle sue estremità ed un nodo geometrico facoltativo K che serve solamente a fissare univocamente la posizione degli assi locali.

L'elemento frame possiede 12 gradi di libertà.

Ogni elemento viene riferito ad una terna locale destra x, y, z, come mostrato nella figura seguente.

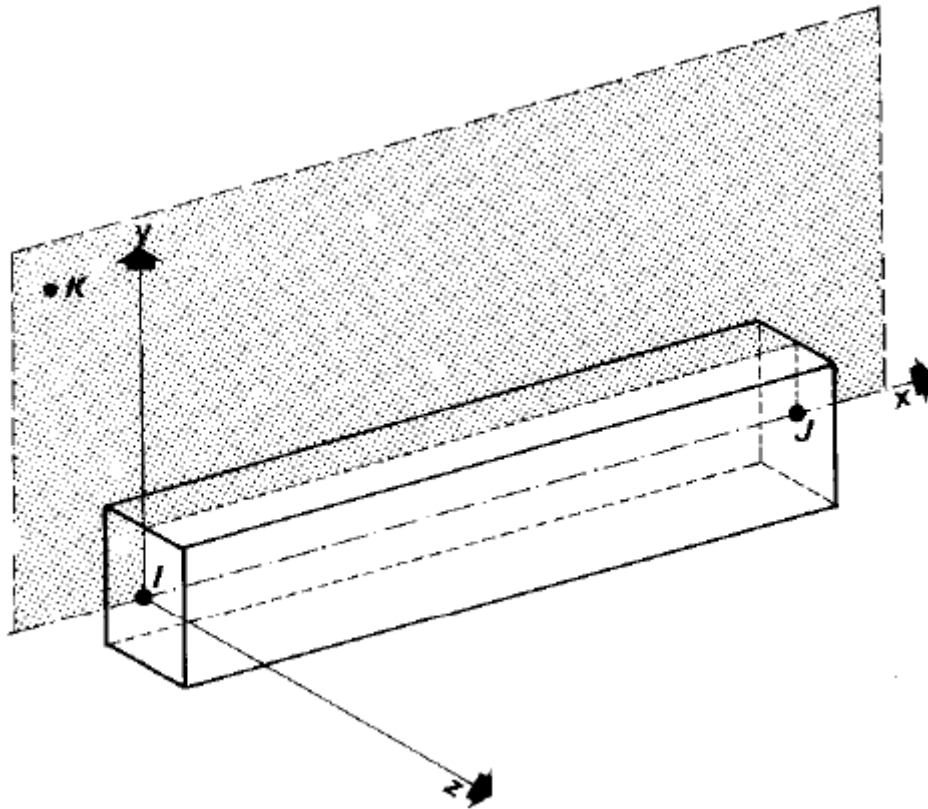


Figura 4 – Elemento Frame

L'elemento frame supporta varie opzioni tra cui:

1. deformabilità da taglio (travi tozze);
2. sconnessioni totali o parziali alle estremità;
3. connessioni elastiche alle estremità;
4. offsets, ovvero tratti rigidi eventualmente fuori asse alle estremità;
5. suolo elastico alla Winkler nelle tre direzioni locali e a torsione.

L'elemento frame supporta i seguenti carichi:

- carichi distribuiti trapezoidali in tutte le direzioni locali o globali;
- sollecitazioni termiche uniformi e gradienti termici nelle due direzioni principali;
- forza concentrata in tutte le direzioni locali o globali applicata in un punto arbitrario;
- carichi generici mediante prescrizione delle reazioni di incastro perfetto.

I gruppi formati da elementi del tipo trave riportano, in ordine, i numeri dei nodi iniziale (I), finale (J) e di riferimento (K), la situazione degli svincoli ai nodi I e J (indicate in legenda eventuali situazioni diverse dall'incastro perfetto ad entrambi i nodi), i codici dei materiali e delle sezioni, la situazione di carico nelle otto possibili condizioni A, B, C, D, E, F, G, H: se e presente un numero, esso individua il coefficiente moltiplicativo del carico corrispondente.



I gruppi relativi all'elemento trave di fondazione riportano informazioni analoghe; le condizioni di carico sono limitate a due (A e B); e indicata la caratteristica del suolo, la larghezza di contatto con il terreno e il numero di suddivisioni interne. Per la trave di fondazione il programma abilita automaticamente solo i gradi di libertà relativi alla rotazione intorno agli assi globali X, Y e alla traslazione secondo Z, bloccando gli altri gradi di libertà.

Ogni trave di fondazione è suddivisa in un numero adeguato di parti (aste). Ogni singola asta interagisce con il terreno mediante un elemento finito del tipo vincolo elastico alla traslazione verticale  $t_Z$  convergente ai suoi nodi (vedi figura seguente), il cui valore di rigidità viene determinato dal programma moltiplicando la costante di sottofondo assegnata dall'utente per l'area di contatto con il terreno in corrispondenza del nodo.

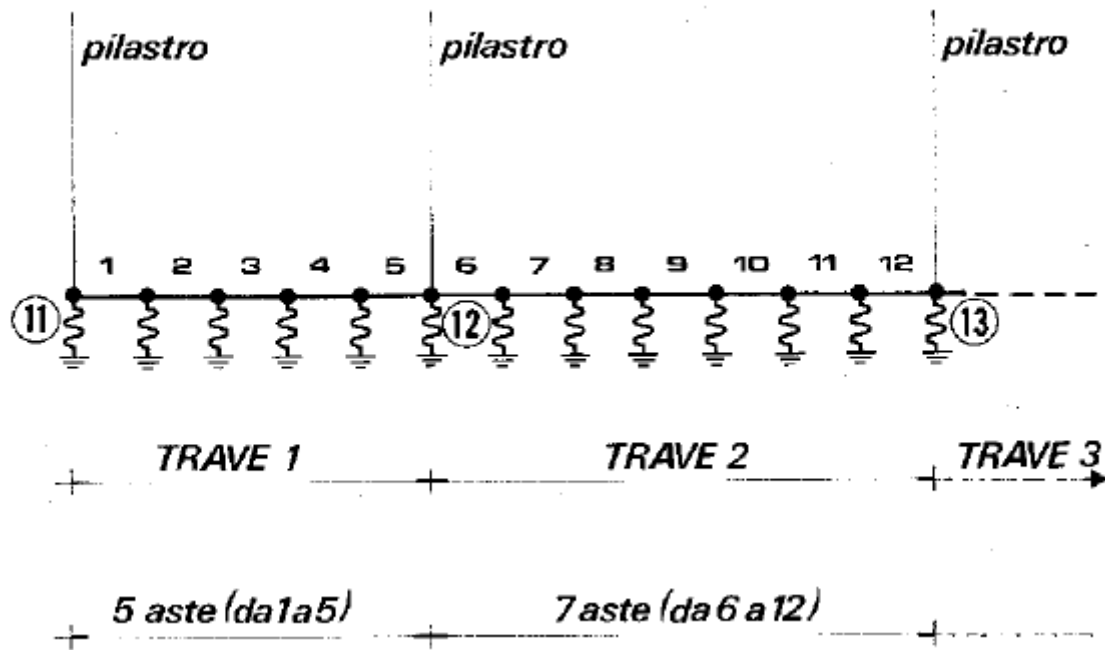


Figura 5 – Schematizzazione trave di fondazione

I tipi di carichi ammessi sono solo di tipo distribuito  $f_Z$ ,  $f_V$ ,  $f_Y$ .

Inoltre accade che:

$V_i = V_f$ ;  $d_i = d_f = 0$  ovvero il carico è di tipo rettangolare esteso per tutta la lunghezza della trave.

#### A.11.6.3. Elemento Shell (Guscio)

L'elemento shell implementa il modello del guscio piatto ortotropo nello spazio tridimensionale. È caratterizzato da 3 o 4 nodi I, J, K ed L posti nei vertici e 6 gradi di libertà per ogni nodo. Il comportamento flessionale e quello membranale sono disaccoppiati.

Gli elementi guscio/piastra si caratterizzano perché possono subire carichi nel piano ma anche ortogonali al piano ed essere quindi soggetti anche ad azioni flettenti e torcenti.

Gli elementi in esame hanno formalmente tutti i sei gradi di libertà attivi, ma non posseggono rigidità per la rotazione ortogonale al piano dell'elemento.

Nei gruppi shell definiti "platea" viene attuato il blocco di tre gradi di libertà,  $u_X$ ,  $u_Y$ ,  $r_Z$ , per tutti i nodi del gruppo.

Ogni gruppo può contenere uno o più elementi (max 1999). Ogni elemento viene definito da questi parametri:

- elemento numero (massimo 1999 per ogni gruppo);
- nodi di riferimento I, J, K, L;
- spessore;
- materiale;
- pressioni e relative aliquote dinamiche;
- temperatura;
- gradiente termico;
- carichi distribuiti e relative aliquote dinamiche.

**A.11.6.4. Elemento Plane (Stato piano di tensione, Stato piano di deformazione, Assialsimmetrico).**

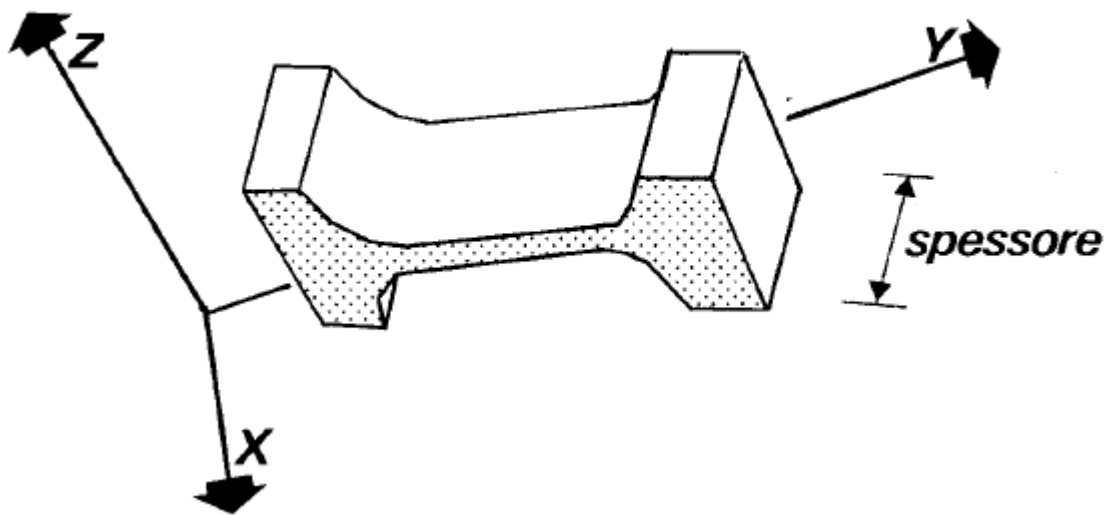


Figura 6 – Elemento Plane

L'elemento plane implementa i modelli dell'elasticità piana nelle tre classiche varianti degli stati piani di tensione, di deformazione e dei problemi assialsimmetrici, per materiali ortotropi nello spazio bidimensionale. È caratterizzato da 3 o 4 nodi I, J, K, L posti nei vertici e 2 gradi di libertà per ogni nodo.

Gli elementi in stato piano di tensione, di deformazione o assialsimmetrici sono elementi piani quadrilateri (4 nodi) o triangolari (3 nodi) bidimensionali, caratterizzati da due

dimensioni dello stesso ordine di grandezza, prevalenti sulla terza dimensione, che individua lo spessore. Vengono utilizzati per rappresentare strutture bidimensionali caricate nel piano: sono nulle le tensioni ortogonali al piano dell'elemento.

Gli elementi in Stato Piano di Deformazione sono elementi per cui è nulla la deformazione ortogonale al piano, ma non la tensione relativa. Vanno obbligatoriamente analizzati nel piano YZ e si assume uno sviluppo unitario sulla terza dimensione (lungo X). Hanno attivi i due gradi di libertà relativi agli spostamenti nel piano YZ.

Gli elementi Assialsimmetrici rappresentano solidi simmetrici, ottenuti per rotazione intorno all'asse verticale Z e simmetricamente caricati; sono individuati dalla loro sezione nel piano YZ.

Anche gli elementi assialsimmetrici vanno studiati nel piano YZ e hanno attivi i gradi di libertà relativi agli spostamenti in questo piano.

Il programma analizza il loro comportamento per uno sviluppo angolare di un radiante.

Ogni gruppo può contenere uno o più elementi (max 1999). Ogni elemento viene definito con questi parametri:

- numero elemento (massimo 1999 per gruppo);
- nodi di riferimento I, J, K, L;
- spessore;
- materiale;
- carichi (o pressioni) e relative aliquote dinamiche;
- temperatura.

#### **A.11.6.5. Elemento Boundary (Vincolo)**

L'elemento boundary è sostanzialmente un elemento molla con rigidità assiale in una direzione specificata e rigidità torsionale attorno alla stessa direzione. È utile quando si vogliono determinare le reazioni vincolari oppure quando si vogliono imporre degli spostamenti o delle rotazioni di alcuni nodi (cedimenti vincolari).

I parametri relativi ad ogni singolo vincolo sono:

- il nodo a cui è collegato il vincolo (o i vincoli, massimo sei);
- la traslazione imposta (L) o la rotazione imposta (radianti);
- la rigidità (per le traslazioni in  $F/L$ , per le rotazioni in  $F*L/\text{rad}$ ).

#### **A.11.6.6. Elemento Plinto**

Il plinto viene modellato mediante vincoli elastici alla traslazione e alla rotazione.

Il nodo I è il nodo di attacco del plinto e generalmente corrisponde con il nodo al piede di un pilastro. Si suppone, implicitamente, l'esistenza di un nodo J posizionato sopra I, sulla sua verticale (vedi figura).

Maggio 2023

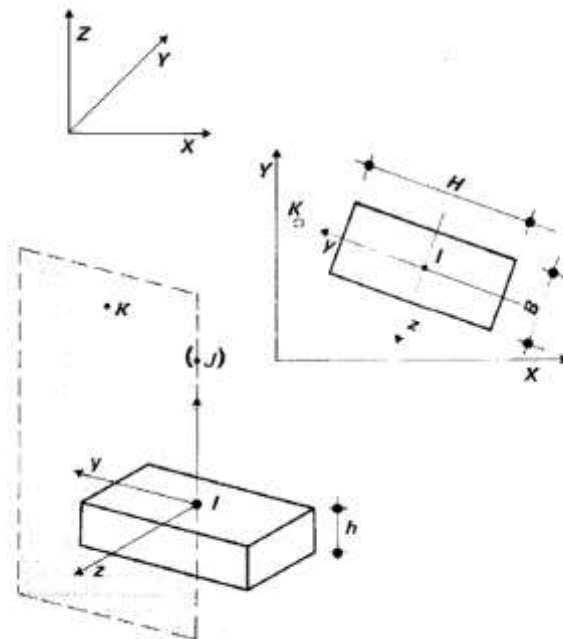


Figura 7 - Schema Elemento Plinto

Il nodo K consente, assieme a I e J, di orientare il plinto nello spazio. Valgono al riguardo considerazioni analoghe a quelle fatte per i pilastri. L'asse locale x è diretto da I verso J, l'asse locale y è ortogonale a x e punta verso K, l'asse locale z forma, con x e y l'usuale terna cartesiana destrorsa. La sezione del plinto è quella orizzontale in pianta, esclusivamente rettangolare. La base della sezione si misura parallelamente all'asse locale z, l'altezza si valuta secondo y. L'altezza h del plinto si misura in verticale (secondo l'asse globale Z).

#### *Prestazioni di progetto, classe della struttura, vita utile e procedure di qualità*

Le prestazioni della struttura e le condizioni per la sua sicurezza sono state individuate comunemente dal progettista e dal committente. A tal fine è stata posta attenzione al tipo della struttura, al suo uso e alle possibili conseguenze di azioni anche accidentali; particolare rilievo è stato dato alla sicurezza delle persone.

La classe della struttura è di tipo 1. Risulta così definito l'insieme degli stati limite riscontrabili nella vita della struttura ed è stato accertato, in fase di dimensionamento, che essi non siano superati. Altrettanta cura è stata posta per garantire la durabilità della struttura, con la consapevolezza che tutte le prestazioni attese potranno essere adeguatamente realizzate solo mediante opportune procedure da seguire non solo in fase di progettazione, ma anche di costruzione, manutenzione e gestione dell'opera. Per quanto riguarda la durabilità si sono presi tutti gli accorgimenti utili alla conservazione delle caratteristiche fisiche e dinamiche dei materiali e delle strutture, in considerazione dell'ambiente in cui l'opera dovrà vivere e dei cicli di carico a cui sarà sottoposta. La qualità dei materiali e le dimensioni degli elementi sono coerenti con tali obiettivi. In fase di

costruzione saranno attuate severe procedure di controllo sulla qualità, in particolare per quanto riguarda materiali, componenti, lavorazione, metodi costruttivi. Saranno seguiti tutti gli inderogabili suggerimenti previsti nelle "Norme Tecniche per le Costruzioni".

### *Tipo e caratteristiche dei materiali strutturali*

#### *Calcestruzzi*

<b>Tipologia strutturale</b>	<b>Fondazioni</b>
Classe di resistenza necessaria ai fini statici:	30 N/mm <sup>2</sup> (300 daN/cm <sup>2</sup> )
Condizioni ambientali:	Strutture completamente interrato in terreno permeabile
Rapporto acqua/cemento max:	0.60
Classe di consistenza:	S3 (Plastica)
Diametro massimo aggregati:	16 mm
<b>Tipologia strutturale</b>	<b>Elevazioni</b>
Classe di resistenza necessaria ai fini statici:	30 N/mm <sup>2</sup> (300 daN/cm <sup>2</sup> )
Condizioni ambientali:	Strutture interne di edifici non industriali con umidità bassa
Rapporto acqua/cemento max:	0.60
Classe di consistenza:	S4 (Fluida) con Additivo Superfluidificante
Diametro massimo aggregati:	16 mm

Tabella 2 - Tipologia Calcestruzzi

#### *Dosatura dei materiali*

La dosatura dei materiali per ottenere Rck 300 (30) e orientativamente la seguente (per m<sup>3</sup> d'impasto).

sabbia	0.4 m <sup>3</sup>
ghiaia	0.8 m <sup>3</sup>
acqua	150 litri
cemento tipo 325	350 kg/m <sup>3</sup>

Tabella 3 - Dosatura dei materiali

#### *Qualità dei componenti*

La sabbia deve essere viva, con grani assortiti in grossezza da 0 a 3 mm, non proveniente da rocce in decomposizione, scricchiolante alla mano, pulita, priva di materie organiche, melmose, terrose e di salsedine.

La ghiaia deve contenere elementi assortiti, di dimensioni fino a 16 mm, resistenti e non gelivi, non friabili, scevri di sostanze estranee, terra e salsedine. Le ghiaie sporche vanno accuratamente lavate. Anche il pietrisco proveniente da rocce compatte, non gessose né gelive, dovrà essere privo di impurità od elementi in decomposizione.

In definitiva gli inerti dovranno essere lavati ed esenti da corpi terrosi ed organici. Non sarà consentito assolutamente il misto di fiume. L'acqua da utilizzare per gli impasti dovrà essere

potabile, priva di sali (cloruri e solfuri). Potranno essere impiegati additivi fluidificanti o superfluidificanti per contenere il rapporto acqua/cemento mantenendo la lavorabilità necessaria.

#### *Prescrizione per inerti*

Sabbia viva 0-7 mm, pulita, priva di materie organiche e terrose; sabbia fino a 30 mm (70mm per fondazioni), non geliva, lavata; pietrisco di roccia compatta. Assortimento granulometrico in composizione compresa tra le curve granulometriche sperimentali:

passante al vaglio di mm 16 = 100%
passante al vaglio di mm 8 = 88-60%
passante al vaglio di mm 4 = 78-36%
passante al vaglio di mm 2 = 62-21%
passante al vaglio di mm 1 = 49-12%
passante al vaglio di mm 0.25 = 18-3%

Tabella 4 - Prescrizione inerti

#### *Prescrizione per il disarmo*

Indicativamente: pilastri 3-4 giorni; solette modeste 10-12 giorni; travi, archi 24-25 giorni, mensole 28 giorni. Per ogni porzione di struttura, il disarmo non può essere eseguito se non previa autorizzazione della Direzione Lavori.

#### *Provini da prelevarsi in cantiere*

- n° 2 cubi di lato 15 cm;
- un prelievo ogni 100 mc
- $R_{ck} 28 = R_m - 35 \text{ kg/cm}^2$
- $R_{min} > R_{ck} - 35 \text{ kg/cm}^2$

#### *Valori indicativi di alcune caratteristiche meccaniche dei calcestruzzi impiegati:*

Ritiro (valori stimati): 0.25 mm/m (dopo 5 anni, strutture non armate); 0.10mm/m (strutture armate).

Rigonfiamento in acqua (valori stimati): 0.20 mm/m (dopo 5 anni in strutture armate).

Dilatazione termica:  $10 \cdot 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$ .

Viscosità = 1.70.

*Acciaio per c.a.*

<b>Acciaio per C.A. Fe B 44 k</b>	
<b>METODO AGLI STATI LIMITE</b>	
$f_{yk}$ tensione caratteristica di snervamento	$\geq 4400 \text{ kg/cm}^2 (\geq 431 \text{ N/mm}^2)$
$f_{tk}$ tensione caratteristica di rottura	$\geq 5500 \text{ kg/cm}^2 (\geq 540 \text{ N/mm}^2)$
$f_{td}$ tensione di progetto a rottura	$f_{yk} / S = f_{yk} / 1.15 = 3826 \text{ kg/cm}^2 (= 375 \text{ N/mm}^2)$

L'acciaio dovrà rispettare i seguenti rapporti:

$$f_y / f_{yk} = 1.35 \quad f_t / f_y = 1.13$$

*Controlli in cantiere delle barre d'armatura*

(3 spezzoni dello stesso diametro)

$$f_y = f_m - 100 \text{ daN/cm}^2$$

### **A.11.7. Considerazioni conclusive.**

In via preliminare si prevede di realizzare un plinto indiretto in calcestruzzo gettato in opera di forma circolare composto da un plinto di base e un colletto superiore.

**Il plinto di base ha diametro presunto di circa 24,00 m, con altezza minima (all'esterno) di circa 1,0 m e altezza massima (al centro) di circa 3,00 m.**

