

0.1 Condizioni al contorno in OpenFOAM

Le condizioni al contorno (CC) sono necessarie per risolvere le equazioni fluidodinamiche all'interno del dominio computazionale e vanno specificate su ogni faccia del bordo. Per poter applicare le CC in OpenFOAM, è importante capire che il bordo di un dominio può essere diviso in un sottoinsieme i cui elementi sono detti *patch*. Un patch, a sua volta, può includere una o più aree del bordo le quali non necessariamente debbono essere fisicamente connesse. Ad un patch sono associati tre principali attributi, a ciascun attributo è associata una gerarchia che specifica le CC sia fisiche che numeriche, come riportato nel seguente schema.

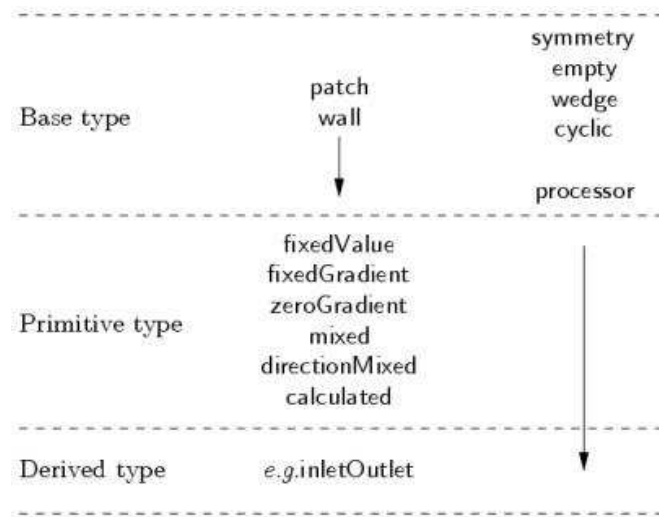


Figura 1: Attributi dei patch.

- **Base type:** si usa per descrivere il tipo di patch solamente in termini geometrici;
- **Primitive type:** si usa per specificare le CC matematiche da assegnare ad un campo sul patch;
- **Derived type:** si usa per specificare una CC che si può derivare dalla Primitive type e da assegnare ad un campo definito sul patch.

Da un punto di vista matematico in OpenFOAM le condizioni al contorno si possono dividere in due tipi:

- **Dirichlet:** che prescrive il valore di una variabile dipendente sul bordo, in OpenFOAM tale CC è detta `fixedValue`;

- **Neumann:** che prescrive il valore del gradiente di una variabile normale al bordo, in OpenFOAM tale CC è detta `fixedGradient`.

A parte la descrizione matematica, le CC possono essere impostate scegliendo alcuni parametri fisici. Per i fluidi incomprimibili, ad esempio, si hanno le seguenti CC:

- **Inlet:** quando viene fornito il campo di velocità all'ingresso e la CC per la pressione è a gradiente zero;
- **Outlet:** quando viene fornito il campo di pressione all'uscita e viene specificata la CC gradiente zero per la velocità;
- **No-slip impermeabile wall:** quando la velocità del fluido è uguale a quella della parete. Poiché il flusso attraverso la parete è nullo, per la pressione deve essere specificata la condizione a gradiente zero.

I tipi base (base type) per la geometria dei patch sono mostrati in Tabella 1; le condizioni matematiche che si possono impostare per i campi definiti sui patch (primitive type) sono mostrate in Tabella 2; infine, in Tabella 3 sono mostrate alcune delle possibili CC derivate (derived type). Si consulti la *User Guide* per l'elenco completo di queste ultime.

Key	Descrizione
patch	Patch generico.
wall	Il fluido non attraversa la parete.
simmetryPlane	Piano di simmetria.
empty	Per ridurre da 3D (default) a 2D (o 1D) occorre specificare questa condizione per ogni patch il cui piano è normale alla 3 ^a (o 2 ^a) dimensione per la quale non si richiede soluzione.
wedge	Pareti frontali e posteriori per geometrie a forma di cuneo.
cyclic	Per trattare due patch come se fossero fisicamente connessi.
processor	Nel caso di un run parallelo la mesh deve essere divisa in modo tale che ogni processore abbia approssimativamente lo stesso numero di celle. I bordi tra le differenti parti della mesh sono detti <i>processor boundaries</i> .

Tabella 1: Tipi di base per i patch (base type).

Tipo	CC per un campo ϕ definito su un patch.
fixedValue	Valore costante per ϕ .
fixedGradient	Valore costante per $\vec{\nabla}_{\perp}\phi$.
zeroGradient	$\vec{\nabla}_{\perp}\phi = 0$.
calculated	Quando ϕ è derivato da altri campi.
mixed	Condizione mista di valore costante per ϕ e $\vec{\nabla}_{\perp}\phi$.
directionMixed	Condizione mista in direzione normale al patch con valore fissato per $\vec{\nabla}\phi$ tangente al patch.

Tabella 2: Condizioni al contorno (CC) per i campi definiti sui patch (l'operatore $\vec{\nabla}_{\perp}$ indica la componente del gradiente normale al patch).

Tipo	CC derivate per un campo ϕ definito su un patch.
movingWallVelocity	Imposta il valore della normale al patch in modo che il flusso attraverso il patch sia zero.
pressureInletVelocity	Quando p è nota all'ingresso, $\mathbf{U}$ è calcolata dal flusso normale al patch.
pressureDirectedInletVelocity	Quando p è nota all'ingresso, $\mathbf{U}$ è calcolata dal flusso in direzione d'uscita.
surfaceNormalFixedValue	Per impostare una condizione vettoriale di bordo in direzione normale al patch.
totalPressure	Pressione totale $p_{tot} = p + \frac{1}{2}\rho \mathbf{U} ^2$ fissata. quando $\mathbf{U}$ cambia, p viene opportunamente aggiustata.
turbulentInlet	Calcola il valore di una variabile in base ai valori medi.

Tabella 3: Condizioni al contorno derivate per i campi definiti sui patch ($\mathbf{U}$ e p sono, rispettivamente, velocità e pressione).

0.2 Come impostare le condizioni al contorno

Le CC sono impostate in alcuni file che costituiscono un caso OpenFOAM. Più in dettaglio:

- Il tipo di patch (base type) è specificato dalla parola-chiave **type** nel file **boundary** che si trova nella directory **nomecaso/constant/polyMesh**;
- le CC matematiche sono specificate dalla parola-chiave **type** nei file che descrivono i valori iniziali dei campi. Questi file si trovano nella directory **nomecaso/constant/0**. Per esempio, il valore iniziale del campo di velocità $\mathbf{U}$ si trova in **nomecaso/constant/0/U** e quello del campo di pressione p in **nomecaso/constant/0/p**.

Consideriamo ora un esempio specifico: il moto in 2D nel piano (x, y) di un fluido incomprimibile in una cavità quadrata di lato $d = 0.1 \text{ m}$ la cui parete superiore si muove ad una velocità di 1 m/s nella direzione x mentre tutte le altre sono fisse. La geometria e il blocco del dominio computazionale sono mostrati in Figura 2. La mesh è descritta nel file **blockMeshDict** riportato di seguito.

```

/*-----*\
| ===== |
|  \ \ /  F ield      | OpenFOAM: The Open Source CFD Toolbox |
|  \ \ /  O peration   | Version: 1.4                        |
|  \ \ /  A nd         | Web: http://www.openfoam.org         |
|  \ \ /  M anipulation |                                     |
\*-----*/

FoamFile
{
    version      2.0;
    format       ascii;

    root         "";
    case         "";
    instance     "";
    local        "";

    class        dictionary;
    object       blockMeshDict;
}

// * * * * *

convertToMeters 0.1;

vertices
(
    (0 0 0)
    (1 0 0)
    (1 1 0)
    (0 1 0)
    (0 0 0.1)
    (1 0 0.1)
    (1 1 0.1)
    (0 1 0.1)
);

blocks
(
    hex (0 1 2 3 4 5 6 7) (20 20 1) simpleGrading (1 1 1)
);

edges
(
);

patches
(
    wall movingWall
    (
        (3 7 6 2)
    )
    wall fixedWalls
    (
        (0 4 7 3)
        (2 6 5 1)
        (1 5 4 0)
    )
    empty frontAndBack
    (

```

```

        (0 3 2 1)
        (4 5 6 7)
    );
);

mergePatchPairs
(
);

// ***** //
```

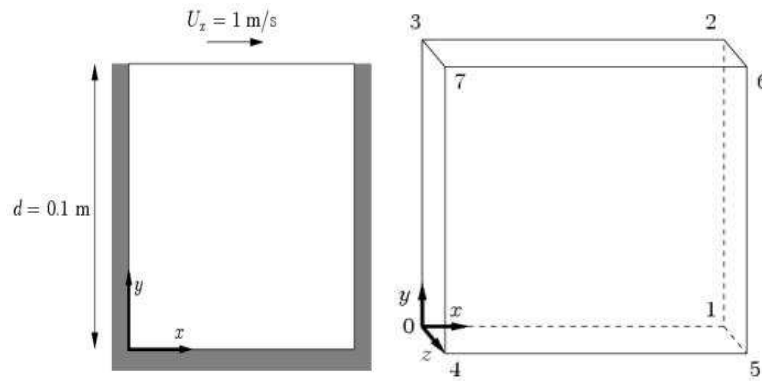


Figura 2: Fluido incompressibile in una cavità (sinistra) e blocco del dominio computazionale con la numerazione dei vertici (destra).

Come si vede il blocco è costituito da 8 vertici numerati 0, 1, ..., 7 secondo l'ordine riportato nella lista `vertices(...)`; il vertice 0 ha coordinate (0,0,0), il vertice 1 ha coordinate (1,0,0) etc. Ci sono 3 patch. Un primo patch è la parete che si muove, i cui vertici sono (3 7 6 2). Questo patch è stato chiamato `movingWall` ed è di tipo (base type) `wall`. Le 3 pareti fisse costituiscono un altro patch che si chiama `fixedWall`, anch'esso di tipo `wall`. L'ultimo patch, che si chiama `frontAndBack`, è di tipo `empty` perchè le due facce che lo costituiscono, cioè (0 3 2 1) e (4 5 6 7) sono ortogonali all'asse z e il caso è 2D nel piano (x, y) .

Dopo aver esaminato le CC geometriche, vediamo come si impostano le CC matematiche per i campi in gioco: pressione p e velocità $\mathbf{U}$. Esaminiamo per prima le CC per la pressione riportate nel file `nomecaso/0/p`.

```

dimensions      [0 2 -2 0 0 0 0];

internalField    uniform 0;

boundaryField
{
```

```

movingWall
{
    type          zeroGradient;
}

fixedWalls
{
    type          zeroGradient;
}

frontAndBack
{
    type          empty;
}
}

```

Per i patch di tipo `wall`, cioè `movingWall` e `fixedWall`, la componente del gradiente di pressione normale al patch è zero e per essi sarà impostata la CC (primitive type) `zeroGradient`. Il patch di tipo `empty` non dà alcun contributo all'evoluzione temporale del moto del fluido per cui per esso sarà impostata la CC `empty` (il che, lo ripetiamo, non significa “valore nullo”, ma serve per escludere la dimensione nella direzione z).

Allo stesso modo le CC per il campo di velocità sono impostate nel file `nomecaso/0/U` di seguito riportato.

```

dimensions      [0 1 -1 0 0 0 0];

internalField    uniform (0 0 0);

boundaryField
{
    movingWall
    {
        type          fixedValue;
        value          uniform (1 0 0);
    }

    fixedWalls
    {
        type          fixedValue;
        value          uniform (0 0 0);
    }

    frontAndBack
    {
        type          empty;
    }
}

```

Poiché la parete mobile ha velocità iniziale uniforme di 1 m/s in direzione x , per il corrispondente patch `movingWall` si avrà il tipo (type) `fixedValue`

impostato al valore `(value) uniform (1,0,0)` cioè ($U_x = 1$, $U_y = U_z = 0$). Le CC per il patch che rappresenta le pareti fisse corrisponderanno ad un valore uniforme e nullo per la velocità. Infine, poichè il patch `frontAndBack` non contribuisce alle soluzioni, l'unico tipo possibile per esso è `empty`.